



ผลกระทบของอุณหภูมิและแสงต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของ
พืชน้ำในทะเลสาบสงขลา

Effect of Temperature and Light on Growth and Photosynthesis of
Submerged Macrophytes in Songkhla Lake

ปาจริย์ แก้วชนะ

Pacharee Kaewchana

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ผลกระทบของอุณหภูมิและแสงต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของ
พืชน้ำในทะเลสาบสงขลา

Effect of Temperature and Light on Growth and Photosynthesis of
Submerged Macrophytes in Songkhla Lake

ปาจรีย์ แก้วชนะ

Pacharee Kaewchana

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University

2562


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของอุณหภูมิและแสงต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสง
ของพืชน้ำในทะเลสาบสงขลา

ผู้เขียน นางสาวปาจรรย์ แก้วชนะ

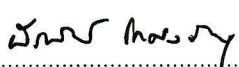
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


.....


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธินี สิ้นซุก)

คณะกรรมการสอบ

.....
.....ประธานกรรมการ

(ดร.พีรพัฒน์ โกศลศักดิ์สกุล)

.....
.....กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....


(ดร.พลชาติ โชติการ)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธินี สิ้นซุก)

.....
.....กรรมการ

(ดร.พลชาติ โชติการ)

.....
.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรมาศ สุทธินน)

.....
.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรมिता พันธวงศ์)

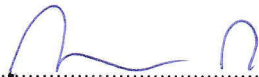
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งแสง)


คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธินี สินสุก)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวปาจริย์ แก้วชนะ)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ..... ปจรรย์ แก้วชนะ

(นางสาวปจรรย์ แก้วชนะ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของอุณหภูมิและแสงต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำในทะเลสาบสงขลา
ผู้เขียน	นางสาวปาจริย์ แก้วชนะ
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันทะเลสาบจะเห็นวาระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและความเข้มแสงในน้ำเปลี่ยนแปลงไป โดยปริมาณแสงอาจจะลดลงเนื่องจากปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันและการเพิ่มขึ้นของตะกอน ซึ่งแสงและอุณหภูมิก็นับปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำหากมีปริมาณแสงที่ไม่เพียงพอหรือมีปริมาณที่มากเกินไปก็จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำลดลง ทำให้พืชน้ำมีการเปลี่ยนแปลงหรือหายไปจากที่นี้ ก็จะส่งผลทำให้ที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ แหล่งผลิตออกซิเจนในทะเลสาบสงขลานั้นย่อยลง ระบบนิเวศในทะเลสาบมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ ในงานวิจัยได้ทำการศึกษา 1) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของ *Ceratophyllum demersum* และ *Elodea canadensis* จากทะเลสาบสงขลา ถูกเก็บรักษาในตู้ปลาในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 60 วันภายใต้การอุณหภูมิ 30, 33 และ 36 °C และความเข้มแสง 180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ พบว่า *C. demersum* จะมีค่าการสังเคราะห์แสง ปริมาณสารอินทรีย์ คาร์บอนอินทรีย์ คลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ b และคลอโรฟิลล์ a:b ได้ดีกว่า *E. canadensis* ส่วนการเจริญเติบโตพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของ *C. demersum* ต่ำกว่า *E. canadensis* 2) ศึกษาผลของการลดลงของแสง ได้ทำการศึกษาในทะเลสาบสงขลาตอนกลาง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น Control, 25 % Shade, 50 % Shade และ 75 % Shade พบว่า MQY และ EQY ไม่มีความแตกต่างกัน โดยค่าอยู่ในช่วง 0.7-0.8 แต่ค่า Saturating irradiance, alpha และ $rETR_{max}$ ที่ 50%Shade มีค่าต่ำสุด ในส่วนอัตราการเจริญเติบโตของ *E. Canadensis* ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุด 50% Shade ค่าปริมาณสารอินทรีย์ คาร์บอนอินทรีย์ คลอโรฟิลล์ a คลอโรฟิลล์ b และคลอโรฟิลล์ a:b พบว่า ชุดการทดลองที่แสงลดลง 25% Shade การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิและแสงมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของ *C. demersum* และ *E. canadensis* หากมีอุณหภูมิสูงขึ้น และมีความเข้มแสงที่ต่ำลง จะส่งผลทำให้พืชน้ำที่ไม่สามารถทนกับอุณหภูมิที่สูง และความเข้มแสงที่ต่ำนั้นมีความเครียด ไม่สามารถ

(6)

สังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตได้ ส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์และการกระจายของสายพันธุ์นี้
ในทะเลสาบสงขลา

Thesis Title Effect of Temperature and Light on Growth and Photosynthesis of Submerged Macrophytes in Songkhla Lake

Author Miss Pacharee Kaewchana

Major Program Environmental Management

Academic Year 2019

ABSTRACT

Currently the Songkhla Lake is that ecosystem changes as to changes in the environment. The climate change that may occur in the future that causes the water to have a higher temperature and the light in the water changes. The volume of light may be reduced as to the eutrophication and the increase in sediment. Which light and temperature was a significant factor in the growth and photosynthesis of macrophytes. If there is insufficient volume of light or excessive volume, the growth rate and photosynthesis of water plants will decrease. Causing macrophytes to change or disappear from now will result in the habitat of aquatic animals, source of oxygen in the lake less, the ecosystem in the Songkhla Lake has changed. In research studies 1) study the effect of high temperature and low light on growth and photosynthesis of *Ceratophyllum demersum* and *Elodea canadensis* from Songkhla Lake in the aquarium in the laboratory for 60 days under the temperature of 30, 33 and 36 °C and the light intensity 180, 90 and 45 μmol . *C. demersum* has photosynthesis, Organic matter, Organic carbon, chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll a: b better than *E. canadensis*. Growth was found that *C. demersum* growth rate was lower than *E. canadensis*. 2) study the effect of low light studies in Songkhla Lake By dividing the experiment into Control, 25% Shade, 50% Shade and 75% Shade. It is found that MQY and EQY are not different. The value is in the range of 0.7-0.8 but Saturating irradiance, alpha and $r\text{ETR}_{\text{max}}$ at 50% Shade has the lowest value in the growth rate of *E. Canadensis* in each experiment. Found that it can grow well at 50% Shade set, the amount of organic matter, Organic Carbon, Chlorophyll a, Chlorophyll b and Chlorophyll a: b. It was found that the light set decreased by 25% Shade. This study instruct that temperature and light an important role in photosynthesis and

growth of *C. demersum* and *E.canadensis* if the high temperature and low light intensity will result in macrophytes that cannot tolerate high temperatures and the low light intensity has stress cannot synthesize light and grow affecting the fertility and distribution of this species in Songkhla Lake

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สุธินี สิริสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.พลชาติ โชติการ สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำการวิจัย รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้องของรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำจนกระทั่งเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ Coastal Oceanography and Climate Change Research Center (COCC) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและห้องปฏิบัติการในการวิจัย และโครงการเพื่ออนุรักษ์และฟื้นฟูลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณสถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการ และใช้เครื่องมืออุปกรณ์ของสถาบันทรัพยากรทะเล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อทำเก็บตัวอย่างและทำการทดลอง และ ผศ. ดร. อรมาศ สุทธิสุนัน และ ผศ.ดร.พิมพ์ชนก บัวเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณ น.ส.พัชรี ฤกษ์งานดี และนายปฐมพงศ์ พรามณีโชติ ที่ช่วยเก็บตัวอย่าง ช่วยงานในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว เพื่อน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดการศึกษา

ปาจริย์ แก้วชนะ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(13)
รายการรูปประกอบ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สมมติฐาน	4
1.4 คำถาม	4
1.5 ตรวจสอบเอกสาร	4
1.5.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	4
1.5.2 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	5
1.5.3 ทะเลสาบสงขลา	7
1.5.4 ปრაกฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น	11
1.5.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ	13
1.5.6 การสังเคราะห์แสง	15
1.5.7 สาหร่ายพวงพะโต	20
1.5.8 สาหร่ายดอกกุล	22
1.6 งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	23

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ	
2.1 วิธีการดำเนินการทดลอง	27
2.2 การวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง	32
2.3 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์พืชน้ำ	34
2.4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์น้ำ	34
2.5 การวัดการเจริญเติบโตของพืชน้ำ	35
2.6 การวัดปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของพืชน้ำและตะกอนดิน	35
2.7 คุณภาพน้ำ	35
2.8 การวิเคราะห์ข้อมูล	36
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา	
การทดลองที่ 1	
3.1 การสังเคราะห์ด้วยแสง	37
3.2 การเจริญเติบโต	49
3.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และอินทรีย์คาร์บอน	51
3.4 คลอโรฟิลล์	55
3.5 คุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมี	60
การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการลดลงของแสงต่อพืชน้ำในภาคสนาม	
3.7 การสังเคราะห์ด้วยแสง	62
3.8 พื้นที่ปกคลุมของพืชน้ำ	67
3.9 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)	69
3.10 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และอินทรีย์คาร์บอน	70

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	การทดลองในห้องปฏิบัติการ	28
2-2	พารามิเตอร์และวิธีการวัดตัวอย่างของพีชน้ำในห้องปฏิบัติการ	29
2-3	การทดลองภาคสนาม	30
2-4	พารามิเตอร์และวิธีการวัดตัวอย่างของพีชน้ำในภาคสนาม	31
2-5	พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในภาคสนามจะได้รับการประเมินทุก 2 สัปดาห์ ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง	31
2-6	พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ	35

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1-1	Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios ต่างๆ	6
1-2	ทะเลสาบสงขลา	8
1-3	กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	16
1-4	Rapid Light Curve	19
1-5	สาหร่ายพวงชะโด	20
1-6	<i>Elodea canadensis</i>	22
2-1	จุดเก็บตัวอย่างพีชน้ำ (70028'09.0''N, 1000023'45.0"E)	27
2-2	จุดทดลองภาคสนาม (70028'09.0''N, 1000023'45.0"E)	30
2-3	Rapid light curv	34
3-1	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Maximum quantum yield ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุล <i>(E. canadensis)</i> เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่ แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์	40
3-2	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Effective quantum yield ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุล <i>(E. canadensis)</i> เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่ แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์	40
3-3	ค่าเฉลี่ย±SE ของAlpha ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุล (<i>E. canadensis</i>) เมื่อเลี้ยงในสภาวะ อุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์	44

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3-4	ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Maximum relative electron transport rate (rETR _{max}) ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (<i>E. canadensis</i>) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์	46
3-5	รูปที่3-5 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Saturating irradiance (I_k) ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (<i>E. canadensis</i>) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์	48
3-6	ค่าเฉลี่ย \pm SE ของGrowth rate ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (<i>E. canadensis</i>) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์	50
3-7	ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ%ปริมาณอินทรีย์วัตถุของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (<i>E. canadensis</i>) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์	52
3-8	ค่าเฉลี่ย \pm SE ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (<i>E. canadensis</i>) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์	54

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-9 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyl <i>a</i> : Chl <i>a</i>) ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุหล (<i>E. canadensis</i>) ระยะเวลาในการทดลอง 9 สัปดาห์ ($\mu\text{g}/\text{mL}/\text{g}$ fw)	58
3-10 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของคลอโรฟิลล์บี (Chlorophyl <i>b</i> : Chl <i>b</i>) ของสาหร่ายพวงชะโด (<i>C. demersum</i>) และสาหร่ายดอกกุหล (<i>E. canadensis</i>) ระยะเวลาในการทดลอง 9 สัปดาห์ ($\mu\text{g}/\text{mL}/\text{g}$ fw)	59
3-11 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Maximum quantum yield (MQY) ของ <i>E. canadensis</i> ระยะเวลา 10 สัปดาห์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน	63
3-12 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Effective quantum yield (EQY) ของ <i>E. canadensis</i> ระยะเวลา 10 สัปดาห์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน	64
3-13 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Alpha ของ <i>E. canadensis</i> ระยะเวลา 10 สัปดาห์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน	65
3-14 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ $rETR_{\text{max}}$ ของ <i>E. canadensis</i> ระยะเวลา 10 สัปดาห์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน	66
3-15 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ I_k ของ <i>E. canadensis</i> ระยะเวลา 10 สัปดาห์ ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน	67

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3-16	ค่าเฉลี่ย±SE ของพื้นที่ปกคลุม (Percentage cover) ของพืชน้ำ (Macrophytes) และสาหร่ายดอกกุล (<i>E. canadensis</i>) ความเข้มแสงแตกต่างกัน ในการทดลองสัปดาห์ที่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10	68
3-17	ค่าเฉลี่ย±SE ของความยาวของใบ <i>E. canadensis</i> (mm) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (ชุด Control ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)	69
3-18	ค่าเฉลี่ย±SE ของความกว้างของใบสาหร่ายดอกกุล (<i>E. canadensis</i>) (mm) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (ชุด Control, ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)	70
3-19	ค่าเฉลี่ย±SE ของปริมาณสารอินทรีย์ (OM) ของ สาหร่ายดอกกุล (<i>E. canadensis</i>) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (Control, ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)	71
3-20	ค่าเฉลี่ย±SE ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) ของสาหร่ายดอกกุล (<i>E. canadensis</i>) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (Control, ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)	72
3-21	ค่าเฉลี่ย±SE ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl <i>a</i>) $\mu\text{g}/\text{mL}/\text{g}$ fw ของสาหร่ายดอกกุล (<i>E. canadensis</i>) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (Control, ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)	73

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-22	ค่าเฉลี่ย±SE ของปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl _b) (µg/ml/g fw) ของสาหร่ายดอกกุหลาบ (<i>E. canadensis</i>) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (Control, ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)
3-23	ปริมาณสารอินทรีย์ (OM) ในตะกอนดิน ระยะเวลา 10 สัปดาห์
3-24	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ในตะกอนดิน ระยะเวลา 10 สัปดาห์
3-25	ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl <i>a</i>) และ คลอโรฟิลล์บี (Chl <i>b</i>) ในน้ำ
4-1	ผลการศึกษาผลของแสงและอุณหภูมิต่อ <i>Ceratophyllum demersum</i> และ <i>Elodea canadensis</i>
4-2	ผลการศึกษาผลของแสงต่อ <i>Elodea canadensis</i>

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและอนาคตที่เกิดขึ้นทำให้ส่งผลกระทบต่อทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิต และสภาพแวดล้อม โดยสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนี้มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง การเปลี่ยนพื้นที่ป่าไม้ไปเป็นพื้นที่ทำการเกษตรกรรม ปศุสัตว์ และอุตสาหกรรม ซึ่งล้วนแต่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO₂) มีเทน (Methane: CH₄) และ ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide: N₂O) ที่สะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งก๊าซเหล่านี้จะสะสมความร้อน ทำให้ความร้อนถูกกักเก็บไว้ในโลกไม่สะท้อนกลับไปสู่บรรยากาศ เมื่อก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้นในชั้นบรรยากาศและยังส่งผลให้มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด จึงทำให้อุณหภูมิสูงโลกขึ้น อยู่ในสภาวะอุณหภูมิโลกที่ร้อนขึ้น (IPCC, 2014) องค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป มีความผันแปรตามธรรมชาติเกิดขึ้นมากมาย เช่น ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น การละลายของธารน้ำแข็งและแผ่นน้ำแข็งมีส่วนทำให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นในอัตราที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มความถี่และความรุนแรงของเหตุการณ์ฝนตกหนักทำให้การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น ความแปรผันของความถี่และความรุนแรงของพายุอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะลดปริมาณน้ำแข็ง ความกว้างของพื้นที่ผิวในที่ดินทะเลสาบทะเล และมหาสมุทรเป็นกรดมากขึ้นส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล และฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไป (Walsh et al., 2014)

ทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นอยู่ทางด้านตะวันออกของคาบสมุทรชายแดนภาคใต้ครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด คือจังหวัดสงขลา พัทลุง และนครศรีธรรมราช (Sompongchaiyakul et al., 2004) ทะเลสาบสงขลาสามารถแบ่งออกได้ 4 ช่วง ได้แก่ทะเลสาบตอนบน ทะเลหลวง ทะเลสาบตอนกลาง และทะเลสาบตอนล่าง ทะเลสาบสงขลา มีคุณค่าอย่างมาก เนื่องจาก เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในน้ำ นกอพยพถิ่น แหล่งอาหาร การทำประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการท่องเที่ยว (Meksuwan et al., 2011) อย่างไรก็ตามการให้บริการระบบนิเวศเหล่านี้ถูกคุกคามเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจึงก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำอย่างรุนแรง (Pompinatepong et al., 2010) เช่น การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ การตกตะกอนสูง และปรากฏการณ์ Eutrophication (Pompinatepong et al., 2010) และ Sompongchaiyakul et al., (2004) รายงานว่าการเกิด Eutrophication และความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงมีอยู่ตลอดทั้งปีในทะเลสาบตอนบนและตอนกลาง มีขีดขวางการไหลของน้ำ และปิดช่องทาง การถ่ายเทน้ำ อย่างไร

ก็ตามยังไม่มีเอกสารที่รายงานเกี่ยวกับการลดลงและการเพิ่มขึ้นของความหลากหลายของพืชน้ำ (Matthew et al., 2018)

ในทะเลสาบสงขลามีจำนวนพืชน้ำมากกว่า 60 ชนิด (Thongkao, 1998; Meksuwan et al., 2011) พืชน้ำมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศในทะเลสาบเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและที่หลบภัยของสิ่งมีชีวิต การสังเคราะห์แสง ของพืชน้ำเป็นการปล่อยออกซิเจนและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแหล่งน้ำในทะเลสาบสงขลา (Carbon sink capacity) และเป็นผู้ผลิตขั้นต้นในสายใยอาหาร (Wigand et al., 2000; Cronk and Fennessy., 2001; Qui et al., 2001) และยังสามารถในการดูดซึมสารอาหารไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ มีคุณภาพที่ดีขึ้นในทะเลสาบ และป้องกันไม่ให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอน (Phytoplankton bloom) และเป็นปัจจัยสำคัญในการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ (Guo-feng et al., 2014; Lone et al., 2014) โดยสาหร่ายพวงชะโด (*Ceratophyllum demersum*) และสาหร่ายดอกกุน (*Elodea canadensis*) เป็นสายพันธุ์ที่โดดเด่น พบบริเวณทะเลสาบตอนกลาง ทะเลสาบตอนบน และทะเลน้อย ในฤดูฝนมีปริมาณตะกอนสูงทำให้เกิดการลดลงของความเข้มแสงในน้ำ และเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในน้ำ ส่วนในช่วงฤดูร้อนเกิดปรากฏการณ์ Eutrophication และการบลูมของแพลงก์ตอน พืชน้ำที่จมอยู่ใต้น้ำจะรับแสงได้น้อย ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีผลต่อเจริญเติบโตของพืชน้ำ แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ (Sompongchaiyakul et al., 2004)

ความเข้มแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำและแพลงก์ตอน (Hanelt et al., 1992) อย่างไรก็ตาม เมื่อความเข้มแสงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ Photoinhibition และ Photodamage เกิดขึ้นได้ง่าย ทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชน้ำ (Hanelt et al., 1993) แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อแสงลดลงความสามารถของการฉายรังสีในการส่งผ่านแสงไปยังใบของพืชน้ำ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำโตช้า การสะสมสารอาหารในพืชน้ำลดลงส่งผล และการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Hanelt et al., 1993)

ในปัจจุบันระบบนิเวศทะเลสาบสงขลาตอนกลางเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและความเข้มแสงในน้ำเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปรากฏการณ์ Eutrophication (Sompongchaiyakul et al., 2004) และการเพิ่มขึ้นของตะกอน ทะเลสาบสงขลาตอนกลางมีพืชน้ำที่โดดเด่นคือ *C. demersum* และ *E. canadensis* โดย *C. demersum* มักจะพบในบริเวณที่มีความชุ่มชื้น ความเข้มแสงต่ำ ธาตุอาหารสูง ในขณะที่ *E. canadensis* มักจะพบในบริเวณที่มีความชุ่มชื้นน้อย ความเข้มแสงสูง และธาตุอาหารต่ำ ทั้ง 2 สายพันธุ์จึงอาจตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงได้แตกต่างกัน เมื่อ 2 สายพันธุ์นี้มีการเปลี่ยนแปลงหรือหายไป

จากพื้นที่นี้ ก็จะส่งผลทำให้ที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ แหล่งผลิตออกซิเจนในทะเลสาบสงขลาตอนกลาง น้อยลง ระบบนิเวศในทะเลสาบมีการเปลี่ยนแปลงไปได้

การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มแสงและการเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ในทะเลสาบสงขลาตอนกลางความ เข้มแสงและอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของ *C. demersum* และ *E. canadensis* จะ นำมาซึ่งความเข้าใจถึงการตอบสนองและความทนทานทางสรีระวิทยาของ *C. demersum* และ *E. canadensis* ต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการจัดการและพัฒนาทะเลสาบ สงขลาอย่างยั่งยืน ยังเป็นความรู้ใหม่ในการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นกับ ระบบนิเวศทะเลสาบสงขลาตอนกลางด้วย

1.2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการตอบสนองในด้านการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของ สาหร่ายพวง ชะโด (*Ceratophyllum demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*Elodea canadensis*) ในสภาวะที่ อุณหภูมิและความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไป

1.3. สมมติฐาน

การตอบสนองของพืชน้ำ การเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของ สาหร่ายพวงชะโด (*Ceratophyllum demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*Elodea canadensis*) ต่ออุณหภูมิและความ เข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปมีความแตกต่างกัน

1.4. คำถาม

ถ้าอุณหภูมิและความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง การเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของ สาหร่ายพวงชะโด (*Ceratophyllum demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*Elodea canadensis*) จะมีการตอบสนองที่แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

1.5 ตรวจสอบเอกสาร

1.5.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

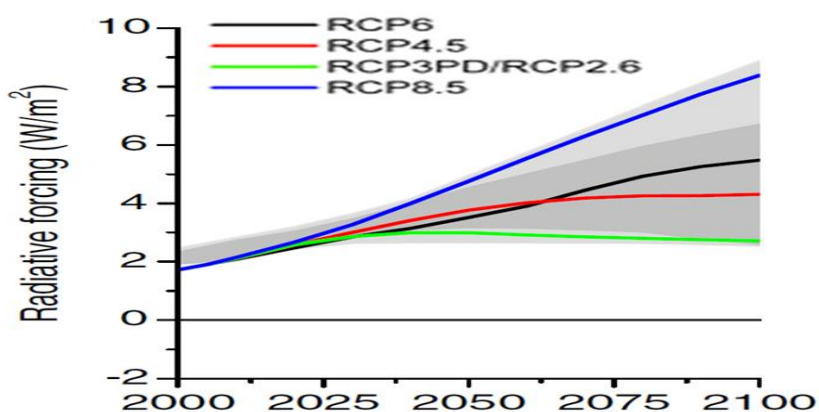
การเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล และกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ส่งผลทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นเพิ่มขึ้น ซึ่งก๊าซเรือนกระจกประกอบไปด้วยก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide; CO₂) มีเทน (Methane; CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide; N₂O) โอโซน (Ozone; O₃) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfur hexafluoride; SF₆) และ คลอโรฟลูโอคาร์บอน (Chlorofluorocarbon; CFC) เมื่อก๊าซจำพวกนี้มีปริมาณมากในชั้นบรรยากาศมันจะสามารถกักเก็บรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น (อานาจ, 2553; จักกนิตต์, 2560) ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ทำให้อุณหภูมิน้ำทะเลสูงขึ้น pH ของน้ำทะเลลดลง ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศทั้งบนบก น้ำจืด และน้ำทะเล

Tkemaladze & Makhashvili, (2016) ทำการรวบรวมบทความเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการสังเคราะห์แสง ของ เพื่ออธิบาย ว่าภาวะโลกร้อนในอนาคตจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์ สัตว์ และพืช มีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการสะสมในชั้นบรรยากาศ สิ่งมีชีวิตที่อยู่ภายในโลกก็จะได้รับผลกระทบนั้น ซึ่งพืชสามารถรับผลกระทบจากภาวะโลกร้อนได้ง่ายกว่าสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในบทความนี้ได้สื่อให้เห็นเกี่ยวกับมาตรการทางชีวเคมีที่จะเพิ่มศักยภาพทางชีวภาพของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งโอกาสในการสังเคราะห์แสงและพลังงานของพืช ดังนั้นจึงขอให้มีส่วนร่วมช่วยในการลดปัญหาที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและป้องกันการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ในชั้นบรรยากาศ

1.5.2 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change scenario)

Scenario จะมาเป็นการคาดการณ์ (Projection) การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ โดยคาดการณ์จากข้อมูลสถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ตามการคาดการณ์การพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม การเติบโตของประชากรและเทคโนโลยี (Mekong River Commission, 2556) ในปัจจุบันนี้ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ได้จัดทำรายงาน IPCC AR5 เป็นฉบับที่ 5 ใหม่ล่าสุด โดยมีการพัฒนารูปแบบ เนื้อหาให้ครอบคลุมต่อผู้ที่ต้องการใช้ข้อมูลให้มีประโยชน์มากที่สุด ซึ่ง IPCC AR5 จะมี Scenario แบบใหม่ หรือที่เรียกว่า Representative Concentration Pathways (RCP) โดยใช้การจำลองของ Radiative forcing (รูปที่ 1-1) ซึ่งแบ่งแบบจำลองได้ 4 ประเภท คือ

- RCP 8.5 เป็นการปล่อยมลพิษสูง RCP นี้ได้รับการพัฒนาโดยสถาบันระหว่างประเทศเพื่อการวิเคราะห์ระบบประยุกต์ในออสเตรเลียและมีลักษณะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะนำไปสู่ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกที่สูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป RCP 8.5 นำไปเทียบกับ ภาพจำลอง SRES จะจัดอยู่ในกลุ่ม A1F1
- RCP 6 เป็นการปล่อยมลพิษชั้นกลาง RCP นี้ได้รับการพัฒนาโดยสถาบันแห่งชาติเพื่อการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมในประเทศญี่ปุ่น การบังคับใช้การแผ่รังสีจะมีเสถียรภาพหลังจากปี 2100 ซึ่งสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและยุทธศาสตร์ต่างๆ เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก RCP 6.5 นำไปเทียบกับ ภาพจำลอง SRES จะจัดอยู่ในกลุ่ม B2
- RCP 4.5 เป็นการปล่อยมลพิษชั้นกลาง RCP นี้ได้รับการพัฒนาโดย Pacific Northwest National Laboratory ในสหรัฐอเมริกา การบังคับให้เกิดการแผ่รังสีจะมีเสถียรภาพหลังจากปี 2100 ซึ่งสอดคล้องกับอนาคตที่มีการลดการปล่อยมลพิษที่ค่อนข้างจะเยาะ RCP 4.5 นำไปเทียบกับ ภาพจำลอง SRES จะจัดอยู่ในกลุ่ม B1
- RCP 2.6 เป็นการปล่อยมลพิษต่ำ RCP นี้ได้รับการพัฒนาโดย PBL Netherlands Environmental Assessment Agency ภายในปี 2100 (Detlef et al., 2011)



รูปที่1-1 Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios ต่างๆ

ที่มา: (http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html)

SRES Scenario เป็นรายงานฉบับที่ 4 เพื่อประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกในอนาคต คาดการณ์โดยการสร้างภาพจำลองโลกในอนาคต ตามการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม การเติบโตของ ประชากรและเทคโนโลยี แบ่งการจำลอง ดังนี้ (IPCC, 2007)

A1: อนาคตการเติบโตของทางเศรษฐกิจสูงขึ้น ประชากรโลกสูงสุด ในกึ่งศตวรรษจะมีการลดลงเล็กน้อยหลังจากนั้น ได้มีเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง มีการพัฒนาบุคลากร การปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัฒนธรรม และความแตกต่างของรายได้ (GDP) ระหว่างภูมิภาคลดลง

A2: อนาคตของโลกมีความหลากหลายขึ้น ประชากรเพิ่มขึ้น จะมีการพึ่งพาตัวเองมากขึ้น มีการพัฒนาเศรษฐกิจ ทำให้ภูมิภาคมีการเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนเทคโนโลยีช้ากว่าแบบอื่นและกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค

B1: อนาคตของประชากรเพิ่มสูงสุดในกึ่งศตวรรษเช่นเดียวกับ A1 และจะลดลงหลังจากนั้น แต่โครงสร้างเศรษฐกิจเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วในเชิงของภาคบริการและภาคสารสนเทศ มีการใช้เทคโนโลยีสะอาด เน้นการแก้ปัญหาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับนานาชาติมีความเสมอภาค แต่ไม่ได้มีการนำเอาประเด็นด้านภูมิอากาศเข้ามาเป็นแรงจูงใจ

B2: เน้นการแก้ปัญหาระดับท้องถิ่น ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน ประชากรจะมีการเพิ่มอย่างต่อเนื่อง แต่น้อยกว่า A2 ที่เน้นในเรื่องการป้องกันสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่น ภูมิภาคจะมีประชากรโลกเพิ่มอย่างต่อเนื่อง แต่ในอัตราที่ต่ำกว่า A2 มีการพัฒนาเศรษฐกิจในระดับปานกลาง ส่วนการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีจะช้ากว่า B1 และ A1 โดยมีการคำนึงในการปกป้องสิ่งแวดล้อมและเสนอความเสมอภาคของสังคม โดยเน้นระดับท้องถิ่นและภูมิภาค

A1F1: เป็นการพัฒนาในเรื่องของการใช้พลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหินอย่างมาก

A1T: เป็นการพัฒนาในเรื่องของการที่ไม่ใช้พลังงานฟอสซิลเป็นหลัก แต่เป็นการนำเอาเทคโนโลยีอื่นๆ มาใช้

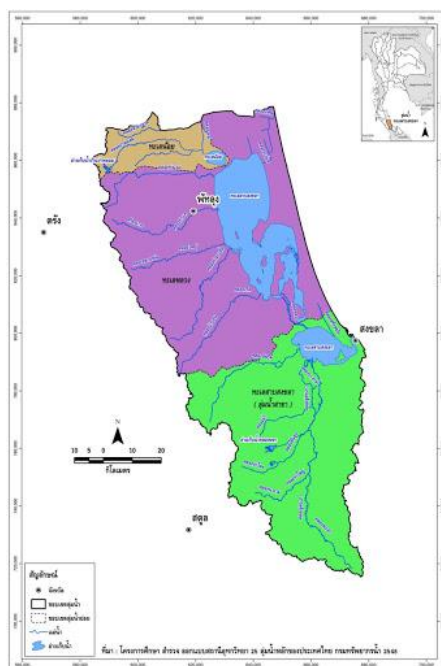
A1B: อนาคตการเติบโตทางเศรษฐกิจสูง ประชากรโลกสูงสุดในกึ่งศตวรรษ เมื่อเวลาผ่านไปก็จะลดลง ทำให้มีการพัฒนาความสมดุลของแหล่งพลังงานที่ใช้โดยไม่เน้นการใช้พลังงานจากฟอสซิลหรือพลังงานหมุนเวียนอย่าใดอย่างหนึ่ง แต่จะการใช้การผสมผสานระหว่างพลังงานทั้งสองแบบ (สถิต, 2557)

1.5.3 ทะเลสาบสงขลา

- ข้อมูลทั่วไปของทะเลสาบสงขลา

ทะเลสาบสงขลาเป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่แห่งเดียวของประเทศไทยที่เป็นทะเลสาบแบบลากูน (Lagoon) มีระบบนิเวศเป็น 3 น้ำ คือ น้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม มีพื้นที่รวมประมาณ 8,484.35 ตารางกิโลเมตร จะแบ่งตามความยาวจากทิศเหนือที่ติดลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออกจรดทิศใต้ที่ติดกับ

ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออกและลุ่มน้ำตาปีประมาณ 150 กิโลเมตร และจากทิศตะวันออกติดอ่าวไทยจรดทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตกประมาณ 65 กิโลเมตร เป็นแผ่นดิน (รวมเกาะ) ประมาณ 7,652.81 ตารางกิโลเมตรและเป็นพื้นที่ทะเลสาบประมาณ 831.54 ตารางกิโลเมตร ซึ่งพื้นที่ของทะเลสาบจะครอบคลุม 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง และจังหวัดสงขลา (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2555)



รูปที่ 1-2 ทะเลสาบสงขลา

ที่มา: เว็บไซต์ศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ (<http://mekhala.dwr.go.th/knowledge-basin-songkla.php>)

ทะเลสาบสงขลาจะแบ่งออก ได้เป็น 4 ตอน (ดังรูปที่ 1-2) คือ

1. ทะเลน้อย ตั้งอยู่ทางตอนบนสุดของทะเลสาบสงขลาในเขตจังหวัดพัทลุง มีพื้นที่ประมาณ 27 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 1.2 เมตร เป็นทะเลสาบน้ำจืด จะมีคลองต่างๆเชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนบน ได้แก่ คลองนางเรียม คลองบ้านกลาง และคลองยวน
2. ทะเลสาบตอนบน (ทะเลหลวง) เป็นส่วนที่ถัดมาจากทะเลน้อยลงมาถึงไปตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระแสดินธุ์ จังหวัดสงขลา ทางฝั่งตะวันออกของทะเลสาบ และบ้านแหลมจองถนน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง มีพื้นที่ประมาณ 473 ตารางกิโลเมตร มีความลึก 2 เมตร จะเป็นห้วงน้ำจืดที่มีความกว้างที่สุดของทะเลสาบสงขลา แต่ในฤดูแล้งจะพบปัญหาในเรื่องการบุกรุกของน้ำเค็มโดยมีค่าอยู่

ในช่วง 0 - 11.1 psu (Emsong Project, 1998) ค่า pH สูงถึง 9 ในช่วงเข้ามิด ปริมาณ DO น้อยกว่า 3 mg/l ตอนกลางวันปริมาณ DO สูง 13 mg/l (ยงยุทธ, 2012)

