รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยการสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลที่มีผลต่อการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

The Climate Change Mitigation in the Form of Seagrass Carbon Accumulation at Khung Kraben Bay Royal Development Study Center, Chanthaburi Province

ดร.ปัทมา ศรีน้ำเงิน

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายเงินได้

จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

รหัสโครงการ 181615

สัญญาเลขที่ 114/2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยการสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลที่มีผลต่อการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

The Climate Change Mitigation in the Form of Seagrass Carbon Accumulation at Khung Kraben Bay Royal Development Study Center, Chanthaburi Province

ดร.ปัทมา ศรีน้ำเงิน

คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

บทสรุปผู้บริหาร

(Executive Summary)

ข้าพเจ้า ดร.ปัทมา ศรีน้ำเงิน ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา ประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการวิจัยเรื่อง การสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลที่มีผลต่อการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี (The Climate Change Mitigation in the form of Seagrass Carbon Accumulation at Khung Kraben Bay Royal Development Study Center, Chanthaburi Province) รหัสโครงการ 181615 /สัญญาเลขที่ 114/2559 ได้รับงบประมาณรวมทั้งสิ้น 376,000 บาท (สามแสนเจ็ดหมื่นห้าพันเก้าร้อยแปดสิบบาทถ้วน) ระยะเวลาดำเนินงาน 2 ปี 11 เดือน (20 ตุลาคม 2558 ถึง 18 กันยายน 2561)

บทคัดย่อ

หญ้าทะเล (Seagrass) เป็นพืชที่มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศทางทะเลตามบริเวณชายฝั่งเป็นอย่างมาก ทั้งในส่วนของ carbon sink และมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนในบรรยากาศได้เป็นอย่างดี โดยอินทรีย์คาร์บอนในหญ้าทะเลรู้จักกันชื่อเรียกว่า คาร์บอนสีน้ำเงิน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาศักยภาพการสะสมอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในหญ้าทะเล 2 ชนิดคือ *Enhalus acoroides* และ *Halodule pinifolia* ที่ขึ้นบริเวณพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี โดยการวัดปริมาณชีวมวลและอินทรีย์ คาร์บอนจากส่วนที่อยู่เหนือดิน คือ ลำต้นและใบ และส่วนที่อยู่ใต้ดิน คือ เหง้า และราก ที่ขึ้นตามบริเวณชายฝั่งทะเลประมาณ 0.5, 0.51.0 และมากกว่า 1.0 กิโลเมตร ขึ้นไป พบว่าหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมอยู่บริเวณเหง้ามากที่สุดถึง 43.67% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมบริเวณใบและรากคือ 34.69% และ 34.47% ตามลำดับ ในขณะที่ทุกส่วนของ หญ้าทะเลชนิด *H. piniforlia* คือ ใบ เหง้าและราก มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมไม่แตกต่างกันคือ 42% และ 43% ตามลำดับ โดยปริมาณ อินทรีย์คาร์บอนนี้ไม่ขึ้นกับตำแหน่งหรือบริเวณที่หญ้าทะเลทั้งสองชนิดนี้เจริญเติบโตอยู่

การศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวันของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* Linn. ทำการศึกษาในช่วงเวลาที่มีสภาพอากาศแตกต่างกัน ในเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน พ.ศ. 2559 วัดการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวันพร้อมกับการเก็บข้อมูลของสภาพอากาศ ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิของอากาศและน้ำ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงคำนวณได้จากการปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ใน chamber ที่ลดลง โดยมีการวัดสลับกันระหว่าง chamber ที่มีหญ้าทะเลและไม่มีหญ้าทะเล จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันและตามฤดูกาลขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิของอากาศและน้ำ โดยในช่วงเช้าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงที่สุดในเวลาเที่ยงวัน และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในเวลาเย็น อัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเล มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.5 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงมากที่สุด เท่ากับ 350 ppm แสดงว่า มีการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ส่วนค่า pH ในน้ำทะเลมีค่าคงที่ตลอดทั้งวัน ทั้งนี้ค่า pH ในหญ้าทะเลในช่วงเวลา 7.00 - 12.00 น. มีค่าต่ำกว่าค่า pH ในน้ำทะเลในขณะที่ในช่วงเวลา 13.00 – 17.00 น. pH ในหญ้าทะเลจะมีค่าสูงกว่าในน้ำทะเล

การศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *Enhalus acoroides* Linn โดยวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิด ตู้วัด (chamber) ทำจากตู้กระจกใสขนาด 29 x 39 x 40 ซม. ซึ่งฝาปิดด้านบนทำด้วยแผ่นพลาสติก PE ใสหนา 1.2 μm ความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศ ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศด้วยรังสีอินฟราเรด รุ่น LI-820 (LI-COR, Inc) โดยการต่อสายสุ่มอากาศจากตู้มายังเครื่องวัดและหมุนเวียนอากาศที่ผ่านการวัดแล้วกลับไปยังตู้อีกครั้งหลังจากตรวจวัดภายในตู้วัดบรรจุน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 พีพีที และมีความลึก 15 ซม. ทดสอบการวัดทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8:00 – 17:00 น. พร้อมการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิและความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำ คำนวณอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง โดยในช่วงเช้ามีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำและเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูง

ที่สุดในเวลา 13.00 น. หลังจากนั้นมีค่าลดลงในช่วงบ่าย การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.3 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลคงที่ 6.6 ตลอดการดลอง ขณะที่ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลที่มีหญ้าทะเลมีค่า 5.8 ในช่วงเช้าและค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุด 7.5 เมื่อเวลา 17.00 น.

คำสำคัญ: หญ้าทะเล ชีวมวล อินทรีย์คาร์บอน คาร์บอนสีน้ำเงิน การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

Abstract

Seagrass takes a highly important role in the coastal ecosystem as a carbon sink and carbon sequestration. Organic carbon, known as 'blue carbon," accumulates in all parts of seagrass. An objective of this research was to study the potential of the organic carbon sequestration in *Enhalus acoroides* and *Halodule pinifolia* at KhungKraben Bay Royal Development Study Center, Chanthaburi province. The above-ground biomass and organic carbon were estimated, including leaves, rhizome and root at 0.5, 0.5-1.0 and more than 1.0 kilometer along the coastal line. The result showed that the highest organic carbon of *E. acoroides* were accumulated in rhizome at 43.67%, which at leave and root, they were 34.69% and 34.47%, respectively. The organic carbon in all parts ofleave, rhizome and root of *H. piniforlia* was not significantly different; 42% and 43%, respectively. The amount of the organic carbon of these types of seagrass was not based on area of their growth.

A study of diurnal photosynthesis of seagrass, *Enhalus acoroides* Linn. was done in the difference of weather conditions, February March and April. Diurnal photosynthesis was measured concurrent with weather data i.e. light indensity, air and water temperature, and air humidity. The photosynthesis rate was calculated by using value of the decrease of carbon dioxide concentration between the chamber with and without seagrass. The results showed that diurnal photosynthesis rate of seagrass changed during the day and season depended on light indensity, air and water temperature. The photosynthesis rate increased sharply and reached maximum at noon after that it decreased in the afternoon. The maximum photosynthesis rate was about 0.5 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ and carbon dioxide concentration decreased about 350 ppm. PH in the saewater was stable throughout the day. PH in the seagrass at 7.00 - 12.00 am was lower than in the seawater whereas pH in the seagrass at 1.00 - 5.00 pm was higher than in the seawater.

A study on CO_2 absorption of seagrass *Enhalus acoroides* Linn. using CO_2 flux measurement technique in close system. The chamber was made from the transparent glass 29 x 39 x 40 cm. The top of the chamber was closed with a 1.2 μm transparent PE sheet. The CO_2 concentration in the air was measured with an infrared gas analyzer model LI-820 (LI-COR, Inc). The sampling tube was used to circulate the air from the chamber to the analyzer and then back to the chamber. In the chamber, the sea water with salinity 30 ppt was filled at 15 cm depth. The measurement was done every 1 hour from 8:00 am to 5:00 pm. Light intensity, air temperature and humidity, water temperature and pH were also recorded at the measurement time. The CO_2 absorption was calculated. The result found that CO_2 absorption was change correlated to light intensity. The lower CO_2 absorption was found in the morning then raise up to highest at 1:00 pm then lower in the afternoon. The highest CO_2 absorption of seagrass was 0.3 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ .The pH of sea water for the chamber without seagrass

was constant at 6.6 through the experiment. The pH of sea water for the chamber with seagrass was 5.8 in the morning then raise up to 7.5 at 5:00 pm.

Keywords: Seagrass, Biomass, Organic carbon, Blue carbon, Carbon Dioxide Absorption

ผลผลิตที่ได้จากโครงการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลที่มีผลต่อการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 114/2559 ได้ตีพิมพ์ผลการศึกษาวิจัยบางส่วนในวารสารวิชาการระดับชาติ ในกลุ่ม TCI ที่ 1 จำนวน 1 เรื่อง คือ

ปัทมา ศรีน้ำเงิน*, เพชรดา ปินใจ, สุมิตร คุณเจตน์ และสนธิชัย จันทรเปรม. 2559. การสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. ว.พืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 3 (พิเศษ II) 29-35 น.

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการปลูกหญ้าทะเลเพื่อลดปริมาณคาร์บอนสะสมในระบบนิเวศทางทะเลได้ คือ

“ส่งเสริมการปลูกป่าหญ้าทะเลเชิงอนุรักษ์เพื่อดูดซับคาร์บอน เพื่อสร้างสังคมที่สะอาด พร้อมทั้งรองรับการเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของพะยูน โดยสามารถเพิ่มพื้นที่ปลูกหญ้าทะเล 2 ชนิด คือ *E. acoroides* และ *H. pinifolia* ให้เหมาะสมกับสถาพพื้นที่ เพราะหญ้าทะเลทั้งสองชนิดนี้ มีความสามารถในการเป็น carbon sink ไม่แตกต่างกัน”

ข้อเสนอแนะ

คาร์บอนสีน้ำเงิน หรือ blue carbon เป็นกลไลที่ได้การยอมรับทั่วโลกว่ามีประสิทธิภาพในการช่วยดูดซับหรือลดปริมารคารีบอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ผลวิจัยที่ได้จากโครงการวิจัยนี้ นับเป็นผล/องค์ความรู้ที่ได้จากพื้นที่การศึกษาเพียงแห่งเดียว คือ บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่างคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี ซึ่งพบมีหญ้าขึ้นเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ *E. acoroides* และ *H. pinifolia* ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่ศึกษาให้คลอบคลุมทั้งภาคตะวันออก หรือตลอดแนวทะเลชายฝั่งอ่าวไทย เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดวับคาร์บอนของหญ้าทะเลชนิดอื่น ๆ จะช่วยเพิ่มให้การวางนโยบายหรือแนวทางเพื่อเป็นกลไกลในการลดคาร์บอนในอนาคตใรประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 114/2559

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ...	
ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	3
กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย ทฤษฎี พร้อมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	13
บทที่ 3 วิธีการศึกษาวิจัย	
การศึกษาวิจัยที่ 1 การศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินและหญ้าทะเล *E. acoroides* และ *H. pinifolia*	15
การศึกษาวิจัยที่ 2 การศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* ในระบบปิด	19
การศึกษาวิจัยที่ 3 การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *E. acoroides* ด้วยรังสีอินฟราเรดในระบบปิด	22
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผล	
ผลการศึกษาวิจัยที่ 1: การศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในดินและหญ้าทะเล	25
ผลการศึกษาวิจัยที่ 2: การศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* ในระบบปิด	41
ผลการศึกษาวิจัยส่วนที่ 3 การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *E. acoroides* ด้วยรังสีอินฟราเรดในระบบปิด	47
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัย	56
บทที่ 6 ผลผลิต	57
เอกสารอ้างอิง	58
รายงานสรุปการเงิน	62
ประวัติผู้วิจัยโครงการวิจัย	63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณน้ำหนักแห้งและอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides*	27
2	ค่าวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides*	29
3	วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides*	29
4	วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* ที่เก็บได้จากบริเวณอ่าวในตำแหน่งที่แตกต่างกัน	30
5	ปริมาณน้ำหนักแห้งและอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลชนิด *H. ponifolia*	31
6	ค่าวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *H. pinifolia*	33
7	วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่าง ของหญ้าทะเลพันธุ์ *H. pinifolia*	33
8	วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหญ้าทะเลพันธุ์ *H. pinifolia* ที่เก็บได้จากบริเวณอ่าวในตำแหน่งที่แตกต่างกัน	34
9	ค่าเฉลี่ยและปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%) ของดินที่พบมีการเจริญของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ในระยะห่างที่แตกต่างกัน	35
10	ค่าเฉลี่ยและปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%) ของดินที่พบมีการเจริญของหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* ในระยะห่างที่แตกต่างกัน	37
11	ค่าเฉลี่ยและปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของพื้นที่ที่ไม่พบพันธ์หญ้า ในระยะห่างที่แตกต่างกัน	38
12	การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรียคาร์บอนของดินในระยะห่างที่ต่างกัน	39
13	การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุของดินบริเวณที่มีหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิดเจริญเติบโตอยู่	39
14	CO_2 Absorption in different time between with and without seagrass	49
15	CO_2 Absorbtion of seagrass between February, March and April 2016	49
16	Relationship between CO_2 Absorbtion of seagrass with pH, radiation, air temperature, relative humidity and water temperature	54