3. ทะเลสาบตอนกลาง (ทะเลสาบ) อยู่ถัดจากทะเลสาบตอนบนลงมา ตั้งแต่ตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระแสดินธุ์ จังหวัดสงขลา ทางใต้ไปบรรจบกับบริเวณบ้านปากกรอ ตำบลปากกรอ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 360 ตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร จะมีเกาะต่างๆ อยู่บริเวณทะเลสาบสงขลา ได้แก่ เกาะสี่-เกาะห้า เกาะหมาก เกาะนางคำ ทะเลสาบสงขลาส่วนนี้จะมีน้ำที่เกิดจากการผสมผสานของน้ำจืดและน้ำเค็มโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 32.0 psu (Emsong Project, 1998) ค่า pH บริเวณนี้ 7 - 8.3 และปริมาณ DO 5 - 7 mg/l (ยงยุทธ, 2012) ระบบนิเวศของบริเวณนี้เป็นทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย

4. ทะเลสาบตอนล่าง (ทะเลสาบสงขลา) เป็นส่วนล่างสุดที่เริ่มจากตำบลปากกรอ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลาเชื่อมต่อกับทะเลอ่าวไทย มีพื้นที่ประมาณ 182 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร ยกเว้นส่วนที่เป็นพื้นที่ของปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาเพื่อใช้ในการเดินเรือที่ติดกับอ่าวไทย จะลึกประมาณ 12-14 เมตร ทะเลสาบสงขลาส่วนนี้จะเป็นน้ำเค็มโดยมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 0 - 33 psu (Emsong Project, 1998) ค่า pH เฉลี่ย 8.93 และค่าปริมาณ DO 3.73 ± 0.20 mg/L (ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง, 2552) แต่ในช่วงฤดูฝนจะเป็นน้ำกร่อย เพราะทะเลสาบส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลขึ้นน้ำลงมากกว่าส่วนอื่น

- ปัญหาของทะเลสาบสงขลา

ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง ได้ออกสำรวจในพื้นที่ทะเลสาบสงขลา เมื่อปี 2553 ได้พบการแพร่กระจายของสาหร่ายหนามสกุล *Najas sp.* อย่างหนาแน่นและมีอาณาเขตปกคลุมกว้างขวาง แต่จะเป็นแค่ช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น หลังจากนั้นสาหร่ายชนิดนี้ก็จะหายไปโดยไม่ทราบสาเหตุ จากปัญหาดังกล่าวจะทำให้ทะเลสาบสงขลา เกิดการสัจจรของเรือเข้าได้ยาก ยังส่งผลทำให้ในน้ำมีธาตุอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Eutrophication ซึ่ง Sompongchaiyakul et al., (2004) อธิบายว่าปรากฏการณ์ Eutrophication เป็นสภาวะที่มีความเข้มข้นของปริมาณธาตุอาหารสูง ในระบบนิเวศของน้ำและมักเป็นปัญหาหลักในการจัดการคุณภาพน้ำของทะเลสาบ แม้ว่าปรากฏการณ์ Eutrophication เป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่มีการเพิ่มขึ้นของสารอาหารและสารอินทรีย์ของทะเลสาบ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในทะเลสาบสงขลามานานกว่า 20 ปี

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 ปี 2549 ได้สำรวจคุณภาพน้ำผิวดินรอบบริเวณทะเลสาบสงขลา ทำให้พบปัญหาน้ำเสีย ซึ่งปัญหานี้เกิดมาจากน้ำทิ้งของชุมชน แหล่งอุตสาหกรรม และแหล่ง

เกษตรกรรม ที่มีปล่อยน้ำทิ้งลงในทะเลสาบสงขลา ในปริมาณมาก ส่งผลทำให้น้ำในทะเลสาบเน่าเสีย ก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ และยังสร้างความเดือดร้อนรำคาญแก่ประชาชนผู้อยู่อาศัยบริเวณ ทะเลสาบสงขลา

นิคม, (2012) ได้ศึกษาปรากฏการณ์ Eutrophication ปัญหาภาวะทางน้ำในทะเลสาบ สงขลาอธิบายถึงผลกระทบปรากฏการณ์ Eutrophication ดังนี้

1. ค่าความเป็นกรด-ด่างและออกซิเจนที่ละลายน้ำในเวลากลางวันมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากระดับปกติ และการผันแปรของความเป็นกรด-ด่างและออกซิเจนที่ละลายน้ำในรอบวัน
2. ลดความสามารถของแสงในการส่องผ่านลงไปใต้น้ำ ในช่วงฤดูร้อน ทะเลหลวงมีค่าความโปร่งแสงของน้ำต่ำกว่าทะเลสาบส่วนอื่นๆ ส่วนช่วงฤดูฝนทะเลหลวงมีค่าความโปร่งแสงกลับสูงขึ้นในขณะที่ค่าความโปร่งแสงในทะเลสาบส่วนอื่นๆ
3. ทำให้เกิดการตายของปลาในทะเลสาบสงขลา ตั้งแต่ปี 2540 เป็นต้นมา มีปริมาณการตายของปลาในทะเลสาบสงขลาเกือบทุกปี โดยเฉพาะในปี 2540 นั้นเป็นเหตุการณ์รุนแรงกว่าเมื่อเทียบกับปีอื่นๆ ตั้งแต่เกาะใหญ่ไปจนถึงโรงสูบน้ำชลประทานระโนด และในปี 2543 ยังพบปริมาณการตายของปลาในทะเลสาบสงขลา 2 ครั้ง ครั้งแรกในเดือนเมษายน และครั้งที่สองในเดือนตุลาคม และยังพบการตายของปลาเป็นจำนวนมากที่เป็นครั้งแรกนั้นอยู่ในทะเลหลวงอีกด้วย และเมื่อปี 2540 พบปริมาณการตายของปลาที่เป็นจำนวนมากในเดือนตุลาคม บริเวณหมู่ที่ 1 และ 2 ตำบลคูชูด อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ส่วนปี 2544 ได้รับแจ้งว่ามีปริมาณการตายของปลา บริเวณระหว่างเกาะใหญ่กับเกาะสี่-เกาะห้าช่วงระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม และในปีเดียวกันยังพบในช่วงเดือนพฤศจิกายนแต่เกิดในทะเลสาบตอนนอก ดังนั้นปริมาณการตายของปลาในทุกๆ ปีส่วนใหญ่จะเป็นปลากดน้ำจืดชาวบ้านเรียกกันทั่วไปว่า ปลากดหัวอ่อน หรือปลากดหัวมิ่ง และปลาอื่นๆ เช่น ปลาสวาย ปลาหัว ปลาตุ๊กทะเล และปลาแขยง

การเพิ่มจำนวนและการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วของพืชน้ำ พบว่าเมื่อเดือนกรกฎาคม 2545 พืชน้ำจำพวกสาหร่ายหนาม (*Najas indica*) มีการเจริญเติบโตและแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างในทะเลสาบตอนกลางซึ่งสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ Eutrophication ที่เกิดขึ้นแม้ว่าปัจจัยความเค็มของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายหนามโดยเฉพาะเมื่อสาหร่ายหนามตายลงที่เกิดจากปริมาณความเค็มที่สูงของน้ำจึงไม่เหมาะสม และผลกระทบของสาหร่ายหนามต่อคุณภาพน้ำก็ยังเป็นเรื่องที่น่ามีการศึกษาวิจัยต่อไป

นิคม และ ยงยุทธ, (2548) ได้ทำการศึกษาสภาวะปรากฏการณ์ Eutrophication ในทะเลสาบสงขลาได้ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำรายเดือนระหว่างปี 2535 จนถึงปี 2546 จากการศึกษาเก็บตัวอย่างน้ำในสถานีต่างๆของทะเลสาบสงขลา 21 สถานี โดยแบ่งเป็น 3 บริเวณ คือ ทะเลหลวง ทะเลสาบตอนกลาง และทะเลสาบตอนนอก และยังทำการเก็บตัวอย่างโดยแบ่งฤดูกาลในรอบปี ได้แก่ ฤดูแล้ง (ก.พ. - เม.ย.) ฤดูฝนน้อย (พ.ค. - ต.ค.) และฤดูฝนตกชุก (พ.ย. - ม.ค.) พบว่า ปริมาณ ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll : Chl *a*) ของทะเลหลวงมีค่า 88.4 % ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทำให้เป็นการบ่งชี้ถึงการเกิดปรากฏการณ์ Eutrophication ขณะที่ทะเลสาบตอนกลางและทะเลสาบตอนนอกมีปริมาณ Chl *a* มีค่า 33.6 และ 34.9 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ความเป็นไปได้ในการเกิดปรากฏการณ์ Eutrophication ในทะเลหลวงที่มีค่าสูงทุกฤดู (มากกว่า 85 %) ส่วนในทะเลสาบตอนกลางและทะเลสาบตอนนอกความเป็นไปได้ในการเกิดปรากฏการณ์ Eutrophication เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในฤดูฝนชุก ดังนั้นผลของการเกิดปรากฏการณ์ Eutrophication ทำให้มีค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen: DO) และ pH ในช่วงเวลากลางวันมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้ความโปร่งแสงของน้ำมีค่าลดต่ำลง จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า ปรากฏการณ์ Eutrophication เป็นปัญหาสำคัญของทะเลสาบสงขลา และการลดปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาอาจเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์ Eutrophication อีกด้วย

1.5.4 ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารจำพวก ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนซึ่งธาตุอาหารจำพวกนี้จะมีสำคัญต่อพืช เพื่อให้พืชได้นำไปใช้ในการเจริญเติบโต เพราะพืชน้ำ และสาหร่ายที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นจะเป็นแหล่งอาหารชั้นต้นของห่วงโซ่อาหาร ส่วนตอนกลางคืนพืชจะใช้ออกซิเจนในการหายใจและปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ นับได้ว่าเป็นการเพิ่มผลผลิตของให้แก่พืช เป็นอาหารให้แก่สิ่งมีชีวิตจำพวก ปลา กุ้ง หอย ในแหล่งน้ำ แต่เมื่อธาตุอาหารมีปริมาณที่มากเกินไปเกิดการร่วมกับสารอินทรีย์ทำให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจนส่งผลกระทบต่อสมดุลของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ และคุณภาพน้ำ ได้แก่ สีของน้ำ ความขุ่นของน้ำ ที่สารเคมีใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ (Chemical oxygen demand: COD) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Biochemical Oxygen demand: BOD) ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved oxygen: DO) ค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide: H₂S) ค่าคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll: Chl) ค่าไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen: TN) และค่าฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus: TP) เมื่อพืชน้ำมีการเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีการแย่งธาตุอาหารและ ออกซิเจน ในแหล่งน้ำ จึงส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ Eutrophication ซึ่งจะมี

ปริมาณ ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved oxygen: DO) สูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำ แต่ตอนกลางคืนระดับ ออกซิเจนก็จะลดลง (ขนิษฐา, 2554)

มีงานวิจัยของ O'Here et al., (2010) ได้ทำการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ Eutrophication ที่ส่งผลต่อพืชน้ำ และ Flow impedance ได้รับการประเมินในแม่น้ำ 14 แห่งทั่วสหราชอาณาจักร เขาเก็บตัวอย่างพืชน้ำ Ranunculus subgenus Batrachium ในเดือนกรกฎาคมที่แม่น้ำ 14 แห่งในอังกฤษและสกอตแลนด์ตอนใต้ในบริเวณที่มีความสัมพันธ์ระหว่างพืชน้ำและ Flow impedance เขาทำการประเมินพืชน้ำกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของคาร์บอนและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย พบว่าพืชน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ และค่าฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus: TP) เขาได้ทำการวิเคราะห์การถดถอยหลายครั้ง เพื่อแสดงให้เห็นว่าจากตัวอย่างของนี้มีหลักฐานว่าชีวมวลของพืชน้ำเพิ่มขึ้นด้วยความเข้มข้นของ SRP และยังเพิ่มขึ้นกับปริมาณของคาร์บอนเป็น ไบคาร์บอเนต (Bicarbonate: HCO_3) สำหรับความเข้มข้นที่กำหนดของ SRP ในน้ำ ดังนั้นการค้นพบปรากฏการณ์ Eutrophication ทำให้พืชน้ำที่จมอยู่ใต้น้ำในแม่น้ำสหราชอาณาจักรเพิ่มขึ้น เป้าหมายในปัจจุบันสำหรับการลดลงของฟอสฟอรัสอาจไม่เพียงพอและผู้จัดการควรตระหนักว่าปรากฏการณ์ Eutrophication สามารถทำให้ความเสี่ยงต่อน้ำท่วมสูงขึ้นด้วยการยกระดับการปลูกพืชน้ำ

1.5.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะเป็นปัจจัยสำคัญในการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชน้ำ คือ จะเป็นตัวควบคุมขบวนการ Metabolism ในการสร้างพลังงานให้แก่พืชน้ำ ในขบวนการผลิตแป้งและขบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ การพักตัว ให้แก่พืช เพื่อเอาไปใช้ในการงอกต้นใหม่ไปจนกระทั่งพืชน้ำออกดอกออกผล ขบวนการ Metabolism จะเกิดขึ้นได้ดี ต้องมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15 – 40 °C หากมีอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป ขบวนการ Metabolism ต่างๆจะเกิดได้ช้า ซึ่งพืชน้ำแต่ละชนิดจะเจริญเติบโตที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันไปของแต่ละพืชน้ำ ซึ่งอุณหภูมิที่พืชน้ำนำไปใช้จะแบ่งเป็น (สังคม, 2549)

- อุณหภูมิอากาศจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจ จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งซึ่งเรียกว่าระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 30-35 °C

- อุณหภูมิของดิน จะมีผลต่อรากในการดูดน้ำ ดูดแร่ธาตุอาหารทำให้รากมีการเจริญเติบโตขึ้น หากอุณหภูมิของดินต่ำ จะทำให้พืชน้ำแห้งเหี่ยว เพราะรากจะดูดน้ำได้ช้า และจุลินทรีย์ในดินทำ

กิจกรรมลดลงด้วย ทำให้พืชน้ำได้รับสารอินทรีย์น้อย หากอุณหภูมิของดินสูง จะส่งผลทำให้มีการเจริญเติบโตของรากที่ยืดยาวมากขึ้น

- ความเค็ม

ความเค็มจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ ส่งผลต่อกระบวนการ Metabolism ของพืชน้ำ เช่น ทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชลดลง การหายใจของพืชถูกใช้อย่างจำกัด และไปยับยั้งการดูดธาตุอาหารอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสมดุลของประจุ คือ เมื่อปริมาณประจุชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้นจะทำให้มีการดูดซึมของอีกประจุหนึ่งลดลง พบว่า เมื่อพืชดูดโซเดียมไปใช้มากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถดูดเอาโพแทสเซียมไปใช้เต็มที่ (วิจิตพล, 2553)

- ปริมาณออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจน (O_2) เป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำและใช้ในกระบวนการหายใจ ปริมาณของออกซิเจนในบรรยากาศนั้น มักจะคงที่ประมาณ 21 % และไม่มีผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงกรณีที่มีปริมาณออกซิเจนในเซลล์พืชน้ำมากเกินไป อาจก่อให้เกิดโฟโทเรสพิเรชัน (Photorespiration) ซึ่งทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

- ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

พืชน้ำใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ในการสังเคราะห์แสงในสภาพที่มีแสงและอุณหภูมิเหมาะสม อัตราการสังเคราะห์แสงจะขึ้นกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ถ้าหากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ มีความเข้มข้นสูงกว่าระดับน้ำเป็นเวลานานๆ ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เรียบเรียงประโยคนี้ใหม่

- ธาตุอาหาร ไนโตรเจน (Nitrogen) และฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ธาตุอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่พืชนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ ในขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ทำให้พืชใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งธาตุอาหารที่พืชต้องการ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โบแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก ทองแดง กำมะถัน โมลิบดีนัม สังกะสี คลอรีน โบรอน แคลเซียม เพราะความต้องการของพืชที่จะนำเอาไปใช้ประโยชน์แตกต่างกัน พืชจะนำธาตุอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมาใช้ในการเจริญเติบโตมากที่สุด

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่มากที่สุด เพราะมีองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก น้ำย่อย และคลอโรฟิลล์ (สังคม, 2549) ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและตั้งตัวได้เร็วในระยะแรก ควบคุมการเจริญเติบโตของใบ ลำต้น และยังทำหน้าที่ในการสร้างโปรตีนให้แก่พืชอีกด้วย เมื่อพืชขาดไนโตรเจน จะแสดงอาการที่เรียกว่า Chlorosis จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชเกิดการชะงัก

ซึ่งฟอสฟอรัสจะทำหน้าที่ในการนำพลังงาน (ATP) และเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มีฟอสเฟตเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช (สังคม, 2549) เพื่อการเจริญเติบโตของส่วนต่างๆของพืช

- ความเข้มแสง (Light Intensity)

แสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อขบวนการสังเคราะห์แสง ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแล้ว การตอบสนองของพืชต่อแสงนั้น ซึ่งความเข้มของแสง จะแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก ในพื้นที่เดียวกัน ความเข้มของแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น จนถึงเที่ยงวัน หรือในช่วงบ่าย จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงไปตามกระทั่งดวงอาทิตย์ตก บริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะมีความเข้มของแสงสูงที่สุดและค่อย ๆ ลดลงตามเส้นรุ้งที่มุ่งไปหาขั้วโลกในช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้ความเข้มของแสงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช ความเข้มของแสงที่เหมาะสมจะทำให้พืชใช้ในการหายใจเป็นปกติ การสังเคราะห์แสงจะมีอัตราสูง ทำให้มีปริมาณอาหารที่เพียงพอส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ดังนั้นระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน (สังคม, 2549) หากความเข้มของแสงไม่เพียงพอหรือต่ำเกินไปก็จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง แต่ถ้ามีปริมาณความเข้มของแสงที่มากเกินไป ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงต่ำ ส่งผลต่อการผลิตอาหารที่ไปเลี้ยงส่วนต่างๆของพืชน้อยลง ดังนั้นพืชได้รับสารอาหารที่น้อยลงด้วย ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชน้อยลงด้วย

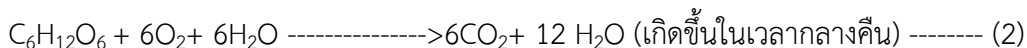
- pH

ในน้ำจะมีค่า pH แตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ ในแหล่งน้ำส่วนใหญ่ค่า pH จะอยู่ระหว่าง 5.00-9.00 พืชน้ำจะเจริญเติบโตได้ดีในแหล่งน้ำที่มีค่า pH ระหว่าง 6.5-7.5 (พัชรินทร์, 2557)

1.5.6 การสังเคราะห์ด้วยแสง

สมบุญ, (2544) กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญของพืชเพื่อใช้ในการผลิตสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืช เพราะกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นการที่พืชสีเขียวนำพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยทำการในรูปแบบพลังเคมี คือเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์

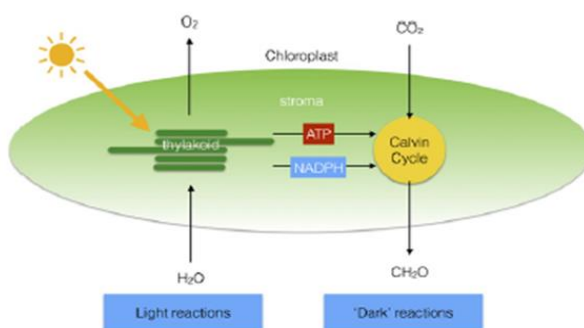
และน้ำให้เป็นคาร์โบไฮเดรตหรือน้ำตาลออกซิเจน และพลังงานในรูปสารอินทรีย์ ในเวลากลางวันพืช น้ำจะดูดกลืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) ส่วนในเวลากลางวัน ดูดกลืนก๊าซออกซิเจน (O_2) และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังสมการที่ (1) และ (2)



โดยใช้รังสีควัตถุจำพวกคลอโรฟิลล์ในการดูดกลืนพลังงานแสงสีม่วง น้ำเงิน แดงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 nm ซึ่งในการสังเคราะห์แสงของพืชจะแบ่งออกเป็น 2 ปฏิกริยา (รูปที่ 1-2) คือ

- ปฏิกริยาที่ต้องใช้แสง เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในไทลาคอยด์ (Thylakoid) บริเวณสโตรมา (Stroma) ในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) โดยที่รังสีควัตถุรับพลังงานแสง แล้วนำพลังงานนั้นมาใช้ในการสร้างสารที่มีพลังงานสูง โดยใช้พลังงานแสงในการแตกตัวของน้ำที่ เรียกว่าปฏิกริยาโพลีซิส หรือปฏิกริยาโฟโตออกซิเดชันซึ่งจะได้ไฮโดรเจนไอออน อิเล็กตรอน ออกซิเจน และสารพลังงานสูง จำพวก ATP และ NADPH เพื่อที่จะได้นำพลังงานจากโมเลกุลเหล่านี้ไปใช้ในการสร้างสารอินทรีย์ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป

- ปฏิกริยามืด หรือ Calvin cycle เป็นการสังเคราะห์น้ำตาลจากคาร์บอนไดออกไซด์โดยไม่ใช้แสงโดยตรง แต่เป็นการนำพลังงานจาก ATP และ NADPH ที่ได้จากปฏิกริยาที่ต้องใช้แสง เพื่อให้เกิดพลังงานไปเก็บไว้ในโมเลกุลสามารถนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ของพืชต่อไป รวมทั้งการสร้างสารชนิดอื่นๆ เกิดการเจริญเติบโต ตลอดจนเป็นแหล่งอาหารของผู้บริโภคลำดับถัดขึ้นไปปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นใน ในสโตรมาของ Chloroplast ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ Carboxylation Reduction และ Regeneration



รูปที่ 1-3 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ที่มา: Johnson, 2016

Field et al., (1998); Hemminga and Duarte, (2000) อธิบายว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงจะใช้ออกซิเจนประมาณ 45% ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตสารชีวเคมีทั้งหมดในระบบนิเวศทางทะเลและระบบนิเวศบนบกบนโลก ซึ่งปฏิกิริยาการในสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเริ่มต้นคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) เป็นโมเลกุลในการรับพลังงานจากแสง เพื่อสร้างสารอินทรีย์ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีนที่มีคอมเพล็กซ์ขนาดใหญ่ในชุดชั้นแสง ซึ่งพลังงานแสงดังกล่าวถูกแปลงให้เป็นพลังงานเคมีและแยกประจุของอิเล็กตรอน จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกลำเลียงผ่านและตาม Thylakoid membrane ผ่านชุดของตัวพาอิเล็กตรอนไปยัง Photosystem I (PSI) ซึ่งการไล่ระดับสีของ trans-membrane โปรตอนและการลดลงของ NADP⁺ ถึง NADPH และ ATP เกิดขึ้นผ่านการไล่ระดับโปรตอน อิเล็กตรอนก็ถูก resupplied จาก water-splitting complex ใน photosystem II (PSII) ซึ่งโมเลกุลของน้ำนั้นเกาะติดกันทำให้เกิดอิเล็กตรอน 4 ตัวและโปรตอน 4 ตัว สำหรับแต่ละโมเลกุลของ O₂ ที่สร้างขึ้น NADPH และ ATP ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเหล่านี้จะถูกลำเลียงไปใช้ในวัฏจักรคัลวิน (Calvin cycle) โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล อย่างไรก็ตามแสงที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงจะต้องแทรกซึมคอลัมน์น้ำ ดังนั้นแสงจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ

มีงานวิจัยประเมินประสิทธิภาพการสังเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดฟลูออโรมิเตอร์ (Pulse-amplitude-modulated (PAM) fluorometer) เป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่บ่งบอก Photosystem II (PSII) โดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ เมื่อทำใช้เครื่อง PAM วัดตัวอย่างในที่มีดสนิทปฏิกิริยา PSII ในสภาวะที่ไม่มีแสงบ่งชี้ถึงความเครียดของพืชน้ำ ซึ่งค่าที่ได้ คือ Maximum quantum yield สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F_v/F_m = F_m - F_o/F_m$$

โดยที่ F_m คือ ฟลูออเรสเซนซ์สูงสุด และ F_o คือ ฟลูออเรสเซนซ์ต่ำสุด (Krause and Weiss, 1991; Baker, 2008; Hanne and Soren, 2008)

หรือถ้าวัดพืชในที่มีความเข้มแสง มีการปรับตัวให้เข้ากับแสงของสภาพแวดล้อม บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของ Photosystem II ในสภาวะที่แสงปกติ เพื่อดูการตอบสนองของพืชน้ำ ซึ่งค่าที่ได้คือ Effective quantum yield (Φ_{PSII}) สามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$\Phi_{PSII} = (F_m' - F_t) / F_m'$$

โดยที่ F_t คือ ฟลูออเรสเซนซ์ต่ำสุดและ F_m' คือ ฟลูออเรสเซนซ์สูงสุด (Larkum et al., 2006)

Rapid Light Curves เป็นการประเมินกิจกรรมการสังเคราะห์แสง บ่งบอกลักษณะความอิ่มตัวเชิงแสงการขนส่งอิเล็กตรอนรวมถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงโดยรวมของพืชน้ำ โดยจะเป็นการ

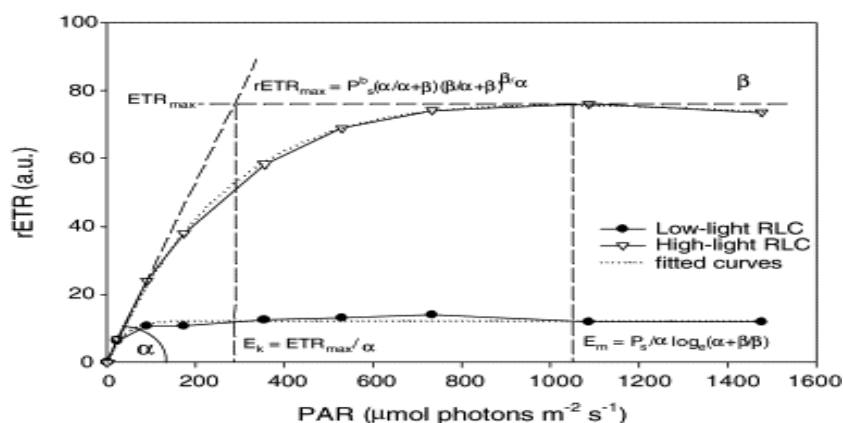
ยิงแสง Saturation pulse จำนวน 9 ครั้งไปที่หลังจากที่ฉายแสง Actinic light ที่ตัวอย่างทั้ง 9 ค่า ความเข้มข้นแสงเป็นระยะเวลาความเข้มข้นแสงละ 10 วินาที ดังนั้น Rapid Light Curves จะใช้เวลา รวมทั้งสิ้น 90 วินาที ค่าที่ได้จะเป็นค่า Effective quantum yield (Φ_{PSII}) ที่แสงความเข้มข้นต่างๆ จากน้อยไปมาก และสามารถคำนวณค่า Relative Electron Transport Rate (rETR) ที่แสงความเข้มข้นต่างๆ ได้ จากนั้นก็นำค่า Relative Electron Transport Rate มาทำกราฟตามวิธีการของ Ralph and Gademann, (2005) ด้วยโปรแกรม SigmaPlot version 12.5 เพื่อให้ได้ค่า พารามิเตอร์ ต่างๆ ได้แก่

- ค่า α คือความชันเริ่มต้นของค่า PAR ที่ต่ำสุด ได้มาจากค่าของ ETR และ PAR ที่เป็นตัวชี้วัดของ

ประสิทธิภาพควอนตัม Schreiber, (2004) ดังนั้นความชันเริ่มต้นของเส้นโค้ง เป็นสัดส่วนกับ ประสิทธิภาพของแสงการฉายแสง (Ralph, 2005)

- ค่า $rETR_{max}$ เป็นการวัดความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชหรืออัตราการขนส่ง อิเล็กตรอนสูงสุด (Schreiber, 2004)

ค่า I_k ได้มาจาก $rETR_{max} / \alpha$ คือการวัดจุดที่มีระดับความเข้มตัวของแสงสูงสุดหรือระดับ ความเข้มตัวของแสงต่ำสุด (Schreiber, 2004)



รูปที่ 1-4: Rapid Light Curve

ที่มา: Ralph and Gademann, 2005

ซึ่ง Ralph and Gademan, (2005) ได้ศึกษา Rapid Light Curves ที่เป็นเครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ของ *Zostera marina* ที่ปลูกภายใต้สภาพแสงน้อยและสภาพแสงสูง ที่ความเข้มแสง 50 และ 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ พบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ Rapid Light Curves ใน (α , E_k และ $rETR_{\text{max}}$) ใช้อธิบายถึงความสามารถในการสังเคราะห์แสงของ *Z. marina* ในการปรับตัวเชิงแสงและความสามารถในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงแสงในระยะสั้นรูปร่างของเส้นโค้ง F และ F_m ที่สอดคล้องกันยังให้ข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาของการไล่ระดับสีโปรตอนทรานส์ - ไทลาคอยด์และการกระจายพลังงานความร้อน ใบของ *Z. marina* ที่ได้รับแสงน้อยความสามารถในการสังเคราะห์แสงที่จำกัด ส่งผลให้กิจกรรมการสังเคราะห์แสงลดลงในขณะที่ใบของ *Z. marina* ได้รับแสงที่มากการสังเคราะห์ด้วยแสงของแสงสูงที่ไม่ถูกจำกัด ส่งผลให้กิจกรรมการสังเคราะห์แสงมีระดับสูงขึ้น

Chaloub et al., (2010) ได้ทำการศึกษาศสมบัติในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายทะเลในบราซิลจำนวน 3 ชนิด พบว่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายทะเลทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Ulva fasciata* Delile (สาหร่ายสีเขียว), *Lobophora variegata* (J. V. Lamouroux) Womersley ex E. C. Oliveira (สาหร่ายสีน้ำตาล) และ *Plocamium brasiliensis* (Greville) M. A. Howe และ W. R. Taylor (สาหร่ายสีแดง) แตกต่างกัน เมื่อถูกนำมาประเมินโดยใช้เครื่องวัดฟลูออโรมิเตอร์ (Pulse-amplitude-modulated (PAM)) ทำการวัด Maximum quantum yield (F_v/F_m) อยู่ในช่วง 0.80 ถึง 0.51 พบว่า *P. Brasiliensis* ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงในที่มีลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ *L. Variegata* และ *U. Fasciata*

1.5.7 สาหร่ายพวงชะโด (*Ceratophyllum demersum* L.)



รูปที่ 1-5: สาหร่ายพวงชะโด

ชื่อทางวิทยาศาสตร์

Ceratophyllum demersum L.

Phylum	Plantae
Division	Tracheophyta
Class	Magnoliopsida
Order	Ceratophyllales
Family	Ceratophyllaceae
Genus	<i>Ceratophyllum</i> L.

สาหร่ายพวงชะโดมีแหล่งกำเนิดมาจากสหรัฐอเมริการวมทั้งรัฐทางตะวันตกทั้งหมด (Tomaso, 2013) และจะพบกระจายอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำที่อยู่ในเขตร้อนและเขตอบอุ่น พบในน้ำลึก 4.5 m (Nichols, 1999)

สาหร่ายพวงชะโดเป็นพืชใต้น้ำใบเลี้ยงเดี่ยว ลักษณะของลำต้นจะเป็นสีเขียวจะเป็นสายกลมยาวแตกกิ่งก้านสาขาแขวนลอยอยู่ใต้น้ำ ใบเป็นเส้นขอบใบจักฟันเลื่อยด้านเดียว เป็นเส้นขอบใบจักฟันเลื่อยด้านเดียวจะออกตามข้อของลำต้นจำนวน 7 – 12 ใบต่อหนึ่งข้อ กลีบดอก 8 – 12 กลีบ เกสรเพศผู้ 8 – 24 อัน ผลสีดำมีหนามแหลม 3 อัน บนต้นเดียวกัน จะออกดอกในช่วงฤดูร้อน (Nichols, 1999) สาหร่ายพวงชะโด มักจะเจริญเติบโตได้ดีที่มีสารอาหารในน้ำสูง สาหร่ายพวงชะโดจะทนต่อน้ำที่มีความขุ่น มีแสงน้อย ความเค็มต่ำ (Tomaso, 2013)

ส่วนประโยชน์ของสาหร่ายพวงชะโดนำมาใช้ทำปุ๋ย เพราะมีโปแตสเซียม ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช นำมาใช้ เป็นอาหารของสัตว์ ทั้งที่กินสาหร่ายโดยตรง หรือที่กินสัตว์อื่นที่กินสาหร่ายอีกต่อหนึ่ง (กิติเชษฐ และคณะ, 2552)

Dar et al., (2014) ได้รายงานเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของพืชน้ำ *C. demersum* พืชน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศน้ำจืด ซึ่งการแพร่กระจายขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ (1) แสงและอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งจะมึบทบาทสำคัญต่อ ผลผลิตภาพและองค์ประกอบของสายพันธุ์ (2) องค์ประกอบของดิน ตะกอน มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำ (3) คุณภาพน้ำและธาตุอาหารจะทำให้เกิดความแตกต่างในความอุดมสมบูรณ์ของชนิดองค์ประกอบและความหนาแน่นของพืชน้ำ (4) การลดลงของระดับน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงในองค์ประกอบของสายพันธุ์และการกระจายตัวของพืชน้ำ

C. demersum ที่มีการตอบสนองของอุณหภูมิที่ต่างกัน มีการนำ *C. demersum* มาเปรียบเทียบกับ *C. submersum* ซึ่งงานวิจัยของ Hyldgaard et al., (2014) ได้มีการทดลองโดยการนำ *C. demersum* และ *C. submersum* มาศึกษาการตอบสนองต่ออุณหภูมิในระยะสั้นและระยะยาว จะเห็นได้ว่า การเจริญเติบโตของ *C. demersum* มีการตอบสนองของอุณหภูมิในระยะสั้นจะเป็นรูปแบบที่สอดคล้องกับระยะยาว และ *C. submersum* จะมีการเจริญเติบโตดีในการเพิ่มของ

อุณหภูมิในระยะยาว ส่วนในการเพิ่มอุณหภูมิระยะสั้นจะไปยับยั้งการสังเคราะห์แสง แต่ *C. demersum* จะการเจริญเติบโตที่ดีอุณหภูมิปานกลาง ดังนั้นในการปรับตัวของ *C. demersum* และ *C. submersum* ที่อุณหภูมิต่างๆ จะแตกต่างกัน

Kitaya et al., (2003) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และความเข้มแสงที่มีต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ *C. demersum* เพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงเพื่อผลิตอาหารสัตว์ เพื่อสนับสนุนให้มีคุณค่าทางชีวภาพ นอกจากนี้สำหรับขนาดเล็กลีเซียที่จะนำมาผลิตอาหารแล้ว ก็ยังมีพืชน้ำที่สามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้ ผลการศึกษาพบว่า สังเคราะห์แสงสุทธิเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ Photosynthetic photo flux density (PPFD) ถึงจุดอิ่มตัวที่ระดับ PPFD 200 และ $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ภายใต้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ 1.0 และ $3.0 \text{ mmol mol}^{-1} \text{CO}_2$ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเพิ่มขึ้นเมื่อระดับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้นจาก 0.3 ถึง $3.0 \text{ mmol mol}^{-1} \text{CO}_2$ และถึงจุดสูงสุด ($75 \text{ nmol ออกซิเจน g DW}^{-1} \text{s}^{-1}$) ที่ระดับออกซิเจน 2-3 $\text{mmol mol}^{-1} \text{CO}_2$ จากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง เมื่อระดับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มจาก 3.0 ถึง $10 \text{ mmol mol}^{-1} \text{CO}_2$ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า *C. demersum* อาจเป็นตัวแปลงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไปเป็นออกซิเจน (O_2) ที่มีประสิทธิภาพ ภายใต้ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) $2.0 \text{ mmol mol}^{-1} \text{CO}_2$ และระดับ PPFD ที่ค่อนข้างต่ำในระบบโมดูลที่ใช้การผลิตอาหารสัตว์น้ำ

1.5.8 สาหร่ายดอกกุล (*Elodea canadensis*)



รูปที่ 1-6 *Elodea canadensis*

ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Elodea canadensis*

Kingdom: Plantae

Clade: Tracheophytes
 Clade: Angiosperms
 Clade: Monocots
 Order: Alismatales
 Family: Hydrocharitaceae
 Genus: Elodea
 Species: *Elodea canadensis*

E. canadensis สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำกร่อยและที่มีความเค็มสูง (Sand-Jensen, 2000) ลักษณะของใบจะมน ขนาดของใบกว้าง 1.75 mm. ขึ้นไป ความยาวใบมีขนาดน้อยกว่า 5 มม. มีก้านใบประมาณ 2-8 ใบ อยู่ในข้อเดียวกันที่ลำต้น ตรงยอดจะมีก้านใบซับซ้อนกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Bowmer et al., 1995) ดอกมีสีขาวหรือสีม่วงอ่อนขนาดเล็กชูอยู่บนพื้นผิวน้ำ ผลจะมีลักษณะเป็นรูปวงกลมขนาดเล็กอยู่ตรงข้อบนใบเรียงกัน 3-4 ผล (Zehnsdorf et al., 2015) ได้ทำการศึกษา *E. nuttallii* และ *E. canadensis* ซึ่งสองสายพันธุ์นี้เป็นพืชน้ำที่ได้รับความสนใจ จะมีลักษณะจมอยู่ใต้น้ำ จะมีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วมาก พืชน้ำสองสายพันธุ์นี้จะอยู่ในบริเวณทะเลน้ำจืดทางยุโรป เอเชีย และออสเตรเลียจำนวนมาก การทบทวนครั้งนี้เพื่อที่จะสรุปความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันเกี่ยวกับวิธีการควบคุม *E. nuttallii* และ *E. canadensis* ภายใต้โปรแกรมการจัดการวัชพืชน้ำ และได้อธิบายว่าพืชน้ำทั้งสองสายพันธุ์นี้มีอิทธิพลต่อการเติบโตสูงต่อสภาพแวดล้อมที่มีหลากหลาย และปัจจัยความเครียดอื่น ๆ ศักยภาพในการแพร่กระจายของพืชน้ำทั้งสองชนิดนี้สูงและมีความต้านทานต่อกระบวนการจัดการวัชพืชน้ำธรรมชาติทั่วไปค่อนข้างสูง ดังนั้นความเป็นไปได้สำหรับการใช้ประโยชน์ชีวมวลจากตระกูล *Elodea* ที่เก็บเกี่ยวอย่างต่อเนื่อง และนำเสนอแนวทางใหม่ ๆ ในการปรับปรุงการติดตาม ตรวจสอบ และการจัดการแพร่กระจายของพืชน้ำตระกูล *Elodea*

1.6 งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

Madsen et al., (2001) ได้ทบทวนเอกสารผลของการเคลื่อนที่ของน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอนต่อพืชน้ำ โดยมี 4 ประเด็นหลักที่ คือ ผลของการเคลื่อนที่ของน้ำต่อพืชน้ำ ผลกระทบของพืชน้ำต่อการเคลื่อนที่ของน้ำ ผลของพืชน้ำต่อการตกตะกอน และ ความสัมพันธ์ระหว่าง Sediment resuspension กับพืชน้ำ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การไหลของน้ำที่ความเร็วต่ำและปานกลางมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ ความอุดมสมบูรณ์ และความหลากหลายของพืชน้ำ แต่เมื่อการไหลของน้ำ

มีความเร็วสูงเกินไป จะลดการเจริญเติบโตของพืชน้ำ ในทางกลับกันทำให้เกิดตะกอนลดลง ความชุ่มชื้นลดลงช่วยเพิ่มแสงให้กับ พืชน้ำในการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พืชน้ำมีผลต่อการกระจายองค์ประกอบและขนาดอนุภาคของตะกอนทั้งในน้ำจืดและทะเล ดังนั้น การปรับสภาพแวดล้อมทางทะเลและน้ำจืดด้วยพืชน้ำจะส่งผลดีต่อระบบนิเวศ ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพิ่มเสถียรภาพตะกอน ลดตะกอนแขวนลอย ลดการกัดเซาะ และลดความชุ่มชื้นของน้ำ

Tavechio and Thomaz, (2003) ได้ศึกษาผลของความเข้มแสง ต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของ *Egeria najas* Planchon จาก Itaipu Reservoir Brazil-Paragua โดยการทดลองนำ *E. najas* จากอ่างเก็บน้ำกึ่งเขตร้อนมาเลี้ยงในความเข้มแสงที่ 0 – 124 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ผลการศึกษา คือ *E. najas* จะมีการสังเคราะห์แสงสูงสุด และมี Light compensation point ที่ช่วงความเข้มแสงที่ 6 – 22 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ แสดงให้เห็นว่า *E. najas* มีความต้องการแสงน้อยสำหรับการเจริญเติบโต แสงจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นและรากแต่ไม่ส่งผลต่ออัตราส่วนของรากต่อต้น

Heide et al., (2006) ได้ทำการศึกษาศมการ สำหรับการอธิบายผลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ การศึกษานี้ได้ทำการพัฒนาสมการแบบง่ายๆ มาอธิบายการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืชน้ำ โดยได้มีการทดลองในพืชน้ำ 3 ชนิด คือ *Lemna minor*, *Salvinia molesta* และ *Azolla filiculoides* ได้ควบคุมอุณหภูมิของน้ำคือ 11, 15, 19, 25, 29, 33 และ 38 °C ซึ่งพบว่า การเจริญเติบโตของพืชน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง แล้วจากนั้นการเจริญเติบโตของพืชน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไปอีก โดยพืชน้ำ *L. minor* และ *A. filiculoides* ตายที่อุณหภูมิ 38 °C ซึ่งสมการ 3 ตัวแปรที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประเมินอุณหภูมิที่ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตต่ำสุดและสูงสุดได้

Ma et al., 2009 ได้ศึกษาการตอบสนองของ *E. nuttallii* และ *C. demersum* ที่อุณหภูมิสูงในบริเวณ Yangtze River, China ซึ่งจะมี *E. nuttallii* ลดลงเป็นจำนวนมากในฤดูร้อน ดังนั้นจึงมีการศึกษาการทนความร้อนของ exotic species *E. nuttallii* ร่วมกับ *C. demersum* ที่เป็นพืชน้ำพื้นเมือง โดยนำมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ภายใต้ความเข้มแสง 83.333 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 35 และ 39 °C ซึ่งพบว่า *E. nuttallii* ที่เลี้ยงที่อุณหภูมิ 39 °C มีอัตราการเจริญเติบโตในทางบวกในช่วง 15 วันแรก และอัตราการเจริญเติบโตจะสูงกว่าพืชน้ำที่เลี้ยงที่อุณหภูมิ 35 °C แต่หลังจาก 15 วัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำชนิดนี้จะติดลบทั้งในสองชุดการทดลอง ภายใต้สภาวะเดียวกันพบว่า อัตราการเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *E. nuttallii* สูงกว่าของ *C. demersum* และความทนทานต่อความร้อนของ *E. nuttallii* ยังแข็งแรงกว่าของ *C. demersum* นอกจากนี้ ยังพบว่า พืชน้ำ *E. nuttallii* เจริญเติบโตดีกว่า เมื่อเลี้ยงในน้ำประปาที่มี

ดินเมื่อเทียบกับการเลี้ยงใน 1/5 Hoaglands solution ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าธาตุอาหารในน้ำมีความสำคัญต่อการทนทานความร้อนของพืชน้ำในช่วงฤดูร้อนของจีน

Ejankowski and Solis, (2014) ได้ศึกษาการตอบสนองของพืชน้ำ ต่อระดับน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยวัดได้จากปริมาณชีวมวล ระดับความลึกที่พบพืชน้ำ และความถี่ในการพบพืชน้ำชนิดนี้นอกจากนี้ยังทำการประเมินความเข้มแสง ความขุ่น ปริมาณแพลงก์ตอนพืช และปัจจัยทางกายภาพต่างๆ เพื่อที่จะประเมินปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ เนื่องจากช่วงปลายฤดูร้อนจะมีการแผ่รังสีโลกต่ำ ดังนั้นความเข้มแสงในช่วงนี้จะลดลง แต่ก็ยังอยู่ในช่วงที่พืชน้ำชนิดนี้ทนได้เนื่องจากมีระดับน้ำที่ต่ำลงเมื่อเทียบกับช่วงก่อนหน้านี้ ชีวมวลและระดับความลึกที่พบพืชน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับน้ำลดลง ซึ่งจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสามารถใช้ในการจัดการพืชน้ำและคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำได้

Cao and Ruan, (2015) ได้ศึกษาการตอบสนองของพืชน้ำ *Vallisneria natans* ต่อการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งได้อธิบายว่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และอุณหภูมิจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชน้ำ จึงทำให้มีการศึกษานำ *V. natans* เป็นพืชที่พบทั่วไปในแม่น้ำแยงซี โดยใช้ Mesocosm experiment ในระบบที่ควบคุมคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และอุณหภูมิ การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชุดการทดลองทำให้ปริมาณอนินทรีย์คาร์บอนในน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิได้เพิ่มไป $3\text{ }^{\circ}C$ ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของ *V. natans* มากขึ้น เมื่อเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร่วมกับอุณหภูมิที่สูงขึ้นก็จะช่วยสนับสนุนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต แต่การที่อุณหภูมิสูงขึ้นเพียงอย่างเดียวก็จะทำให้มวลชีวภาพของ *V. natans* ลดลง การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทำให้มีการเจริญของราก และยอดเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีการเจริญของใบลดลง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการตอบสนองทางนิเวศสรีรวิทยาของ *V. natans* อาจไปเพิ่มความทนทานต่อความเครียดของพืชในสังคมพืชน้ำ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของระดับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอนาคต

Frederick et al., (2016) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ผลกระทบต่อพืชดั้งเดิมและพืชใหม่ ได้อธิบายว่า ชุมชนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ดั้งเดิมและเกิดขึ้นใหม่ ได้รับการประเมินเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (GCC) โดยมุ่งเน้นไปที่หญ้าทะเล พืชน้ำจืดที่จมอยู่ใต้น้ำ พืชน้ำขึ้นน้ำลง พืชในบึงน้ำจืด และป่าชายเลน ได้ทำการประเมินความเหมือนและความแตกต่างในการตอบสนองของชุมชนพืชต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ UV-B การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการคาดการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

กับ GCC การตอบสนองต่อตัวแปรการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่จะคล้ายกับชุมชนพืชที่จมอยู่ใต้น้ำทางทะเลหรือน้ำจืดมากกว่าชุมชนที่จมอยู่ใต้น้ำและชุมชนที่เกิดใหม่ พืชที่จมอยู่ใต้น้ำได้รับผลกระทบมากที่สุดจากการเพิ่มของอุณหภูมิและผลกระทบทางอ้อมต่อความไวของน้ำ ชุมชนพืชลูกฉิน (บึงและป่าชายเลน) จะตอบสนองโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยา ชุมชนพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ ภาพรวมดูเหมือนจะได้รับผลกระทบโดยตัวแปรการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมนกเว้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เพิ่มขึ้นในชั้นบรรยากาศและมหาสมุทร ซึ่งในกรณีส่วนใหญ่เพิ่มการสังเคราะห์ด้วยแสง ผลกระทบของ GCC ในชุมชนเหล่านี้ทั้งหมดได้รับการเห็นแล้วพร้อมกับคนอื่น ๆ ที่คาดการณ์ไว้รวมไปถึง การเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบของสายพันธุ์ การเปลี่ยนแปลงในระยะ การกระจาย และการลดลงของความอุดมสมบูรณ์ของพันธุ์พืช ผลกระทบอื่น ๆ มีความสัมพันธ์กับประเภทชุมชนเฉพาะ เช่น ที่อยู่อาศัยของดินเค็มที่สูญเสียไปจากการบุกรุกของป่าชายเลน และการลดลงของการปกคลุมของพืชน้ำที่จมอยู่ใต้น้ำ ในทะเลสาบและปากแม่น้ำที่ถูกทำให้รุนแรงโดยปรากฏการณ์ Eutrophication การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทำให้เกิดภัยคุกคามต่อชุมชนพืชน้ำทั้งหมดในบริเวณใกล้เคียงของมหาสมุทรและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสภาพอากาศและความเค็มจะส่งผลกระทบต่อคนจำนวนมาก โดยรวมแล้วการสูญเสียมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในชุมชนพืชพื้นที่ชุ่มน้ำเหล่านี้ แต่สายพันธุ์ของพวกมันสามารถปรับให้เข้ากับ GCC ในระดับที่สามารถจัดการและป้องกันได้ดี

Hreeb., 2017 ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำ ต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ *S. natans* และ *C. demersum* การศึกษานี้ได้ *S. natans* และ *C. demersum* มาจาก Shatt Al-Arab River มาเลี้ยงไว้ในตู้เลี้ยงภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ 12, 22 และ 32 °C พบว่าอุณหภูมิส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ และชีวมวล ของพืชทั้งสองชนิด *C. demersum* มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่า *S. natans*

บทที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1.1 การทดลองที่ 1: ศึกษาผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายพวงชะโด (*Ceratophyllum demersum*) และ สาหร่ายดอกกุหล (*Elodea canadensis*)

2.3.1.1 การออกแบบการทดลอง ดังนี้

สุ่มเก็บตัวอย่างตัวของ *C. demersum* และ *E. canadensis* ด้วยมือ จากทะเลสาบสงขลา ตอนกลาง (70° 28' 09.0" N, 100° 23' 45.0" E) ดังรูปที่ 2-1 และทำการเลี้ยงไว้ในตู้ปลา (40 ลิตร) ด้วยน้ำ Deionized (DI) ผสม Hoagland solution อัตราส่วน 9:1 ที่อุณหภูมิ 30 °C ปริมาณแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิน้ำและปริมาณแสงเฉลี่ยที่พบในทะเลสาบสงขลา ในรอบแสงที่มีแสง:มืด (L:D) 12 : 12 ชม เปิดไฟตอน 8.00 น. และปิดไฟตอน 20.00 น. เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพของตัวอย่างจากนี้ ศึกษาผลของการลดลงของแสงและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ โดยมีการควบคุมปัจจัยทางกายภาพและเคมีอื่นๆ เพื่อให้สามารถศึกษาผลของแสงและอุณหภูมิได้โดยชัดเจน



รูปที่ 2-1 จุดเก็บตัวอย่างพืชน้ำ (70°28'09.0''N, 100°23'45.0''E)

ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นและการลดลงของแสง ตัวอย่างของพีชน้ำ (n = 4) ควบคุมให้อยู่ใน 9 ชุดการทดลอง (ตารางที่ 2-1)

ตารางที่ 2-1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ชุดทดลอง (n = 4)	อุณหภูมิ (°C)	แสง ($\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
1 (Control)	30	180
2	30	90
3	30	45
4	33 (+3 (RCP8.5 Scenario at 2081- 2100))	180
5	33 (+3 (RCP8.5 Scenario at 2081- 2100))	90
6	33 (+3 (RCP8.5 Scenario at 2081- 2100))	45
7	36 (+6 (IPCC 2013))	180
8	36 (+6 (IPCC 2013))	90
9	36 (+6 (IPCC 2013))	45

เลี้ยงตัวอย่างเป็นเวลา 2 เดือน ในรอบแสงที่มีแสง:มืด (L:D) 12:12 เปิดไฟตอน 8.00 น. และปิดไฟตอน 20.00 น. มีการเปลี่ยนน้ำ (20%) ทุกๆ สัปดาห์ น้ำที่ใช้เปลี่ยน คือ น้ำ Deionized : Hoagland solution (9:1) มีการตรวจวัดค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงทุกสัปดาห์นับจากเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจนของพีชน้ำ ทุก 2 สัปดาห์ วัดการเจริญเติบโตของพีชน้ำ ประเมินตอนเริ่มต้นและสิ้นสุดการ

ทดลอง คุณภาพน้ำ (ความเข้มข้นของไนเตรท (Nitrate: NO_2) ฟอสเฟส (Phosphate: PO_4^{3-}) ค่าออกซิเจนละลาย(Dissolved oxygen: DO) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (Conductivity) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) จะได้รับการประเมินก่อนและหลังเปลี่ยนน้ำทุกสัปดาห์

ตารางที่ 2-2 พารามิเตอร์และวิธีการวัดตัวอย่างของพืชน้ำในห้องปฏิบัติการ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง
% Cover ของพืชน้ำ	Quadrat ขนาด 0.5 x 0.5 ตารางเมตร
Maximum quantum yield	Pulse Amplitude Modulated (PAM) fluorometer (Junior PAM, Walz, Germany)
Effective quantum yield	
Morphology	ไม่บรรทัด
คลอโรฟิลล์พืชน้ำ	เก็บตัวอย่างใส่ถุงซิปล็อก เพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
ปริมาณสารอินทรีย์และคาร์บอนอินทรีย์	

2.1.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการลดลงของแสงต่อพืชน้ำในภาคสนาม

2.1.2.1 การออกแบบการทดลอง

ศึกษาผลกระทบของการลดลงของแสงทำการทดลองในทะเลสาบสงขลา (70 27' 55'' N, 1000 23' 48'' E) โดยใช้เฟรม PVC + แสตน ในการคุมปริมาณแสงในพื้นที่ทดลอง (plot ขนาด 0.5 เมตร x 0.5 เมตร) ในทะเลสาบสงขลาตอนกลาง (ดังรูปที่ 2-2) ช่วงเดือนตุลาคม 2561 ถึง เดือนมกราคม 2562 เป็นเวลา 2 เดือน (n = 3) โดยมีความเข้มแสงแต่ละชุดการทดลอง ดังตาราง (ตารางที่ 2-3) ได้มีการสุ่มเก็บตัวอย่างพืชน้ำ สายพันธุ์ที่โดดเด่น คือ *E. canadensis* ในแต่ละ Plot ด้วยมือ



รูปที่ 2-2 จุดทดลองภาคสนาม ($70^{\circ}28'09.0''N$, $100^{\circ}23'45.0''E$)

ตารางที่ 2-3 การทดลองภาคสนาม

ชุดการทดลอง	% ความเข้มแสง	วัสดุที่ใช้
1 (n = 3) (Control)	100% (ความเข้มแสงจากพื้นที่จริง)	เฟรม PVC
2 (n = 3)	75% ของความเข้มแสงปกติ	เฟรม PVC + สแลนกรองแสง 25%
4 (n = 3)	50% ของความเข้มแสงปกติ	เฟรม PVC + สแลนกรองแสง 50%
4 (n = 3)	25% ของความเข้มแสงปกติ	เฟรม PVC + สแลนกรองแสง 75%

หลังจากนั้นทุก 2 สัปดาห์ ได้ทำการประเมินพื้นที่ปกคลุมของพีชน้ำ แต่ละชนิดในพื้นที่ทดลอง, วัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง เก็บตัวอย่างมาวัดความหนาความยาวและความกว้างใบ วิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในพีชน้ำ และน้ำ, วัดปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจนของพีชน้ำ และตะกอนดิน (ตารางที่ 2-4)

ตารางที่ 2-4 พารามิเตอร์และวิธีการวัดตัวอย่างของพีชน้ำในภาคสนาม

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง
% Cover ของพีชน้ำ	Quadrat ขนาด 0.5 x 0.5 ตารางเมตร
Maximum quantum yield	Pulse Amplitude Modulated (PAM) fluorometer (Junior PAM, Walz, Germany)
Effective quantum yield	
Morphology	ไม้บรรทัด
คลอโรฟิลล์พีชน้ำ	เก็บตัวอย่างใส่ถุงเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
ปริมาณสารอินทรีย์และคาร์บอนอินทรีย์	
ตะกอนดิน	เก็บตัวอย่าง โดย Core เพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

วัดคุณภาพน้ำ ได้เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดทดลอง (n=3) ใส่ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ โดยใช้วิธีแบบจ้วงเพื่อนำมาวัดค่า ดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 2-5) และได้ทำการวัดความชื้น (%) อุณหภูมิอากาศ (°C) ความเร็ว (cm/s) แสงในอากาศความเข้มแสงแสงที่ผิวน้ำความเข้มแสงที่ความลึก 30 cm จากผิวน้ำความลึก (m) และความโปร่งใส (m) และวาง Hobo light /Temperature logger ประมาณ 10 cm ใต้น้ำ โดยผูกไว้กับเฟรมในระดับเดียวกับพีชน้ำ และในอากาศ เพื่อเก็บข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิตลอดการทดลอง (ตารางที่ 2-4)

ตารางที่ 2-5 พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในภาคสนามจะได้รับการประเมินทุก 2 สัปดาห์ ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ใช้
GPS	GPS map 62s
ความชื้น (%)	Licor underwater light logger (LI-1500 Light Sensor Logger) (LI-192 Underwater Quantum Sensor)
อุณหภูมิอากาศ (°C)	
ความเร็ว (cm/s)	
ความเข้มแสงในอากาศ	
ความเข้มแสงที่ผิวน้ำ	

ตารางที่ 2-5 พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในภาคสนามจะได้รับการประเมินทุก 2 สัปดาห์ ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง (ต่อ)

พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ใช้
ความเข้มแสงที่ความลึก 30 cm	Licor underwater light logger (LI-1500 Light Sensor Logger) (LI-192 Underwater Quantum Sensor)
ความลึก (m)	Secchi Disk
ความโปร่งแสง (m)	
Hobo light	UA-002 Registrador de Datos Economico HOBO Pendant Sumergible para Temperatura/Luz Referencia: UA-002 Fabricante: Onset
Temperature logger	

2.2 การวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

ศึกษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในห้องปฏิบัติการทุกสัปดาห์ส่วนภาคสนามจะได้รับการประเมินทุก 2 สัปดาห์ โดยวัดค่า Chlorophyll fluorescence โดยใช้เครื่อง Pulse Amplitude Modulated (PAM) fluorometer (Junior PAM, Walz, Germany) เพื่อวัดประสิทธิภาพของ photosystem II (PSII) โดยวัดตำแหน่งที่ยอดของใบลงมาประมาณ 1 cm โดยทำการ Dark-adapted ด้วย Leaf clip เป็นเวลา 10 นาทีแล้วทำการวัด จะได้ค่า Maximum quantum yield (F_v/F_m) เพื่อบ่งบอกประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงในที่มืด (บ่งชี้ความเครียดของพืชน้ำ) หลังจากนั้นทำการวัดในที่สว่าง โดยวัด Rapid Light Curves (RLCs) เพื่ออธิบายประสิทธิภาพและความสามารถในการบวกรสังเคราะห์แสงในช่วงเวลาของการเพิ่มขึ้นของแสง (Belshe, 2007) ที่ความเข้มแสง 9 ระดับ (0, 66, 90, 125, 190, 285, 420, 625 และ 920 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ที่ Saturating pulse 0.8 s ($>4500 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ระหว่างความเข้มของแสงทุกๆ 10 วินาที ใช้พีทกราฟตามวิธีการของ Ralph and Gademann, (2005) (ดังรูปที่ 2-3) ด้วยโปรแกรม SigmaPlot version 12.5 เพื่อให้ได้ค่า Relative maximum electron transport rate ($rETR_{max}$), Saturating

irradiance (I_k) (Maxwell and Johnson, 2000; Winters et al., 2003; Ralph and Gademann, 2005; Baker, 2008; Cruz and Serodio, 2008)

ค่า Maximum quantum yield (F_V/F_M) แสดงถึงประสิทธิภาพของ Photosystem II ในสภาวะที่ไม่มีแสง (บ่งชี้ความเครียดของพืช) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการนี้ (Krause and Weiss, 1991; Baker, 2008; Hanne and Soren, 2008)

$$F_V/F_M = F_m - F_o/F_m$$

F_V/F_M = เพื่อวัดสถานะความเครียดของพืช (Maximum quantum yield)

F_m = ฟลูออเรสเซนซ์สูงสุด

F_o = ฟลูออเรสเซนซ์ต่ำสุด

ค่า Effective quantum yield แสดงถึงประสิทธิภาพของ Photosystem II ในสภาวะที่แสงปกติ (บ่งชี้การตอบสนองของพืช) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการนี้ (Hanne and Soren, 2008)

$$\Phi_{PSII} = (F_{m'} - F_t) / F_{m'}$$

Φ_{PSII} = บ่งชี้การตอบสนองของพืช (Effective quantum yield)

F_t = ฟลูออเรสเซนซ์ต่ำสุด

$F_{m'}$ = ฟลูออเรสเซนซ์สูงสุด (Larkum et al., 2006)

ค่า $rETR_{max}$ ($\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) เพื่อแสดงอัตราการขนส่งอิเล็กตรอน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการนี้ (Hanne and Soren, 2008; Beer et al., 2001)

$$rETR_{max} = \Phi_{PSII} \times \text{incident PAR} (\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}) \times 0.5 \times 0.83$$

$rETR_{max}$ = อัตราการขนส่งอิเล็กตรอน

Φ_{PSII} = บ่งชี้การตอบสนองของพืช (Effective quantum yield)

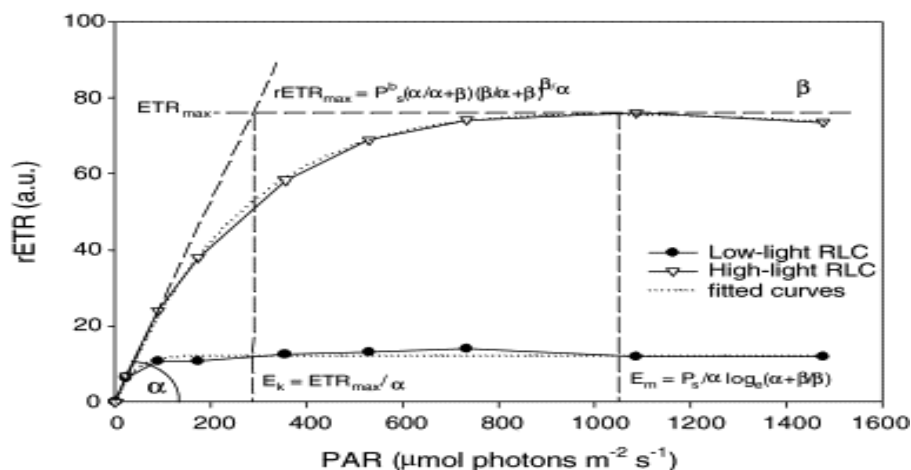
Incident PAR = การฉายรังสีที่ผิวใบ

0.5 = ค่าปัจจัยที่อธิบายการแบ่งส่วนของ โฟตอนที่ถูกดูดกลืน

0.83 = ค่าสัดส่วนของแสงตกกระทบที่ถูกดูดซับด้วยรงสีสังเคราะห์แสง

ค่า Saturating irradiance (I_k) คือ การฉายรังสีที่จุดเริ่มต้นของความอิ่มตัวของแสง

ค่า Alpha (α) คือ ความชันเริ่มต้น



รูปที่ 2-3 Rapid light curve

ที่มา: Ralph and Gademan, 2005

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์พีชน้ำ

ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll *a* และ *b*) ใช้วิธีมาตรฐาน ของ Ritchie (2006) คลอโรฟิลล์ *a* และ *b* ถูกสกัดโดยการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธีการนำพีชน้ำมาบด ด้วย Acetone 90% ปริมาณ 6 ml ใส่ในหลอดทดลองพลาสติกขนาด 15 ml ปิดฝาหลอด ใส่กล่องที่ไม่ให้แสงส่องผ่าน ทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปหมუნเหวียงที่ 1,500 g เป็นเวลา 10 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสง 647, 664 และ 750 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์น้ำ

ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll *a* และ *b*) จะถูกกำหนดโดยใช้วิธีมาตรฐาน ของ Doblinet al., (2011) คลอโรฟิลล์ *a* และ *b* จะถูกสกัดโดยการกรองน้ำปริมาณ 80 ml โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ GF/F ขนาด 25 mm Ø Circles กรองผ่านเครื่องสุญญากาศ นำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองมาใส่ในหลอดทดลองพลาสติกขนาด 15 ml แล้วเติม Acetone 90% ในปริมาณ 4 ml ปิดฝาหลอดให้เรียบร้อย ใส่กล่องที่ไม่ให้แสงส่องผ่าน ทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วก็นำไปหมუნเหวียงที่ 1,500 g เป็นเวลา 10 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสง 647, 664 และ 750 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer แล้วนำมาคำนวณ

2.5 การวัดการเจริญเติบโตของพีชน้ำ

อัตราการเติบโตของ *C.demersum* และ *E.anadensis* โดยวัดด้วยไม้บรรทัด เพื่อประเมินความเปลี่ยนแปลงความยาวของต้นต่อวัน ดังสมการนี้

อัตราการเจริญเติบโต = (ก่อนทดลอง - หลังทดลอง)/จำนวนวันในการทดลอง

2.6 การวัดปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของพีชน้ำและตะกอนดิน

ตัวอย่างของพีชน้ำจะถูกนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C และบดเป็นขนาดอนุภาคต่ำกว่า 1 mm ตัวอย่างของพีชน้ำมีน้ำหนัก 1.0 g เเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง คำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้ (Armechin and Gabon, 2008)

$$\%MM = (AW/DW)*100$$

$$\%OM = 100 * (DW - AW)/DW$$

$$\%OC = \%OM / 1.724$$

%MM = ปริมาณแร่ธาตุ (Mineral matter contents)

%OM = ปริมาณสารอินทรีย์ (Organic matter contents)

%OC = ปริมาณคาร์บอน (Organic carbon contents)

DW = น้ำหนักแห้ง (Dry weight)

AW = น้ำหนักขี้เถ้า (Ashweight)

2.7 คุณภาพน้ำ

ตารางที่ 2-6 พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	
	ห้องปฏิบัติการ	ภาคสนาม
DO	YSI-multiparameter (proplus)	
pH		
Salinity (ppm)		
Temperature		
Conductiity		
TDS		
Nitrate	Colorimetric (ชุดทดสอบไนเตรต HI-3874)	Photometric method

ตารางที่ 2-6 พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ (ต่อ)

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	
	ห้องปฏิบัติการ	ภาคสนาม
Phosphate	Colorimetric (ชุดทดสอบฟอสเฟต HI 3833)	ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) รุ่น Optima 4300 DV

2.8. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์เชิงสถิติ Two-way ANOVA นำมาใช้วิเคราะห์หาความแตกต่างของการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณคาร์บอนไนโตรเจน ปริมาณสารอินทรีย์อินทรีย์คาร์บอน ระหว่างชุดการทดลองและชนิดพืชน้ำ ใช้ Repeated Two-way ANOVA วิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Maximum quantum yield, Effective quantum yield, Non-photochemical quenching, Relative maximum electron transport rate, Saturating irradiance) ในแต่ละช่วงเวลา และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองและชนิดพืชด้วย Post-hoc test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) ซึ่งข้อมูลนำมาทดสอบ Homogeneity of variance ด้วย Levene's test และทดลอง Normal distribution ด้วย Kolmogorov-Smirnov test

บทที่ 3

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

การทดลองที่ 1: การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำและการลดลงของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของ *C. demersum* และ *E. canadensis*

3.1 การสังเคราะห์ด้วยแสง

จากการศึกษาการตอบสนองของ (Photosystem II; PSII) ภายใต้อุณหภูมิปกติ (30 °C) และอุณหภูมิสูง (33 และ 36 °C) และความเข้มแสงปกติ (180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) และความเข้มแสงที่ลดลง (90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) กิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำในแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพที่ต่างกัน เมื่อพืชน้ำได้รับอุณหภูมิสูงกับความเข้มแสงสูง จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง (Chen et al., 2017; Pospisil, 2016) ทำให้กิจกรรมการสังเคราะห์แสงลดลงเมื่อได้รับความเข้มแสงเกินกว่าที่จำเป็น (ค่าความเข้มแสงสูงกว่าค่าปริมาณแสงต่ำสุดที่ทำให้การสังเคราะห์แสงอิ่มตัว ($\text{PAR} > I_k$) (Mathur et al., 2014) นอกจากนี้ระบบแสงที่ 2 (Photosystem II; PSII) เป็นส่วนประกอบที่มีความอ่อนไหวที่สุดของการสังเคราะห์ด้วยแสงในสถานะที่อุณหภูมิสูงหรือความเข้มแสงสูง (Widiastuti et al., 2015) โดยทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