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	หญ้าทะเล *E. acoroides* Linn.	6
2	หญ้าทะเล *H. pinipolia*	6
3	แผนที่แสดงแหล่งหญ้าทะเลบริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี	16
4	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* และ *H. pinifolia* จำนวน 35 ตำแหน่ง คลอบคลุมบริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี	16
5	หญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ที่เก็บจากบริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี	17
6	หญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี	17
7	การวาง quadrat ขนาด 20x20 เซนติเมตร เพื่อกำหนดขอบเขตการเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* และการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน	18
8	การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* Linn.ใน ระบบปิด	20
9	การศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* Linn.ในระบบปิด โดยแสดงชุดควบคุม และชุดทดลอง	21
10	การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *E. acoroides* ด้วยรังสีอินฟราเรดในระบบปิด	23
11	การชั่งน้ำหนักแห้งของหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia*	26
12	การวัดการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* , Radiation (A) temperature (B) andrelative humidity (C)	43
13	ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *acoroides*	44
14	Diurnal of pH (A-C) temperature of the sea water (D-F)	45
15	CO_2 Absorption of seagrass in the 15 cm sea water depth (A-C) and pH measured (D-F) the closed system (solid line) compared with sea water without seagrass (dotted line)	51
16	Solar radiation (A) temperature (B) and relative humidity (C) during CO_2 absorption measurement of seagrass	52
17	Temperature of sea water with and without seagrass (A-C)	53

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ หรืออุณหภูมิในชั้นบรรยากาศของโลก เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4), คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) โดยมี CO_2 เป็นตัวการสำคัญหรือมีปริมาณสะสมในบรรยากาศมากที่สุด ซึ่งกระบวนการสำคัญที่ก่อให้เกิดก๊าซมลภาวะเหล่านี้ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลก่อให้เกิด CO_2 จำนวนมากที่เรียกว่า คาร์บอนสีน้ำตาล (brown carbon) หรือการเผาไหม้ถ่านหิน ก่อให้เกิดคาร์บอนสีดำ (black carbon) รวมไปถึงกิจกรรมทางเกษตร เช่น การใช้ปุ๋ยและสารเคมีเกษตร แต่ในขณะเดียวกันกลับมีกิจกรรมการดูดซับคาร์บอนในบรรยากาศกลับเข้ามาสู่ในระบบนิเวศ เพื่อเก็บไว้ให้สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศนั้นใช้งาน โดยการทำหน้าที่เป็น carbon sink เช่น ระบบนิเวศป่าไม้ ที่เรียกว่า คาร์บอนสีเขียว (green carbon) และระบบนิเวศทางทะเล ที่เรียกว่า คาร์บอนสีน้ำเงิน (blue carbon)

จากความเชื่อมโยงกันของระบบนิเวศต่าง ๆ และพบว่าระบบนิเวศทางทะเลและมหาสมุทรมีความสามารถในการเป็น carbon sink ที่ดี สามารถกักเก็บคาร์บอนในบรรยากาศได้ถึง 22 ล้านเมตริกตันต่อวัน (Richard *et al*., 2006) ซึ่งสูงกว่าระบบนิเวศป่าไม้ ดังจะเห็นได้จากข้อตกลงในเวทีเจรจาความตกลงระหว่างประเทศด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 15 เมื่อปี พ.ศ. 2552 ณ เมืองโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก ได้ให้ความสำคัญกับเรื่องนี้มาก และจากรายงานพบว่าหญ้าทะเลมีความสามารถในการดูดซับหรือกักเก็บคาร์บอนได้ดีทั้งในรูปของ CO_2 และ HCO_3^- (Edward *et al*., 2011) และคิดเป็นมูลค่าประมาณ 1.9 – 13.7 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี (Pendleton *et al*., 2012)

หญ้าทะเลเป็นพืชที่มีคุณค่ามากทั้งต่อระบบนิเวศหญ้าทะเล และวิถีชุมชน แนวหญ้าทะเลเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและอนุบาลสัตว์น้ำ การทำประมงชายฝั่ง และการเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของพะยูน ปัจจุบันพบว่าหญ้าทะเลทั่วโลกถูกทำลายไปแล้วประมาณ 29 เปอร์เซนต์ (Waycott *et al*., 2009) นับเป็นการสูญเสียที่ต้องเร่งฟื้นฟูกลับคืนมา ทั้งเพื่อความสมบูรณ์ของระบบนิเวศเอง และการดำรงชีวิตของมนุษย์ นอกจากนี้ การที่พบว่าหญ้าทะเลมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนในบรรยากาศได้ดีดังกล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้นหญ้าทะเลจึงกลายมาเป็นหนึ่งในแหล่ง carbon sink ที่ดีด้วยเช่นกัน การลดการสะสมคาร์บอนในบรรยากาศนับเป็นกิจกรรมที่ต้องเร่งกระทำ เพราะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Macreadie *et al*., 2014) และเนื่องจากหญ้าทะเลแต่ชนิดจะมีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาเรื่องการกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศหญ้าทะเลจึงเป็นเรื่องสำคัญมาก งานวิจัยในครั้งมุ่งศึกษาถึงบทบาทและความสามารถในการดูดซับคาร์บอนของหญ้าทะเลแต่ละชนิด ที่สอดคล้องกับโครงสร้างของดินแต่ละพื้นที่ ตามวิถีของการสร้างคาร์บอนสีน้ำเงินเพื่อใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์และส่งเสริมการปลูกหญ้าทะเลต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวัดปริมาณชีวมวลและคาร์บอนสะสมสุทธิในหญ้าทะเล 2 ชนิด คือ *Enhalus acoroides* (Linnaeus f.) และ *Halodule pinifolia* (Miki) den Hartog และคาร์บอนสะสมในดินรอบบริเวณแนวหญ้าทะเล
2. เพื่อศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* (Linnaeus f.)

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งศึกษาความสามารถของการสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเล 2 ชนิดคือ *E. acoroides* (Linnaeus f.) และ *H. pinifolia* (Miki) den Hartog โดยเลือกพื้นที่ศึกษาคือ บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี โดยจะทำการวัดชีวมวลของหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิด ประกอบไปด้วย น้ำหนักแห้ง (dry weight) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) สะสมสุทธิในส่วนของ ใบ (leaf) และกาบใบ (sheath) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่เหนือเดิน และส่วนของไหล (rhizome) และราก (root) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใต้ดิน โดยการนำไปอบให้แห้ง จากนั้นจะทำการวิเคราะห์สารสะสมดังกล่าวด้วยเครื่อง CHN analyzer นอกจากนี้ จะทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาค (particle density) ความหนาแน่นรวม (bulk density) และปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่ในดินรอบ ๆ แนวการเจริญเติบโตของหญ้าทะเลที่ระดับความลึกต่าง ๆ คือ 0-20, 20-40 และ มากกว่า 40-60 เซนติเมตร ด้วยวิธี core method จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three way ANOVA analysis) ระหว่าง ชนิดของหญ้าทะเล ปริมาณคาร์บอนสะสมในต้นหญ้าทะเล และระดับคาร์บอนสะสมตามความลึกต่าง ๆ ของดินดังกล่าว

นอกจากนี้ จะทำการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเล โดยการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ระหว่างหญ้าทะเลกับอากาศ และการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน (O_2) ในน้ำด้วย เพื่อเป็นการยืนยันถึงอัตราการสะสมและอัตราการใช้คาร์บอนที่แท้จริงของหญ้าทะเลทั้งสองชนิดดังกล่าว

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

จากการเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว ถึงเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก สภาพภูมิอากาศที่ร้อนขึ้น เกิดเป็นสภาวะโลกร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะเรือนกระจก (green house effect) จากผลการศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยหน่วยงาน IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ระบุว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ ที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในบรรยากาศของโลกมากที่สุดในบรรดาก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ คือ ก๊าซมีเทน ไนตรัสออกไซด์ และ ก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ด้วยคุณสมบัติที่ก๊าซเหล่านี้มีความคงทนอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานและดูดซับรังสีอุลตราไวโอเรตได้ดี และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ ซึ่งหมายถึงผลกระทบโดยตรงต่ออุณหภูมิของผิวโลกและชั้นบรรยากาศจะยิ่งทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น อันเป็นผลมากจากการกระทำหลักจากกิจกรรมต่างของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง กิจกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรม การตัดไม้ทำลายป่า และเกิดจากธรรมชาติ

แต่เดิมป่าไม้ถูกยกเป็นกลไกลสำคัญ หรือเครื่องมือในการช่วยลดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยการดูดซับหรือกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ ภายใต้แนวความคิดของคาร์บอนสีเขียว ของระบบนิเวศป่าไม้ และในความเป็นจริงที่ว่าโลกประกอบไปด้วยระบบนิเวศทางทะเลและมหาสมุทรซึ่งกินพื้นที่ประมาณ 2 ใน 3 ของพื้นที่โลกทั้งหมด และระบบนิเวศทางทะเลมหาสมุทรมีความสามารถในการเป็น carbon sink ที่ดี สามารถกักเก็บคาร์บอนในบรรยากาศได้ถึง 22 ล้านเมตริกตันต่อวัน (Richard *et al*., 2006) ซึ่งสูงกว่าระบบนิเวศป่าไม้ ดังกล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้นทรัพยากรทางทะเลจึงกลายมาเป็นสิ่งที่น่าจับมองในอันที่จะมีบทบาทในการเป็นพื้นที่ที่ใช้ในการกักเก็บการบอน ภายใต้แนวคิดคาร์บอนสีน้ำเงิน (blue carbon)

และจาการประชุมเจรจาประเทศสมาชิกอนุสัญญาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 15 ณ เมืองโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก ระบุว่าถึงความสามารถของป่าชายเลนและหญ้าทะเลในอันที่จะช่วยดูดซับหรือกักเก็บคาร์บอนได้ดี ดังจะเห็นได้จากการส่งเสริมกิจกรรมการอนุรักษ์และฟื้นฟูระบบนิเวศป่าชายเลนและหญ้าทะเล ที่มีมาอย่างต่อเนื่อง และการที่หญ้าทะเลนอกจะมีบทบาทในการเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์อ่อน และเป็นอาหารหลักที่สำคัญของพะยูนแล้ว ยังมีบทบาทสำคัญในอันที่จะช่วยดูดซับหรือกักเก็บคาร์บอนได้ดีอีกด้วย โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ ถือเป็นการวิจัยทางเลือกเพื่อความยั่งยืนทั้งทางระบบเศรษฐกิจ สังคม และระบบนิเวศ ในอันที่จะช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เพื่อมุ่งไปสู่การพัฒนาตามนโยบายการส่งเสริมคาร์บอนต่ำของประเทศไทย ตามยุทธศาสตร์การวิจัยของประเทศในการเป็นสังคมคาร์บอนต่ำได้ภายในปี 2593 (ยุทธศาสตร์การวิจัยรายประเด็นด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (พ.ศ. 2556-2559)

หญ้าทะเล

หญ้าทะเลเป็นพืชมีดอก ซึ่งพบขึ้นตามแนวชายฝั่งทะเล พบได้ทั้งในบริเวณเขตอบอุ่นและเขตร้อน หญ้าทะเลจัดอยู่ในกลุ่มพืชน้ำที่มีการปรับตัวและมีวิวัฒนาการอย่างสมบูรณ์ในกลุ่มของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีระบบท่อลำเลียงอย่างแท้จริง โดยทั่วไปแล้วมีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกับหญ้าบก มีลำต้นฝังอยู่ใต้ดินทอดยาวเป็นปล้องๆ เรียกว่า ไรโซม (rhizome) ซึ่งจะเป็นตัวชูก้านใบที่จมอยู่ในน้ำ มีข้อต่อ (node) แบ่งส่วนของลำต้นใต้ดินออกเป็นช่วงๆ บางชนิดมีการแตกก้านใบ (stalk) มากมายจนดูหนาทึบ ส่วนของรากเป็นส่วนที่เจริญงอกออกจากส่วนของลำต้นใต้ดิน และข้อต่อเหมือนกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป ลักษณะของรากจะแตกต่างกันตามชนิด เช่น หญ้าทะเลสกุล Syringodium, Cymodocea และ Halodule จะมีส่วนของรากที่แตกแขนงออกไป และมีรากฝอย (root hair) แต่ในสกุล Enhalus ไม่มีรากฝอย มีเหง้าขนาดใหญ่แข็งแรง มีปล้องสั้น มีรากแข็งแรง

ในประเทศไทยสามารถพบได้ในหลายพื้นที่ เช่น แหล่งน้ำกร่อย หรือปากแม่น้ำที่ติดป่าชายเลน ชายฝั่งน้ำตื้นที่มีพื้นทรายหรือทรายปนโคลน และที่ลึกติดกับแนวปะการัง โดยพบแพร่กระจายพันธุ์อย่างกว้างขวางในเขตน้ำตื้นชายฝั่งทะเลรวมถึงเกาะแก่งต่างๆ ทั้งในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ครอบคลุมพื้นที่ 19 จังหวัดชายฝั่ง ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา ปัตตานี นราธิวาส ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูลประเทศไทย มีแหล่งหญ้าทะเลที่สำคัญทางฝั่งอ่าวไทยและทะเลอันดามันหลายพื้นที่ อาทิ อ่าวทุ่งคา-สวี จังหวัดชุมพร อ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี เกาะตะลิบง จังหวัดตรัง เกาะศรีบอยา-เกาะปู จังหวัดกระบี่ เกาะพระทองและพื้นที่ใกล้เคียง จังหวัดพังงา และบ้านป่าคลอก จังหวัดภูเก็ต เป็นต้น

ลักษณะทางชีววิทยาของหญ้าทะเล

ส่วนประกอบของหญ้าทะเลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างส่วนต้น (vegetative structure) และโครงสร้างที่ใช้ในการสืบพันธุ์ (reproductive structure)

โครงสร้างส่วนต้น (vegetative structure)

เหง้า (rhizome) เป็นลำต้นที่นอนราบขนานกับพื้นดิน โดยทั่วไปจะฝังอยู่ใต้ดิน ช่วยทำให้การยึดเกาะดียิ่งขึ้น และเมื่อส่วนต้นที่โผล่ขึ้นมาเหนือผิวดินถูกทำลายแต่ยังคงเหลือส่วนเหง้าที่ฝังอยู่ใต้ดิน ก็สามารถงอกเป็นต้นและสร้างแนวของหญ้าทะเลได้อีก เมื่อสภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมได้แก่ อุณหภูมิลดลง ไม่มีการโผล่พ้นน้ำหรือมีการตากแดดในเวลากลางวัน