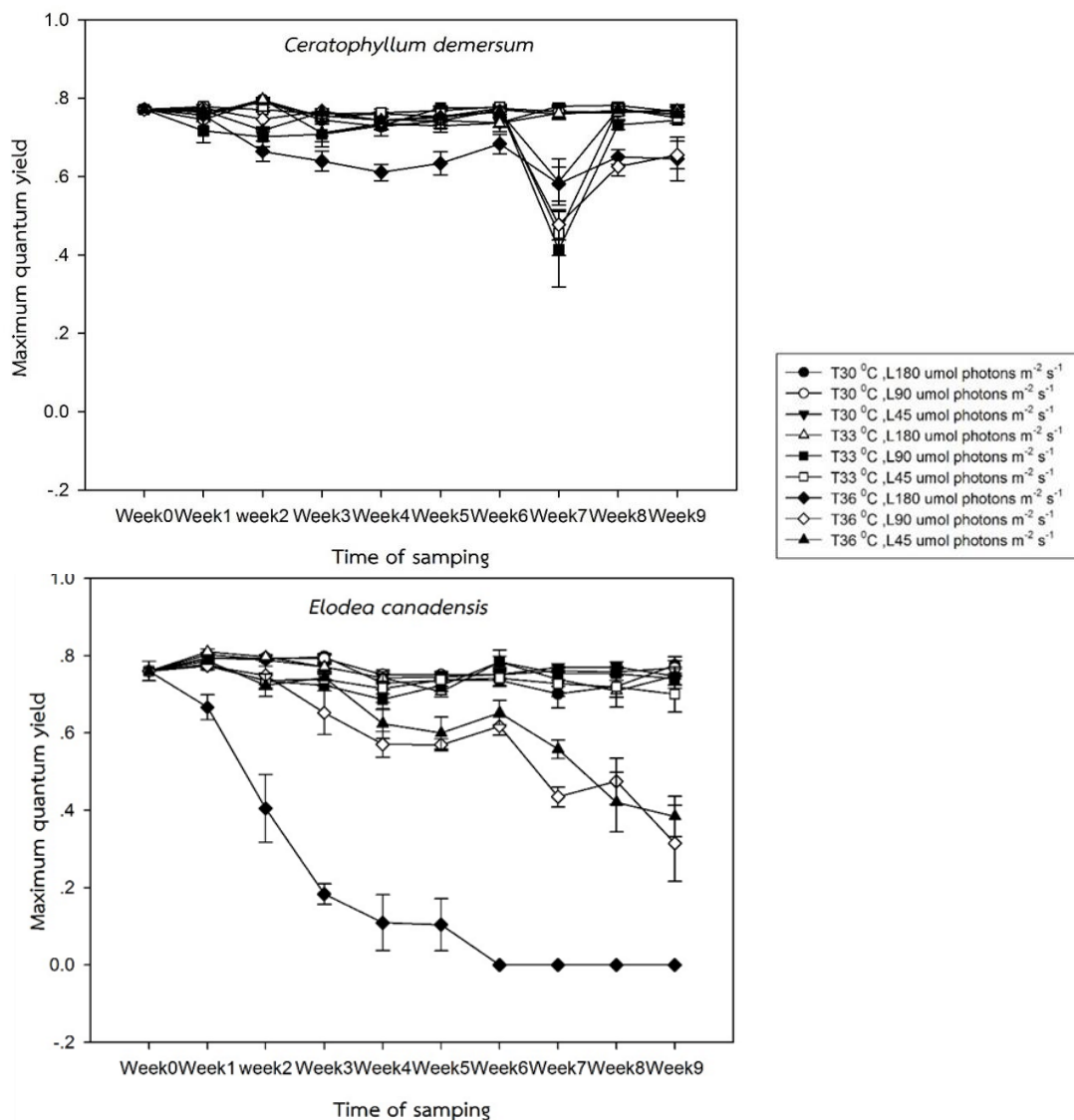
3.1.1 Maximum quantum yield

Maximum quantum yield ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงสุดซึ่งจะบ่งชี้สภาวะเครียดของพืชน้ำ จากการศึกษานี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.79 ถึง 0.84 การสังเคราะห์แสงของพืชน้ำที่มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี (Kitajima and Butler, 1975 ; Maxwell and Johnson, 2000) ส่วนการวิเคราะห์ด้วย Repeated Two-way ANOVA ระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์หลังจากเริ่มต้นเลี้ยงพืชน้ำในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่ต่างกัน (ภาคผนวก) พบว่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของ *C. demersum* ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 23.512$) และเมื่อเปรียบเทียบทุกชุดทดลองของทุกสัปดาห์ พบว่า ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 24.566$) และระหว่างทุกชุดการทดลองระยะเวลาในการทดลอง 8 สัปดาห์พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน ($p < 0.001$, $F = 6.933$) ในสัปดาห์ที่ 7 ที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และที่อุณหภูมิ 36 °C, ความเข้มแสง 180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของ *C. demersum* ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและต่ำกว่าสัปดาห์อื่นๆ เนื่องจาก

ความเครียด ส่งผลยับยั้งการทำงานของ Photosystem II ลดจำนวน PSII Reaction center โดยเมื่อได้รับความร้อนโปรตีน D1 ใน PSII เกิดความเสียหาย หรือส่งผลต่อความเสถียรของ Thylakoid membrane (Allakhverdiev et al., 2008) ต่อมาในสัปดาห์ที่ 8 พบว่าที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 180, 90, และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และอุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ นั้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงมีค่าเพิ่มขึ้นไปอยู่ในช่วง 0.79 ถึง 0.84 แสดงถึงการฟื้นตัวของพืชน้ำเมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแต่อย่างไรก็ตามในชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 และ 90 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ค่า Maximum quantum yield มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.62-0.65 จนถึงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง และลักษณะของต้นพบว่าเป็นสีขาว เพราะคลอโรฟิลล์ของ *C. demersum* ถูกทำลาย พืชน้ำชนิด *E. canadensis* เมื่อวิเคราะห์ด้วย Repeated Two-way ANOVA เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ค่า Maximum quantum yield ของทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 209.262$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 54.820$) ซึ่งค่า Maximum quantum yield ของ *E. canadensis* ในชุดการทดลองอุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เริ่มลดลงตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 1-5 (0.67-0.09) ในขณะที่ค่า Maximum quantum yield ในชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 30 และ 33 °C ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน (180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง ต่อมาในสัปดาห์ที่ 7-9 ในชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ มีค่า Maximum quantum yield ลดลงต่ำกว่า 0.60 และ พืชน้ำ *E. canadensis* ที่อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ นั้นตายเนื่องด้วยอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงสูงทำให้เกิดความเครียด ทำให้ *E. canadensis* ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ และตายเมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงในสัปดาห์นี้เมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 41.002$) อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าอยู่ในช่วง 0.50-0 (ภาคผนวก) สรุปได้ว่าสายพันธุ์นี้ไม่สามารถสังเคราะห์แสงในที่อุณหภูมิสูงเพราะมีการทำลายโปรตีน D1 เกิดความเสียหายต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้พืชตายในที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าปริมาณแสง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Netten et al., (2013) รายงานว่า *E. canadensis* ที่อุณหภูมิสูงถึง 25 °C และความเข้มแสงต่ำ จะทำให้มีหายใจเพิ่มขึ้นและการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ทำให้อัตราส่วนระหว่างการสังเคราะห์แสงต่อการหายใจ (P:R) ต่ำลง เมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงและความเข้มแสงสูงก็จะส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นทำให้เกิด Photoinhibition อย่างรุนแรง (Tardy et al., 1998 และ Gu et al., 2017) และสอดคล้องกับการศึกษาของ (Singh and Singh, 2015) ซึ่งพบว่าอุณหภูมิและความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของ Algae คือ อุณหภูมิ 20 °C ถึง 30 °C

และความเข้มแสง 33 ถึง 400 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ (Figueroa et al., 2003; Porcar-Castell et al., 2014) ที่ได้อธิบายว่าเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่า MQY ลดลงแสดงว่า เมื่อพืชได้รับความร้อนจะทำให้พลังงานลดลง ส่งผลต่อ PSII และนำไปสู่การลดลงของประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงสุดของ PSII

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสปีชีส์ พบว่า *E. canadensis* มีความไวต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงมากกว่า *C. demersum*



รูปที่3-1 ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Maximum quantum yield ของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

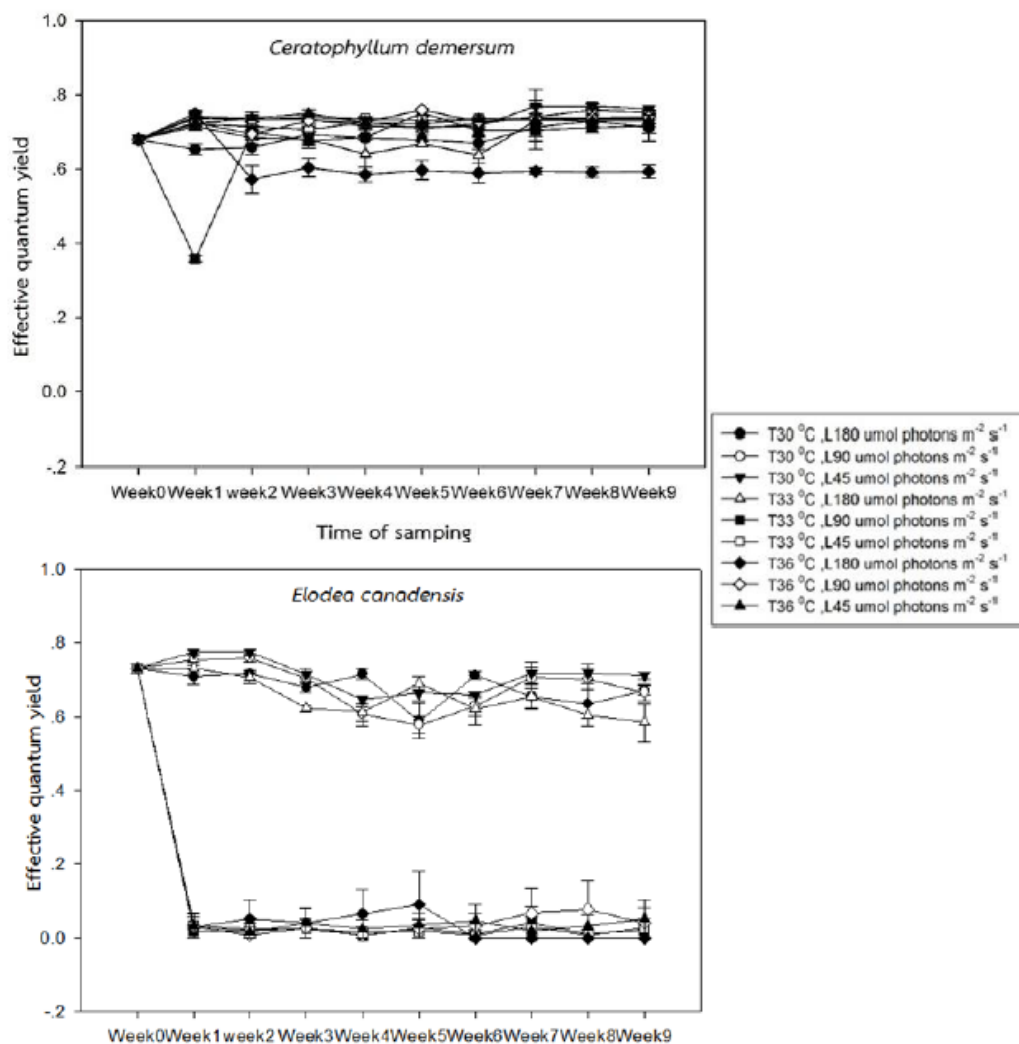
3.1.2 Effective quantum yield (EQY)

ค่า Effective quantum yield ได้จากศึกษาการตอบสนองของประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำทั้งสองชนิดโดยใช้ Rapid light curves ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงเมื่อให้แสงความเข้มต่ำ (Actinic light) และคำนวณค่า EQY (Belshe, 2007) พบว่า *C. demersum* เมื่อวิเคราะห์ด้วย Repeated Two-way ANOVA ระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) ทุกชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 27.228$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่าค่า EQY มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 48.177$) (รูปที่ 3-2) และค่า EQY ของ *C. demersum* ในชุดทดลองที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ เริ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 3-9 ของ โดยอยู่ในช่วง 0.585-0.604 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ที่มีค่าระหว่าง 0.650-0.750 ซึ่งการที่ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งเกิดจากความเครียด

ส่วน *E. canadensis* วิเคราะห์ด้วย Repeated Two-way ANOVA พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) ค่า EQY ระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 281.187$) และเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 64.452$) (รูปที่ 3-2) โดยค่า EQY ในชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง 90 และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และ ที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง 180, 90 และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ จะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึง 9 ซึ่งเกิดจากการที่ระบบการสังเคราะห์แสงเสียหาย (Chen et al., 2017; Pospíšil, 2016) มีผลต่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสงสามารถลดลงอย่างรุนแรงหลังจากได้รับความร้อนที่มากเกินไป (Mathur et al., 2014) ส่งผลยับยั้งการทำงานของ Photosystem II ลดจำนวน PSII Reaction center โดยเมื่อได้รับความร้อนโปรตีน D1 ใน PSII เกิดความเสียหาย หรืออาจส่งผลต่อความเสถียรของ Thylakoid membrane (Allakhverdiev et al., 2008)

เมื่อเทียบระหว่าง *C. demersum* และ *E. canadensis* จะเห็นได้ว่า *C. demersum* ที่อุณหภูมิสูงถึง 36°C ที่ความเข้มแสงต่างกัน ($180, 90$ และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) มีการตอบสนองการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่า *E. canadensis* เพราะมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิสูง และมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่า (Hyldgaard et al., 2014) และ *E. canadensis* สังเคราะห์แสงได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 20°C ถึง 30°C (Hussner et al., 2010) ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่พบว่า *E. canadensis* สามารถสังเคราะห์แสงได้ดีที่อุณหภูมิ 33°C แต่ในชุดทดลองที่อุณหภูมิสูงถึง 36°C ที่ความเข้มแสงต่างกัน ($180, 90$ และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ลดลง แสดงให้เห็นว่า *E. canadensis* มีความเครียดส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาการผลิตออกซิเจน นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อเซลล์พืชได้ (Yuepeng, 2014)



รูปที่ 3-2 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Effective quantum yield ของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

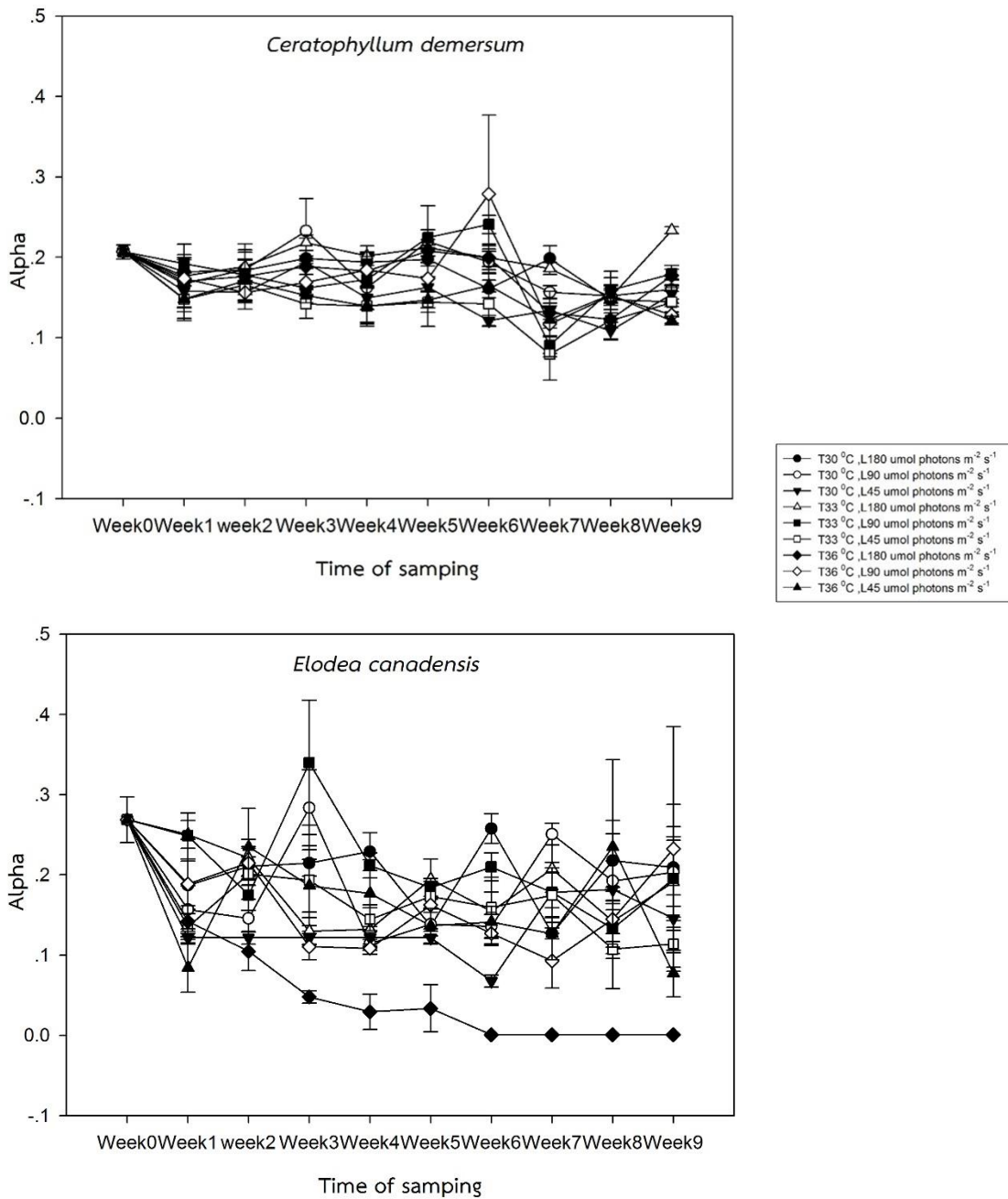
3.1.3 Alpha

Alpha คือ ความสามารถในการจับแสงของพืชน้ำ เพื่อนำมาสังเคราะห์แสง ซึ่งภายใต้สภาวะแสงน้อย พืชน้ำอาจมีการปรับตัวให้มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงมากขึ้น ทำให้มีค่า Alpha เพิ่มขึ้น (Masini and Manning, 1997; Goldsborough and Kemp, 1988; Ruiz and Romero, 2003; Chen et al., 2016)

จากการศึกษา Alpha ของ *C. demersum* เมื่อวิเคราะห์ด้วย Repeated Two-way ANOVA เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่าชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 7.296$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 9.388$) (รูปที่ 3-3) ในสัปดาห์ที่ 9 ค่า Alpha ของแต่ละชุด

ทดลองไม่แตกต่างกันแต่ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง $90 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่า Alpha สูงสุดเมื่อนำมาผลการทดลองเทียบกับการทดลองอีก 8 ชุดการทดลอง ($p < 0.001$, $F = 1.246$)

Alpha ของ *E. canadensis* เมื่อวิเคราะห์ด้วย Repeated Two-Way ANOVA เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่าทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 15.552$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 2.425$) Alpha เริ่มต้นของทุกชุดการทดลอง มีค่า 0.269 ± 0.286 ในสัปดาห์ที่ 3 – 5 พบว่า ชุดทดลองที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่า Alpha ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (อยู่ในช่วง $0.029 - 0.048$) จนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 (ตาย) ในสัปดาห์ที่ 6-9 และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ ในสัปดาห์ที่ 9 ค่า Alpha ของทุกชุดทดลองที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์นี้มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 1.246$) *E. canadensis* ที่อุณหภูมิและความเข้มแสงนี้มีความสามารถในการปรับตัวต่ออุณหภูมิและแสงน้อยกว่าพีชน้ำจากชุดการทดลองอื่น



รูปที่3-3 ค่าเฉลี่ย±SE ของAlpha ของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

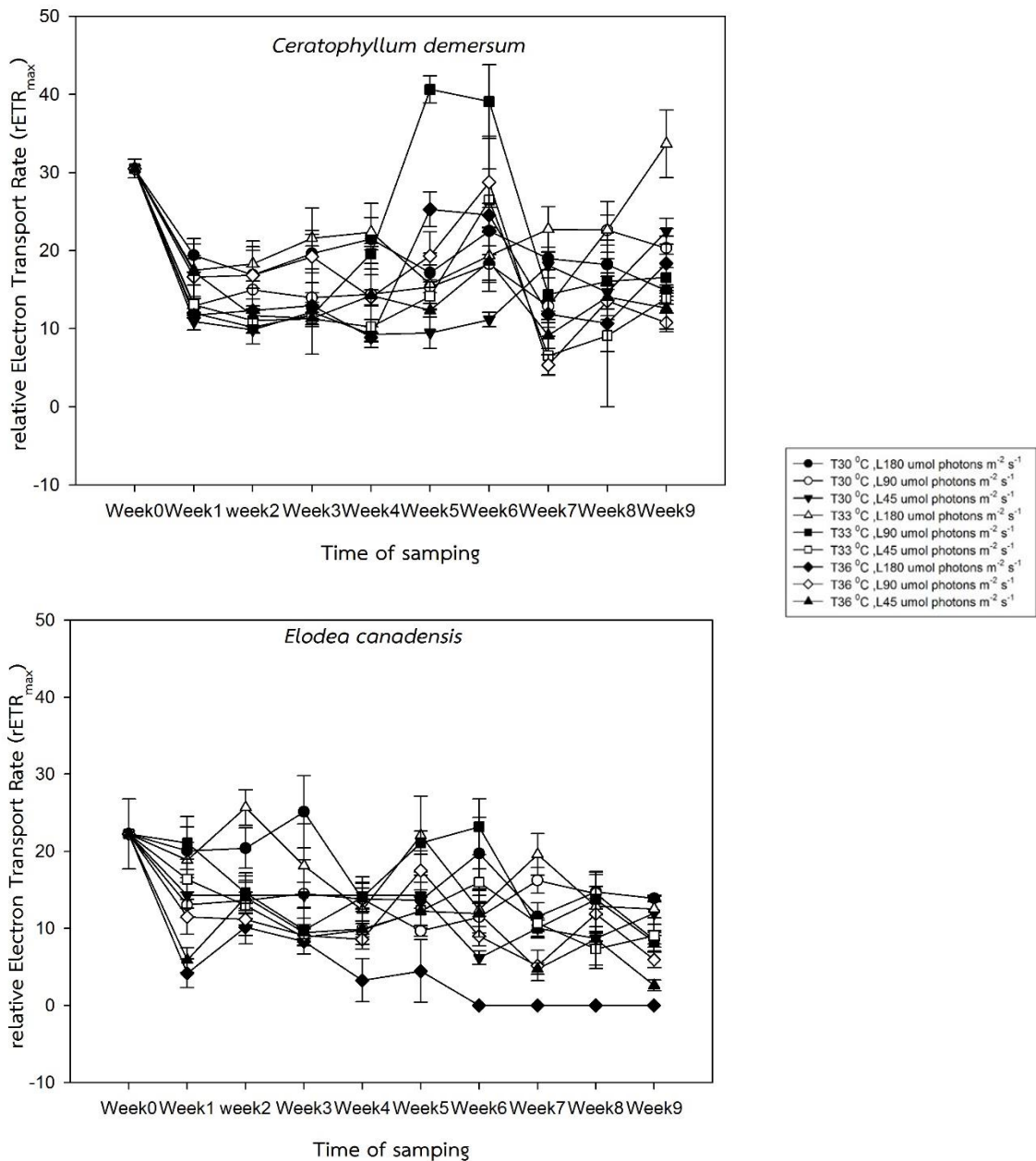
3.1.4 Maximum relative electron transport rate ($rETR_{max}$)

$rETR_{max}$ ของ *C. demersum* วิเคราะห์ด้วย Repeated Two-way ANOVA เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

($p < 0.001$, $F = 13.538$) เปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 23.358$) (รูปที่ 3-4) ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่า $rETR_{max}$ ของชุดทดลอง 33°C ความเข้มแสง $90 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่ามากที่สุด ซึ่งบ่งชี้อุณหภูมิและความเข้มแสงที่เหมาะสมของพีชน้ำชนิดนี้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ในขณะที่ค่า $rETR_{max}$ ของชุดทดลอง 36°C ความเข้มแสง 180 และ $90 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าต่ำสุด ($p < 0.001$, $F = 3.955$)

ส่วน *E. canadensis* วิเคราะห์ด้วย RepeatedTwo-way ANOVA เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ค่า $rETR_{max}$ ระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 25.461$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 15.068$) (รูปที่ 3-4) ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ค่า $rETR_{max}$ ลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 จนมีค่าเท่ากับ 0 ในสัปดาห์ที่ 6-9 เพราะอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงสูงทำให้เกิดความเครียด และตาย *E. canadensis* ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 36°C และความเข้มแสงสูงถึง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Hussner et al., 2010) และนอกจากนี้ในสัปดาห์ที่ 9 ค่า $rETR_{max}$ ของชุดการทดลอง 36°C ความเข้มแสง 90 และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 3.955$)

จากการศึกษาของ Singh and Singh, (2015) พบว่าภายใต้สภาวะแสงต่ำ ($33 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 30°C) มีปริมาณแสงไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพีชน้ำมีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง มีการปรับตัวโดยการเพิ่มจำนวนรงควัตถุที่ใช้ในการจับแสง หรือมีการขยายตัวในทางแนวตั้งมากขึ้นเพื่อให้ใบสามารถจับแสงได้มากขึ้น การลดลงของความเข้มแสงที่จะมีผลต่อการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (Electron transport rate) และ จำนวนอิเล็กตรอนที่ลดลงสำหรับการตรึงคาร์บอนที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงของพีชน้ำ (Yun et al., 2016) เมื่อความเข้มแสงน้อยจะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง และมีปริมาณการผลิตออกซิเจน (Oxygen production) ต่ำลงส่งผลกระทบต่อ Carbon budget ของพีชน้ำ (Xiao et al., 2007; Huber et al., 2014; Wang et al., 2016) ดังนั้น ค่า $rETR_{max}$ เป็นข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ของสาหร่ายที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิงานวิจัย Lideman et al., (2012) รายงานว่าที่อุณหภูมิตั้งแต่ 28 ถึง 34°C สาหร่ายมีค่า $rETR_{max}$ สูงสุด



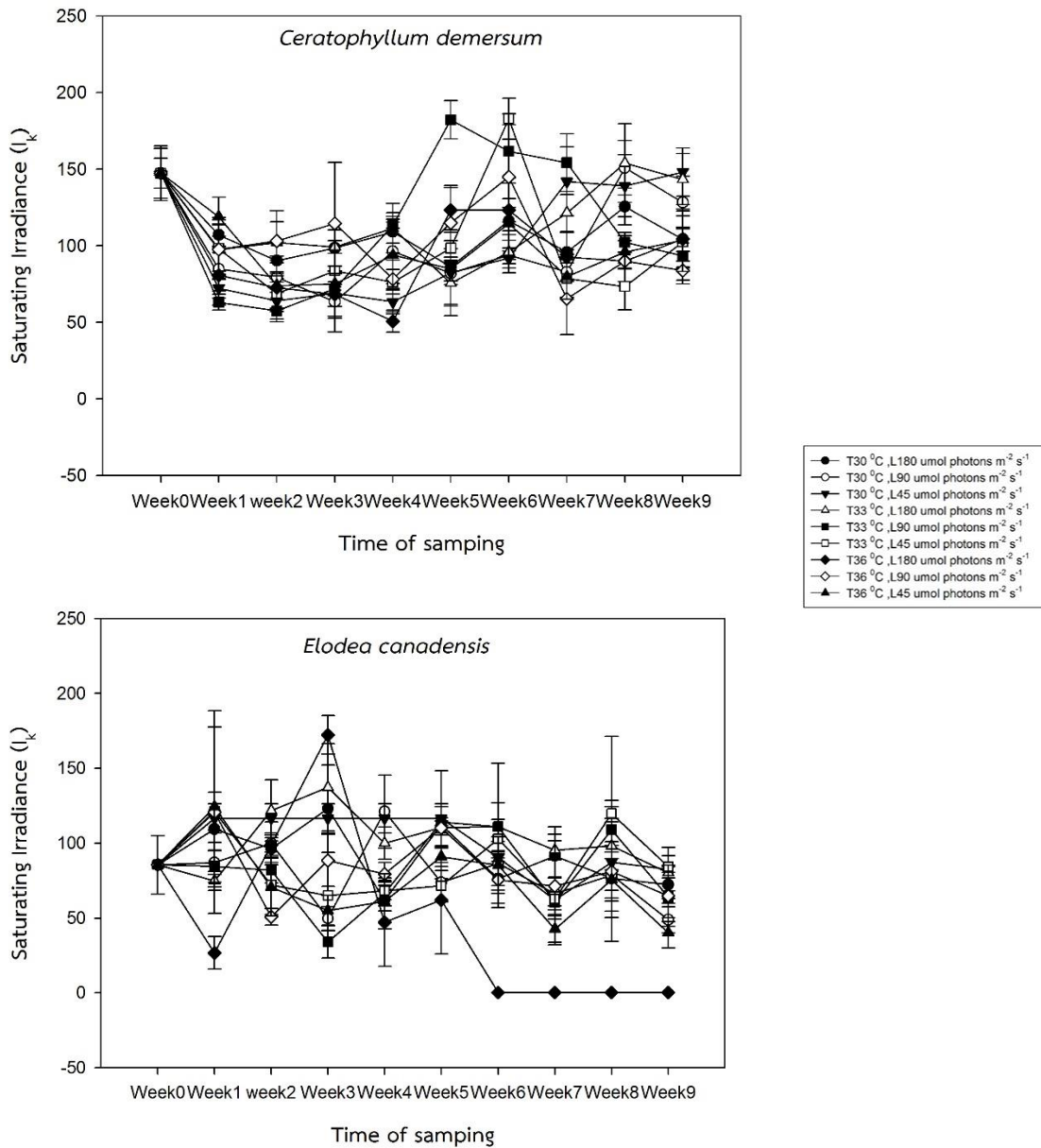
รูปที่ 3-4 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Maximum relative electron transport rate (rETR_{max}) ของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

3.1.5 Saturating irradiance (I_k)

I_k ของ *C. demersum* วิเคราะห์ด้วย Repeated Two-way ANOVA ระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่าระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 16.611$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$,

$F=47.799$) (รูปที่ 3-5) ค่า I_k เริ่มต้นของทุกชุดการทดลอง เท่ากับ $147.319 \pm 1.124 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ สัปดาห์ที่ 1 ถึง 9 มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดจนอยู่ในช่วง $143.351 \pm 16.655 - 57.483 \pm 7.122 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ เมื่อเทียบกับสัปดาห์เริ่มต้นยกเว้นในสัปดาห์ที่ 5 และ 6 ที่อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง 90 และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่า I_k สูงที่สุด (182.226 ± 12.527 และ $182.916 \pm 13.260 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) นอกจากนี้พบว่าสัปดาห์ที่ 8 ชุดการทดลองอุณหภูมิ 30°C ความเข้มแสง $90 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ชุดการทดลอง อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และ สัปดาห์ที่ 9 ชุดการทดลอง อุณหภูมิ 30°C ความเข้มแสง $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่า I_k มากกว่าค่าเริ่มต้น (150.916 ± 17.807 , 153.885 ± 25 และ $148.087 \pm 15.848 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ และตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 ถึง สัปดาห์ที่ 9 ค่า I_k ของชุดการทดลองที่ อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง $90 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อุณหภูมิและความเข้มแสงนี้เหมาะสมในการสังเคราะห์แสงของ *C. demersum*

ส่วนค่า I_k ของ *E. canadensis* เมื่อวิเคราะห์ด้วย Repeated Two-way ANOVA ระยะเวลา ผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$, $F = 5.574$) และเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$, $F = 3.570$) (รูปที่ 3-5) พบ ว่าค่า I_k เริ่มต้นของทุกชุดการทดลอง เท่ากับ $85.565 \pm 19.496 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ เข้าสัปดาห์ที่ 1 ค่า I_k ของ อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าลดลงและต่ำที่สุด ($26.727 \pm 10.859 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) เมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 6 เป็นต้นไปที่มีค่าเท่ากับ 0 เพราะอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงสูงทำให้เกิด ความเครียดและตายบ่งบอกได้ว่า *E. canadensis* ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 36°C และความเข้มแสงสูงถึง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 9 ค่า I_k ของทุกชุดการทดลองมีค่า ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 3.955$) ชุดการทดลองที่ 30, 33 และ 36°C ความเข้มแสง 180, 90 และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าอยู่ในช่วง $40.182 \pm 10.024 - 84.2259 \pm 7.387$ ยกเว้น ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ที่มีค่าเท่ากับ 0



รูปที่3-5 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Saturating irradiance (I_k) ของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

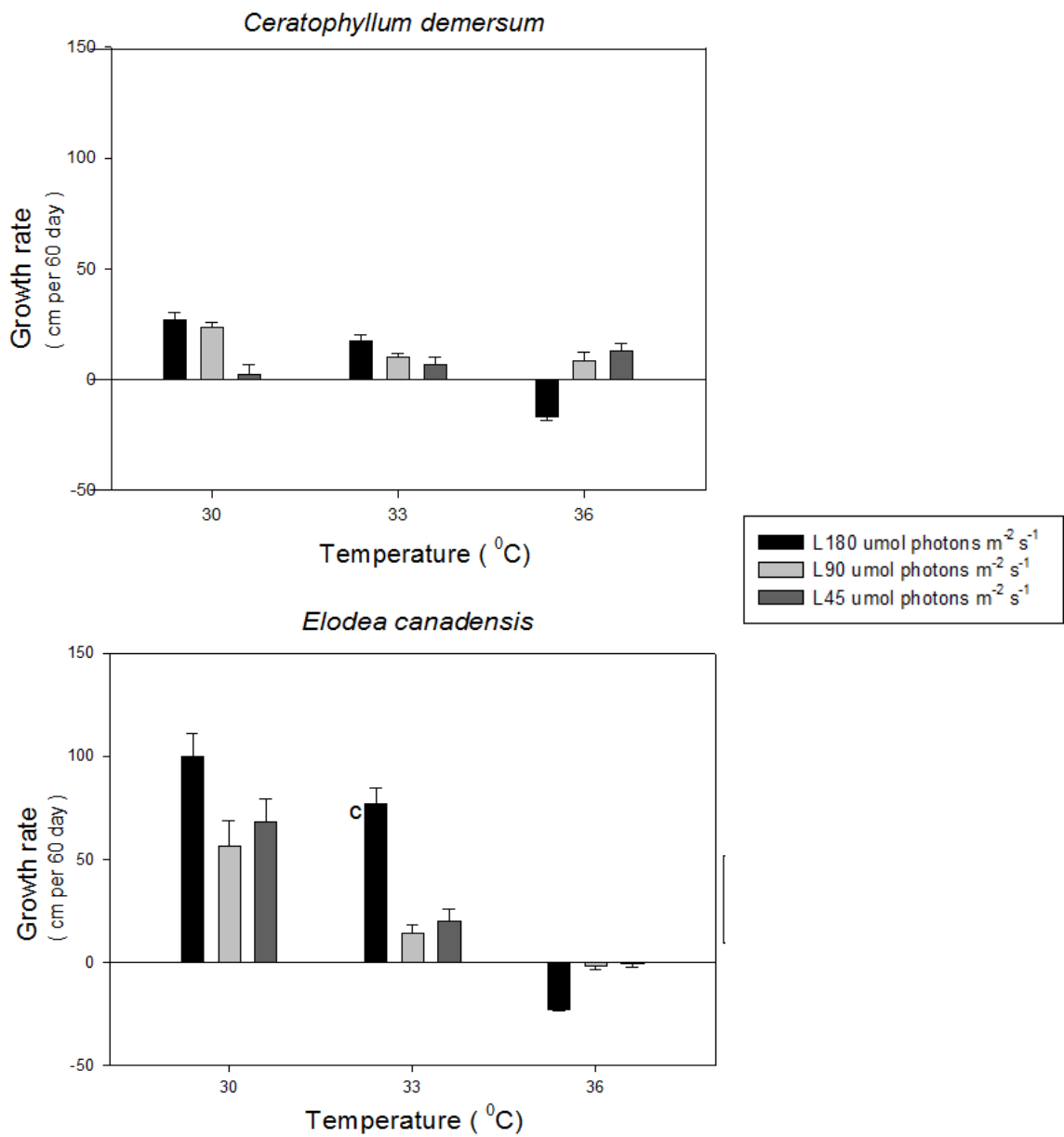
3.2 การเจริญเติบโต (Growth)

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาการเจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 60 วันพบว่า *C. demersum* มีการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญในชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 36 °C ,ความเข้มแสง180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($-16.500\pm 1.792\text{cm} / 60\text{day}$) ($p<0.001$, $F=16.729$) โดยค่าอัตราการเจริญเติบโต

ติดลบเนื่องจากพืชมีความเปราะบางและมีการแตกของต้นทำให้ขนาดของใบและลำต้นลดลง Mathur et al., (2014) ส่วนที่ อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ($26.85 \pm 3.482 \text{ cm/ 60 day}$) (รูปที่ 3-6) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) *C. demersum* ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และ 33 °C ความเข้มแสง 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และ 36 °C ความเข้มแสง 180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 16.729$)

ส่วนอัตราการเจริญเติบโต ของ *E. canadensis* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ชุดการทดลอง อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($p < 0.001$, $F = 31.536$) (รูปที่ 3-6) และพบว่า อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ($100.225 \pm 10.769 \text{ cm/ 60 day}$) ส่วนที่ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าการเจริญเติบโตต่ำสุด ($-22.750 \pm 0.9682 \text{ cm/ 60 day}$) (รูปที่ 3-6) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (อุณหภูมิ 30 °C, ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) *E. canadensis* ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และ 33 °C ความเข้มแสง 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และ 36 °C ความเข้มแสง 180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 31.536$)

ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานกลยุทธ์ ที่ว่า ตามทฤษฎีแล้วพืชน่าจะปรับตัวภายใต้ความเข้มแสงลดลง โดยใช้ 2 กลยุทธ์ การยืดตัวของความยาวไปทางผิวน้ำและ การเพิ่มความหนาแน่นต่อความเข้มแสงที่ลดลงและปรับตัวทางสรีระวิทยาในกิจกรรมการสังเคราะห์แสง เช่น เพิ่มรงควัตถุเพื่อใช้ในการจับแสง (Chen et al., 2016) ซึ่ง *C. demersum* สามารถเจริญเติบโตและ มีความหนาแน่นต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ที่อุณหภูมิสูง ได้ถึง 32 °C (Hreeb, 2017) แต่อัตราการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อปริมาณที่แสงน้อยและอุณหภูมิต่ำ (Asaeda and Bon, 1997; Nikolić et al., 2007) การศึกษานี้พบว่าที่อุณหภูมิ 36 °C และความเข้มแสง 45 และ 90 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ *C. demersum* และ *E. canadensis* มีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลง แต่ที่อุณหภูมิ 36 °C ที่ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ อัตราการเจริญเติบโตของ *C. demersum* และ *E. canadensis* มีค่าติดลบ แสดงให้เห็นว่าพืชทั้ง 2 ชนิดเกิดความเครียดและตายในที่สุด



รูปที่3-6 ค่าเฉลี่ย±SE ของGrowth rate ของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

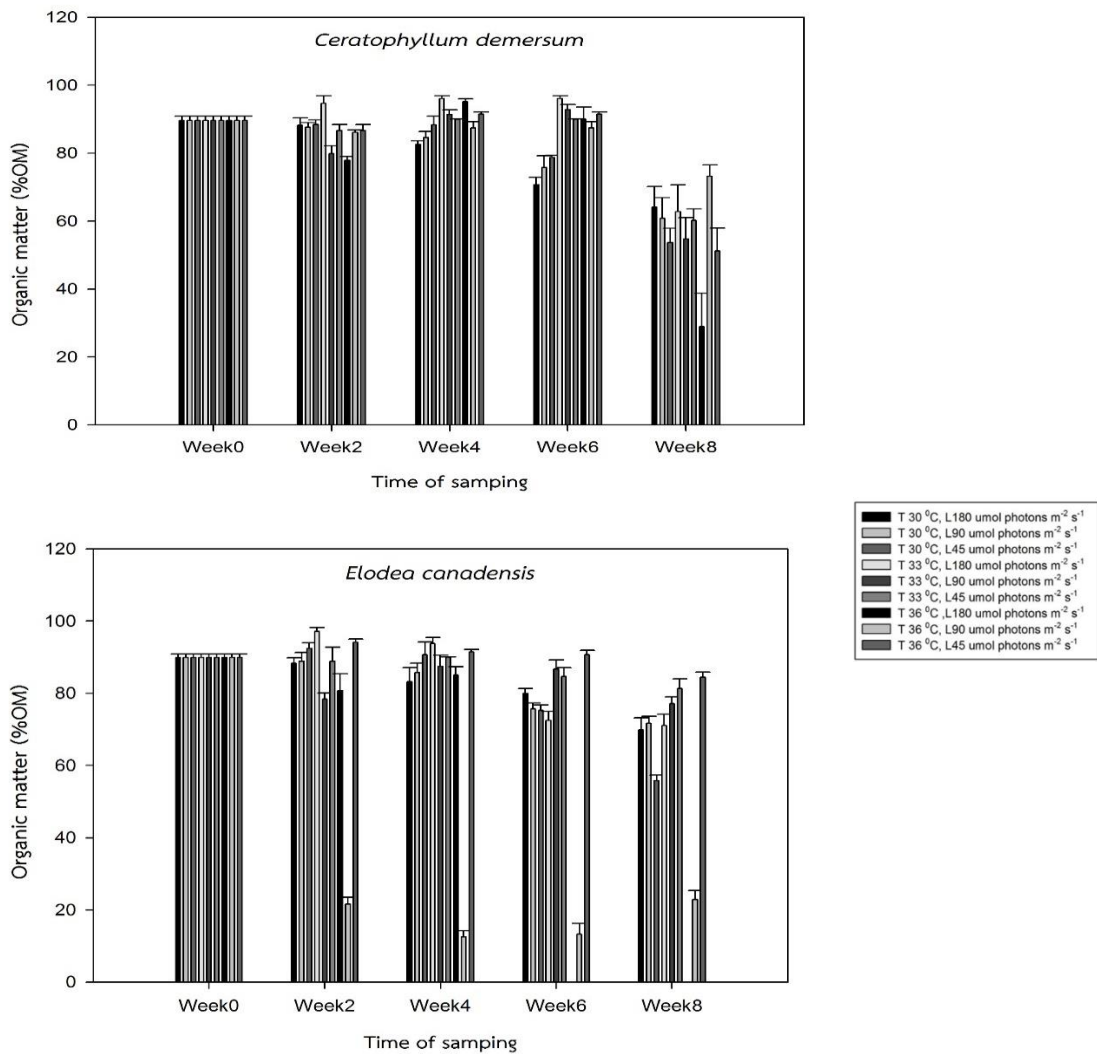
3.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter: OM) และอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon: OC)

3.3.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ของ *C. demersum* เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 1.420$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 65.966$) (รูปที่ 3-7) โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุ เริ่มต้นของทุกชุดการทดลองมีค่า $89.581 \pm 1.241\%$ ที่อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 2-6 มีค่ามากกว่าทุกชุดการทดลอง (94.709 ± 2.202 , 96.113 ± 0.763 และ $96.113 \pm 0.763\%$ ตามลำดับ) ในสัปดาห์ที่ 6 อุณหภูมิ 30°C ความเข้มแสง $180,90$ และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีค่าลดลง (70.715 ± 2.133 , 75.739 ± 3.505 และ $78.699 \pm 0.657\%$ ตามลำดับ) ในสัปดาห์สุดท้ายของทุกชุดการทดลองมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์สุดท้ายปริมาณสารอินทรีย์ มีค่าต่ำ ($28.951 \pm 9.855\%$) ที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 1.416$)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ของ *E. canadensis* เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 49.505$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 61.235$) (รูปที่ 3-7) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เริ่มต้นของทุกชุดการทดลอง มีค่า $89.943 \pm 0.916\%$ โดยที่อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีค่าสูงที่สุด ($97.168 \pm 1.111\%$) และที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $90 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีค่าต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 12.506 ± 1.721 - $22.834 \pm 2.499\%$ เมื่อเทียบกับทุกชุดการทดลองยังพบว่าในสัปดาห์ที่ 6 ถึงสัปดาห์ที่ 8 ในชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ต่ำสุด ($0.000 \pm 0.000\%$) เพราะอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงสูงทำให้เกิดความเครียดและตายในที่สุด

เนื่องจาก *C. demersum* และ *E. canadensis* ที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง 180 และ $90 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ เป็นระยะเวลา 2 เดือน ทำให้พีชน้ำทั้งสองชนิดนี้มีผลกระทบเชิงลบโดยรวมต่อผลผลิตหลักสุทธิ (Net primary productivity: NPP) จะส่งผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโตและการสะสมสารอินทรีย์ของพีชน้ำ (Rosset et al., 2010; Riis et al., 2012; Tait and Schiel, 2013; Kotta et al., 2014; Bhupinder. 2015)



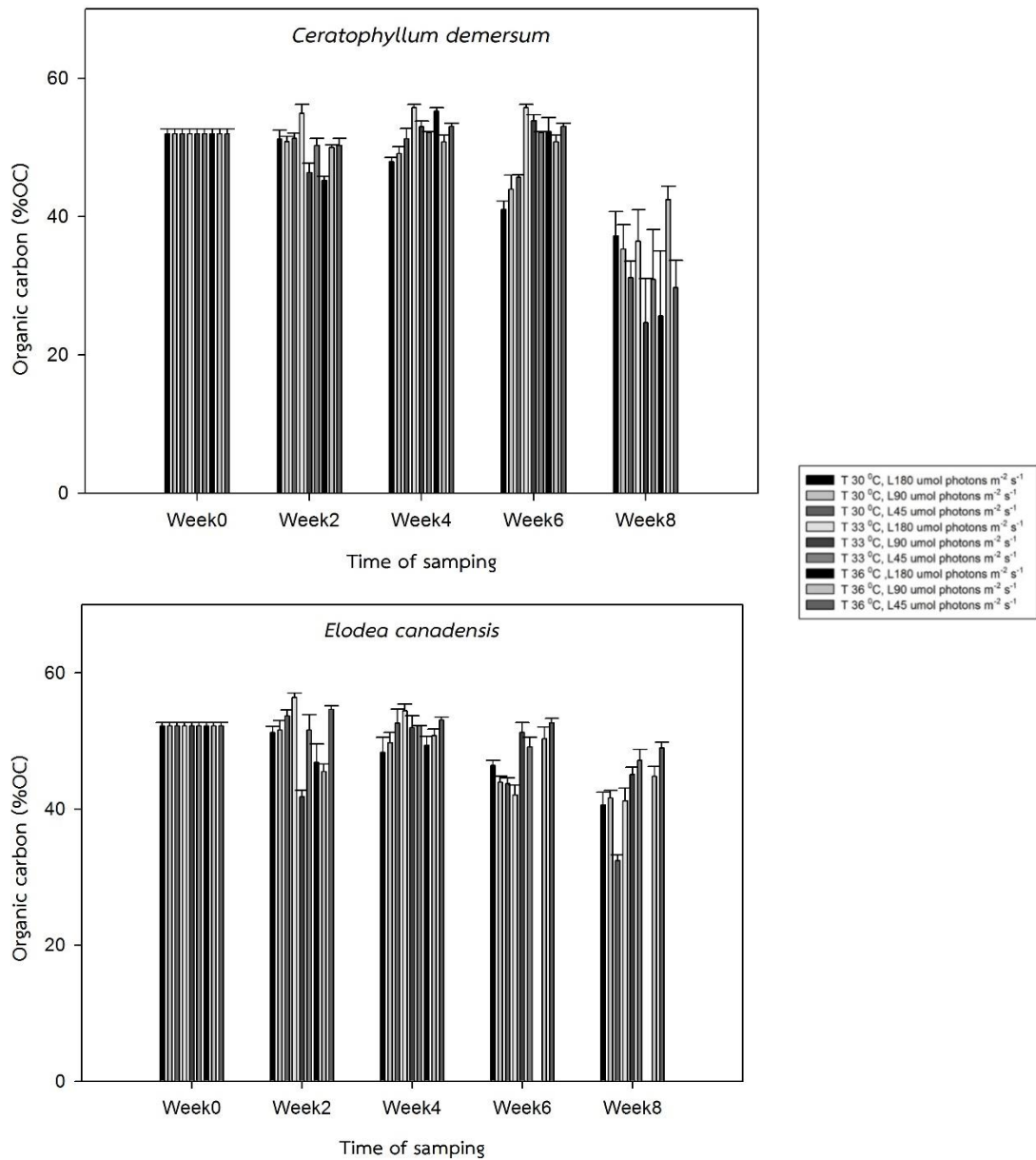
รูปที่ 3-7 ค่าเฉลี่ย±SE ของ%ปริมาณอินทรีย์วัตถุของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

3.3.2 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของ *C. demersum* เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ พบว่าระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 1.420$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 65.966$) (รูปที่ 3-8) ในแต่ละชุดการทดลอง ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เริ่มต้น มีค่า $51.961 \pm 0.720\%$ สัปดาห์ที่ 2-4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ในสัปดาห์ที่ 2 ที่อุณหภูมิ 33 °C

ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน สูงที่สุด (55.749 \pm 0.790%) และในสัปดาห์ที่ 8 ที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 90 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ต่ำที่สุด (24.658 \pm 7.216%) สัปดาห์ที่ 6 ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน มีค่าลดลง 41.018 \pm 1.237, 43.933 \pm 2.033 และ 45.649 \pm 0.381% ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 8 ทุกชุดการทดลองมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ที่ลดลงต่ำกว่า 40% ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของ *E. canadensis* เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 49.505$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 61.235$) (รูปที่ 3-8) ในแต่ละชุดการทดลองปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เริ่มต้น มีค่า 52.171 \pm 0.532% ในสัปดาห์ที่ 2 ที่อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน สูงที่สุด (56.362 \pm 0.644%) ในสัปดาห์ที่ 8 ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ต่ำที่สุด (32.378 \pm 0.895%) สัปดาห์ที่ 4 ปริมาณ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน แต่สัปดาห์ที่ 6 ที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ กับ ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน มีค่าลดลง 46.398 \pm 0.751, 43.903 \pm 0.927, 43.677 \pm 0.868 และ 46.398 \pm 1.448% ตามลำดับ แต่ในสัปดาห์ที่ 6 ถึงสัปดาห์ที่ 8 พบว่าที่อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ต่ำสุด (0.000 \pm 0.000%) เพราะอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงสูงทำให้เกิดความเครียดและตาย



รูปที่ 3-8 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) เมื่อเลี้ยงในสภาวะอุณหภูมิและความเข้มแสงที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

3.4 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content)

จากการศึกษานี้ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และบี (Chl *a* และ Chl *b*) ในชุดการทดลองที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการลดลงของความเข้มแสงไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Jeon et al., (2006) และ Li et al., (2014) ดังที่ได้อธิบายถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *Doritaenopsis*sp. ที่ความเข้มแสงน้อยพบว่า *Doritaenopsis*sp. ที่ได้รับความเข้มแสงน้อยจะผลิตคลอโรฟิลล์ได้มากขึ้นและดูดซับแสงได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าที่อุณหภูมิสูงและความเข้มแสงลดลงนั้น ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll degradation) ซึ่งถูกทำลายจากอุณหภูมิสูง

3.4.1 คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll content: Chl *a*)

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ของ *C. demersum* เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ในระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 20.280$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 13.723$) (รูปที่ 3-9) ในแต่ละชุดการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) เริ่มต้น ($1953.267 \pm 301.049 \mu\text{g/ml/g fw}$) สัปดาห์ที่ 2-9 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ของแต่ละชุดการทดลองมีค่าลดลง ที่อุณหภูมิ 30°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) มากที่สุด ($2270.238 \pm 305.469 \mu\text{g/ml/g fw}$) และที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 6 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ต่ำที่สุด ($293.108 \pm 41.767 \mu\text{g/ml/g fw}$)

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ของ *E. canadensis* เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 11.476$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 46.712$) (รูปที่ 3-9) ในแต่ละชุดการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) เริ่มต้น ($2131.664 \pm 324.498 \mu\text{g/ml/g fw}$) ที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $90 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) มากที่สุด ($2423.498 \pm 98.256 \mu\text{g/ml/g fw}$) ในสัปดาห์ที่ 2-9 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ของแต่ละชุดการทดลองมีค่าลดลงที่อุณหภูมิ 30°C ความเข้มแสง 180, 90 และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และที่อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 2-8 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ที่สูงเมื่อนำผลการทดลองเทียบกับชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 33°C และที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสงความเข้มแสง 90 และ $45 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ แต่ในสัปดาห์ที่ 6 ถึงสัปดาห์ที่ 8 พบว่าชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 36°C ความเข้มแสง $180 \mu\text{mol}$

photons $m^{-2}s^{-1}$ มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ต่ำสุด ($0.000 \pm 0.000 \mu g/ml/g \text{ fw}$) เนื่องจากอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงสูงทำให้เกิดความเครียด และตาย

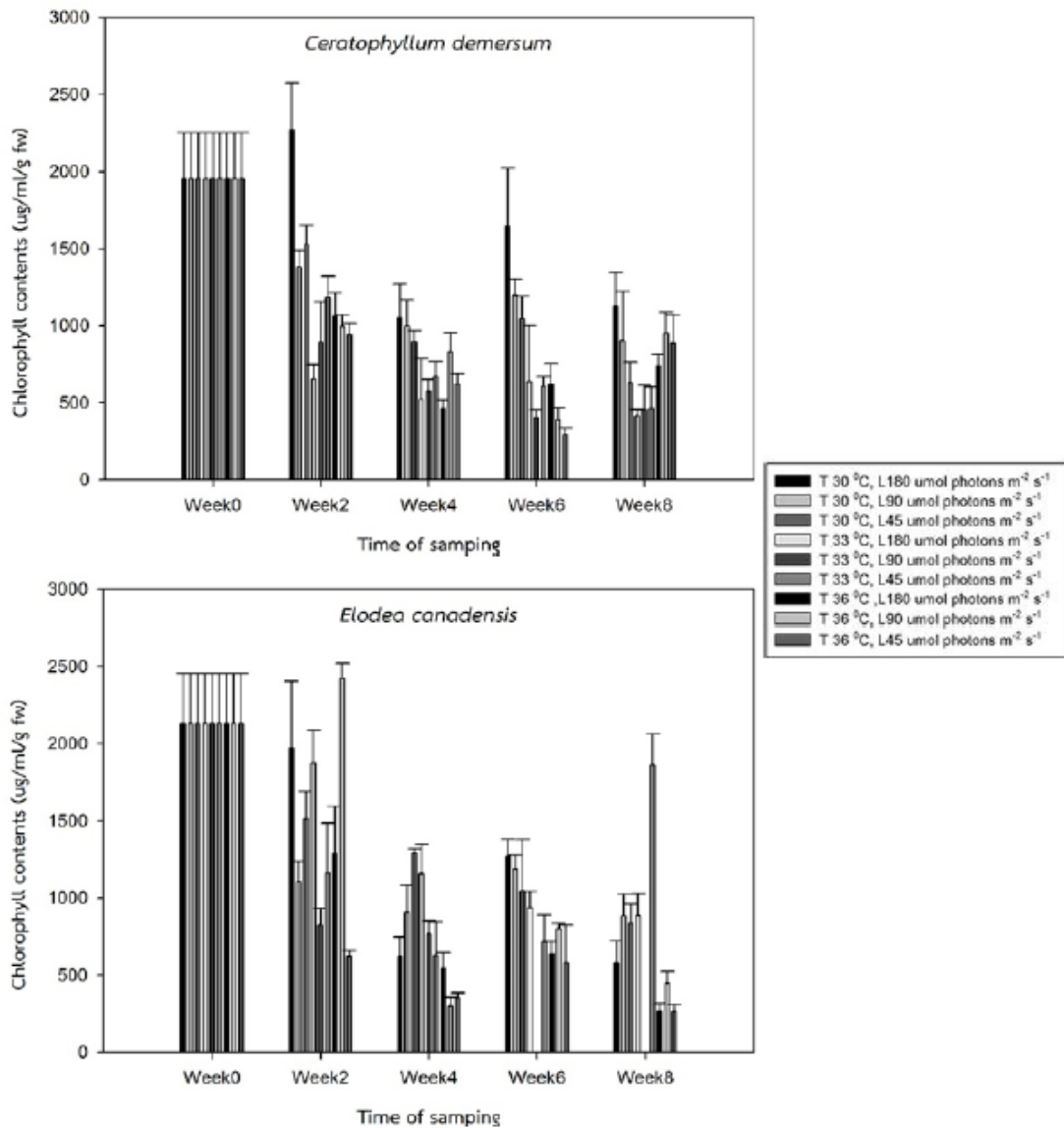
เนื่องจากอุณหภูมิสูง และความเข้มแสงที่ต่างกันนั้น มีผลทำให้พีชน้ำทั้ง 2 ชนิดนี้มีความเครียด จึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของ Photosystem II (PSII) ลดปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญในการสังเคราะห์แสง และส่งผลต่อการผลิตออกซิเจน การเจริญเติบโต การสะสมธาตุอาหารในพีชน้ำ Hanelt et al., (1993) จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม *C. demersum* ที่อุณหภูมิสูง ความเข้มแสงต่ำ ค่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นที่ อุณหภูมิ $30^{\circ}C$ ความเข้มแสงต่ำ ค่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ลดลง ส่วน *E. canadensis* อุณหภูมิเดียวกัน ความเข้มแสงต่ำ 90 และ $45 \mu mol \text{ photons } m^{-2}s^{-1}$ ค่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ไม่แตกต่างกัน ยกเว้น ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ $33^{\circ}C$ ความเข้มแสง $180 \mu mol \text{ photons } m^{-2}s^{-1}$ มีค่าสูง ดังนั้นอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงต่ำจะไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ใน *C. demersum* แต่จะส่งผลกระทบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ใน *E. canadensis*

3.4.2 คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll b: Chl *b*)

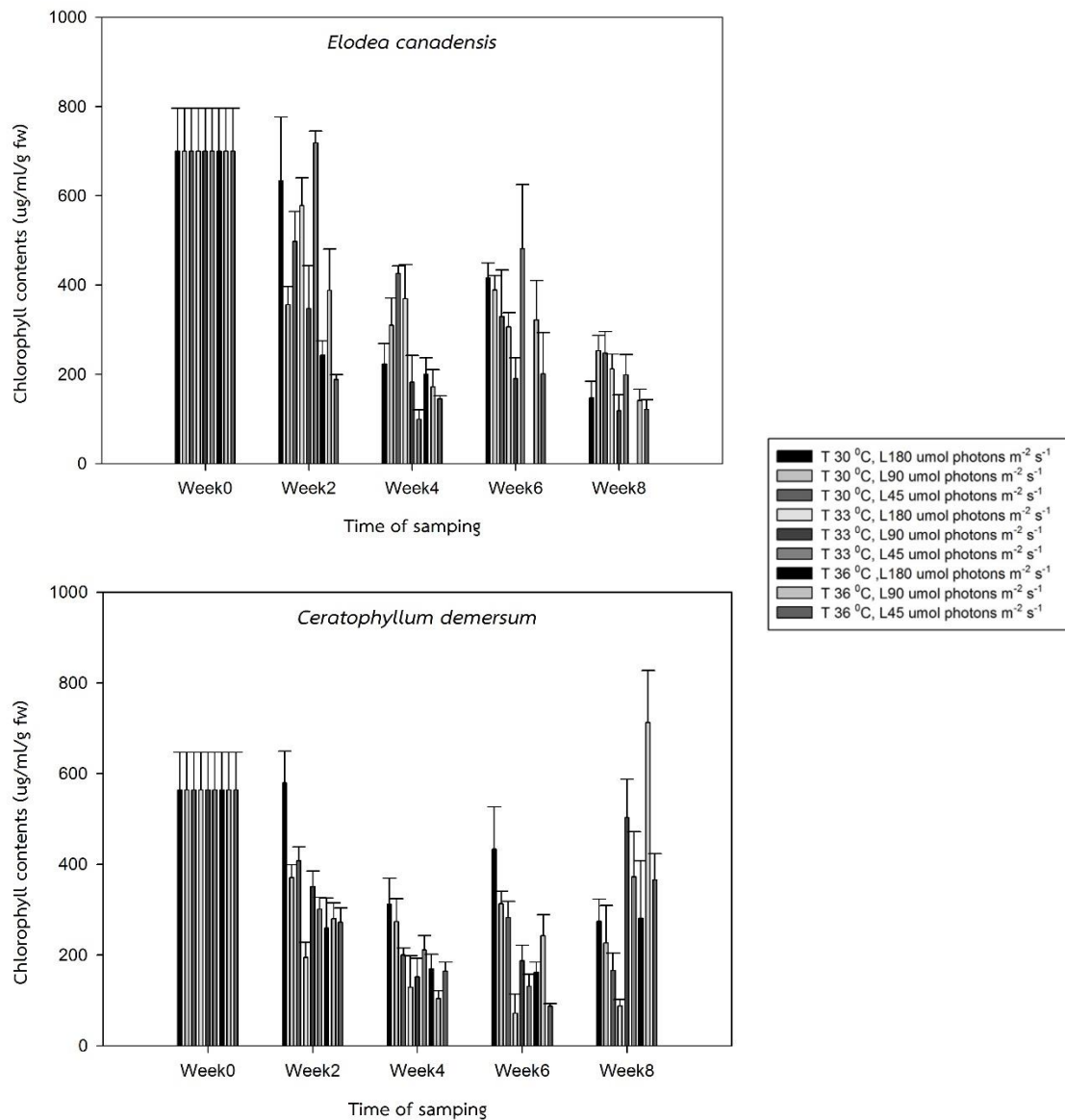
ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ของ *C. demersum* เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ พบว่าระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 3.186$) เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 8.086$) และระหว่างทุกชุดการทดลองกับสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน ($p < 0.001$, $F = 1.767$) รูปที่ 3-9 ในแต่ละชุดการทดลองปริมาณ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) เริ่มต้น ($563.879 \pm 83.470 \mu g/ml/g \text{ fw}$) เมื่อเทียบกับค่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) เริ่มต้น พบว่าสัปดาห์ที่ 2-6 ที่อุณหภูมิ 33 และ $36^{\circ}C$ ความเข้มแสง 180, 90 และ $45 \mu mol \text{ photons } m^{-2}s^{-1}$ มีค่าลดลง แต่ในทางกลับกันสัปดาห์ที่ 8 พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ที่อุณหภูมิ 33 และ $36^{\circ}C$ ความเข้มแสง 180, 90 และ $45 \mu mol \text{ photons } m^{-2}s^{-1}$ มีค่าที่เพิ่มขึ้น เห็นได้ว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) มีความสอดคล้องกัน คลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) เห็นได้ชัดเจน

ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ของ *E. canadensis* เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ (ภาคผนวก) พบว่า ระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 11.476$) เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างสัปดาห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 25.772$) (รูปที่ 3-10) ในแต่ละชุดการทดลองปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) เริ่มต้น ($699.498 \pm 96.803 \mu g/ml/g \text{ fw}$) เมื่อนำผลการทดลองมาเทียบกับทุกชุดการทดลองและทุกสัปดาห์พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ของทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) เริ่มต้น ยกเว้น

ในสัปดาห์ที่ 2 ที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b*) สูงสุด ($718.331 \pm 26.706 \mu\text{g/ml/g fw}$) และในสัปดาห์ที่ 6 ถึงสัปดาห์ที่ 8 พบว่าที่อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chl *b*) ต่ำสุด ($0.000 \pm 0.000 \mu\text{g/ml/g fw}$) เพราะอุณหภูมิสูงและความเข้มแสงสูงทำให้เกิดความเครียด และตาย



รูปที่ 3-9 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll *a* : Chl *a*) ของสาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) ระยะเวลาในการทดลอง 9 สัปดาห์ ($\mu\text{g/ml/g fw}$)



รูปที่ 3-10 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของคลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll b: Chl b) ของ สาหร่ายพวงชะโด (*C. demersum*) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) ระยะเวลาในการทดลอง 9 สัปดาห์ ($\mu\text{g/mL/g fw}$)

3.5 คุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมี

3.5.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

ผลการศึกษาพบว่า DO ของแต่ละชุดทดลองมีค่าสูงสุดคือ 7.87 mg/L ที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 180 กับ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และต่ำสุดคือ 5.93 mg/L ที่อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 90 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อพีชน้ำอยู่ในสภาวะเครียด มีการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อย จึงส่งผลให้ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลง แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่1 (DO ไม่น้อยกว่า 4) (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

3.5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการศึกษา pH ในน้ำสูงสุด 8.13 ที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 180 กับ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และต่ำสุดที่ 7.1 ที่อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ เมื่อพีชน้ำอยู่ในสภาวะเครียดมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อย จึงส่งผลให้ค่า pH น้ำทะเลลดต่ำลง แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทะเล ประเภทที่1 (7.0 - 8.5) (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

3.5.3 ความเค็ม (Salinity)

ผลการศึกษาพบว่าความเค็มของน้ำสูงสุดคือ 0.27 ppt ที่อุณหภูมิ 30 กับ 33 °C ความเข้มแสง 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และต่ำสุด 0.19 ppt อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดทดลอง เมื่อพีชน้ำอยู่ในสภาวะเครียดมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อย จึงส่งผลให้ค่าความเค็มในน้ำทะเลลดต่ำลง แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทะเล ประเภทที่1 (เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินกว่า 10% ของค่าต่ำสุด) (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

3.5.4 ปริมาณของแข็งที่แขวนลอย (Total Dissolved Solids; TDS)

ผลการศึกษาพบว่า TDS ของน้ำในแต่ละชุดทดลองมีค่า TDS สูงสุดคือ 410.8 ppm พบที่ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ และต่ำสุด 318.9 ppm ที่ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 90 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดทดลอง เมื่อพีชน้ำอยู่ในสภาวะเครียดมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อย จึงส่งผลให้ค่า TDS ในน้ำทะเลลดต่ำลง แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทะเล (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

3.5.5 ไนเตรต (Nitrate: NO_3^-)

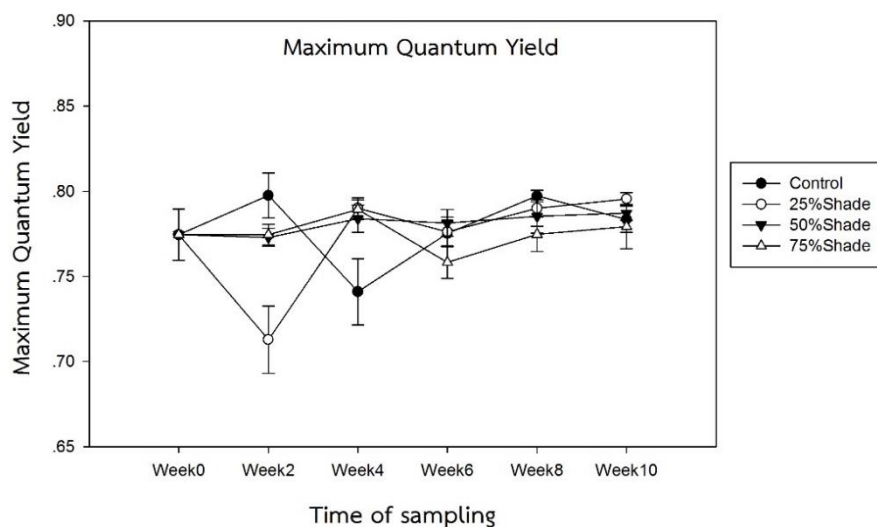
ผลการศึกษพบว่าค่าเฉลี่ย Nitrate ของทุกชุดทดลอง เฉลี่ยแล้วมีค่าสูงสุด 24.67 $\mu\text{g/l}$ พบที่ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 90 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ซึ่งมีการเปลี่ยนน้ำและควบคุมให้ไม่เกิน 20 $\mu\text{g/l}$ แต่ค่าเกินมาตรฐานคุณภาพคุณภาพน้ำทะเล ประเภทที่ 1 (NO_3^- ไม่เกิน 20 $\mu\text{g/l}$) นอกจากนี้ยังมีที่ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มแสง 180, 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 33°C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ที่มีค่าเกินกว่ามาตรฐาน และค่า Nitrate ต่ำสุด คือ 10 $\mu\text{g/l}$ ที่ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 90, 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ กับ ชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 33 °C ความเข้มแสง 180, 90, 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ของคุณภาพน้ำที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพคุณภาพน้ำทะเล ประเภทที่ 1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการลดลงของแสงต่อพืชน้ำในภาคสนาม