ราก (root) รากของหญ้าทะเล งอกจากด้านล่างของลำต้นใต้ดิน ช่วยในการยึดเกาะพื้นดิน และดูดซึมสารอาหาร ลักษณะภายนอกของหญ้าทะเลแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันเช่น รากของ *Enhalus* มีขนาดใหญ่ จำนวนมาก นุ่ม ไม่แตกแขนงและไม่มีรากขน (root hair) ในขนาดที่รากของหญ้าทะเลสกุล *Syringodium*, *Cymodocea* และ *Halodule* มีรากตั้งแต่ 1 ราก งอกออกจากข้อรากมีลักษณะแตกแขนงและมีรากเล็กน้อย

ใบ (leaf) เป็นส่วนหนึ่งของลำต้นที่ตั้งตรงจากส่วนด้านข้างของเหง้า หญ้าทะเลส่วนใหญ่จะมีลักษณะของใบเป็นทรงแบนยาวมีความกว้างยาวต่างกันแล้วแต่ชนิดก้านใบจะเหมือนพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยจะแผ่หุ้มลำต้นไว้ เรียกว่า กาบใบ ซึ่งแตกต่างจากแผ่นใบตรงที่ไม่มีสีเขียวของคลอโรพลาสต์ ทำให้ขาดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง แต่มีหน้าที่ช่วยหุ้มและปกป้องใบอ่อนไม่ให้ถูกทำลาย

โครงสร้างที่ใช้ในการสืบพันธุ์ (reproductive structure)

ดอกหญ้าทะเลส่วนใหญ่มีดอกอยู่ใต้น้ำ ดอกของหญ้าทะเลมี 2 แบบ ได้แก่ แบบ Monoecious คือ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในเพศเดียวกัน เช่น หญ้าทะเลในวงศ์ *Cymodoceaceae* แต่หญ้าทะเลบางชนิดอาจมีดอกทั้งสองรูปแบบ เช่น วงศ์ *Zosteraceae* และ *Hydrocharitaceae* การแพร่กระจายของเกสรจะเกิดขึ้นใต้น้ำ เมื่อผสมแล้วจะได้ผลและเมล็ดแตกต่างกันตามชนิดของหญ้าทะเล

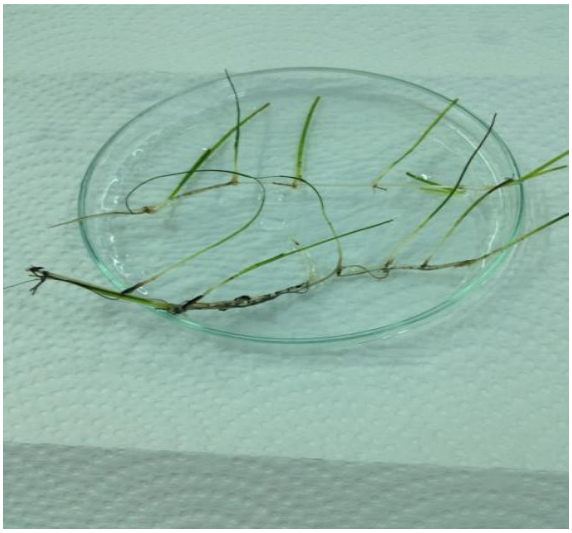
ผล จะมีรูปร่างทรงกลม ภายในบรรจุเมล็ดที่มีเหลี่ยมมุมจำนวนหลายส่วน เอ็มบริโอจะมี hypocotyl ขนาดใหญ่เชื่อมติดกับใบเลี้ยง ได้แก่ ผลของหญ้าทะเลในสกุล *Thalassia* ในส่วนของผลที่อยู่บริเวณก้านใบมี capsule ที่มีเนื้อนุ่ม ตั้งอยู่บนก้านใบ ด้านในเมล็ดรูปทรงกลมสีขาว ได้แก่ ผลของงหญ้าทะเลในสกุล *Halophila* (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2534)

ชนิดพันธุ์ของหญ้าทะเล

ชนิดพันธุ์หญ้าทะเล น่านน้ำไทยโดยเฉพาะตามชายฝั่งรวมถึงเกาะต่างๆ พบหญ้าทะเล 12 ชนิด ซึ่งแบ่งได้ง่ายๆ ตามลักษณะของใบเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีใบแบนยาวหรือใบกลมยาว และกลุ่มที่มีใบแบบสั้นรูป รี การเรียกชื่อหญ้าทะเลนั้นมีความหลากหลายไปตามพื้นที่ของชุมชนชายฝั่งทะเล และ ยังมีความแตกต่างกันระหว่างฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน เป็นผู้บุกเบิกในการตั้งชื่อภาษาไทยสำหรับใช้เรียก หญ้าทะเลชนิดต่างๆ ฝั่งทะเลอันดามัน โดยอาศัยชื่อพื้นเมืองที่ชาวบ้านเรียกเป็นพื้นฐานประกอบเข้ากับลักษณะเฉพาะของหญ้าทะเลแต่ละชนิด ดังนี้

1. กลุ่มที่มีใบแบนยาว หรือ ใบกลมยาว ได้แก่
   หญ้าต้นหอมทะเล (*Syringodium isoetifolium*)
   หญ้ากุยช่ายทะเล (*Halodule uninervis*)
   หญ้าตะกานน้ำเค็ม (*Ruppia maritima*)
   หญ้าชะเงาใบมน (*Cymodocea rotundata*)
   หญ้าชะเงาใบฟันเลื่อย (*Cymodocea serrulata*)
   หญ้าชะเงาเต่า (*Thalassia hemprichii*)
2. กลุ่มที่มีใบแบบสั้นรูปรี ได้แก่
   หญ้าเงา หรือหญ้าใบมะกรูด หรือหญ้าอำพัน (*Halophila ovalis*)
   หญ้าเงาใบเล็ก (*Halophila minor*)
   หญ้าเงาใส (*Halophila decipiens*)
   หญ้าเงาแคระ (*Halophila beccarii*)

ภาพที่ 1 หญ้าทะเล *E. acoroides* Linn. บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี



ภาพที่ 2 หญ้าทะเล *H. pinipolia* บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

คาร์บอนกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

สภาวะโลกร้อน เป็นปรากฏการณ์ที่บรรยากาศใกล้ผิวโลกและผิวน้ำในมหาสมุทรมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นอีกในอนาคตอันใกล้นี้ อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั่วโลกเพิ่มขึ้น 0.74 $\pm$0.18 °C ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกนี้มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของแก๊สเรือนกระจก ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกที่มีปริมาณมากที่สุดในบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การตัดไม้ทำลายป่า และโรงงานอุตสาหกรรม การสะสมก๊าซมีเทน ไนตรัสออกไซด์ และ ก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งเป็นแก๊สที่มีอายุอยู่ในชั้นบรรยากาศนานและมีศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนได้มาก (พูนพิภพ, 2550)

สภาวะโลกร้อนมีผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อสภาพภูมิอากาศ ทำให้สิ่งมีชีวิตทุกชนิดและระบบนิเวศทั่วโลกต้องปรับตัวให้เข้ากับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พืชได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมจากสภาวะโลกร้อน โดยการปรับตัวของพืชขึ้นอยู่กับสมดุลการตอบสนองของพืชต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามพืชก็มีบทบาทสำคัญต่อการลดการเกิดสภาวะโลกร้อนได้ เนื่องจากพืชและป่าไม้สามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

คาร์บอนสีน้ำเงินและหญ้าทะเลกับบทบาทการเป็น Carbon sink

คาร์บอนสีน้ำเงิน (blue carbon) คือคาร์บอนที่ถูกเก็บไว้โดยระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่ง เช่น ป่าชายเลน หญ้าทะเลและสาหร่ายทะเล โดยการดูดซับคาร์บอนจากบรรยากาศเข้ามาเก็บไว้ในพืชเอง ผ่านกระบวนการดำลังชีวิต เช่น การสังเคราะห์แสง และกักเก็บไว้ในดิน ระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่ง ถือเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีคุณค่ามหาศาลในการทำหน้าที่เป็น carbon sink เพื่อการกักเก็บคาร์บอน ในขณะที่คาร์บอนสีน้ำเงิน ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งในการมีลดการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศของโลก (http://www.unesco.org/)

ระบบนิเวศของหญ้าทะเล เป็นระบบนิเวศที่ใกล้ชิดกับมนุษย์ หรือชุมชนชายฝั่งเป็นอย่างมาก ทั้งวิถีชีวิต เช่น การทำการประมง รักษาสมดุลในทะเล รวมทั้งเป็นอาหารของพะยูน ชนิดของหญ้าทะเลพบว่ามีการบันทึกไว้ว่าทั่วโลกมีทั้งหมด 15 สายพันธุ์ (Short et al., 2007) ในขณะประเทศไทยพบเพียง 12 สายพันธุ์ กระจายอยู่ทั่วไปตามแนวทะเลฝั่งอ่าวไทย และอันดามัน จากการศึกษาพบว่าหญ้าทะเลมีศักยภาพในการใช้คาร์บอน หรือดูดซับคาร์บอนจากบรรยากาศมากกว่าป่าในเขตร้อนประมาณ 40 เท่า (Duarte et al., 2005) แต่ความเข้าในเชิงลึกยังมีจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับปะการัง หรือป่าชายเลน (Orth et al., 2006)

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและระดับน้ำทะเล

จากการรวบรวมผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล ของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก สามารถสรุปได้ดังนี้

ได้มีการตรวจพบว่าอุณหภูมิระดับผิวโลกสูงขึ้นประมาณ 0.3 ถึง 0.6 องศาเซลเซียส นับตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 โดยได้พบว่าบริเวณพื้นทวีประหว่างละติจูด 40 ถึง 70 องศาเหนือเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นมากที่สุด ในขณะเดียวกันที่บางแห่ง เช่นบริเวณมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือได้มีอุณหภูมิลดลงในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

โดยทั่วไปพิสัยของอุณหภูมิในรอบวันบนพื้นทวีปมีแนวโน้มลดลง ตั้งแต่ประมาณกลางคริสต์ศตวรรษที่ 20ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณ เมฆในท้องฟ้าทำให้ช่วงกลางวันมีอุณหภูมิลดลงและอุณหภูมิในช่วงกลางคืนสูงขึ้นและคาดว่าอุณหภูมิบริเวณตอนล่างของบรรยากาศ ชั้นสตราโตสเฟียร์ (สูงจากผิวโลกระหว่าง 14 -20 กิโลเมตร) ลดลงเนื่องจากการลดลงของโอโซน และการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สำหรับปริมาณฝนเฉลี่ยในภาคพื้นทวีปในคริสต์ศตวรรษที่ 20 นั้นยังไม่มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง

การระเหยของน้ำในมหาสมุทรเขตร้อนสูงขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำในเขตร้อน ที่ตรวจวัดได้สูงขึ้น พื้นที่หิมะปกคลุมอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าเฉลี่ยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987

ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา ระดับน้ำทะเลทั่วโลกเฉลี่ยสูงขึ้นประมาณ 1 ถึง 2.5 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งเป็นผลกระทบโดยตรงจากการที่อุณหภูมิของบรรยากาศสูงขึ้น ทำให้น้ำทะเลและมหาสมุทรขยายตัวพร้อมกับการละลายของธารน้ำแข็ง การประเมินผลกระทบ นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศ โดยอาศัยสมมุติฐานที่ว่า ถ้าหากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของโลกในปี ค.ศ.2100 เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจากระดับปัจจุบันพบว่าอุณหภูมิผิวพื้นทั่วโลกสูงขึ้นประมาณ 1 ถึง 3.5 องศาเซลเซียส และระดับน้ำทะเลสูงขึ้นประมาณ 15 ถึง 95เซนติเมตร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งด้านอุทกวิทยา หรือการจัดการแหล่งน้ำตลอดจนโครงสร้างพื้นฐานและสุขภาพของมนุษย์ อาทิ เช่นด้านระบบนิเวศน์

ป่าไม้ ประมาณการว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการฟื้นฟูสภาพป่าในหลายแห่งของโลก เป็นที่คาดว่าประมาณหนึ่งในสามของป่าที่มีอยู่ทั่วโลกจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกว้างขวางด้านชนิดพันธุ์พืชโดยการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเกิดขึ้นในบริเวณละติจูดสูง ๆ ส่วนบริเวณเขตร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

พื้นที่น้ำแข็งปกคลุม ประมาณการว่าประมาณหนึ่งในสามถึงครึ่งหนึ่งของภูเขาน้ำแข็งที่มีอยู่ในปัจจุบันจะหายไปในอีก 100 ปีข้างหน้าการลดลงของภูเขาน้ำแข็งและความหนาของชั้นหิมะที่ปกคลุมพื้นโลกจะส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำในแต่ละฤดูกาลและการจ่ายน้ำของเขื่อนที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ ตลอดจนการเกษตรกรรม

ระบบนิเวศน์ชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศและระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น หรือการเกิดพายุและคลื่นซัดฝั่งจะส่งผลให้เกิดการกัดเซาะการพังทลาย และเกิดน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งมากขึ้น ความเค็มของน้ำในบริเวณปากแม่น้ำและในชั้นน้ำจืดใต้ดินจะเพิ่มขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำขึ้น-น้ำลงในแม่น้ำและอ่างต่าง ๆ รวมทั้งการพัดพาของตะกอนและสารอาหารในน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศน์ชายฝั่งจะส่งผล

กระทบต่อที่อยู่อาศัยของผู้คนบริเวณนี้ และส่งผลกระทบในทางลบต่อการท่องเที่ยวการจัดหาน้ำจืด การประมง และความหลากหลายทางชีวภาพ

ด้านโครงสร้างพื้นฐานของมนุษย์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและ ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น จะมีผลกระทบในทางลบต่อการพลังงานการอุตสาหกรรม การขนส่ง การตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ การประกันทรัพย์สินและการท่องเที่ยวภัยที่เห็นได้ชัดเจนคือ ประชากรที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง ซึ่งได้มีการประมาณการว่าจะมีประชากรประมาณ 46 ล้านคนต่อปีในปัจจุบันที่เสี่ยงต่อภัยน้ำท่วมเนื่องจากคลื่น พายุซัดฝั่ง และหากระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 50 เซนติเมตร จำนวนประชากรที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจะเพิ่มขึ้นเป็น 92 ล้านคน และถ้าระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1 เมตร จำนวนผู้เสี่ยงต่อภัยน้ำท่วมจะสูงถึง 118 ล้านคน โดยประชากรของประเทศที่เป็นเกาะเล็ก ๆ หรือประเทศด้วยพัฒนาจะได้รับผลกระทบที่รุนแรงกว่า เนื่องจากระบบป้องกันชายฝั่งไม่ดีเพียงพอและประเทศที่มีประชากรหนาแน่นกว่าก็ย่อมได้รับผลกระทบมากกว่าทำให้เกิดการอพยพทั้งภายในประเทศและข้ามประเทศ

จากการศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น 1 เมตร ซึ่งเป็นค่าสูงสุดตามที่ประมาณการสำหรับปี ค.ศ. 2100 พบว่าเกาะเล็กๆและพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำเป็นบริเวณที่เสี่ยงภัยสูงโดยได้ประเมินการสูญเสียแผ่นดินของประเทศต่าง ๆ ถ้าระบบป้องกันภัยมีอยู่เช่นปัจจุบันดังนี้ ประเทศอุรุกวัยสูญเสีย 0.05 เปอร์เซ็นต์ อียิปต์ 1 เปอร์เซ็นต์ เนเธอร์แลนด์ 6 เปอร์เซ็นต์ บังคลาเทศ 17.5 เปอร์เซ็นต์ และประมาณ 80เปอร์เซ็นต์ สำหรับเกาะปะการังมาจูโร (Majuro) ในหมู่เกาะมาร์แชล และประชากรที่ได้รับผลกระทบจะมีมากประมาณ 70 ล้านคนในจีนและบังคลาเทศ เป็นต้นสำหรับประเทศไทยย่อมได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ส่วนจะมากน้อยเพียงใดจะต้องมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไปแต่อย่างน้อยก็พอประมาณได้ว่าเมื่อระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ย่อมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ชายฝั่งของประเทศไทยจะมีการเกิดน้ำท่วมเพิ่มพื้นที่ขึ้นและความรุนแรงมากขึ้น อัตราการกัดเซาะและการพังทลายของพื้นที่ชายฝั่งจะเพิ่มขึ้นน้ำทะเลจะรุกเข้ามาในแผ่นดินและแม่น้ำมากขึ้น ทำให้ความเค็มในดินและบริเวณตอนล่างของแม่น้ำเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบในทุก ๆ ด้านเช่นด้านที่อยู่อาศัย การเกษตรกรรม การจัดหาน้ำจืด การประมง การท่องเที่ยวเป็นผลให้กระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก การบรรเทาผลกระทบ เพื่อไม่ให้ประชากรโลกรวมทั้งประเทศไทยได้รับ ผลกระทบที่รุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงของโลกที่จะเกิดขึ้นดังกล่าวแล้ว เราจึงควรให้ความร่วมมือในการรักษาสมดุลทางธรรมชาติให้คงอยู่ตราบนานเท่านาน ตามข้อเสนอแนะ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเกิดจากธรรมชาติ และเกิดจากฝีมือมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆและการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อใช้เป็นที่อยู่อาศัยหรือการเกษตรกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดไม้ทำลายป่านี้นับว่าเป็นตัวการสำคัญที่สุดในการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากต้นไม้และป่าไม้มีคุณสมบัติที่ดี คือ มันสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ก่อนที่จะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศดังนั้นเมื่อพื้นที่ป่าลดน้อยลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงขึ้นไปสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้มากขึ้นจากผลการศึกษาปริมาณก๊าซ โดยหน่วยงาน IPCC (Intergoverนาโนเมตรental Panel on Climate Change) ประมาณตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา รายงานว่ามีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อใช้เป็นพื้นที่เมือง หรือการเกษตรมีประมาณ 1.6 Gtc (1.6 5 109 ตันคาร์บอน) ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผา

ไหม้ และแหล่งอื่นที่เป็นผลมาจากฝีมือมนุษย์กำลังมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ผลการศึกษาของ IPCCยังระบุชัดว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจำที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในบรรยากาศของ โลกมากที่สุดในบรรดาก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ ทั้งยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าก๊าซชนิดอื่น ๆ ด้วย ซึ่งหมายถึงผลกระทบโดยตรง ต่ออุณหภูมิของผิวโลกและชั้นบรรยากาศจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นต่อไปอีก ล่าสุดนี้หน่วยงาน IPCC ได้รายงานปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นโดยฝีมือมนุษย์นี้ ทำให้พลังงานรังสีความร้อนสะสมบนผิวโลก และชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นประมาณ 1.56 วัตต์ ต่อตารางเมตรในปริมาณนี้ยังไม่คิดรวมผลกระทบที่เกิดขึ้นทางอ้อมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การดูดซับคาร์บอนของหญ้าทะเล

หญ้าทะเลสามารรักษาสมดุลคาร์บอนของโลก เพราะแหล่งหญ้าทะเลหนาแน่นสามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ได้มากกว่าที่ใช้เพื่อการหายใจ และเติบโตประเมินว่าระบบนิเวศหญ้าทะเลทั่วโลก (946 แห่ง) สามารถกักเก็บคาร์บอนได้มากถึง 19.9x1015 กรัมอินทรีย์คาร์บอน โดย 4.2-8.4x1015 กรัมคาร์บอนเก็บสะสมในตะกอนดิน

1.คาร์บอนที่สะสมในตะกอนดินบริเวณแหล่งหญ้าทะเล ครึ่งหนึ่งมาจากการย่อยสลายของหญ้าทะเล

2.ประเมินว่าแหล่งหญ้าทะเลทั่วโลกมีปริมาณเฉลี่ย NCP CO_2flux= 4.4 ตันCO2e/ha.y ระบบนิเวศหญ้าทะเลบินแทน ประเทศอินโดนีเซีย

3.พื้นที่ 18,000 ตารางกิโลเมตร มีคาร์บอนที่เก็บสะสม 594 ตันCO_2e/ha (Th 818)โดยคาร์บอน 1 x 109 ตัน CO_2e สะสมในตะกอนดิน=>CO_2e flux จากมนุษย์เป็น 29 x 109 ตัน/ปีระบบนิเวศหญ้าทะเลเชกจาวา

4 ประเทศสิงคโปร์ สามารถสะสมคาร์บอนได้ 138 MgC/ha มูลค่าการกักเก็บคาร์บอนของหญ้าทะเล3ประมาณ 12,000 US$/ha ความสามารถในการเก็บคาร์บอน 1 ไร่=48 ตัน; 48 tonC/ไร่ X 21,192 ไร่ X 6.2 USS$/ตัน X 30 บาท

การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีมากที่สุดในบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การตัดไม้ทำลายป่า และโรงงานอุตสาหกรรม (พูนพิภพ, 2550) การปรับตัวของพืชขึ้นอยู่กับการตอบสนองพืชต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่พืชก็มีบทบาทสำคัญต่อการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (photosynthesis) เป็นกระบวนการที่พืชสีเขียวนำพลังงานแสงเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการสร้างอาหารจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยพืชจะดูดซับพลังงานแสงเพื่อนำไปใช้ในการสร้างพลังงาน เพื่อการตรึงโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ และ

นำไปสร้างสารประกอบอินทรีย์ จากนั้นพืชจะใช้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในสารอินทรีย์เหล่านี้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ของพืช และพลังงานเหล่านี้สามารถถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นได้อีกด้วย ในขณะเดียวกันกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชยังมีการปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกสู่บรรยากาศ ในสัดส่วนที่เท่ากับการตรึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซออกซิเจนมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ (สมบุญ, 2548)

ในปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์สามารถประเมินความสามารถในการลดปริมาคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยพืชในพื้นที่กว้างได้ โดยใช้เทคนิค eddy correlation ซึ่งเป็นการติดตามการตรวจวัดความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศร่วมกับความเร็วลมแบบสามมิติด้วยความถี่ 10 ครั้งต่อวินาที และนำข้อมูลไปประมวลผลเพื่อประเมินสมดุลการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ เหนือพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้เป็นข้อมูลคาดการณ์ความสามารถในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของพืชที่สนใจ

เทคนิคที่ใช้สำหรับการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเล ได้แก่ การเลี้ยงหญ้าทะลใน chamber และทำการวัดปริมาณออกซิเจนอย่างต่อเนื่อง ด้วย Clark-type electrode การวัดการไหลเวียนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน incubation chamber และวิธีกาวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิด (closed chamber) ด้วยวิธี IRGA การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

เทคนิคที่ใช้สำหรับการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเล ได้แก่ การเลี้ยงหญ้าทะลใน chamber และทำการวัดปริมาณออกซิเจนอย่างต่อเนื่อง ด้วย Clark-type electrode การวัดการไหลเวียนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน incubation chamber และวิธีกาวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิด (closed chamber) ด้วยวิธี IRGA การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

Silva et al. (2008) เสนอวิธีการใหม่ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจวัดตรวจวัดการแลกเปลี่ยน CO_2 ด้วยรังสีอินฟราเรด สามารถวัดพืชใต้น้ำได้ในระดับเรือนพุ่มหรือกลุ่มสังคมพืชใต้น้ำ ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้วัดหญ้าทะเลได้ แต่ในประเทศไทยการศึกษาการดูดซับคาร์บอนของหญ้าทะเลยังมีอยู่จำกัดและยังไม่มีการทดสอบการวัดด้วยวิธีการใหม่นี้ ดังนั้นการทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในทดสอบการวัดการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล โดยวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิด เพื่อที่จะสามารถศึกษาการดูดซับคาร์บอนไซด์หรือคาร์บอนของหญ้าทะเล รวมถึงโอกาสของการพัฒนาเพื่อตรวจวัดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมของหญ้าทะเลต่อไป

เทคนิคการตรวจวัดคาร์บอนในดินและพืช

การประเมินคาร์บอนสะสมในระบบนิเวศ คือ การใช้เทคนิค Net ecosystem production (NEP) ซึ่งสามารถประเมินได้จากการเปลี่ยนแปลงชีวมวลในพืช ซึ่งได้มาจากคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดิน เช่น จากส่วนของใบ ลำต้น กิ่งก้าน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น และจากส่วนคาร์บอนที่มวลชีวภาพใต้ดิน เช่น ราก ไหล ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงคาร์บอนมวลชีวภาพของส่วนที่ตายไป เช่น ลำต้นที่ตายไป ใบ ดอก ผล ที่ร่วงหล่น จากนั้นนำไปประเมินหาการเปลี่ยนแปลงสุทธิของปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมไว้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2012 Anchana รายงานผลการศึกษาโอกาสและความสามารถของการเป็น carbon sink ในการกักเก็บคาร์บอนของหญ้าทะเลในเขตจังหวัดระนอง 2 สายพันธุ์ *Cymodocea serrulata* และ *Halodule uninervis* และบริเวณอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง 7 สายพันธุ์ คือ *Cymodocea rotundata, C. serrulata, Thalassia hemprichii, Enhalus acoroides, Syringodium isoetifolium, Halodule uninervis* และ *Halophila ovalis* พบว่าหญ้าทะเลในเขตจังหวัดระนองมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนได้ประมาณ 6.08 มิลลิกรัม ในขณะที่หญ้าทะเลในเขตบริเวณอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง ความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนได้ประมาณ 335.16 มิลลิกรัม ในขณะที่ดินที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 63 ไมโครเมตรจะมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนได้ดีกว่าอนุภาคดินขนาดเล็ก จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าหญ้าทะเลในเขตบริเวณจังหวัดระนองมีสภาพที่ไม่สมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าทะเลในเขตเขตบริเวณอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง ซึ่งอาจเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การขุดร่องน้ำ การทำการประมง การเปลี่ยนแปลงสถานรุกล้ำขอบเขตของชายฝั่ง ส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศของหญ้าทะเล

Wawo et al. (2014) ได้ศึกษาความสามารถในการสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลที่ขึ้นตามแนวชายฝั่งทะเลที่ Marine Nature Tourism Park of Kotania Bay ประเทศอินโดนิเซีย จำนวน 7 สายพันธุ์คือ *Enhalus acoroides*, *Halophila ovalis*, *Thalassia hemprichii*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Halodule pinifolia* และ *Syringodium isoetifolium* พบว่ามีปริมาณคาร์บอนสะสมโดยเฉลี่ยในส่วนของใบประมาณ 41.17 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณคาร์บอนสะสมในส่วนของลำต้นใต้ดินคือ บริเวณไหลและราก ที่ประมาณ 43.55 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าดินรอบ ๆ บริเวณแนวหญ้าทะเลของ Kotania bay มีคาร์บอนสะสมอยู่ประมาณ 2.385 $MgCha^{-1}$ เช่นเดียวกับPergent et al. (2014) ศึกษาความสามารถในการดูดซับคาร์บอนของหญ้าทะเลชนิด *Posidonia aceanica* ที่พบขึ้นอยู่บริเวณเมดิเตอร์เรเนียน พบว่าหญ้าทะเลชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไว้ได้ประมาณปีละ 92.5-144.7 $gCm^{-2}a^{-1}$ หรือคิดเป็นประมาณ 27 เปอร์เซนต์ ของระบบนิเวศทางทะเลของทะเลเมดิเตอร์เนียนสามารถดูซับคาร์บอนไว้ได้ จึงเป็นการบ่งบอกว่าการส่งเสริมการปลูกหรือขยายพื้นที่ปลูกหญ้าทะเลจะกลายมาเป็นทางเลือกสำคัญในอนาคตอย่างแน่นอนในอันที่จะช่วยลดการสะสมคาร์บอนในบรรยากาศ ลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุหลักการเกิดภาวะโลกร้อน สู่หนทางการพัฒนาเป็นสัมคมคาร์บอนต่ำ เพื่อความยั่งยืนของสังคม และอนุรักษ์ที่ยั่งยืนในอนาคต