3.7 การสังเคราะห์แสง

3.7.1 Maximum quantum yield

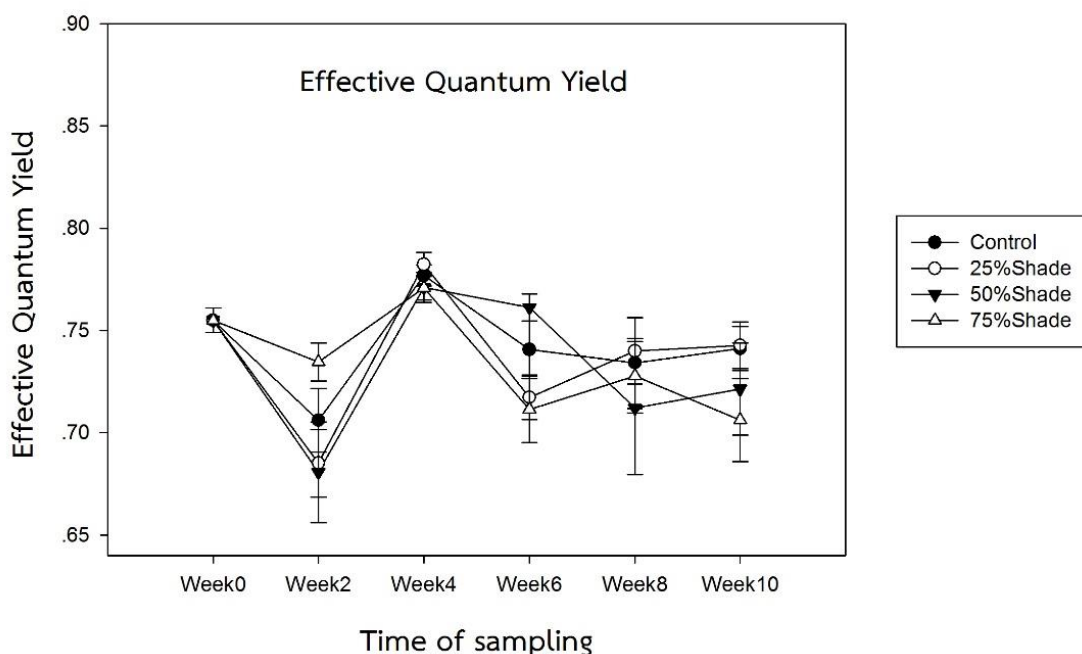
ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด (Maximum quantum yield) ของ *E. canadensis* อยู่ในช่วง 0.62-0.80 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Campbell et al.,(2003) และ Howarth and Durako, (2013) ซึ่งทำการศึกษาในหญ้าทะเล (รูปที่3-11) ในสัปดาห์แรก แต่ละชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้น 0.775 ± 0.015 แต่ในสัปดาห์ที่ 2 พบว่าค่า Maximum quantum yield ของ *E. canadensis* ที่ความเข้มแสงลดลง 25% ได้รับความเครียดทำให้มีค่า Maximum quantum yield ต่ำที่สุด (0.713 ± 0.019) และชุด Control ที่แสง 100% ในสัปดาห์ที่ 2 มีค่า Maximum quantum yield มากที่สุด (0.798 ± 0.013) แต่ละการทดลองในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.068$, $F=2.542$) ความเข้มแสงต่ำมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *E. canadensis* ในบริเวณพื้นที่ศึกษา และ *E. canadensis* มีการปรับตัวทางโครงสร้างต่อสภาวะแสงน้อย มีการยืดตัวเพื่อเข้าหาแสงมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Teng et al., (2007) ได้ทำการศึกษาความเข้มแสงต่ำที่เกิดจากตะกอนในน้ำต่อ *Myriophyllum spicatum* พบว่าความขุ่นที่เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แสงไม่สามารถส่องลงไปใต้น้ำได้ตามปกติก็แต่ไม่สามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นกัน เพราะ *Myriophyllum spicatum* มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ได้รับ



รูปที่ 3-11 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Maximum quantum yield (MQY) ของ *E. canadensis* ระยะเวลา 10 สัปดาห์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

3.7.2 Effective quantum yield

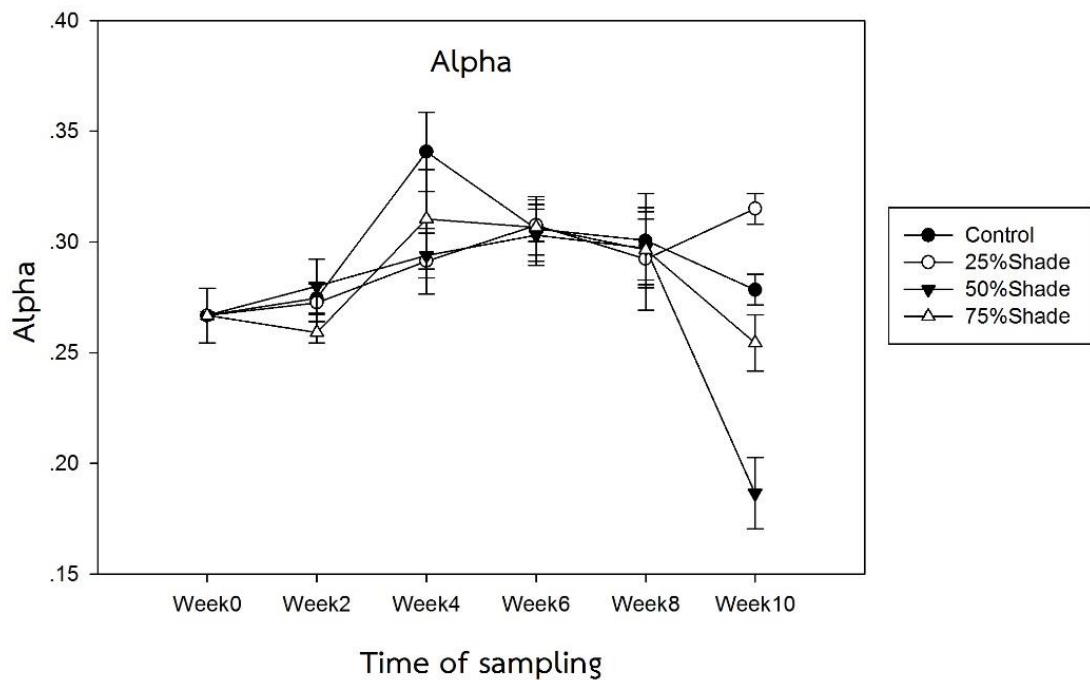
ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Effective quantum yield) ของ *E. canadensis* (รูปที่ 3-12) พบว่าแต่ละชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้น 0.755 ± 0.006 แต่ในสัปดาห์ที่ 2 พบว่า *E. canadensis* ที่ความเข้มแสงลดลง 50% มีค่า Effective quantum yield ต่ำที่สุด (0.681 ± 0.025) และชุดควบคุม ที่แสง 100% ในสัปดาห์ที่ 4 มีค่า Effective quantum yield มากที่สุด (0.770 ± 0.005) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ค่า Effective quantum yield ระหว่างชุดทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน (0.680 ± 0.025 - 0.770 ± 0.001) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ช่วงสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 มีค่าความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับสัปดาห์อื่น อาจเป็นช่วงฤดูฝนทำให้มีความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงไป (280 - $890 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) แต่ในสัปดาห์ที่ 10 พบว่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.068$, $F=2.542$) เนื่องด้วยความเข้มแสงที่ต่ำมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *E. canadensis* ในบริเวณพื้นที่ศึกษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Teng et al., (2007) ทำการศึกษาความเข้มแสงต่ำที่เกิดจากตะกอนในน้ำต่อ *Myriophyllum spicatum* พบว่าการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ได้รับทำให้ผลที่ได้สอดคล้องกับค่า Maximum quantum yield สอดคล้องกับงานวิจัยของ Campbell et al., (2003) และ Howarth and Durako, (2013) ซึ่งทำการศึกษาในหญ้าทะเล



รูปที่ 3-12 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ Effective quantum yield (EQY) ของ *E. canadensis* ระยะเวลา 10 สัปดาห์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

3.7.3 Alpha

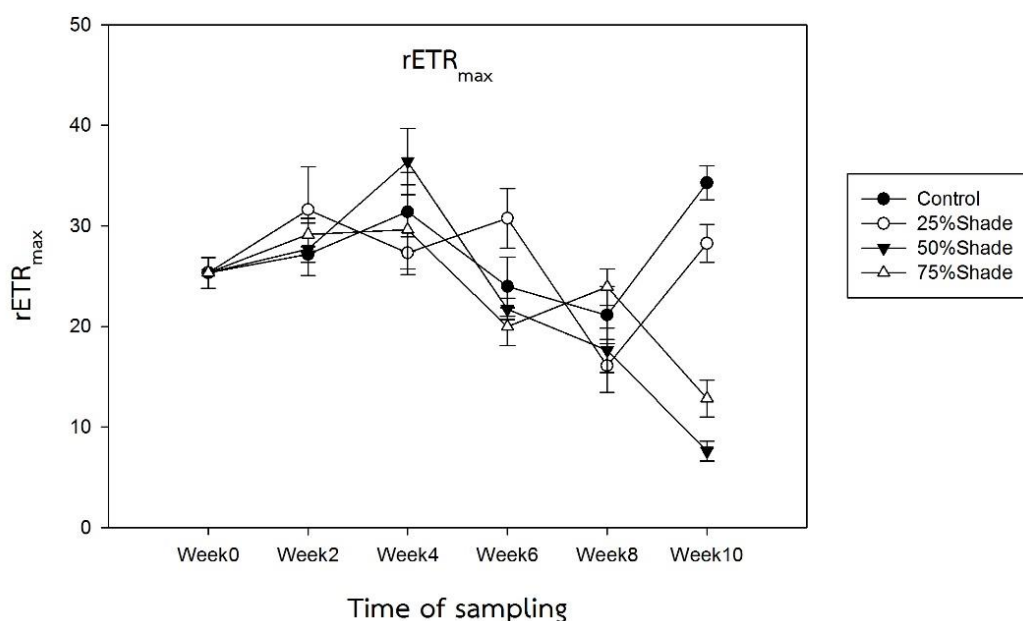
ค่า Alpha พบว่า *E. canadensis* (รูปที่ 3-13) ในสัปดาห์แรกในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.267 ± 0.012 ซึ่ง Alpha มีค่าสูงสุดอยู่ที่สัปดาห์ที่ 4 ที่ชุดควบคุมที่แสง 100% (0.341 ± 0.018) และมีค่าต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 10 ที่ความเข้มแสงลดลง 50% (0.186 ± 0.016) โดยแต่ละชุดการทดลองในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ประสิทธิภาพความสามารถในการจับแสงต่อการสังเคราะห์แสงในแต่ละสัปดาห์ที่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน แต่ในสัปดาห์ที่ 10 จะพบว่า ค่า Alpha ที่ความเข้มแสงลดลง 50% และ 75% มีค่าต่ำกว่าชุด Control และความเข้มแสงลดลง 25% อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 22.644$) ความสามารถในการจับแสงของ *E. canadensis* ที่ความเข้มแสงลดลง 50% และ 75% มีค่าต่ำลง ถึง 0.186 ± 0.016 และ 0.254 ± 0.013 ภายใต้สภาวะแสงน้อย ดังนั้นพืชน้ำมีการปรับตัวทำให้มีค่า Alpha เพิ่มขึ้น (Masini and Manning, 1997; Goldsborough and Kemp, 1988; Ruiz and Romero, 2003; Chen et al., 2016)



รูปที่ 3-13 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของAlpha ของ *E. canadensis* ระยะเวลา 10 สัปดาห์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

3.7.4 Maximum relative electron transport rate ($rETR_{max}$)

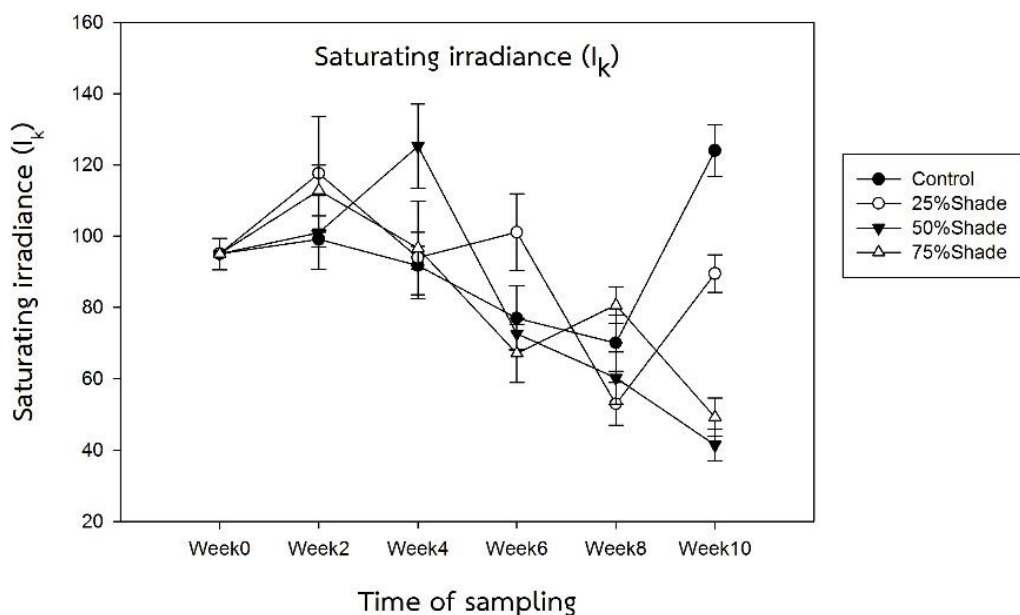
$rETR_{max}$ ในการสังเคราะห์แสงของ *E. canadensis* ในแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ (รูปที่ 3-14) โดยในสัปดาห์แรกพบว่าค่า $rETR_{max}$ เริ่มต้นที่ $25.335 \pm 1.525 \mu\text{mol electrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ส่วนในสัปดาห์ที่ 2-4 ค่า $rETR_{max}$ ของทุกชุดการทดลองมีค่าสูงกว่าค่า $rETR_{max}$ เริ่มต้น $27.319 \pm 1.590 - 36.397 \pm 3.308$ และในสัปดาห์ที่ 4 ที่ความเข้มแสงลดลง 50% มีค่า $rETR_{max}$ มากที่สุด ($36.397 \pm 3.308 \mu\text{mol electrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ในสัปดาห์ที่ 6 ทุกชุดการทดลองมีค่า $rETR_{max}$ ลดลงต่ำกว่า $rETR_{max}$ เริ่มต้น $23.977 \pm 2.935 - 19.985 \pm 1.897$ ยกเว้นที่ความเข้มแสงลดลง 25% สัปดาห์ที่ 8 ทุกชุดการทดลองก็มีค่า $rETR_{max}$ ลดลง พบว่าที่ความเข้มแสง 50% ค่า $rETR_{max}$ มีค่าต่ำที่สุด ($7.611 \pm 1.010 \mu\text{mol electrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ในสัปดาห์ที่ 10 พบว่า ค่า $rETR_{max}$ ที่แสง 50% และ 75% มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมและชุดแสงลดลง 25% อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 58.238$) จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มแสงต่ำไม่ผลกระทบต่อค่า $rETR_{max}$ แต่หากเมื่อความเข้มแสงในอากาศ สูงกว่า $500 \mu\text{mol electrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงต่ำกว่า 50% ค่า $rETR_{max}$ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด Singh and Singh, (2015) พบว่าภายใต้สภาวะแสงต่ำ มีปริมาณแสงไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพีชน้ำมีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง



ภาพที่ 3-14 ค่าเฉลี่ย±SE ของ rETR_{max} ของ *E. canadensis* ระยะเวลา 10 สัปดาห์ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

3.7.5 Saturating irradiance (I_k)

ค่า I_k ของ *E. canadensis* ในแต่ละชุดการทดลองในระยะเวลา 10 สัปดาห์รูปที่ 3-15 ในสัปดาห์แรกค่า I_k เริ่มต้นที่ $95.016 \pm 4.391 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ผ่านไป 2 สัปดาห์ มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 4 ที่มีค่าสูงสุด ($125.242 \pm 11.763 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ที่ความเข้มแสงลดลง 50% และในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าที่ชุด Control ที่ความเข้มแสงลดลง 50% และ 75% ค่า I_k ลดลงในทางกลับกันที่ความเข้มแสง 25% มีค่าเพิ่มขึ้น $101.104 \pm 10.836 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ และในสัปดาห์ 10 พบว่าความเข้มแสงลดลง 50% และ 75% มีค่า I_k ต่ำที่สุด คือ 41.431 ± 4.493 และ $49.271 \pm 5.372 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ตามลำดับโดยในระยะเวลา 10 สัปดาห์ I_k ต่อการสังเคราะห์แสงมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันยกเว้นสัปดาห์ที่ 10 พบว่า ค่า I_k ที่ความเข้มแสงลดลง 50% และ 75% มีค่าต่ำกว่าชุด Control และความเข้มแสง 25% อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 45.775$)

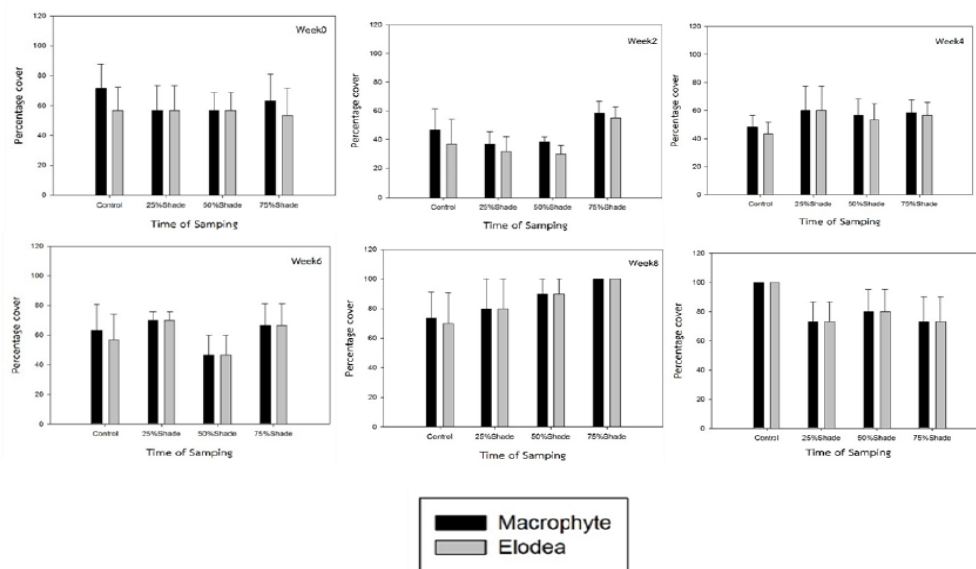


รูปที่ 3-15 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของ I_k ของ *E. canadensis* ระยะเวลา 10 สัปดาห์ ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

3.8 พื้นที่ปกคลุมของพืชน้ำ (Macrophyte percentage cover)

ในงานวิจัยได้ทำศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำในภาคสนามได้ทำการวัด พื้นที่ปกคลุมของพืชน้ำ (Macrophyte percentage cover) พบว่า ในทะเลสาบสงขลาพบ จะมีพื้นที่ปกคลุมของพืชน้ำทั้งหมด (Macrophytes) ได้แก่ สาหร่ายดอกกุหลาบ สายเห็บ สาบใบ ฯลฯ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 6.352$) และ *E. canadensis* เป็นชนิดเด่น พื้นที่ปกคลุมของพืชน้ำ *E. canadensis* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$, $F = 7.715$) ในสัปดาห์แรกพบว่ามีพื้นที่ปกคลุมของพืชน้ำสายพันธุ์อื่นๆในแต่ละชุดการทดลองมีพื้นที่ปกคลุมของพืชน้ำ เริ่มต้นที่ Control ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75% มีค่า 71.667 ± 15.899 , 56.667 ± 16.667 , 56.667 ± 12.019 และ $63.333 \pm 17.638\%$ ตามลำดับ และ *E. canadensis* ที่ชุด Control ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75% มีค่า 56.667 ± 15.899 , 56.667 ± 16.667 , 56.667 ± 12.019 และ $53.333 \pm 18.559\%$ ตามลำดับ ต่อมาในสัปดาห์ที่ 8 และ 10 พื้นที่ปกคลุมมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น นอกจากนั้นในสัปดาห์ที่ 8 ที่ความเข้มแสงลดลง 75% และสัปดาห์ 10 ที่ชุด Control พื้นที่ปกคลุมเป็นมีค่า 100% งานวิจัยนี้ไม่สอดคล้องกับ Dawson & Kern-Hansen, (1979); Zhu et al., (2008) และ Arthaud et al., (2012) รายงานว่าความเข้มแสงต่ำจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายของพืชน้ำที่จมอยู่ใต้น้ำลดลง แต่สอดคล้องกับ Zhu et al., (2008) รายงานว่าพืชน้ำแต่ละสายพันธุ์

จะมีการปรับสภาพการเจริญเติบโตให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เพื่อตอบสนองต่อช่วงเวลาหรือเงื่อนไขของแสงน้อย เพื่อความอุดมสมบูรณ์ของพืชน้ำที่สูงในที่มีความเข้มแสงน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า *E. canadensis* และพืชน้ำชนิดอื่นๆ ในทะเลสาบสงขลา มีความสามารถในการปรับตัวต่อภาวะแสงน้อยได้ดี โดยยังสามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนต่อไปได้ถ้าอยู่ในสภาวะที่อุดมภูมิและปัจจัยทางเคมี เช่น ธาตุอาหาร เหมาะสม



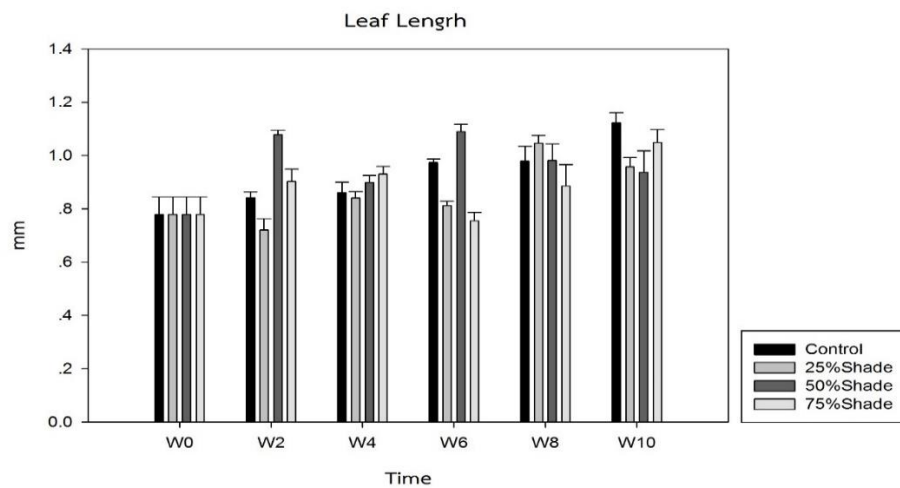
รูปที่ 3-16 ค่าเฉลี่ย±SE ของพื้นที่ปกคลุม (Percentage cover) ของพืชน้ำ (Macrophytes) และสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) ความเข้มแสงแตกต่างกัน ในการทดลองสัปดาห์ที่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10

3.9 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

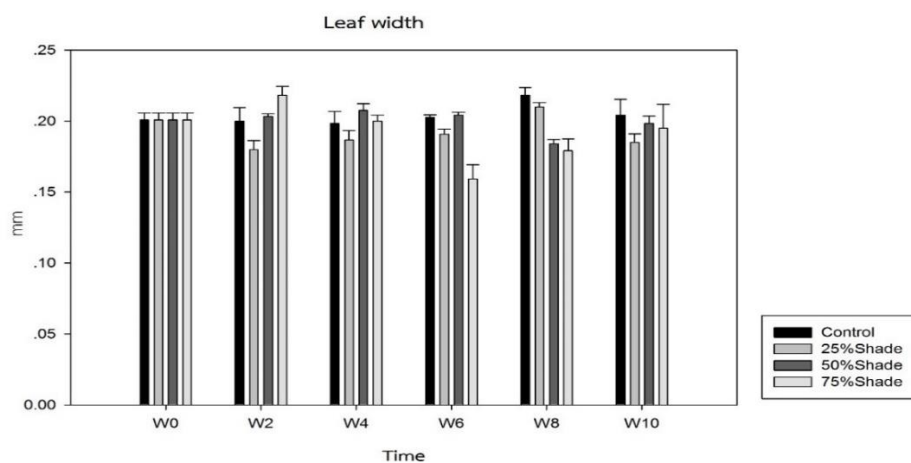
ความยาวของใบ *E. canadensis* ที่สัปดาห์แรก ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้น 0.779 ± 0.066 mm เมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 สัปดาห์ ความยาวของชุด Control ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75% มีค่า 1.123 ± 0.038 , 0.958 ± 0.034 , 0.938 ± 0.079 และ 1.048 ± 0.049 mm ตามลำดับ (รูปที่ 3-17) แต่ละชุดการทดลองมีความยาวของใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.068$, $F=2.542$) (ตาราง 3-6.5) แต่ขนาดของความยาวใบที่ชุดความเข้มแสงลดลง 25% และ 50% มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับชุด Control

ความกว้างของใบ *E. canadensis* มีค่าเริ่มต้น 0.201 ± 0.005 mm เมื่อระยะเวลาผ่านไป 10 สัปดาห์ ความกว้างของชุด Control ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75% มีค่า 0.204 ± 0.011 , 0.185 ± 0.006 , 0.198 ± 0.005 และ 0.195 ± 0.017 mm ตามลำดับ (รูปที่ 3-18)

แต่ละชุดการทดลองมีความกว้างของใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.644$, $F=0.561$) (ตาราง 3-6.5) สรุปได้ว่าผลการศึกษาของความยาวและความกว้างของใบในแต่ละชุดทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัย Callum, (1902) ได้ทำการทดลองนำพืชน้ำจำนวนมากมาทดลองภายใต้สภาพแสงที่ต่างกัน ได้ผลสรุปว่าความเข้มแสงที่ต่างกันไม่มีผลต่อคุณลักษณะใบของพืชน้ำที่นำมาทดลอง



รูปที่ 3-17 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของความยาวของใบ *E. canadensis* (mm) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (ชุด Control ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)

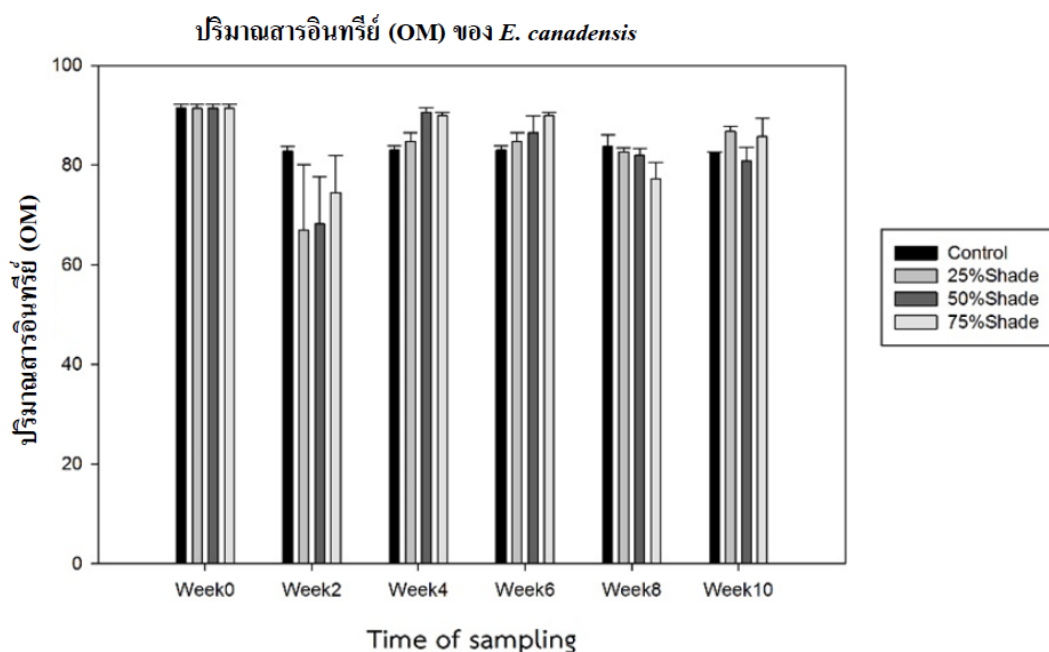


รูปที่ 3-18 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของความกว้างของใบสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) (mm) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (ชุด Control, ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)

3.10 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter: OM) และอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon: OC)

3.10.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

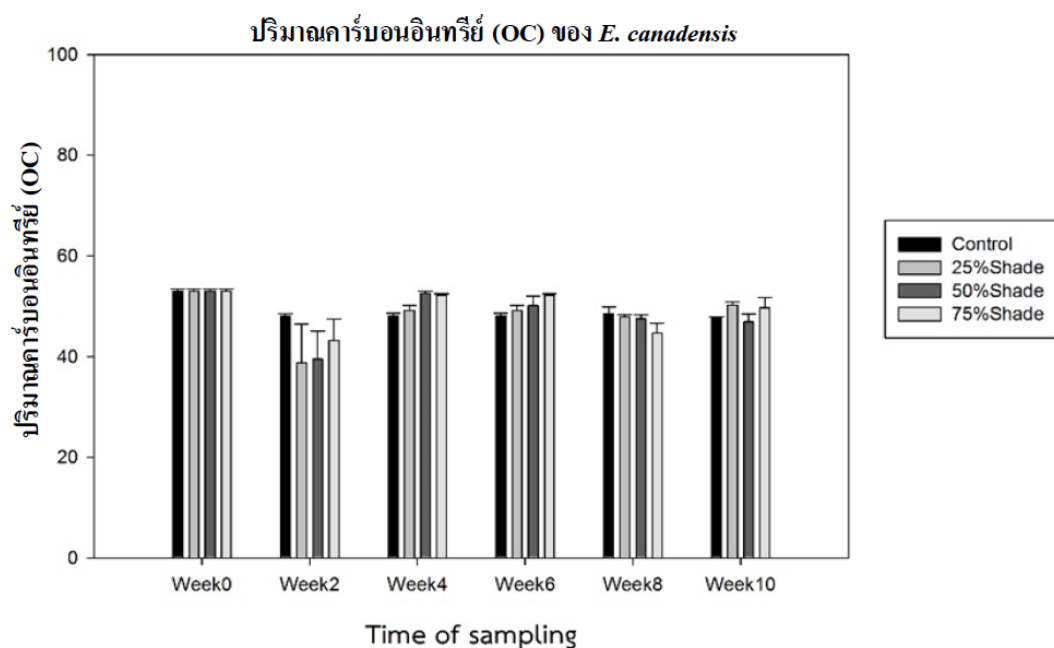
ในระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ (รูปที่ 3-19) ของ *E. canadensis* ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้น $91.374 \pm 0.791\%$ ในสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณสารอินทรีย์ ของ ที่ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75% มีค่าลดลงต่ำที่สุด 66.842 ± 13.249 , 68.216 ± 9.403 และ $74.436 \pm 7.424\%$ ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณสารอินทรีย์ เพิ่มขึ้น เนื่องจากพีชน้ำชนิดนี้มีการปรับตัวโดยการยีนส่วนลำต้นและใบช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแสงได้มากขึ้นให้เข้ากับ ความเข้มแสงเพื่อความอยู่รอด Tobiesen and Snow, (1984) และ Strand and Weisner, (2001) โดยในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ปริมาณสารอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน 46.890 ± 1.537 - 50.277 ± 0.591 ดังนั้นประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.304$, $F=1.432$) ตาราง 3-6.5



ภาพที่ 3-19: ค่าเฉลี่ย \pm SE ของปริมาณสารอินทรีย์ (OM) ของ สาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (Control, 25%Shade, 50%Shade และ 75%Shade)

3.10.2 อินทรีย์คาร์บอน

ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (รูปที่ 3-20) ของ *E. canadensis* ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้น $53.001 \pm 0.459\%$ และในสัปดาห์ที่ 2 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) ที่ความเข้มแสง 25%, 50% และ 75% มีค่าต่ำที่สุดที่ 38.772 ± 7.686 , 39.569 ± 5.454 และ $43.176 \pm 4.306\%$ ตามลำดับ ส่วนในสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) เพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชน้ำชนิดนี้มีการปรับตัวโดยการยีนส่วนลำต้นและใบช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแสงได้มากขึ้นให้เข้ากับความเข้มแสงเพื่อความอยู่รอด Tobiesen and Snow, (1984) และ Strand and Weisner, (2001) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันดังนั้นประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงจึงไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.304$, $F=1.432$)



รูปที่ 3-20 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) ของสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (Control, 25%Shade, 50%Shade และ 75%Shade)

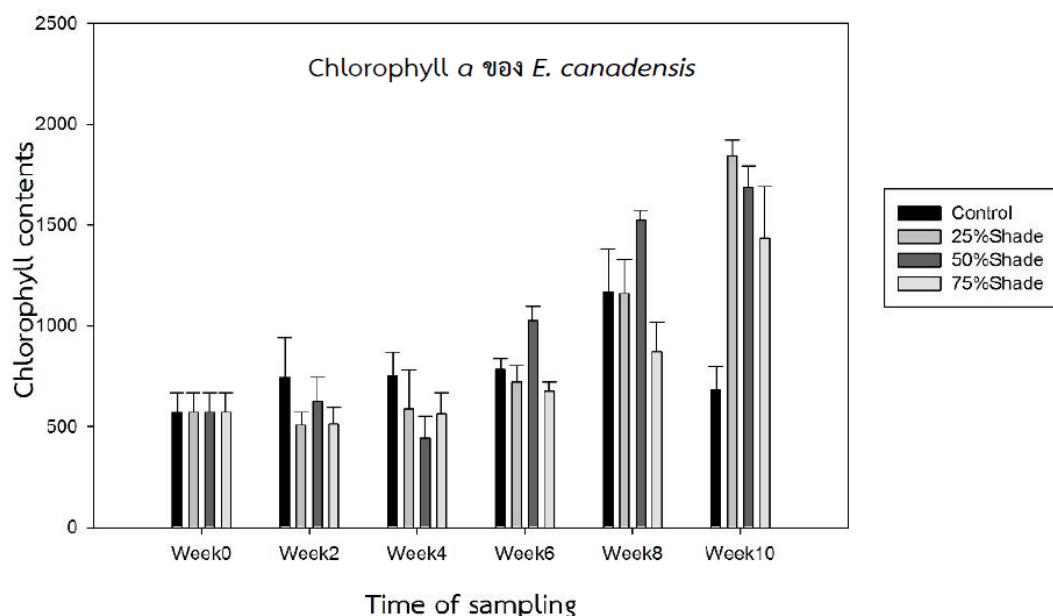
3.11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content)