ณัฐวดี บันตวัฒน์กุล พรนาภา เพชรศรี และปิ่นฤทัย ฤคดี (2560) ได้ศึกษา การกักเก็บคาร์บอนของหญ้าทะเล บริเวณเกาะมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง อ่าวไทยตอนกลาง โดยเริ่มจากการลงประเมินหญ้าทะเล ขนาด 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร จำนวน 3 ซ้ำ และทำการขุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลโดยครอบคลุมถึงใบ เหง้า และราก ในพื้นที่ขนาด 25 เซนติเมตรx 25 เซนติเมตร จำนวน 3 ซ้ำ นำตัวอย่างหญ้าทะเลมาทำความสะอาด แล้วแยกส่วนของหญ้าทะเลตัวอย่าง เป็น 3 ส่วน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปวิเคราะห์ด้วย CHN Analyzer ที่มหาวิทยาสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยผลที่ได้คือ

หญ้าทะเลที่มีขนาดเล็กจะมีการสะสมคาร์บอนที่ส่วนเหนือพื้นดินมาก และหญ้าทะเลที่มีขนาดใหญ่จะมีการสะสมคาร์บอนในส่วนที่อยู่ใต้ดินมาก

Stankovic et.al (2018) ได้รายงานปริมาณคาร์บอนสะสมที่กักเก็บในหญ้าทะเลบริเวณชายฝั่งอันดามัน ประเทศไทย พบว่ามีประมาณ 3 ± 2.7 Mg ha^{-1} และพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมที่กักเก็บในดินประมาณ 122 ± 35.3 Mg ha^{-1} ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าง สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมทางทะเลได้เป็นอย่างดี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ด้านวิชาการ

ทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับชนิดของหญ้าทะเลที่มีความสามารถในการสะสมคาร์บอน และความสัมพันธ์ของชนิดหญ้าทะเลกับโครงสร้างดินและความสามารถในการสะสมคาร์บอนของดินตามแนวหญ้าทะเล ในขณะเดียวกัน ยังทราบถึงอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเลแต่ละชนิดอีกด้วย

- ด้านนโยบาย

การทราบถึงชนิดพันธุ์ของหญ้าที่มีความสามารถในการสะสมคาร์บอนได้มาก ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดพันธุ์และโครงสร้างดินที่ และความสามารถในการใช้คาร์บอนเพื่อการสังเคราะห์แสง ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์หรือเลือกชนิดพันธุ์ของหญ้าในการปลูกขยายพันธุ์ เพื่อการลดการสะสมคาร์บอนในบรรยากาศได้

- ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์

เนื่องจากการดูดซับคาร์บอนโดยหญ้าทะเลหรือระบบนิเวศทางทะเล จัดเป็นคาร์บอนสีน้ำเงินที่ทุกประเทศกำลังตื่นตัวและให้ความสำคัญ แม้ในปัจจุบันคาร์บอนสีน้ำเงินยังไม่ได้รับการผลักดันให้เป็นส่วนหนึ่งของกลไกการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นทางการ ทำให้การวัดจำนวนของคาร์บอนและการซื้อขายคาร์บอนระหว่างประเทศ ยังไม่จริงจังเท่าที่ควร แต่การเตรียมความพร้อมของระบบนิเวศทางทะเล ทั้งป่าหญ้าทะเลและป่าชายเลนนับว่ามีความสำคัญ ดังจะเห็นได้จากทิศทางความเป็นไปของอนาคตคาร์บอนสีน้ำเงินได้จากกรอบแนวคิดและความร่วมมือของ UN-REDD (The United Nation Collaborative Program on Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation in Developing Countries, http://www.un-redd.org/) ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมความพร้อมทั้งในด้านองค์ความรู้เชิงองค์รวม ทั้งวิชาการ และความร่วมมือในระดับชุมชนและระดับประเทศ

- ด้านสังคมและชุมชน

การเผยแพร่ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้สู่ชุมชนสังคม จะทำให้สังคมเข้าใจถึงบทบาทหน้าที่และความสามารถของหญ้าทะเล ในอันที่จะช่วยรักษาสภาวะการปนเปื้อนของคาร์บอนในบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของปัญหาสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ซึ่งยังจะก่อให้เกิดแนวความคิดปลูกป่าหญ้าทะเลเชิงอนุรักษ์เพื่อดูดซับคาร์บอน เพื่อสร้างสังคมที่สะอาด พร้อมทั้งรองรับการเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของพะยูน

- **ด้านการเผยแพร่ในวารสารวิชาการ**

การทดลองศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เบื้องต้นเป็นข้อมูลเชิงวิชาการ ดังนั้นผลการวิจัยสามารถตีพิมพ์เผยแพร่ได้ในวารสารที่เกี่ยวข้องทั่วไป ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น

การศึกษาวิจัยที่ 1 การศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินและหญ้าทะเล *E. acoroides* (Linnaeus f.), *H. pinifolia* (Miki) den Hartog

1. พื้นที่ศึกษาทดลองการสุ่มตัวอย่างทดลอง

ทำการศึกษาบริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งตั้งทางภาคตะวันออกของ ประเทศไทย มีพิกัด 12°34’0’’N-12°36’0’’N, 101°52’0’’E-101°54’0’’E ซึ่งมีพื้นที่หญ้าทะเลประมาณ 1,520 ไร่ (สมบัติ และคณะ, 2549) โดยจะพบหญ้าทะเลขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปตามแนวชายฝั่งทั้งหมด 4 ชนิด คือ *E. acoroides* (Linnaeus f.), *H. pinifolia* (Miki) den Hartog, *Halophila minor* (Zollinger) den Hartog และ *H. decipiens* Ostenfeld (Aryuthaka et al., 1992; Tritep 1998; สมบัติ และคณะ, 2549) พบมีการเพาะเลี้ยงปู กุ้ง หรือทำประมงชายฝั่งขนาดเล็กทั่วไป และเป็นบริเวณที่มีป่าชายเลนที่อุดมสมบูรณ์ ในการศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษา ในหญ้าทะเล 2 พันธุ์ คือ *E. acoroides* และ *H. pinifolia* ซึ่งพบมีปริมาณมากและหนาแน่นมากกว่าหญ้าทะเลชนิดอื่น ๆ โดยจะเลือกศึกษา ในช่วงที่หญ้าทะเลมีการเจริญเติบโตเต็มที่ คือ ระหว่างเดือนเมษายน – เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 (ภาพที่ 3 และ 4)

2. การศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในหญ้าทะเล

โดยกำหนดเส้นแบ่งการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 12 เส้น รอบอ่าวคุ้งกระเบน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างตามแนวเส้น ๆ ละ 3 ตัวอย่าง จำนวน 3 ซ้ำ โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้กรอบสุ่มตัวอย่าง (quadrat) ขนาด 20x20 เซนติเมตร วางทาบลงในแนวหญ้าทะเล และเก็บเฉพาะ ตัวอย่างหญ้าทะเลที่ปรากฏในกรอบสุ่มตัวอย่างเท่านั้น โดยสามารถแบ่งเป็นหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* จำนวน 17 ตัวอย่าง (ภาพที่ 5) และหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* (ภาพที่ 6) จำนวน 14 ตัวอย่าง ซึ่งบางตำแหน่งสามารถตรวจพบหญ้าทะเลทั้งสองชนิดขึ้นปะปนกัน หรือบางตำแหน่งพบหญ้าทะเลเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น (ภาพที่ 7) ทำการล้างหญ้าทะเลให้สะอาด ปราศจากดินและ microorganism ต่าง ๆ ด้วยน้ำทะเล และนำตัวอย่างหญ้าทะเลดังกล่าว มาทำการแยกเป็นส่วนที่อยู่เหนือดิน ได้แก่ ใบ (Leave) ซึ่งเป็นส่วนที่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น และ ส่วนที่อยู่ใต้ดิน ได้แก่ ราก (Root) และ ไหล (Rhizome) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงออกจากกัน จากนั้นนำไปอบให้แห้งโดยใช้ ตู้อบแห้ง (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ โดยใช้เวลา 2-3 วัน (Short et al., 2004) ชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight) และ ส่งไปวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon, %C) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Nelson and Sommers, 1996) ที่ ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ได้ด้วยวิธีการของดันแคน (Duncan’s new multiple range test, DMRT) และ T-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistic Version 22.0

ภาพที่ 3 แผนที่แสดงแหล่งหญ้าทะเลบริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

ที่มา สมบัติ และคณะ, 2549

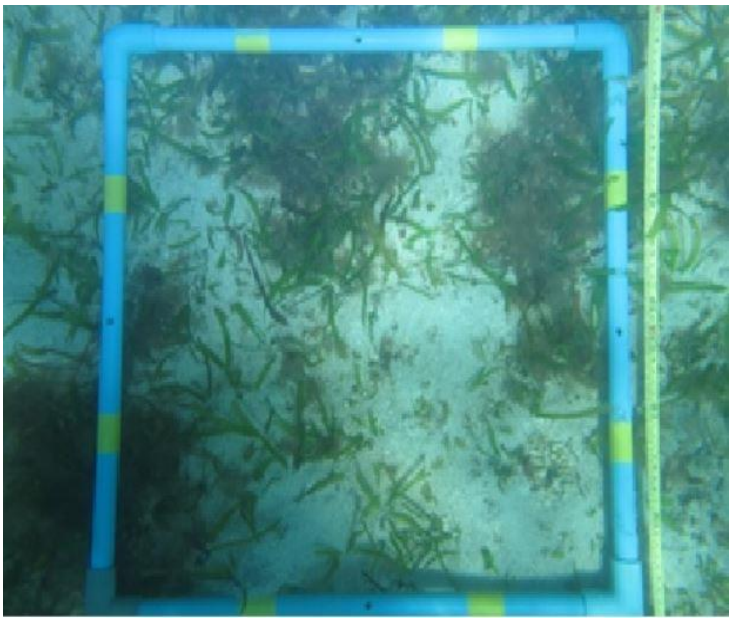
ภาพที่ 4 ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* และ *H. pinifolia* จำนวน 35 ตำแหน่ง คลอบคลุมบริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

ภาพที่ 5 หญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ที่เก็บจากบริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

ภาพที่ 6 หญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

3. การศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน

เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่ในดินรอบ ๆ แนวการเจริญเติบโตของหญ้าทะเล จะทำการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณเดียวกับการเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ที่ระดับความลึก 3 ระดับ คือ 0-20, 20-40 และ มากกว่า 40-60 เซนติเมตร ด้วยวิธี core method (ภาพที่ 7) จากนั้นนำไปอบให้แห้งโดยใช้ ตู้อบแห้ง (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล จนกว่าน้ำหนักจะคงที่โดยใช้เวลา 2-3 วัน ชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight) และ ส่งไปวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon, %C) โดยวิธี Walkley and Black Titration ที่ ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ได้ด้วยวิธีการของดัน แคน (Duncan's new multiple range test, DMRT) และ T-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistic Version 22.0



ภาพที่ 7 การวาง quadrat ขนาด 20x20 เซนติเมตร เพื่อกำหนดขอบเขตการเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* และการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

การศึกษาวิจัยที่ 2 การศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* Linn.ในระบบปิด

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงด้วยการสร้างแบบจำลองการวัดอัตราการหายใจในห้องปฏิบัติการ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน 2559 ที่มีสภาพอากาศแตกต่างกัน

1. สุ่มเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลที่มีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน จากบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี โดยสุ่มเก็บหญ้าทะเล เป็นพื้นที่ 30 x 30 ตารางเซนติเมตร นำหญ้าทะเลมาเลี้ยงด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์แบบเติมอากาศในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 ppt เป็นเวลาอย่างน้อย 1 วันก่อนการทดลอง เพื่อให้หญ้าทะเลมีการปรับตัวก่อนการทดลอง

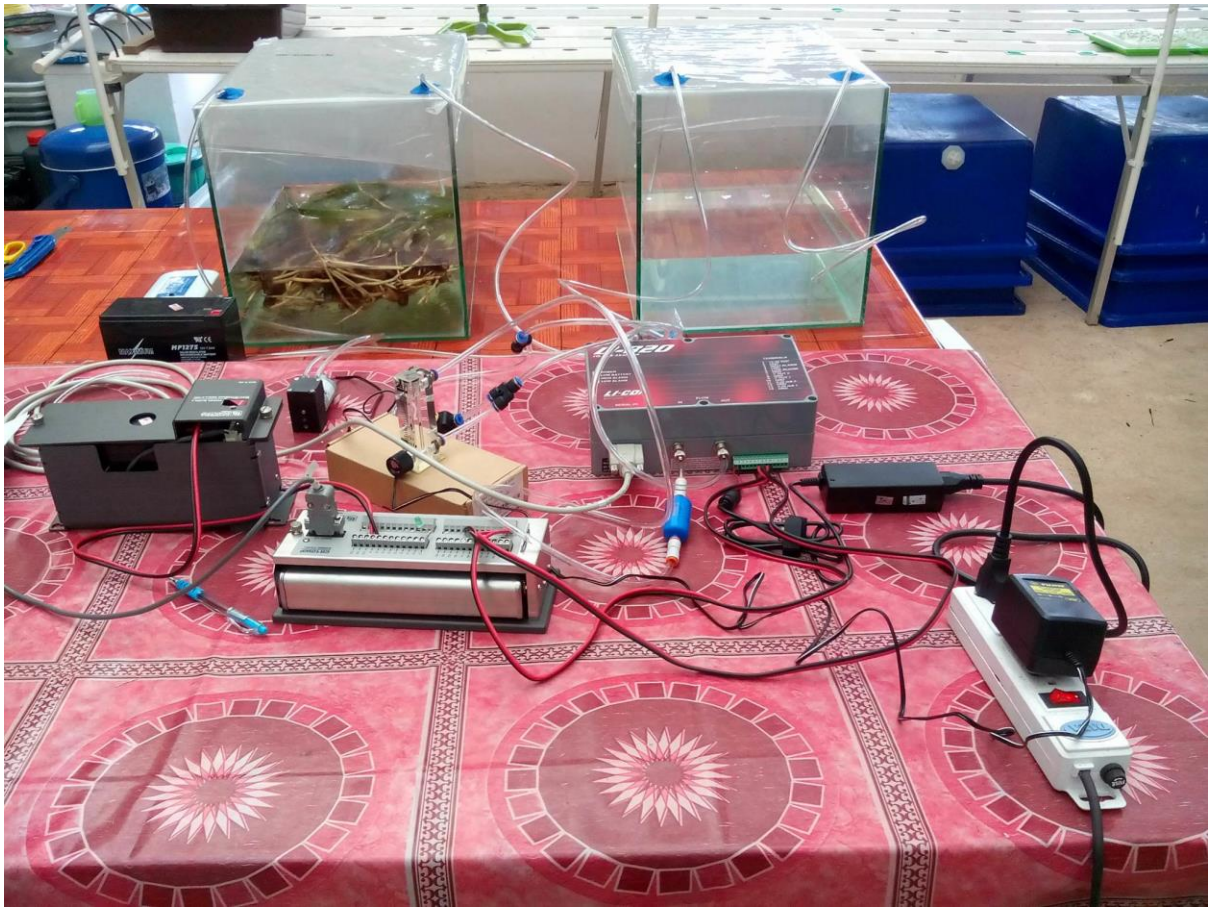
2. นำหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* มาเลี้ยงในระบบปิด (closed system) โดยการบรรจุน้ำทะเลในตู้กระจกเลี้ยงปลา (chamber) ขนาด 29 x 39 x 40 เซนติเมตร ให้มีระดับน้ำลึก 15 เซนติเมตร ปิดด้านบนของตู้ปลาด้วยแผ่นพลาสติกใส อย่างหนา 1.2 ไมครอน เพื่อไม่ให้อากาศจากภายนอกไหลเข้าออกได้ ส่วนอีกตู้หนึ่งบรรจุน้ำทะเลมีระดับความลึก 15 เซนติเมตร และปิดด้านบนด้วยแผ่นพลาสติกเช่นเดียวกัน เพื่อใช้เปรียบความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีหญ้าทะเลและไม่มีหญ้าทะเลในช่วงเวลาเดียวกัน ทำการต่อสายเข้ากับเครื่องวัด) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ รุ่น LI-820 (LI-COR, Inc) ทำการบันทึกข้อมูลในรอบวันตั้งแต่เวลา 7.00-18.00 น. โดยมีการวัดสลับกันระหว่าง chamber ที่มีหญ้าทะเลและไม่มีหญ้าทะเลทุกชั่วโมง (ภาพที่ 8 และ 9)

3. บันทึกข้อมูลภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องวัดสภาพอากาศ (weather station) ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มของแสง ความเร็วลม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเล

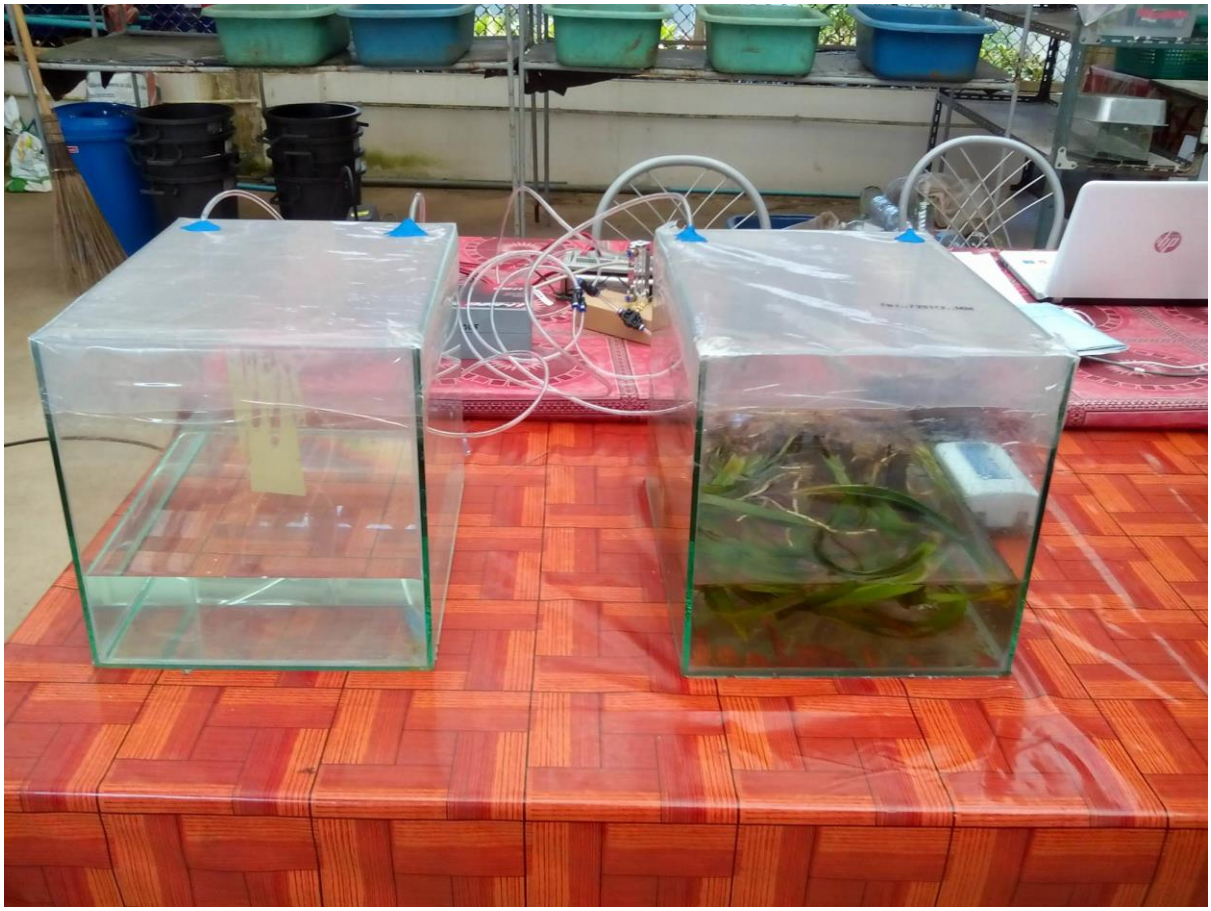
4. วัดอุณหภูมิของน้ำใน chamber ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และค่า pH ของน้ำด้วย pH meter

5. นำข้อมูลที่ได้มาไปคำนวณหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ตามสมการ (นฤนาท, 2546) ดังนี้

$$P_{canopy} = \frac{C \times V \times 22.4}{L}$$



ภาพที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* Linn. ใน ระบบปิด



ภาพที่ 9 การศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* Linn.ใน ระบบปิด โดยแสดงชุดควบคุม และชุดทดลอง

การศึกษาวิจัยที่ 3 การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *E. acoroides* Linn. ด้วยรังสีอินฟราเรดในระบบปิด

1. ทำการศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศของหญ้าทะเล โดยวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิดในห้องปฏิบัติการที่มีหลังคาเป็นแผ่นพลาสติกใส ซึ่งมีแสงจากดวงอาทิตยืส่องถึง โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ชุดได้แก่ ชุดควบคุมที่ไม่มีหญ้าทะเล และชุดทดสอบที่มีหญ้าทะเล

2. สุ่มเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล *E. acoroides* Linn. ที่มีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน จากบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี (ละติจูด 12.571432 ลองจิจูด 101.900286) จำนวน 3 ครั้ง ในวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2559 วันที่ 2 มีนาคม 2559 และ 1 เมษายน 2559 โดยสุ่มเก็บหญ้าทะเลจากพื้นที่ 30 x 30 เซนติเมตร จำนวน 3 ซ้ำในแต่ละครั้ง นำตัวอย่างหญ้าทะเลที่เก็บมาเลี้ยงในตู้กระจกเลี้ยงปลา ขนาด 29 x 39 x 40 เซนติเมตร ที่บรรจุน้ำทะเลมีความเค็ม 30 ppt (น้ำทะเลที่นำมาใส่ในตู้ใช้น้ำทะเลจากแหล่งหญ้าทะเล ที่มีความเค็ม 30 ppt) ระดับน้ำลึก 15 เซนติเมตร ระดับทรายสูง 5 เซนติเมตร และมีการเติมอากาศ เป็นเวลา 1 วันก่อนการทดลอง เพื่อให้หญ้าทะเลมีการปรับตัวก่อนการทดลอง

3. ระบบการวัดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบระบบปิด (close system) ทำโดยใช้แผ่นพลาสติกใสหนา 1.2 ไมโครเมตร เป็นฝาปิดด้านบนของตู้กระจก เพื่อไม่ให้อากาศจากภายนอกไหลเข้าออกได้ ขณะทำการวัดการดูดซับ CO_2 ด้วยเครื่องวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศด้วยรังสีอินฟราเรด รุ่น LI-820 (LI-COR, Inc) ทำการวัดสลับกันระหว่างชุดควบคุมที่ไม่มีหญ้าทะเล จำนวน 3 ซ้ำ และชุดทดสอบที่มีหญ้าทะเล จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละชุดใช้เวลา 10 นาที โดยการต่อสายสุ่มอากาศจากตู้มายังเครื่องวัดและหมุนเวียนอากาศที่ผ่านการวัดแล้วกลับไปยังตู้อีกครั้งหลังจากตรวจวัด และบันทึกความเข้มข้นของ CO_2 ด้วย CR10 datalogger (Campbell Scientific, Inc) ดังแสดงในภาพที่ 10

คำนวณอัตราการดูดซับ CO_2 จากการลดลงของความเข้มข้น CO_2 ในช่วงเวลา 10 นาที โดยสมการดังนี้ (ดัดแปลงจาก Silva et al., 2008)

$$A = \frac{V * a * mv}{S * 60}$$

โดย A คือ อัตราการดูดซับ CO_2 ของหญ้าทะเล ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)

a คือ ความชันของการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น CO_2 ($ppm\ min^{-1}$) ในช่วงเวลา 10 นาที

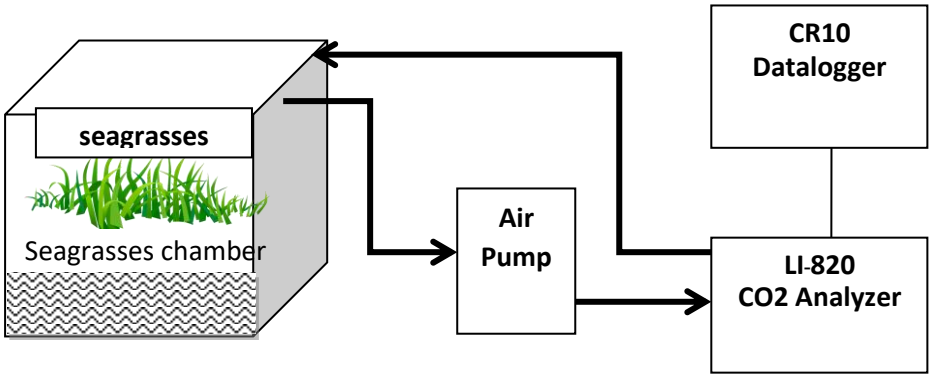
V คือ ปริมาตรอากาศของระบบ (L)

S คือ พื้นที่ที่ทำการสุ่มเก็บหญ้าทะเล (m^2)

mv คือ ปริมาตรอากาศที่จำนวนโมเลกุล 1 โมล คำนวณจากสูตร

$$mv = P/(RT)$$

โดย P คือ ความดันบรรยากาศ (atm)
R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (0.082 atm L K^{-1} mol^{-1})
T คือ อุณหภูมิของอากาศ (K)



ภาพที่ 10 การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *E. acoroides* Linn. ด้วยรังสีอินฟราเรดในระบบปิด

4. ทำการวัดอัตราการวัดการดูดซับ CO_2 ของตู้ที่มีหญ้าทะเล จำนวนครั้งละ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบกับตู้ที่มีแต่น้ำทะเลเพียงอย่างเดียว จำนวนครั้งละ 3 ซ้ำ โดยปิดฝาตู้กระจกเพื่อทำการวัด แต่ละซ้ำใช้เวลา 10 นาที ทำการวัดทุกชั่วโมง ระหว่างเวลา 8:00 น – 17:00 น คำนวณค่าอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากวัดเสร็จแล้วจึงเปิดฝาตู้ออกเพื่อให้มีอากาศถ่ายเทตามปกติ

5. บันทึกข้อมูลต่อไปนี้ ระหว่างทำการทดลอง ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ดังนี้

5.1 ข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ความเข้มของแสง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องปฏิบัติการ โดยติดตั้งเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

5.2 ข้อมูลสภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ และค่า pH ของน้ำในตู้กระจก

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล ทั้ง 3 ช่วงเวลา ที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบชุดทดลองที่มีหญ้าทะเลและชุดควบคุมที่ไม่มีหญ้าทะเลในทุกช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ The R for statistical computing (โปรแกรม R)

6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ กับปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม ดังนี้ ความเข้มแสง อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิของน้ำ โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีสหสัมพันธ์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (วิโรจน์, 2560)

13.2 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

13.2.1 ศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

13.2.2 สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

13.2.3 ภาคปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาวิจัยที่ 1: การศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในหญ้าทะเล

จากเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิดคือ *E. acoroides* (Linnaeus f.), *H. pinifolia* (Miki) den Hartog บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี มีพิกัด 12°34'0''N-12°36'0''N, 101°52'0''E-101°54'0''E โดยกำหนดเส้นแบ่งการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 12 เส้น รอบอ่าวคุ้งกระเบน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างตามแนวเส้น ๆ ละ 3 ตัวอย่าง โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง คือ จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างไม่เกิน 0.5 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Coast: Co) จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างระหว่าง 0.51-1.0 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Middle Coast: M) และ จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างเกิน 1 กิโลเมตร ขึ้นไปจากชายฝั่ง (Deep Coast: D) โดยใช้กรอบสุ่มตัวอย่าง (quadrat) ขนาด 20x20 เซนติเมตร วางทาบลงในแนวหญ้าทะเล และเก็บเฉพาะตัวอย่างหญ้าทะเลที่ปรากฏในกรอบสุ่มตัวอย่างเท่านั้น พบว่า สามารถเก็บหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิด ได้รวมทั้งหมด 35 ตัวอย่าง (เหตุที่ไม่ได้ 36 ตัวอย่างเนื่องจากไม่พบการมีอยู่ของหญ้าทะเลในบางตำแหน่งที่กำหนด)

และเมื่อนำตัวอย่างหญ้าทะเลดังกล่าว มาทำการแยกเป็น 4 ส่วน คือส่วนที่อยู่เหนือดิน ได้แก่ ใบ และกาบใบ ซึ่งเป็นส่วนที่มีขบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น และส่วนที่อยู่ใต้ดิน 2 ส่วน ได้แก่ ราก และ ไหล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขบวนการสังเคราะห์แสงออกจากกัน จากนั้นนำไปอบให้แห้งโดยใช้ตู้อบแห้ง (hot air oven) (ภาพที่ 11) ที่อุนหภูมิ 60 องศาเซลเซียล จนกว่าน้ำหนักจะคงที่โดยใช้เวลา 2-3 วัน ชั่งน้ำหนักแห้ง และส่งไปวิเคราะห์ปริมาณ organic carbon ที่ ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ได้ผลปรากฏดังตารางที่ 1 และ 2

ภาพที่ 11 การชั่งน้ำหนักแห้งของหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia*

<u>หญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี</u>

เมื่อทำการกำหนดเส้นแบ่งเขต (Line) จำนวนทั้งหมด 12 line เพื่อกำหนดตำแหน่งของการเก็บหญ้าทะเลแล้วนั้นพบว่า สามารถพบการมีอยู่ของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* จำนวน 9 Line คือใน ตำแหน่งที่ L1, L2, L3, L4, L8, L9, L10, L11 และ L12 โดยพบการมีอยู่ของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ในระยะห่างไม่เกิน 0.5 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Coast) ใน Line ที่ L1, L2, L3 และ L4 พบการมีอยู่ของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ระยะห่างระหว่าง 0.5-1.0 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Middle Coast) ใน Line ที่ L2, L3, L4, L10 และ L11 และ พบการมีอยู่ของหญ้าทะเลชนิดดังกล่าว ระยะห่างเกิน 1 กิโลเมตร ขึ้นไปจากชายฝั่ง (Deep Coast) ใน Line ที่ L2, L3, L4, L8, L9, L10, L11 และ L12 ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่า หญ้าทะเลชนิดนี้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตน้ำลึกมากกว่าน้ำตื้น และผลของน้ำหนักแห้งและปริมาณอินทรีย์คาร์บอนปรากฏ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำหนักแห้งและอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides*

Line	ตำแหน่ง	รหัส*	น้ำหนักแห้ง (กรัม)			ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)		
			ใบ	ไหล	ราก	ใบ	ไหล	ราก
L1	N12.58892 E101.88496	E-L1Co	11.00	38.29	8.09	36.2	45.27	38.19
	-	E-L1D	-	-				
	-	E-L1M	-	-				
L2	N12.59471 E101.88373	E-L2Co	7.11	26.30	2.75	34.99	44.37	36.32
	N12.59509 E101.88602	E-L2M	4.20	20.41	1.45	36.78	45.17	36.66
	N12.59316 E101.88754	E-L2D	4.51	12.47	-	32.74	44.41	-
L3	N12.59814 E101.88721	E-L3Co	2.02	21.90	3.07	36.07	43.24	33.85
	N12.59711 E101.88919	E-L3M	6.05	28.15	4.34	34.49	44.82	35.49
	N12.59550 E101.89048	E-L3D	1.98	12.00	2.19	31.70	44.56	36.34
L4	N12.60190 E101.88918	E-L4Co	5.02	25.11	7.57	34.16	42.45	35.26
	N12.59991 E101.89103	E-L4M	2.12	24.98	2.19	34.77	41.66	30.42
	N12.59688 E101.89209	E-L4D	3.51	30.84	5.14	34.71	43.98	33.2
L8	-	E-L8Co	-	-	-	-	-	-
	-	E-L8M	-	-	-	-	-	-
	N12.59108 E101.89892	E-L8D	1.45	30.60	6.15	34.07	43	32.84
L9	-	E-L9Co	-	-	-	-	-	-
	-	E-L9M	-	-	-	-	-	-
	N12.59108 E101.89892	E-L9D	5.02	47.95	6.41	34.14	45.59	34.62
L10	-	E-L10Co	-	-	-	-	-	-
	N12.58616 E101.90339	E-L10M	4.12	32.18	6.66	34.57	41.4	31.97
	N12.58515 E101.89947	E-L10D	3.42	29.98	5.10	35.56	43.41	34.77
L11	-	E-L11Co	-	-	-	-	-	-
	N12.58353 E101.90345	E-L11M	4.68	30.63	5.51	34.83	42.57	31.75
	N12.58345 E101.90060	E-L11D	5.94	33.72	2.55	35.01	43.34	35.27

L12	-	E-L12Co	-	-	-	-	-	-
	-	E-L12M	-	-	-	-	-	-
	N12.58137 E101.90143	E-L12D	4.43	22.98	2.25	34.95	43.22	34.55

* E หมายถึง หญ้าทะเลชนิด *E. acoroides*
L หมายถึง แนวเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล (Line)
Co หมายถึง จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างไม่เกิน 0.5 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Coast)
M หมายถึง จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างระหว่าง 0.5-1.0 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Middle Coast)
D หมายถึง จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างเกิน 1 กิโลเมตร ขึ้นไปจากชายฝั่ง (Deep Coast)

จากการปริมาณน้ำหนักแห้งของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* พบว่า ในส่วนของไหลหรือ Rhizome จะมีปริมาณน้ำหนักแห้งมากกว่าส่วน ๆ ด้วยมีมวลหรือน้ำหนักที่มากกว่า และจากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในหญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *E. acoroides* โดยเปรียบเทียบตามส่วนต่าง ๆ ตามตำแหน่งที่เก็บพบว่า ส่วนของเหง้าของหญ้าทะเลที่เก็บบริเวณชายฝั่งของตำแหน่งการเก็บ (line) ที่ 9 (N12.59108 E101.89892) มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุด คือ 45.59 เปอร์เซนต์ แต่ไม่แตกต่างกับตำแหน่งอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาในภาพรวม พบว่าหญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *E. acoroides* มีการสะสมปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่าง ใบ ราก และเหง้า โดยเหง้ามีการสะสมสูงสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับรากและใบ ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมที่รากและใบไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

ในขณะเดียวกันเมื่อวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมเฉลี่ยเปรียบเทียบกันในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *E. acoroides* พบว่าในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* คือ ใบ เหง้า และราก มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าบริเวณเหง้ามีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมมากที่สุดคือ 44 เปอร์เซนต์ รองมาคือปริเวณใบคือ 35 เปอร์เซนต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับปริมาณคาร์บอนสะสมที่ราก ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides*

No	รหัส	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)*			
		ใบ	เหง้า	ราก	รวม
1	E-L1Co	36.2[b]	45.27[a]	38.19[b]	119.66
2	E-L2Co	34.99[b]	44.37[a]	36.32	115.68
3	E-L2MCo	36.78[b]	45.17[a]	36.66	118.61
4	E-L2DCo	32.74[b]	44.41[a]	-	77.15
5	E-L3Co	36.07[b]	43.24[a]	33.85[b]	113.16
6	E-L3MCo	34.49[b]	44.82[a]	35.49[b]	114.8
7	E-L3DCo	31.70[b]	44.56[a]	36.34[b]	112.6
8	E-L4Co	34.16[b]	42.45[a]	35.26[b]	111.87
9	E-L4MCo	34.77[b]	41.66[a]	30.42[b]	106.85
10	E-L4DCo	34.71[b]	43.98[a]	33.2[b]	111.89
11	E-L8DCo	34.07[b]	43.00[a]	32.84[b]	109.91
12	E-L9DCo	34.14[b]	45.59[a]	34.62[b]	114.35
13	E-L10MCo	34.57[b]	41.40[a]	31.97[b]	107.94
14	E-L10DCo	35.56[b]	43.41[a]	34.77[b]	113.74
15	E-L11MCo	34.83[b]	42.57[a]	31.75[b]	109.15
16	E-L11DCo	35.01[b]	43.34[a]	35.27[b]	113.62
17	E-L12DCo	34.95[b]	43.22[a]	34.55[b]	112.72

* ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวี Duncan’s Multiple Rang test

ตารางที่ 3 วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides*

ส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเล	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)*
ใบ	35[b]
เหง้า	44[a]
ราก	34[b]
T-test	*

*ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี T-test

และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ได้จากตัวอย่างหญ้าทะเล *E. acoroides* ที่ขึ้นอยู่ระยะห่างไม่เกิน 0.5 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Coast) ตัวอย่างหญ้าทะเล ที่ขึ้นอยู่ระหว่าง 0.51-1.0 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Middle Coast) และตัวอย่างหญ้าทะเลที่ขึ้นห่างเกิน 1 กิโลเมตร ขึ้นไปจากชายฝั่ง (Deep Coast) พบว่า มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างไม่ว่าจะเป็น ใน ราก และเหง้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* ที่เก็บได้จากบริเวณอ่าวในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

Location	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)*			
	ใบ	เหง้า	ราก	Total
Coast	35	44	36	115
Middle Coast	35	43	33	111
Deep Coast	34	44	35	108
T-test	ns	ns	ns	ns

*ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี T-test

* ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

<u>หญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* บริเวณศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี</u>

เมื่อทำการกำหนดเส้นแบ่งเขต (Line) จำนวนทั้งหมด 12 line เพื่อกำหนดตำแหน่งของการเก็บหญ้าทะเลแล้วนั้นพบว่า สามารถพบการมีอยู่ของหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* จำนวน 7 Line คือในตำแหน่งที่ L1, L4, L5, L6, L7, L8 และ โดยพบการมีอยู่ของหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* ในระยะห่างไม่เกิน 0.5 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Coast) ใน Line ที่ L1, L4, L5, L6, L7, L8 และ L9 พบการมีอยู่ของหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* ระยะห่างระหว่าง 0.5-1.0 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Middle Coast) ใน Line ที่ L5, L6, L7, และ L8 และ พบการมีอยู่ของหญ้าทะเลชนิดดังกล่าว ระยะห่างเกิน 1 กิโลเมตร ขึ้นไปจากชายฝั่ง (Deep Coast) ใน Line ที่ L5, L6 และ L7 (ตารางที่ 5) ซึ่งเป็นแสดงว่าหญ้าทะเลชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตชายฝั่งบริเวณน้ำตื้น และสามารถทนทานต่อการขึ้นลงน้ำ แสงแดด และสิ่งแวดล้อมได้ดี และผลของน้ำหนักแห้งและปริมาณอินทรีย์คาร์บอนปรากฏ ดังตารางที่ 5

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนตามตำแหน่งที่เก็บหญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *H. pinifolia* พบว่าในทุกตำแหน่งและทุกส่วนของหญ้าทะเลมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยบริเวณใบมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 38.02 เปอร์เซนต์ และบริเวณเหง้าและรากมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 42.07 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำหนักแห้งและอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลชนิด *H. ponifolia*

Line	ตำแหน่ง	รหัส*	น้ำหนักแห้ง (g)		ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)	
			ใบ	เหง้า+ราก	ใบ	เหง้า+ราก
L1	N12.59929 E101.88552	H-L1Co	0.6	3.11	43.07	45.09
	-	H-L1M	-	-	-	-
	-	H-L1D	-	-	-	-
L4	N12.59956 E101.88829	H-L4Co	2.93	8.49	42.48	41.92
	-	H-L4M	-	-	-	-
	-	H-L4D	-	-	-	-
L5	N12.60051 E101.89192	H-L5.1Co	1.62	5.79	40.83	42.28
	N12.59922 E101.89340	H-L5M	0.93	3.17	41.48	43.30
	N12.59578 E101.89354	H-L5D	0.09	0.48	40.19	39.85
L6	N12.60023 E101.89776	H-L6Co	-	-	-	-
	N12.59776 E101.89584	H-L6M	0.69	3.74	42.03	41.39
	N12.59514 E101.89557	H-L6D	0.03	0.42	40.99	39.07

L7	N12.59819 E90232	H-L7Co	0.11	1.00	42.76	44.20
	N12.59453 E101.89946	H-L7M	2.16	5.92	43.25	45.16
	N12.59385 E101.89830	H-L7D	1.79	7.59	42.84	45.15
L8	N12.59410 E101.90418	H-L8Co	0.24	1.71	40.52	42.33
	N12.59264 E101.90165	H-L8M	2.53	9.45	41.62	43.77
	-	H-L8D	-	-	-	-
L9	N12.59135 E101.90539	H-L9Co	-	1.33	-	38.79
	N12.58898 E101.90207	H-L9M	1.53	4.69	43.02	43.07
	-	H-L9D	-	-	-	-

* H หมายถึง หญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia*
L หมายถึง แนวเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล (Line)
Co หมายถึง จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างไม่เกิน 0.5 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Coast)
M หมายถึง จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างระหว่าง 0.5-1.0 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Middle Coast)
D หมายถึง จุดเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ระยะห่างเกิน 1 กิโลเมตร ขึ้นไปจากชายฝั่ง (Deep Coast)

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนตามตำแหน่งที่เก็บหญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *H. pinifolia* จำนวน 14 ตำแหน่งรอบอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี เนื่องจากลักษณะทางสัญฐานวิทยาที่หญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *H. pinifolia* ที่มีลำต้นเล็กมาก ทำให้ไม่สามารถแยกส่วนของเหง้าและรากออกจากกันได้ ในการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในครั้งนี้จึงวิเคราะห์ทั้งส่วนนี้ร่วมกัน ผลการวิเคราะห์พบว่าในทุกตำแหน่งและทุกส่วนของหญ้าทะเลมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยบริเวณใบมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 38.93 เปอร์เซนต์ และบริเวณเหง้าและรากมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 42.53 เปอร์เซนต์ ดังตารางที่ 6

และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *H. pinifolia* พบว่าในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *H. pinifolia* คือ ใบ และส่วนของเหง้ารวมกับส่วนของรากมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าบริเวณเหง้าและรากมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมมากที่สุดคือ 43 เปอร์เซนต์ รองมาคือปริเวณใบคือ 42 เปอร์เซนต์ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ค่าวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *H. pinifolia*

NO	Code	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)		
		ใบ	เหง้า+ราก	รวม
1	H-L1Co	43.07	45.09	88.16
2	H-L4Co	42.48	41.92	84.40
3	H-L5Co	40.83	42.28	83.11
4	H-L5MCo	41.48	43.30	84.78
5	H-L5DCo	40.19	39.85	80.04
6	H-L6MCo	42.03	41.39	83.42
7	H-L6DCo	40.99	39.07	80.06
8	H-L7Co	42.76	44.20	86.96
9	H-L7MCo	43.25	45.16	88.41
10	H-L7DCo	42.84	45.15	87.99
11	H-L8Co	40.52	42.33	82.85
12	H-L8MCo	41.62	43.77	85.39
13	H-L9Co	-	38.79	38.79
14	H-L9MCo	43.02	43.07	86.09
	เฉลี่ย	38.93	42.53	81.46

* ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวี Duncan’s Multiple Rang test

ตารางที่ 7 วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ ของหญ้าทะเลพันธุ์ *H. pinifolia*

ส่วนของพืช	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)
ใบ	42
เหง้าและราก	43
T-test	ns

*ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี T-test

* ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ได้จากตัวอย่างหญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *H. pinifolia* ที่ขึ้นอยู่ระยะห่างไม่เกิน 0.5 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Coast) ตัวอย่างหญ้าทะเล ที่ขึ้นอยู่ระหว่าง 0.51-1.0 กิโลเมตร จากชายฝั่ง (Middle Coast) และตัวอย่างหญ้าทะเลที่ขึ้นห่างเกิน 1 กิโลเมตร ขึ้นไปจากชายฝั่ง (Deep Coast) พบว่า ในทุก ๆ ตำแหน่งและทุกส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเล คือใบ เหง้าและราก มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหญ้าทะเลพันธุ์ *H. pinifolia* ที่เก็บได้จากบริเวณอ่าวในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

Location	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)		
	ใบ	เหง้าและราก	Total
Coast	42	42	77
Middle Coast	42	43	86
Deep Coast	41	41	83
T-test	ns	ns	ns

*ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี T-test

* ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน

เมื่อทำการตรวจหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินบริเวณที่มีหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ในช่วง 3 ระดับความลึกจากผิวดิน 0-20 เซนติเมตร, 20-40 เซนติเมตร และ 40-60 เซนติเมตร ในพื้นที่บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี ตามแนวการเก็บหญ้าทะเลทั้ง 12 แนวแบ่งเขต พบว่า สามารถเก็บดินได้จำนวน 15 จุด (ตารางที่ 9) พบว่าในระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 1.08 เปอร์เซนต์ ระดับความลึกของดิน 20-40 เซนต์เมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 1.207 เปอร์เซนต์ และ ระดับความลึกของดิน 40-60 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 1.208 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะพบว่าที่ระดับยิ่งมากยังพบการสะสมของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยและปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%) ของดินที่พบมีการเจริญของหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ในระยะห่างที่แตกต่างกัน

No.	พิกัด	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)		
		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
1	N12.58892 E101.88496	1.653	1.442	1.359
2	N12.59471 E101.88373	1.325	1.438	1.918
3	N12.59509 E101.88602	0.569	0.865	0.819
4	N12.59316 E101.88754	0.656	0.743	0.919
5	N12.60190 E101.88918	3.096	2.449	2.040
6	N12.59991 E101.89103	1.119	1.390	1.250
7	N12.59991 E101.89103	0.866	1.075	1.405
8	N12.59688 E101.89209	0.899	1.161	1.150
9	N12.59108 E101.89892	0.660	1.139	0.989
10	N12.58801 E101.89931	0.808	0.920	0.807
11	N12.58616 E101.90339	1.026	1.219	1.365
12	N12.58515 E101.89947	0.700	0.902	0.873
13	N12.58353 E101.90345	1.061	0.931	1.161
14	N12.58345 E101.90060	0.911	1.085	0.878
15	N12.58137 E101.90143	0.923	1.350	1.190

ในขณะเดียวกันเมื่อทำการตรวจหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินบริเวณที่มีหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia.* ในช่วง 3 ระดับความลึกจากผิวดิน 0-20 เซนติเมตร, 20-40 เซนติเมตร และ 40-60 เซนติเมตร ในพื้นที่บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี ตามแนวการเก็บหญ้าทะเลทั้ง 12 แนวแบ่งเขต พบว่า สามารถเก็บดินได้จำนวน 18 จุด (ตารางที่ 10) พบว่าในระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 0.860 เปอร์เซนต์ ระดับความลึกของดิน 20-40 เซนต์เมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 1.128 เปอร์เซนต์ และ ระดับความลึกของดิน 40-60 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 1.159 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะพบว่าที่ระดับยิ่งมากยังพบการสะสมของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันของหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิดพันธุ์

ในขณะเดียวได้ศึกษา ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมรพื้นที่บริเวณที่ไม่พบการมีอยู่ของหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิดจำนวน 11 จุด รอบพื้นที่ศูนยีการศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน พบว่าในระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 1.306 เปอร์เซนต์ ระดับความลึกของดิน 20-40 เซนต์เมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 1.371 เปอร์เซนต์ และ ระดับความลึกของดิน 40-60 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 1.380 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะพบว่าที่ระดับยิ่งมากยังพบการสะสมของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากซากตะกอนที่พัดพาตามการไหลและกระแสน้ำ ทับถมกันทั้งซากพืชและซากสัตว์เป็นระยะเวลนาน (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยและปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%) ของดินที่พบมีการเจริญของหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* ในระยะห่างที่แตกต่างกัน

NO.	พิกัด	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)		
		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
1	N12.59929 E101.88552	1.164	1.458	1.677
2	N12.59814 E101.88721	0.947	1.687	1.847
3	N12.59814 E101.88721	0.650	0.912	1.162
4	N12.59711 E101.88919	1.004	1.287	0.965
5	N12.59550 E101.89048	0.884	0.923	1.045
6	N12.60283 E101.89390	1.011	1.406	1.536
7	N12.59922 E101.89340	0.912	1.234	1.118
8	N12.59578 E101.89354	0.902	1.226	0.978
9	N12.59776 E101.89584	0.992	1.002	0.822
10	N12.59514 E101.89557	0.774	0.889	1.070
11	N12.59819 E90232	1.107	1.684	1.890
12	N12.59589 E101.90026	0.626	0.752	0.988
13	N12.59453 E101.89946	0.681	0.841	0.923
14	N12.59385 E101.89830	1.050	1.061	1.038
15	N12.59410 E101.90418	0.876	1.049	0.993
16	N12.59264 E101.90165	0.694	1.059	0.899
17	N12.59135 E101.90539	0.750	1.107	1.114
18	N12.58898 E101.90207	0.467	0.731	0.799

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยและปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของพื้นที่ที่ไม่พบพันธ์หญ้า ในระยะห่างที่แตกต่างกัน

NO.	พิกัด	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)		
		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
1	N12.60023 E101.89776	0.934	1.060	0.992
2	N12.58766 E101.90597	0.821	1.343	1.261
3	N12.58364 E101.90665	0.900	1.164	1.186
4	N12.57946 E101.90642	1.617	1.946	1.796
5	N12.58028 E101.90396	0.810	0.854	0.833
6	N12.575190E101.904070	1.504	1.507	1.368
7	N12.576378E101.901308	2.105	1.889	1.803
8	N12.578253E101.899563	2.324	2.206	2.165
9	N12.574890E101.899400	0.902	1.048	1.390
10	N12.577200E101.897150	0.626	0.523	0.661
11	N12.578770E101.895920	1.824	1.546	1.732

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรียคาร์บอนของดินที่มีหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิดเจริญเติบโตอยู่ ใน ระยะห่างที่แตกต่างกันในช่วง 3 ระดับความลึกจากผิวดิน 0-20 เซนติเมตร, 20-40 เซนติเมตร และ 40-60 เซนติเมตร ในพื้นที่บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ระยะความลึกของดิน 20-40 เซนติเมตร พบมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงที่สุด คือ 1.362 เปอร์เซนต์ และไม่แตกต่างทางสถิติกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนระยะความลึกของดิน 40-60 เซนติเมตร แต่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ระยะความลึกของดิน 0-20 เซนติเมตร พบมีปริมาณอินทรียคาร์บอนเพียง 1.091 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรียคาร์บอนของดินในระยะห่างที่ต่างกัน

ระยะห่าง (cm)	ปริมาณอินทรียคาร์บอน (%)
0-20	1.191±0.72[b]
20-40	1.362±0.68[a]
40-60	1.316±0.52[a]
F-test	*

*ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี DMRT

* ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

และเมื่อทำการศึกษาปริมาณอินทรียวัตถุของดินบริเวณที่มีหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิดเจริญเติบโตอยู่ในภาพรวมของทุกระดับความลึกพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดินบริเวณที่มีหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* เฉลี่ย 1.167 เปอร์เซนต์ ซึ่งสูงกว่าบริเวณที่มีหญ้าทะเล *H. pinifolia* เล็กน้อย โดยพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมใน ดินบริเวณที่มีหญ้าทะเลชนิด *H. pinifolia* เฉลี่ย 1.049 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุของดินบริเวณที่มีหญ้าทะเลทั้ง 2 ชนิดเจริญเติบโตอยู่

พันธ์หญ้า	%OM
E. acoroides	1.167±0.48[b]
H. pinifolia	1.049±0.31[b]
ไม่พบ	1.353±0.50[a]
F-test	**

*ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี DMRT

* ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาการเคลื่อนย้ายคาร์บอนในเซลล์ของหญ้าทะเลพบว่า คาร์บอนจะจากดินจะถูกดูดซับผ่านทางรากและเหง้าและเคลื่อนย้ายไปยังอวัยวะส่วนอื่น ๆ เช่น ใบ ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon fixation) จะเกิดน้อยในหญ้าชนิด *Zostera marina* L. และ *Thalassia testudinum* แต่พบปฏิกิริยานี้มากในหญ้าทะเลชนิด *Halodule wrightii* (Robert and Penhale, 1979) จากผลการทดลองนี้จะพบว่าหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ที่ขึ้นบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี มีอินทรีย์คาร์บอนสะสมอยู่ในส่วนเหง้าซึ่งเป็นส่วนใต้ดินมากที่สุด คือ 43.67 เปอร์เซนต์ ซึ่งไม่สอดคล้องกับการวิจัยของ Anchana (2012) ได้รายงานผลการศึกษาความสามารถในการเป็น carbon sink ของหญ้าทะเลชนิดต่าง ๆ จำนวน 9 ชนิด ผ่านทางความสามารถในการสะสมอินทรีย์คาร์บอนตามแนวหญ้าทะเลจำนวน 9 ชนิดในเขตจังหวัดระนองและอุทยานแห่งชาติ หาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง พบว่าหญ้าทะเลชนิด *Cymodocea serrulata* มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมบริเวณส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินมากที่สุดในคือ 37.40 เปอร์เซนต์ และ 36.58 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ในขณะที่หญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมบริเวณส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน 33.31% และ 36.09% ตามลำดับ นอกจากนี้การที่หญ้าทะเล*ชนิด H. pinifolia* มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมน้อยกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมากจากหญ้าทะเลชนิด *E. acoroides* มีปริมาณชีวมวลหรือน้ำหนักแห้งมากกว่าหญ้าทะเลชนิด *C. serrulata* และ *H. pinifolia*

ดินตะกอนในบริเวณใกล้ชายฝั่ง จะมีปริมาณสารอินทรีย์หรืออินทรีย์คารีบอนใหม่สะสมอยู่ในปรมรที่สูง แต่ในทะเลลึกที่ตะกอยสะสมอย่างช้า ๆ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะภูกย่อยสลายไปโดยกระบวนการของจุลินทรีย์ภายในไม่ช้าหลังการตกตะกอน สารอินทรีย์ในทะเลมีความสำคัญมาก เพราะมีอิทธิพลควบคุมการเปลี่ยนแปลงหลังการตกตะกอน การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนมีการผันแปร ตามสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปพบว่าปริมาณของสารอินทรีย์รวมในตะกอนมีค่าสูงเมื่ออยู่ใกล้ฝั่งและลดลงเมื่อห่างออกจากฝั่งไปเรื่อย (Tam and Wong, 1998) ในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณอินทรีย์วัตถุซึ่งได้จากซากเศษกิ่งไม้ ต้นไม้ หรือหญ้าทะเลที่ร่วงหล่น ทับถม ในปี 2554 อัสนี มีแก้ว ได้รายงานปริมาณสรอินทรีย์และธาตุอาหารในดินตะกอนป่าชายเลนในภาคตะวันออกขปงประเทศไทย โดยพบว่าบริเวณทะเลฝั่งคุ้งวิมาณซึ่งมีพื้นที่ติดต่อกับบริเวณศูนย์การศึกษาและพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน มีปริมาณสารอินทรีย์เฉลี่ย 1.92-5.70 เปอร์เซนต์ เช่นเดียวกับ ววณชัยและคณะ (2560) ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินบริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ จังหวัดมหาสารคาม ในช่วงระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร (ดินชั้นบน) 25-50 ซม. (ดินชั้นกลาง) และ 50-100 เซนติเมตร (ดินชั้นล่าง) ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของดินชั้น 50-100 > 25-50 > 0-25 ซม. (4.74±3.22x10-4, 1.59±0.97x10-4 และ 8.40±5.70x10-5 ตันต่อเฮกตาร์) ตามลำดับพบว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศคกษาวิจัยที่ได้รับในครั้งนี้

การศึกษาวิจัยที่ 2: การศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* ในระบบปิด

ผลการศึกษาวิจัย