จากการศึกษา พบปริมาณคลอโรฟิลล์ ของพีชน้ำ *E. canadensis* ดังนี้

3.11.1 คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophylla: Chl a)

ในระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ของ *E. canadensis* (รูปที่ 3-21) ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้น $571.646 \pm 95.819 \mu\text{g}/\text{mL}/\text{g fw}$ และในสัปดาห์ที่ 2 ถึง 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ชุดควบคุม มีค่าเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่สัปดาห์สุดท้ายที่มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ และที่ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75% ในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ลดต่ำกว่าค่าเริ่มต้น และยังพบว่าความเข้มแสงลดลง 25% ในสัปดาห์สุดท้าย มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) สูงสุด ($1842.218 \pm 77.091 \mu\text{g}/\text{mL}/\text{g fw}$) และ ความเข้มแสงลดลง 50% ในสัปดาห์ที่ 4 มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ต่ำสุด ($441.771 \pm 109.608 \mu\text{g}/\text{mL}/\text{g fw}$) โดยในระยะเวลา 10 สัปดาห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ของ *E. canadensis* ในชุดทดลอง 25%, 50% และ 75% มีค่าสูงกว่าชุด Control อย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.003$, $F=10.952$) พีชน้ำมีการปรับตัวในสภาวะแสงน้อยโดยการเพิ่มจำนวนรงควัตถุเพื่อให้สามารถจับแสงได้มากขึ้น (Aisha et al., 2018) คลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ของ *E. canadensis* ในทะเลสาบสงขลาไม่สอดคล้องกับในห้องทดลองเพราะในทะเลสาบสงขลาได้มีการควบคุมความเข้มแสงอย่างเดียว แต่ในห้องปฏิบัติการมีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความเข้มแสง จึงทำให้ค่าที่มีความแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าในทะเลสาบสงขลา ค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ในสัปดาห์ที่ 2-4 ที่ความเข้มแสงลดลง คลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ก็ลดลง แต่ในสัปดาห์ที่ 6-10 ที่ความเข้มแสงลดลง ค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) กลับสูงขึ้น แต่ในห้องทดลองกลับมีที่ความเข้มแสงลดลง ค่า คลอโรฟิลล์เอ (Chl a) ก็ลดลง เนื่องจากมีปัจจัยเรื่อง

อุณหภูมิมาเกี่ยวข้อง

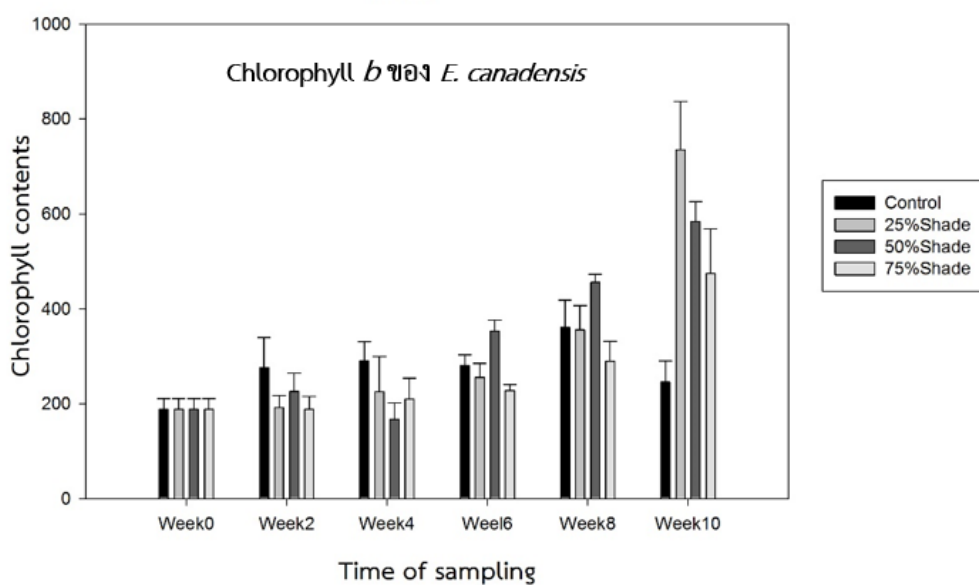


รูปที่ 3-21 ค่าเฉลี่ย \pm SE ของปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) $\mu\text{g/ml/g}$ fw ของสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (Control, ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)

3.11.2 คลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll b: Chl b)

ในระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl b) ของ *E. canadensis* รูปที่ 3-22 ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าเริ่มต้น $188.332 \pm 22.605 \mu\text{g/ml/g}$ fw ในสัปดาห์ที่ 2 ถึง 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl b) ในชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ความเข้มแสง 25%, 50% และ 75% ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl b) ลดต่ำกว่าค่าเริ่มต้น และยังพบว่า ที่ 25% ในสัปดาห์สุดท้าย มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl b) สูงสุด ($734.849 \pm 102.046 \mu\text{g/ml/g}$ fw) โดยการทดลองในระยะเวลา 10 สัปดาห์ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl b) ของ *E. canadensis* ที่ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75% มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.011$, $F=7.367$) *E. canadensis* มีการปรับตัวในสภาวะแสงน้อยโดยการเพิ่มจำนวนรงควัตถุเพื่อให้สามารถจับแสงได้มากขึ้น Aisha et al., (2018) คลอโรฟิลล์บี (Chl b) ถูกสังเคราะห์มาจากคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) โดยการออกซิเดชันของกลุ่มเมทิลบนวงแหวน B ของโมเลกุล (Porra et al., 1993) ซึ่งคลอโรฟิลล์บี (Chl b) คือรวบรวมพลังงานแสงและถ่ายโอนไปยังคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) (Duysens, 1952) คลอโรฟิลล์บี (Chl b) ในทะเลสาบสงขลาไม่สอดคล้องกับในห้องทดลอง เพราะในทะเลสาบสงขลาได้มีการควบคุมความเข้มแสงอย่างเดียว แต่ในห้องปฏิบัติการมีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความเข้มแสง

จึงทำให้ค่าที่มีความแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าในทะเลสาบสงขลา คลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ในสัปดาห์ที่ 2-4 ที่ความเข้มแสงลดลง คลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ก็ลดลง แต่ในสัปดาห์ที่ 6-10 ที่ความเข้มแสงลดลง คลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) กลับสูงขึ้น แต่ในห้องทดลองกลับมีที่ความเข้มแสงลดลง คลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ก็ลดลง เนื่องจากมีปัจจัยเรื่องอุณหภูมิมาเกี่ยวข้อง



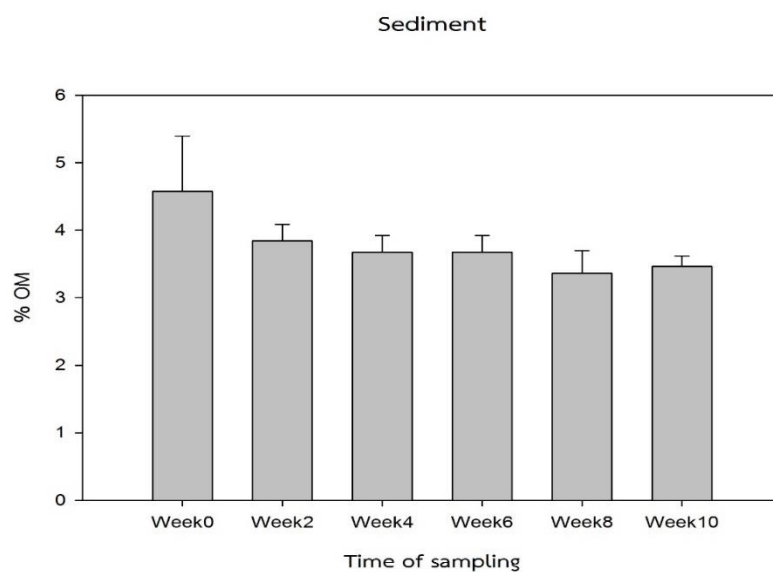
รูปที่ 3-22 ค่าเฉลี่ย±SE ของปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl*b*) (µg/ml/g fw) ของสาหร่ายดอกกุหลาบ (*E. canadensis*) ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ของ 4 ชุดการทดลองที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน (Control, ความเข้มแสงลดลง 25%, 50% และ 75%)

ในงานวิจัยนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl*a*) และปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl*b*) ไม่สอดคล้องกับรายงานของ Jeon et al., (2006) และ Li et al., (2014) การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *Doritaenopsis* sp. ที่ความเข้มแสงน้อย ซึ่งพบว่าพืชที่ได้รับแสงที่ความเข้มแสงต่ำจะผลิตคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นและดูดซับแสงได้มากขึ้น

3.12 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter: OM) และอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon: OC) ในตะกอนดิน

3.12.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter: OM) ในตะกอนดิน

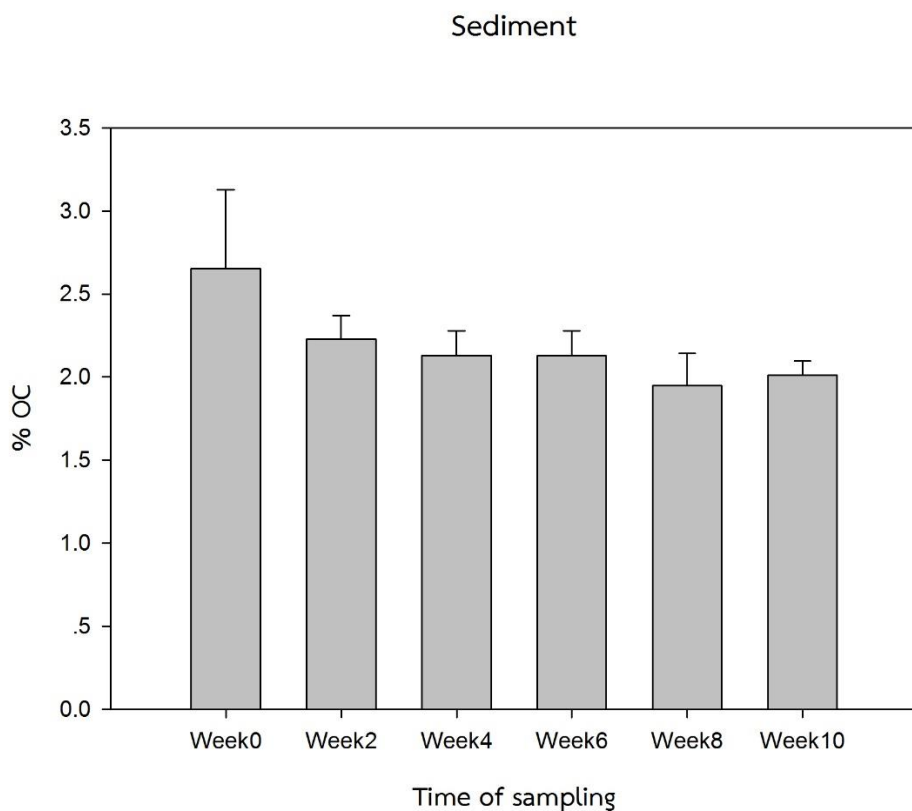
พื้นที่ศึกษาพบปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) อยู่ในช่วง 3.361 ± 0.337 - 4.575 ± 0.818 % ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.397$, $F=1.128$) (รูปที่ 3-23)



รูปที่ 3-23 ปริมาณสารอินทรีย์ (OM) ในตะกอนดิน ระยะเวลา 10 สัปดาห์

3.12.2 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon: OC) ในตะกอนดิน

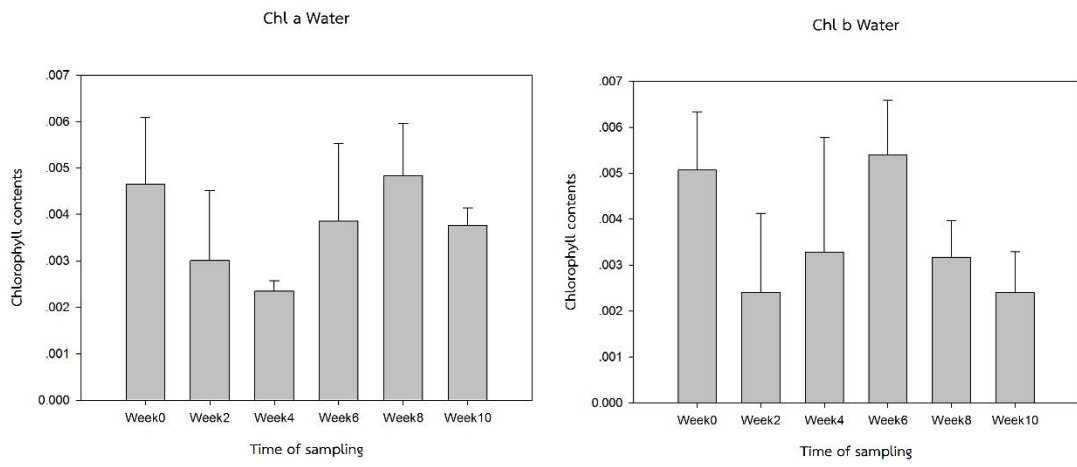
พื้นที่ศึกษาพบว่ามีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อยู่ในช่วง 1.949 ± 0.195 - 2.653 ± 0.474 % ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.397$, $F=1.128$) (รูปที่3.24)



รูปที่3-24 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) ในตะกอนดิน ระยะเวลา 10 สัปดาห์

3.13 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและบี (Chlorophyll *a* และ *b*) ในน้ำ

พื้นที่ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.678$, $F=0.634$) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) อยู่ในช่วง 0.002 ± 0.000 ถึง 0.005 ± 0.002 ($\mu\text{g}/\text{ml}/\text{g fw}$) (รูปที่3-25) และปริมาณคลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.599$, $F=0.754$) โดยอยู่ในช่วง 0.002 ± 0.000 ถึง 0.005 ± 0.002 ($\mu\text{g}/\text{ml}/\text{g fw}$)



รูปที่ 3-25 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) และ คลอโรฟิลล์บี (Chl b) ในน้ำ

บทที่ 4

สรุปและแนวทางการนำงานวิจัยไปสู่การพัฒนา

4.1 สรุปผลงานวิจัย

4.1.1 สรุปผล

การทดลองที่ 1 ผลการศึกษาเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกับการลดลงของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และการเจริญเติบโตของ *C. demersum* และ *E. canadensis* ในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 9 ชุดการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ 30, 33 และ 36 °C ความเข้มแสง 180, 90 และ 45 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ พบว่า *C. demersum* จะมีค่าการสังเคราะห์แสง ปริมาณสารอินทรีย์ (OM) คาร์บอนอินทรีย์ (OC) คลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) คลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) และคลอโรฟิลล์ a:b ได้ดีกว่า *E. canadensis* ที่อุณหภูมิสูง 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ มีค่าเท่ากับ 0 เพราะได้รับอุณหภูมิที่สูงและความเข้มแสงสูง ทำให้ *E. canadensis* เกิดความเครียดและตาย ในส่วนอัตราการเจริญเติบโต ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีการลดลงของความเข้มแสง *C. demersum* จะมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่า *E. canadensis* แต่ในทางกลับที่อุณหภูมิ 36 °C ความเข้มแสง 180 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ อัตราการเจริญเติบโตของ *C. demersum* ต่ำกว่า *E. canadensis* หากในอนาคตอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเข้มแสงลดลง *C. demersum* จะมีการปรับตัวเพื่อความอยู่รอดและแพร่กระจายได้ดีกว่า *E. canadensis* (รูปที่ 4-1)

การทดลองที่ 2 ผลการศึกษาผลของการลดลงของแสงต่อพืชน้ำในภาคสนาม ได้ทำการศึกษาในทะเลสาบสงขลาตอนกลาง โดยการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ได้แก่ Control แสง 100%, ความเข้มแสง 25 %, 50 % และ 75 % เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์โดยช่วงที่ทำการศึกษารับพืชน้ำชนิด *E. canadensis* เป็น ชนิดเด่น เปอร์เซ็นต์การปกคลุมมากที่สุด $73.333 \pm 16.668 - 100 \pm 0.000\%$ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด (Maximum quantum yield) และ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Effective Quantum Yield) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชุดการทดลอง โดยค่าอยู่ในช่วง $0.68 \pm 0.025 - 0.782 \pm 0.005$ ค่า Alpha อยู่ในช่วง $0.186 \pm 0.016 - 0.31 \pm 0.006$ ในสัปดาห์สุดท้ายที่ 50% มีค่าต่ำกว่า 0.25 ค่า $rETR_{max}$ อยู่ในช่วง 18-28 ในสัปดาห์สุดท้ายชุดการทดลองความเข้มแสงลดลง 50% และ 75% มีค่า $rETR_{max}$ ต่ำสุดค่า I_k อยู่ในช่วง 40-120 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ อัตราการเจริญเติบโตของ *E. canadensis* ความกว้างและความยาวของใบของทุกชุดการทดลองไม่มีค่าความแตกต่างกัน ปริมาณสารอินทรีย์ (OM) อยู่ในช่วง 65-90% ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) อยู่ในช่วง 40-55 ค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chl *a*) และ

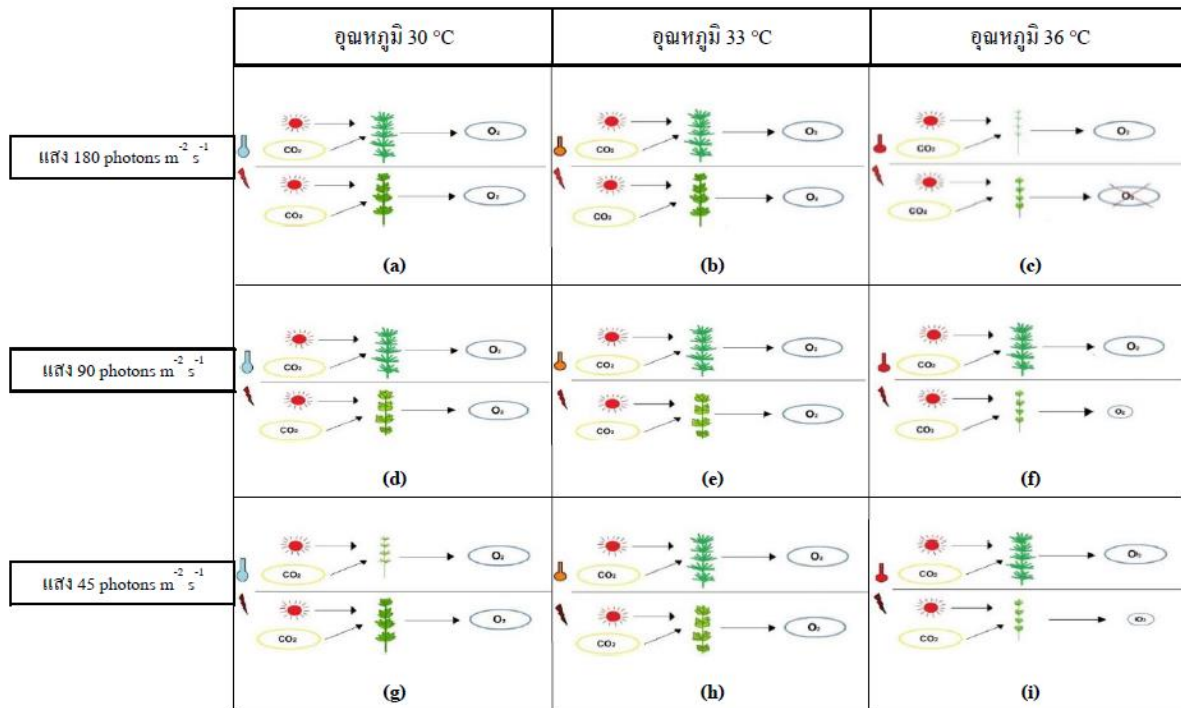
คลอโรฟิลล์บี (Chl *b*) ที่ชุดการทดลองลดลง 25% 50% และ 75% มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุด Control (รูปที่ 4-2)

จากการคาดการณ์ของ IPCC ที่ได้กล่าวมาแล้วว่า หากในอนาคตเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดขึ้น หรือที่เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในโลก และอาจจะมีระบบนิเวศบางระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหนึ่งในนั้นจะเป็นระบบนิเวศทางน้ำเค็ม น้ำจืด และน้ำกร่อย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพืชน้ำที่โดดเด่นจำนวน 2 ชนิดจากทะเลสาบสงขลาตอนกลาง ได้แก่ *C. demersum* และ *E. canadensis* สรุปได้ว่า หากมีอุณหภูมิสูงขึ้น และมีความเข้มแสงที่ต่ำลงที่อาจเกิดจากปรากฏการณ์ Eutrophication หรือความขุ่นที่มากขึ้น ทำให้แสงไม่สามารถส่องลงไปได้ น้ำได้ตามปกติ จะส่งผลทำให้พืชน้ำที่ไม่สามารถทนกับอุณหภูมิที่สูง และความเข้มแสงที่ต่ำ ได้ อย่างไรก็ตาม พืชน้ำจะเกิดความเครียด ไม่สามารถสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตได้ อาจส่งผลให้ทำให้พืชน้ำสายพันธุ์นั้นตาย และหายไปจากระบบนิเวศในบริเวณนั้น อย่างไรก็ตาม พบว่าพืชน้ำจำพวก *C. demersum* ทนกับอุณหภูมิที่สูง ความเข้มแสงที่ต่ำ และอุณหภูมิสูง ความเข้มแสงที่สูงสามารถปรับตัวได้ในสภาวะที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า *E. canadensis* ซึ่งส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไป

จากการศึกษาผลของการลดลงของแสงต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *E. canadensis* พบว่าการลดลงของแสงตั้งแต่ 25-75% นั้นส่งผลกระทบต่อ การสังเคราะห์ด้วยแสง และการเจริญเติบโตของ *E. canadensis* น้อย เนื่องจากพืชน้ำชนิดนี้มีการปรับตัวต่อการลดลงของแสงโดยการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เอและบี ทำให้มีความสามารถในการจับแสงมาใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวทางสรีรวิทยา (Physiological adaptation) และนอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง (Morphological adaptation) โดยการยืดความยาวของต้นอีกด้วย นอกจากนี้ การทดลองนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 โดยพบว่าอุณหภูมินั้นจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพืชน้ำได้มากกว่าความเข้มแสง

รูปที่ 4-1 ผลการศึกษาผลของแสงและอุณหภูมิต่อ *Ceratophyllum demersum* และ *Elodea canadensis*

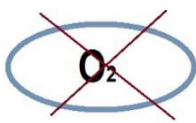
หมายเหตุ



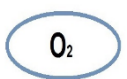
หมายถึง การเจริญเติบโตลดลง



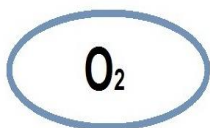
หมายถึง การเจริญเติบโตดี



หมายถึง ไม่มีการสังเคราะห์แสง

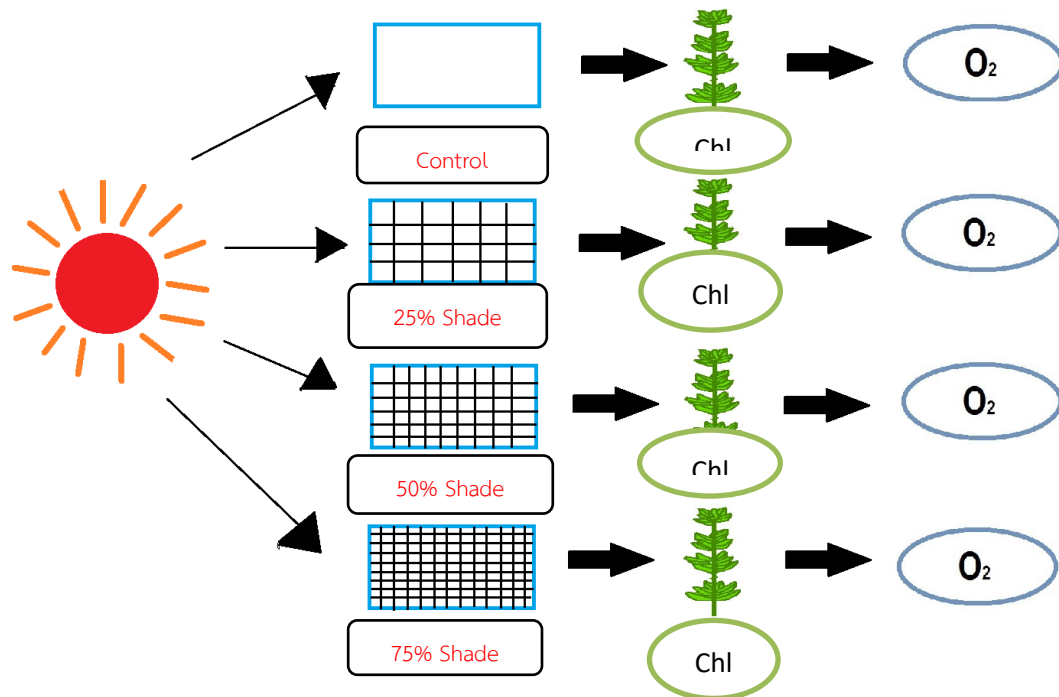


หมายถึง ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง



หมายถึง ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงดี

รูปที่ 4-2 ผลการศึกษาผลของแสงต่อ *Elodea canadensis*



หมายเหตุ: สรุปได้ว่า ที่ความเข้มแสงลดลง Control, 25%Shade, 50%Shade และ 75%Shade

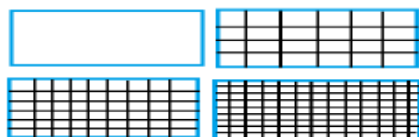
chl หมายถึง ปริมาณปริมาณคลอโรฟิลล์น้อย

Chl หมายถึง ปริมาณปริมาณคลอโรฟิลล์มาก



หมายถึงการเจริญเติบโตได้ดีของ *E. canadensis* บ่งบอกว่าไม่มีความแตกต่างกันของทุกชุดการทดลอง

O₂ หมายถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์ได้ดีของ *E. canadensis* บ่งบอกว่าไม่มีความแตกต่างกันของทุกชุดการทดลอง



หมายถึง แล่นขนาดต่างๆ ใช้ในชุดการทดลอง

4.2 แนวทางการนำงานวิจัยไปสู่การพัฒนาสิ่งแวดล้อมของทะเลสาบสงขลา

แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์จากการศึกษา จะเป็นหลักฐานทางวิชาการที่ยืนยันและการสนับสนุนว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เช่นการเกิด ปรากฏการณ์ Eutrophication หรือการเพิ่มขึ้นของตะกอนซึ่งส่งผลให้มีการลดลงของแสงส่องถึงใต้น้ำ จะมีผลกระทบต่อพืชน้ำซึ่งเป็นผู้ผลิตสำคัญอันดับหนึ่ง และส่งผลต่อสังคมพืชและสัตว์และระบบนิเวศทะเลสาบสงขลา

การจัดการน้ำเสีย ธาตุอาหาร ตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น การสนับสนุนทางวิชาการหรือหลักฐานยืนยัน การป้องกันและหยุดยั้งการเปลี่ยนแปลงของทะเลสาบสงขลาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศคงทำได้ยาก เนื่องจากเป็นพื้นที่เปิดจึงยากต่อการควบคุม แต่งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ยืนยันถึงผลกระทบที่มีโอกาสจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือและการมีจิตสำนึกของคนในพื้นที่ เพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญของระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลา นอกจากนี้เป็นงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของพืชน้ำหาแนวทางแก้ไขเรื่องปัญหาของพืชน้ำในทะเลสาบสงขลาที่มีมากในช่วงที่ปริมาณธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบต่อระบบนิเวศที่สำคัญดังกล่าว แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบไม่น้อยกว่ากันดังที่กล่าวไปแล้ว เช่น การปล่อยน้ำเสียลงสู่ทะเลสาบสงขลา ปริมาณตะกอนและธาตุอาหารผิวดินที่ชะล้างจากปริมาณน้ำฝนและการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ รวมถึงปริมาณน้ำในทะเลสาบสงขลา แนวทางในการจัดการและป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นโดยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. การปลูกจิตสำนึก รมณรงค์การรักษาและร่วมอนุรักษ์สภาพแวดล้อม รวมถึงระบบนิเวศของทะเลสาบสงขลาอย่างเป็นระบบการรณรงค์การบำบัด กำจัด และการนำน้ำเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เช่นใช้น้ำเสียสำหรับการรดน้ำต้นไม้หรือปลูกพืช การลดปริมาณน้ำเสียดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณสารอาหารที่พืชใช้ในการเจริญเติบโตโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชกลุ่มพืชน้ำ หากมีการเจริญเติบโตรวดเร็วและมีปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลต่อปริมาณความเข้มแสงที่จะส่องไปยังพืชที่อยู่ใต้น้ำ ส่งผลต่อระบบนิเวศของทะเลสาบสงขลาโดยรวมเป็นวงกว้าง ตั้งแต่ การลดลงของประชากรสัตว์น้ำเนื่องจากการขาดแหล่งอาหาร แหล่งที่อยู่อาศัย ต่อเนื่องไปจนถึงการขาดแคลนแหล่งอาหารของมนุษย์ที่อยู่รอบทะเลสาบ
2. การลดปริมาณตะกอนที่ไหลลงทะเลสาบสงขลา โดยการปลูกต้นไม้เป็นแนวป้องกันรอบพื้นที่ทะเลสาบหรือปลูกพืชน้ำเช่น โกงกางนอกจากจะป้องกันปริมาณตะกอนแล้วยังเพิ่มพื้นที่ที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์อนุบาลสัตว์น้ำ และยังเพิ่มแหล่งอาหารให้กับชุมชนที่อยู่รอบทะเลสาบอีกด้วย

3. การลดปริมาณขยะที่ทิ้งลงสู่ทะเลสาบสงขลาจำเป็นต้องรณรงค์การแยกประเภทขยะ การขอความร่วมมือรวมถึงการจัดการขยะอย่างเป็นระบบและมีมาตรฐานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องรวมถึงความพร้อมของการจัดการขยะอย่างเป็นระบบเป็นสิ่งสำคัญ หากมีการระบบการจัดการที่ดี ทุกฝ่ายให้ความร่วมมือและสนับสนุนปัญหาขยะในทะเลสาบสงขลา ก็จะลดลงได้ปริมาณขยะในทะเลสาบ แม่น้ำลำคลอง และมหาสมุทร กำลังเป็นปัญหาที่วิกฤตระดับโลก หลายๆ ประเทศที่มีพื้นที่ติดต่อแม่น้ำและมหาสมุทรมีการทิ้งขยะลงสู่ทะเลและมหาสมุทรอย่างมหาศาลโดยเฉพาะขยะในกลุ่มที่ย่อยสลายทางธรรมชาติได้ยาก เช่น พลาสติก มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อระบบนิเวศสภาพแวดล้อมต่างๆ อีกหนึ่งแนวทางในการป้องกันขยะไหลลงสู่แหล่งน้ำที่กำลังได้รับความนิยมนปัจจุบันคือการใช้ตาข่ายดักขยะก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ แต่นั่นก็เป็นแนวทางการจัดการที่ปลายเหตุ หากทุกคนมีจิตสำนึกและให้ความร่วมมือในการจัดการขยะอย่างถูกต้องตั้งแต่เริ่มต้นถึงจะเป็นการแก้ปัญหาที่มั่นคงและยั่งยืนต่อไป

อ้างอิง

- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2549. โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการน้ำเสียสำหรับชุมชนขนาดเล็ก (พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา). สืบค้นจาก <http://slbkb.psu.ac.th/jspui/handle/2558/1049> (สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2561)
- กรีนพีซ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้. 2549. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและประเทศไทย : วิกฤตหรือโอกาส. สืบค้นจาก www.greenpeace.or.th (สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2560)
- กิติเชษฐ ศรีดิษฐ, ปัทมาภรณ์ หมาดน้อย และ ศักดิ์อินันต์ ปลาทอง. 2552. พรรณไม้ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.
- ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทย กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. สงขลา.
- กาญจนา สาลีดีด. 2541. พฤกษศาสตร์ทั่วไป.ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง. ราชบุรี.
- ชนิษฐา เกิดเป่า. 2554. ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- คณะกรรมการแม่น้ำโขง (Mekong River Commission : MRC). 2556. อภิธานศัพท์และคำนิยามเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการปรับตัว. สืบค้นจาก <http://www.mrcmekong.org/assets/Publications/glossaries/Glossary-of-Terms-n-Definitions-on-CCA-Thai-16072013.pdf> (สืบค้นเมื่อ 24 มกราคม 2561)
- ดร.จ๊กกนิตต์ คณานุรักษ์. 2560. คู่มือสังคมนคาร์บอนต่ำ.ศูนย์วิชาการนานาชาติด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). กรุงเทพฯ.
- นรุตตม์ สหนาวิน และ จิราวรรณ ตอฤทธิ์. 2555. ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน. วารสารคณะพลศึกษา ปีที่15 (ฉบับพิเศษ). ภาควิชาสุขศึกษา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- นิคม ละอองศิริวงศ์. 2012. ยูโทรฟิเคชัน : ปัญหามลภาวะทางน้ำในทะเลสาบสงขลา สืบค้นจาก สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา. http://www.nicaonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=461:2012-02-21-07-17-58&catid=40:2012-02-20-02-59-34&Itemid=122 (สืบเมื่อวันที่ 25 มกราคม 2562)

นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2548. สภาวะยูโทรฟิเคชันในทะเลสาบสงขลา.

การประชุมวิชาการประจำปี 2548 สาขาประมง ทรัพยากรธรรมชาติและ เศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ระหว่าง วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2548 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. หน้า 473-480.

พัชรินทร์ สายพัฒนา. 2557. ความหลากหลายของพรรณไม้ในเขื่อนแก่งกระจาน. คณะสัตวศาสตร์ และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี.

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2012. สภาวะคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลา. ศูนย์สิ่งแวดล้อมประมงทะเล ภาคใต้

รศ.ดร.สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์ 2544. ศรีวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รศ.ดร.สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2549. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช. สาขา พืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์ และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิจิตพล มีแก้ว, ณัฐพล ชันธปราบ และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. 2553. การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ. ทะเลสาบสงขลา. สืบค้นหา <http://mekhala.dwr.go.th/knowledge-basin-songkla.php> (สืบเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2560)

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). 2555. การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง (ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา). สืบค้นจาก http://www.thaiwater.net/web/attachments/25basins/23-songkhla_lake.pdf (สืบเมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน 2560)

สถิตย์ จันทร์ทิพย์, ปิยะมาลย์ ศรีสมพร และ สุรเจตส์ บุญญาอรุณเนต. 2014. ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศต่อการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา. สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). กรุงเทพฯ.

- Allakhverdiev S. I., Kreslavski V. D., Klimov V. V., Los D. A., Carpentier R., Mohanty P. (2008). Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynth. Res.* 98 541–550. 10.1007/s11120-008-9331-0
- ARMECIN, R.B., and F.M. GABON. 2008. Biomass, organic carbon and mineral matter contents of abaca (*Musa textilis* Neè) at different stages of growth. *Industrial Crops and Products* 28, 340-345.
- Asaeda, T., Bon, T.V. (1997): Modeling the effects of macrophytes on algal blooming in eutrophic shallow lakes. – *Ecol. Model.* 104: 261-287.
- Baker NR. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu Rev Plant Biol.* 2008;59:89–113.
- Belshe, E., M. Durako and J. Blum. 2007. Photosynthetic rapid light curves (RLC) of *Thalassia testudinum* exhibit diurnal variation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 342: 253-268.
- Bowmer, K. H., Jacobs, S.W.L., Sainty, G.R. 1995: Identification, Biology and Management of *Elodea canadensis*, Hydrocharitaceae – *Journal of Aquatic Plant Management*, Vicksburg, MS, 33:13-19
- Cao J, Ruan H. 2015. Responses of the submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* to elevated CO₂ and temperature. *Aquatic Botany* Vol. 23: 119–127.
- Choi DH, et al. (2014) Hrq1 facilitates nucleotide excision repair of DNA damage induced by 4-nitroquinoline-1-oxide and cisplatin in *Saccharomyces cerevisiae*. *J Microbiol* 52(4):292-8
- Cruz S, Serôdio J (2008) Relationship of rapid light curves of variable fluorescence to photoacclimation and non-photochemical quenching in a benthic diatom *Aquatic Botany* 88:256-264.

- Dawson F.H. & Kern-Hansen U. (1979) The effect of natural and artificial shade on the macrophyte of lowland streams and the use of shade as a management technique. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie*, 64, 437–455
- Dar N, Pandit A, Ganai B. 2014. Factors affecting the distribution patterns of aquatic macrophytes. Department of Environmental Science, University of Kashmir. India
- Database S. Gainesville, สืบค้นจาก <https://nas.er.usgs.gov/queries/factsheet.aspx?SpeciesID=2674> (สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2560).
- Detlef P. van Vuuren, Jae Edmonds, Mikiko Kainuma, Keywan Riahi, Allison Thomson, Kathy Hibbard, George C. Hurtt, Tom Kram, Volker Krey, Jean-Francois Lamarque, Toshihiko Masui, Malte Meinshausen, Nebojsa Nakicenovic, Steven J. Smith, Steven K. Rose. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109:5
- Dhir B. 2015. Status of Aquatic Macrophytes in Changing Climate: A Perspective. *Journal of Environmental Science and Technology*. 8 (4): 139-148
- Doblin MA, Ralph PJ, Petrou KL, Shelly K, Westwood K, van den Enden R, Wright S, Griffiths 665 B (2011) Diel variation of chl-a fluorescence, phytoplankton pigments and productivity in the 666 Sub-Antarctic Zone. *Deep Sea Research II: Topical studies in oceanography* 58:2189-2199
- Ejakowski W, Solis M. 2014. Response of Hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.) to water level drawdown in a turbid water reservoir. *Applied Ecology and Environmental Research*. 13(1): 219-228
- EmSong Project. (1998). Environmental Management in the Songkhla Lake Basin: Environmental and Socio-Economic Profile and Strategic Indicator for the Songkhla Lake Basin. Technical Background Report No. 21
- Field, C.B.; Behrenfeld, M.J.; Randerson, J.T.; Falkowski, P. 1998. Primary production

- of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281:237–240.
- Frederick T. Short a, Sarian Kostenb, Pamela A. Morganc, Sparkle Malone d, Gregg E. Moore. 2016. Impacts of climate change on submerged and emergent wetland plants. *Aquatic Botany*. AQBOT-2873; No. of Pages15
- Guo, B., Chen, Y., Li, C., Wang, T., Wang, R., Wang, B., et al. (2014). Maize (*Zea mays* L.) seedling leaf nuclear proteome and differentially expressed proteins between a hybrid and its parental lines. *Proteomics* 14, 1071–1087. doi: 10.1002/pmic.201300147
- Hanelt, D. 1992. Photoinhibition of photosynthesis in marine macrophytes of the south China sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 82: 199-206
- Hanelt D, Huppertz K, Nultsch W (1993) Daily course of photosynthesis and photoinhibition in marine macroalgae investigated in the laboratory and field. *Mar Ecol Prog Ser* 97:31–37
- Hanne Dalsgaard Nielsen, Søren Laurentius Nielsen. 2008. Evaluation of imaging and conventional PAM as a measure of photosynthesis in thin- and thick-leaved marine macroalgae . *AQUATIC BIOLOGY*. 3: 121–131
- Heide T, Roijackers R, Nes E, Peeters E. 2006. A simple equation for describing the temperature dependent growth of free-floating macrophytes. *Aquatic Botany*. 84: 171–175
- Hemminga, M.A., Duarte, C.M., 2000. *Seagrass Ecology*. Cambridge Univ. Press, Cambridge
- Hogsden, K.L., E.P.S. Sager, and T.C. Hutchinson. 2007. The impacts of the non-native macrophyte *Cabomba caroliniana* on littoral biota of Kashiabog Lake, Ontario. *Journal of Great Lakes Research* 33:497-504.
- Hossain K, Yadav S, Quaik S, Maruthi A, Ismail N. 2017. Vulnerabilities of macrophytes distribution due to climate change. *Theor Appl Climatol*. 129:1123–1132

- Hreeb K. 2017. Effect of different water temperatures on growth of aquatic plants *Salvinia natans* and *Ceratophyllum demersum*. *Journal of Coastal Life Medicine*. 5(1): 13-15
- Hyltdgaard B, Sorrell B, Brix H (2014): Closely related freshwater macrophyte species, *Ceratophyllum demersum* and *C. submersum*, differ in temperature response. *Freshwater Biology*, 59, 777–788. doi: 10.1111/fwb.12303
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Retrieved from
- IPCC. Data Distribution Centre. สืบค้นจาก http://sedac.ipcc.data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html (สืบเมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน 2561)
- Johnson MP. 2016. Photosynthesis. *Essays Biochem* ;60(3):255-273.
- Kitajima, M. & Butler, W.L. (1975). Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromo-thymoquinone, *Biochim Biophys Acta*, 376, 105-115
- Kitaya Y, Okayama T, Murakami K, Takeuchi T. 2003. Effects of CO₂ Concentration and Light Intensity on Photosynthesis of a Rootless Submerged Plant, *Ceratophyllum Demersum* L. , Used for Aquatic Food production in bioregenerative life support systems.
- Kotta, J., T. Moller, H. Orav-Kotta and M. Parnoja, 2014. Realized niche width of a brackish watersubmerged aquatic vegetation under current environmental conditions and projected influences of climate change. *Mar. Environ. Res.*, 102: 88-101.

- Krausea B, Farinab A. Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity. *Biological Conservation*. 195 : 245–254
- Lone PA, Bhardwaj AK, Shah K. W. Macrophytes as powerful natural tools for water quality improvement. *Res J Bot* 2014, 9 (2):24-30.
- Madsen J, Chambers P, James W, Koch E, Westlake D. 2001. The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia*. 444: 71–84.
- Mathur S., Agrawal D., Jajoo A. 2014. Photosynthesis: response to high temperature stress. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 137 116–126. 10.1016/j.jphotobiol.2014.01.010.
- Matthew T. O’Hare, Annette Baattrup-Pedersen, Inga Baumgarte, Anna Freeman, Iain D. M. Gunn, Attila N. Lázár, Raeannon Sinclair, Andrew J. Wade, and Michael J. Bowes. 2018. Responses of Aquatic Plants to Eutrophication in Rivers: A Revised Conceptual Model. *Front Plant Sci.* 2018; 9: 451.
- Maxwell, K. & Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide, *J Exp Bot*, 51, 659–668.
- Mckee D., Hatton, K., Eaton, J.W., Atkinson, D., Atherton, A., Harvey, I. and B. Moss. 2002. Effects of simulated climate warming on macrophytes in freshwater microcosm communities. *Aquatic Botany*. 74:71–83.
- Meksuwan P, Pholpunthin P, Segers H. 2011. Diversity of sessile rotifers (Gnesiotrocha, Monogononta, Rotifera) in Thale Noi Lake, Thailand. *Zootaxa* 2997: 1–18.
- Murata, N., Takahashi, S., Nishiyama, Y., Allakhverdiev, S.I. 2007. Photoinhibition of photosystem II under environmental stress. - *Biochem. biophys. Acta* 1767: 414-421.
- Nichols S. 1999. Distribution and habitat descriptions of Wisconsin lake plants. Wisconsin Geological and Natural History Survey.

- Nikolić, L., Čobanović, K., Lazić, D. 2007. *Nymphoides peltata* (Gmel.) Kuntze, *Myriophyllum spicatum* L. and *Ceratophyllum demersum* L. biomass dynamics in Lake Provala (the Vojvodina Province, Serbia). – *Cent. Eur. J. Biol.* 2: 156-168.
- O’Hare M. T., Clarke R. T., Bowes M. J., Cailles C., Henville P., Bissett N., et al. 2010. Eutrophication impacts on a river macrophyte. *Aquat. Bot.* 92 173–178. 10.1016/j.aquabot.2009.11.001.
- Oquist, G. & N. P. A. Huner. 1991. Effects of cold acclimation on the susceptibility of photosynthesis to photoinhibition in scots pine and in winter and spring cereals: A fluorescence analysis. *Func. Ecol.* 5: 91–100.
- Oquist, G., Hurry, V.M., Huner, 1993. N.P.A.: Low-temperature effects on photosynthesis and correlation with freezing tolerance in spring and winter cultivars of wheat and rye. *-Plant Physiol.* 101: 245-250,
- Pornpinatepong, K., Kiripat, S., Treewanchai, S., Chongwilakasaem, S., Pornsawang, C., Chantarasap, P., Chandee, C. and Jantrakul, P., 2010. Pollution control and sustainable fisheries management in Southern Songkhla Lake, Thailand. Report No. 2010- RR5. Economy and Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA). Singapore
- Project E. 1998. ทะเลสาบสงขลา. สืบค้นจาก <http://www.skloonline.com/download/downloadnica/utro3.pdf> (สืบค้นเมื่อ 3 มกราคม 2561)
- Qiu DR, Wu ZB, Liu BY, et al.. The restoration of aquatic macrophytes for improving water quality in a hypertrophic shallow lake in Hubei Province, China. *Ecol Eng* 2001;18, 147–156.
- Ralph PJ, Gademann R (2005) Rapid light curves: a powerful tool to assess photosynthetic activity. *Aquat Bot* 82:222–237.

- Riis, T., B. Olesen, J.S. Clayton, C. Lambertini, H. Brix and B.K. Sorrell, 2012. Growth and morphology in relation to temperature and light availability during the establishment of three invasive aquatic plant species. *Aquat. Bot.*, 102: 56-64.
- Ritchie R. 2006. Consistent sets of spectrophotometric chlorophyll equations for acetone, methanol and ethanol solvents. *Photosynth Res.* 89:27-41.
- Rosset, V., A. Lehmann and B. Oertli, 2010. Warmer and richer? Predicting the impact of climate warming on species richness in small temperate waterbodies. *Global Change Biol.*, 16: 2376-2387.
- Sand-Jensen, K. 2000. An introduced vascular plant – the Canadian waterweed (*Elodea canadensis*). In: Weidema, I. (ed.). 2000 Introduced species in the Nordic countries. *NordTema* 2000:13 pp. 96-100.
- Sompongchaiyakul, P., Laongsiriwong, N. and Sangkarnjanawanich, P., 2004. An occurrence of eutrophication in Songkhla Lake: A review. *Proceedings of the International Workshop on Integrated Lake Management, Hat Yai, Songkhla, 19-21 August 2004.*
- Strand JA, Weisner SEB (2001) Morphological plastic responses to water depth and wave exposure in an aquatic plant (*Myriophyllum spicatum*). *J Ecol* 89:166-75
- Tavecchio W, Thomaz S. 2003. Effects of Light on the Growth and Photosynthesis of *Egeria najas* Planchon. *BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY*. Vol.46, n. 2 : pp. 203-209.
- Tait, L.W. and D.R. Schiel, 2013. Impacts of temperature on primary productivity and respiration in naturally structured macroalgal assemblages. *PLoS ONE*, Vol. 8.10.1371/journal.pone.0074413
- Teng CI, Huang KW, Tsai IL (2007). Effects of personality on service quality in business transactions. *Serv. Ind. J.*, 27(7): 849-863.

- Thongkao S. Pattern changes of aquatic plants in Ku Khud Lake (Songkhla) during 1988-1996: A remote sensing study. M.Sc. Thesis. Prince of Songkla University, Songkhla. 1998.
- Tkemaladze, G. and Makhashvili, K. (2016). Climate changes and photosynthesis. *Annals of Agrarian Science*, 14, pp.119-126.
- Tobiessen P, Snow PD (1984) Temperature and light effects on the growth of *Potamogeton crispus* in Collins Lake, New York State. *Can J Bot* 62:2822-6
- Tomaso D, Kyser G . 2013. Weed Control in Natural Areas in the Western United States. Weed Research and Information Center, University of California
- Vuuren D, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt G, Kram T, Krey V, Lamarque J, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith S, Rose S. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*. 109:5-31
- Walsh, J., D. Wuebbles, K. Hayhoe, J. Kossin, K. Kunkel, G. Stephens, P. Thorne, R. Vose, M. Wehner, J. Willis, D. Anderson, S. Doney, R. Feely, P. Hennon, V. Kharin, T. Knutson, F. Landerer, T. Lenton, J. Kennedy, and R. Somerville, 2014: Ch. 2: Our Changing Climate. *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, J. M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe, Eds., U.S. Global Change Research Program, 19-67. doi:10.7930/J0KW5CXT.
- Wang H, Prentice IC, Davis TW. 2014. Biophysical constraints on gross primary production by the terrestrial biosphere. *Biogeosciences* 11: 5987-6001.
- Wigand C, Wehr J, Limburg K, Gorham B, Longergan S, Findlay S. *Hydrobiology*. 2000; 418: 137-146
- Zehnsdorf A, Hussner A, Eismann F, Roñnicke H, Melzer A(2015) Management options of invasive *Elodea nuttallii* and *Elodea canadensis*. *Limnologica* 51:110-117

- Zhang Y, Jeppesen E, Liu X, Qin B, Shiao K, Zhou Y, Thomaze S, Deng J. 2017. Global loss of aquatic vegetation in lakes. *Earth-Science Reviews*. 173 : 259–265.
- Zhu B., Mayer C.M., Rudstam L.G., Mills E.L. & Ritchie M.E. (2008) A comparison of irradiance and phosphorus effects on the growth of three submerged macrophytes. *Aquatic Botany*, 88, 358–362.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางสรุปผลการทดลองของ *Ceratophyllum demersum*

ตารางที่ ก-1 Repeated ANOVA

พารามิเตอร์	Treatment			Time			Treatment x Time			Note
	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	
MQY	8	23.512	<0.001	9	24.566	<0.001	72	6.933	<0.001	
EQY	8	27.228	<0.001	9	48.177	<0.001	72	14.903	<0.001	
I _k	8	16.611	<0.001	9	47.799	<0.001	72	13.056	<0.001	
Alpha	8	7.296	<0.001	9	9.388	<0.001	72	1.148	0.224	
rETR _{max}	8	13.538	<0.001	9	23.358	<0.001	72	3.955	<0.001	
OM	8	1.420	0.239	4	65.966	<0.001	32	4.053	<0.001	
OC	8	1.420	0.239	4	65.966	<0.001	32	4.053	<0.001	
Chl <i>a</i>	8	20.280	<0.001	4	13.723	<0.001	32	1.526	0.060	
Chl <i>b</i>	8	3.186	0.013	4	8.086	0.02	32	1.767	0.018	
Chl <i>a:b</i>	8	2.552	0.036	4	9.106	0.001	32	1.854	0.011	

ตารางที่ ก-2 Two-way ANOVA

พารามิเตอร์	Temperature			Light			Temperature x Light			Note
	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	
MQY	2	9.569	0.001	2	2.114	0.140	4	2.577	0.060	
EQY	2	22.949	<0.001	2	7.525	0.003	4	3.900	0.013	
I_k	2	2.572	0.095	2	0.988	0.385	4	2.092	0.110	
Alpha	2	12.241	<0.001	2	12.700	<0.001	4	5.794	0.002	
$rETR_{max}$	2	6.772	0.004	2	5.947	0.007	4	8.304	<0.001	
OM	2	0.912	0.414	2	0.895	0.421	4	1.831	0.153	
OC	2	0.912	0.414	2	0.895	0.421	4	1.831	0.153	
Chl <i>a</i>	2	2.008	0.155	2	0.447	0.644	4	2.720	0.051	
Chl <i>b</i>	2	1.689	0.204	2	2.248	0.126	4	0.879	0.490	
Chl <i>a:b</i>	2	1.052	0.364	2	0.253	0.779	4	1.857	0.148	
Growth Rate	2	19.594	<0.001	2	3.697	0.038	4	21.812	<0.001	

ตารางที่ ก-3 One-way ANOVA

พารามิเตอร์	Treatment		
	df	F	Sig
MQY	8	4.209	0.002
EQY	8	9.568	<0.001
I_k	8	1.936	0.095
Alpha	8	9.132	<0.001
$rETR_{max}$	8	7.332	<0.001
OM	8	1.416	0.237
OC	8	1.416	0.237
Chl <i>a</i>	8	1.967	0.092
Chl <i>b</i>	8	1.462	0.219
Chl <i>a:b</i>	8	1.266	0.303
Growth Rate	8	16.729	<0.001

ตารางที่ ก-4 ค่า Mean \pm SE of *Ceratophyllum demersum*

พารามิเตอร์	T30°C, L180	T30 °C, L90	T30 °C, L45	T33 °C, L180	T33 °C, L90	T33 °C, L45	T36 °C, L180	T36 °C, L90	T36 °C, L45
MQY	0.759 \pm 0.008	0.769 \pm 0.014	0.766 \pm 0.013	0.769 \pm 0.009	0.744 \pm 0.007	0.750 \pm 0.014	0.646 \pm 0.055	0.655 \pm 0.035	0.759 \pm 0.007
EQY	0.712 \pm 0.037	0.753 \pm 0.006	0.763 \pm 0.007	0.739 \pm 0.010	0.694 \pm 0.213	0.731 \pm 0.014	0.602 \pm 0.017	0.620 \pm 0.017	0.717 \pm 0.016
I_k	104.26 6 \pm 7.91 0	128.242 \pm 17.16 7	148.08 7 \pm 15.8 49	143.35 1 \pm 16.6 55	93.408 \pm 18.47 5	102.54 3 \pm 16.8 96	104.35 7 \pm 18.3 5	83.778 \pm 6.292	103.61 0 \pm 20.4 02
Alpha	0.145 \pm 0.013	0.160 \pm 0.012	0.155 \pm 0.011	0.234 \pm 0.004	0.179 \pm 0.006	0.144 \pm 0.019	0.177 \pm 0.013	0.128 \pm 0.011	0.121 \pm 0.006
rETR _{max}	14.860 \pm 0.717	20.305 \pm 2.503	22.455 \pm 1.664	33.672 \pm 4.335	16.561 \pm 2.958	13.861 \pm 0.711	18.368 \pm 3.495	10.784 \pm 1.204	12.621 \pm 2.678
OM	64.062 \pm 6.138	60.804 \pm 6.086	53.646 \pm 4.198	62.756 \pm 7.879	42.510 \pm 11.00 2	53.213 \pm 12.44 1	56.367 \pm 18.70 4	79.367 5 \pm 1.07 0	51.215 1 \pm 6.80 7
OC	37.159 \pm 3.560	35.269 \pm 3.530	31.117 \pm 2.435	36.402 \pm 4.570	24.658 \pm 6.382	30.866 \pm 7.216	32.696 \pm 10.84 9	46.036 8 \pm 0.62 1	29.707 \pm 3.949
Chl <i>a</i>	1129.2 35 \pm 21 6.472	903.123 \pm 319.6 12	627.58 9 \pm 136. 279	415.59 5 \pm 39.3 09	462.79 3 \pm 140. 773	949.84 9 \pm 135. 740	603.43 0 \pm 72.3 17	738.59 1 \pm 75.6 69	888.65 3 \pm 182. 130
Chl <i>b</i>	274.26 7 \pm 49.3 08	227.226 \pm 82.00 6	166.18 7 \pm 38.5 29	88.238 \pm 14.17 2	646.23 3 \pm 274. 872	372.41 5 \pm 99.7 77	775.02 0 \pm 119. 780	732.50 5 \pm 397. 576	366.02 1 \pm 57.3 98

ตารางที่ ก-4 ค่า Mean \pm SE of *Ceratophyllum demersum* (ต่อ)

พารามิเตอร์	T30 ⁰ C, L180	T30 ⁰ C, L90	T30 ⁰ C, L45	T33 ⁰ C, L180	T33 ⁰ C, L90	T33 ⁰ C, L45	T36 ⁰ C, L180	T36 ⁰ C, L90	T36 ⁰ C, L45
Chl	4.091 \pm	4.007 \pm	3.813 \pm	4.898 \pm	1.277 \pm	2.834 \pm	1.878 \pm	3.884 \pm	2.797 \pm
a:b	0.072	0.351	0.081	0.503	0.624	0.405	0.432	2.659	0.869
Growt h Rate	0.4475 \pm 0.058	0.393 \pm 0.037	0.037 \pm 0.079	0.291 \pm 0.044	0.173 \pm 0.028	0.119 \pm 0.051	- 0.275 \pm 0.029	0.144 \pm 0.068	0.219 \pm 0.049

ภาคผนวก ข

ตารางสรุปผลการทดลองของ *Elodea canadensis*

ตารางที่ ข-1 Repeated ANOVA

พารามิเตอร์	Treatment			Time			Treatment x Time			Note
	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	
MQY	8	209.262	<0.001	9	54.820	<0.001	72	14.793	<0.001	
EQY	8	281.187	<0.001	9	64.452	<0.001	72	13.758	<0.001	
I_k	8	5.574	<0.001	9	3.570	<0.001	72	1.934	<0.001	
Alpha	8	15.552	<0.001	9	2.425	0.036	72	1.997	<0.001	
$rETR_{max}$	8	25.461	<0.001	9	15.068	<0.001	72	3.473	<0.001	
OM	8	49.505	<0.001	4	61.235	<0.001	32	17.728	<0.001	
OC	8	49.505	<0.001	4	61.235	<0.001	32	17.728	<0.001	
Chl <i>a</i>	8	12.780	<0.001	4	46.712	<0.001	32	5.566	<0.001	
Chl <i>b</i>	8	11.476	<0.001	4	25.772	<0.001	32	7.477	<0.001	
Chl <i>a:b</i>	8	1.797	0.127	4	5.237	0.011	32	4.953	<0.001	

ตารางที่ ข-2 Two-way ANOVA

พารามิเตอร์	Temperature			Light			Temperature x Light			Note
	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	
MQY	2	48.422	<0.001	2	0.258	0.774	3	0.869	0.471	
EQY	2	56.638	<0.001	2	2.175	0.136	3	1.715	0.191	
I_k	2	8.113	0.002	2	1.411	0.261	4	3.535	0.019	
Alpha	2	1.223	0.310	2	1.739	0.195	4	1.010	0.420	
$rETR_{max}$	2	48.043	<0.001	2	0.933	0.406	4	7.564	<0.001	
OM	2	3.544	0.44	2	2.973	0.069	4	4.287	0.009	
OC	2	3.544	0.44	2	2.973	0.069	4	4.287	0.009	
Chl <i>a</i>	2	22.847	<0.001	2	12.439	<0.001	4	13.425	<0.001	
Chl <i>b</i>	2	14.376	<0.001	2	14.249	<0.001	4	20.113	<0.001	
Chl <i>a:b</i>	2	6.043	0.007	2	2.452	0.106	4	1.766	0.166	
Growth Rate	2	93.054	<0.001	2	11.907	<0.001	4	10.592	<0.001	

ตารางที่ ข-3 One-way ANOVA

พารามิเตอร์	Treatment		
	Df	F	Sig
MQY	8	41.002	<0.001
EQY	8	59.695	<0.001
I_k	8	4.148	0.002
Alpha	8	1.246	0.312
$rETR_{max}$	8	16.026	<0.001
OM	8	132.132	<0.001
OC	8	132.132	<0.001
Chl <i>a</i>	8	21.392	<0.001
Chl <i>b</i>	8	30.452	<0.001
Chl <i>a:b</i>	8	6.303	<0.001
Growth Rate	8	31.536	<0.001

ตารางที่ ข-4 ค่า Mean \pm SE of *Elodea canadensis*

พารามิเตอร์	T30°C, L180	T30°C, L90	T30°C, L45	T33°C, L180	T33°C, L90	T33°C, L45	T36°C, L180	T36°C, L90	T36°C, L45
MQY	0.737 \pm 0 .135	0.744 \pm 0 .037	0.778 \pm 0.085	0.780 \pm 0.047	0.741 \pm 0.026	0.700 \pm 0.046	0.000 \pm 0.000	0.314 \pm 0.099	0.384 \pm 0.052
EQY	0.572 \pm 0 .013	0.667 \pm 0 .022	0.712 \pm 0.009	0.584 \pm 0.051	0.619 \pm 0.021	0.711 \pm 0.026	0.000 \pm 0.000	0.394 \pm 0.041	0.356 \pm 0.052
I_k	72.284 \pm 12.362	48.766 \pm 8.728	82.553 \pm 14.42 4	80.168 \pm 17.02 2	64.025 \pm 16.42 3	84.226 \pm 7.387	0.000 \pm 0.000	64.869 \pm 20.38 6	40.182 \pm 10.02 3
Alpha	0.209 \pm 0 .339	0.204 \pm 0 .564	0.146 \pm 0.015	0.191 \pm 0.056	0.195 \pm 0.092	0.114 \pm 0.029	0.000 \pm 0.000	0.233 \pm 0.153	0.077 \pm 0.029
rETR _{max}	13.893 \pm 0.433	8.537 \pm 0 .577	11.936 \pm 2.228	12.492 \pm 1.116	8.260 \pm 1.215	9.032 \pm 1.473	0.000 \pm 0.000	5.913 \pm 1.017	2.599 \pm 0.689
OM	69.958 \pm 3.239	71.673 \pm 1.963	55.819 \pm 1.544	71.034 \pm 3.185	77.687 \pm 1.789	81.299 \pm 2.712	0.000 \pm 0.000	77.166 \pm 2.499	84.428 \pm 1.412
OC	40.579 \pm 1.879	41.574 \pm 1.139	32.378 \pm 0.895	41.203 \pm 1.848	45.059 \pm 1.038	47.158 \pm 1.573	0.000 \pm 0.000	44.760 \pm 1.449	48.972 \pm 0.819

ตารางที่ ข-4 ค่า Mean \pm SE of *Elodea canadensis* (ต่อ)

พารามิเตอร์	T30°C, L180	T30 °C, L90	T30 °C, L45	T33°C, L180	T33 °C, L90	T33 °C, L45	T36°C, L180	T36 °C, L90	T36 °C, L45
Chl <i>a</i>	579.35 5 \pm 141. 701	883.29 8. \pm 139 .379	836.61 3 \pm 122. 229	885.75 0 \pm 142. 142	1861.4 16 \pm 19 9.709	447.33 0 \pm 76.4 38	0.000 \pm 0.000	266.17 8 \pm 50.2 98	264.13 1 \pm 43.9 18
Chl <i>b</i>	147.59 9 \pm 36.8 19	252.88 2 \pm 34.2 77	247.60 3 \pm 48.0 52	211.83 5 \pm 33.7 49	828.70 0 \pm 83.4 99	198.79 3 \pm 46.1 89	0.000 \pm 0.000	141.45 8 \pm 25.6 32	121.22 9 \pm 22.0 31
Chl <i>a:b</i>	3.945 \pm 0.046	3.466 \pm 0.102	3.468 \pm 0.172	4.800 \pm 1.621	2.241 \pm 0.068	2.463 \pm 0.327	0.000 \pm 0.000	1.878 \pm 0.032	2.206 \pm 0.065
Growt h Rate	1.670 \pm 0.179	0.944 \pm 0.203	1.142 \pm 0.185	1.283 \pm 0.132	0.239 \pm 0.065	0.333 \pm 0.097	-0.379 \pm 0.016	-0.033 \pm 0.029	-0.006 \pm 0.031

ภาคผนวก ค

ตารางสรุปผลการทดลองของ Total Species

ตารางที่ ค-1 Two-way ANOVA

พารามิเตอร์	Species			Treatmente			Species x Treatmente			Note
	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	
MQY	1	30.4 31	<0.001	8	16.59 6	<0.001	7	10.01 7	<0.00 1	
EQY	1	92.0 42	<0.001	8	20.56 1	<0.001	7	9.720	<0.00 1	
I_k	1	58.0 90	<0.001	8	3.616	0.002	8	2.046	0.058	
Alpha	1	0.13 2	0.718	8	1.520	0.172	8	1.390	0.222	
$rETR_{max}$	1	117. 327	<0.001	8	12.22 8	<0.001	8	5.374	<0.00 1	
OM	1	22.0 16	<0.001	8	1.913	0.079	7	2.583	0.024	
OC	1	22.0 16	<0.001	8	1.931	0.079	7	2.583	0.024	
Chl <i>a</i>	1	0.02 3	0.879	8	3.498	0.003	7	10.79 3	<0.00 1	
Chl <i>b</i>	1	1.93 7	0.170	8	3.776	0.002	7	1.889	0.091	
Chl <i>a:b</i>	1	0.87 7	0.353	8	2.742	0.014	7	0.476	0.848	
Growth Rate	1	80.4 72	<0.001	8	40.51 7	<0.001	8	18.18 5	<0.00 1	

ภาคผนวก ง

ตารางผลการศึกษารูปผลของแสงและอุณหภูมิต่อ *Ceratophyllum demersum* และ *Elodea canadensis*

ตารางที่ ง-1 One-way ANOVA การสังเคราะห์แสง

พารามิเตอร์	Treatment		
	Df	F	Sig
MQY	3	0.715	0.550
EQY	3	1.036	0.390
I_k	3	45.775	<0.001
Alpha	3	22.644	<0.001
$rETR_{max}$	3	58.238	<0.001

ตารางที่ ง-2 One-way ANOVA ปริมาณสารอินทรีย์ คาร์บอนอินทรีย์ และคลอโรฟิลล์ ของพีชน้ำ

พารามิเตอร์	Treatment		
	Df	F	Sig
OM	3	1.432	0.304
OC	3	1.432	0.304
Chl <i>a</i>	3	10.952	0.003
Chl <i>b</i>	3	7.367	0.011
Chl <i>a:b</i>	3	1.163	0.382

ตารางที่ ง-3 One-way ANOVA %Cover

พารามิเตอร์	Treatment		
	Df	F	Sig
Macrophyte	3	6.352	0.000
<i>E. Canadensis</i>	3	7.715	0.000

ตารางที่ ง-4 One-way ANOVA ปริมาณสารอินทรีย์ คาร์บอนอินทรีย์ และคลอโรฟิลล์ ของ Sediment and Water

พารามิเตอร์	Treatment		
	Df	F	Sig
OM	5	1.128	0.397
OC	5	1.128	0.397
Chl <i>a</i>	5	0.634	0.678
Chl <i>b</i>	5	0.754	0.599
Chl <i>a:b</i>	5	0.629	0.682

ตารางที่ ง-5 One-way ANOVA Morphology

พารามิเตอร์	Treatment		
	Df	F	Sig
Leaf Length (mm)	3	2.542	0.068
Leaf width (mm)	3	0.561	0.644

ประวัติผู้เขียน

ชื่อสกุล นางสาวปาจรีย์ แก้วชนะ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5910920049

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี	2559

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการการศึกษา)

1. ทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาโทและนักศึกษาปริญญาเอกประจำปีการศึกษา 2560 แหล่งทุน สถานวิจัยสมุทรศาสตร์ชายฝั่งและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Coastal Oceanography and Climate Change Research Center, COCC) (ระยะเวลา 1 ปี)
2. ทุนอุดหนุนเพื่อวิทยานิพนธ์บัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโท-เอก เพื่ออนุรักษ์และฟื้นฟูผืนน้ำทะเลสาบสงขลา ปีงบประมาณ 2561 แหล่งทุน สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ (ระยะเวลา มิถุนายน 2561-พฤษภาคม 2563)
3. ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย ประจำปี 2562 แหล่งทุน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Pacharee Kaewchana^{1,2}, Anchana Prathep³, Ponlachart Chotikarn^{2,4}, Sutinee Sinutok^{1,2,*}, 2018. EFFECT OF LIGHT ON GROWTH AND PHOTOSYNTHESIS OF *CERATOPHYLLUM DEMERSUM* FROM SONGKHLA LAKE, THAILAND. "2nd PSU-UMT postgraduate colloquium 2018". Marine and Environmental Sciences, Universiti Malaysia Terengganu and Marine and Coastal Resources Institute, Prince of Songkla University. during 24th-25th July 2018. Prince of Songkla University.

Pacharee Kaewchana^{1,2},Ponlachart Chotikarn^{2,3},Anchana Prathep⁴, Phatcharee Roekngandee^{1,2},Sutinee Sinutok^{1,2,*}, 2561. EFFECT OF LOW LIGHT ON GROWTH AND PHOTOSYNTHESIS OF *Ceratophyllum demersum* IN SONGKHLA LAKE. ในเอกสารประกอบ การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 44 (วทท.44). จัดโดย วทท สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ระหว่างวันที่ระหว่างวันที่ 28 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 ถึงวันที่ 31 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2561. สถานที่ประชุมศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพมหานคร.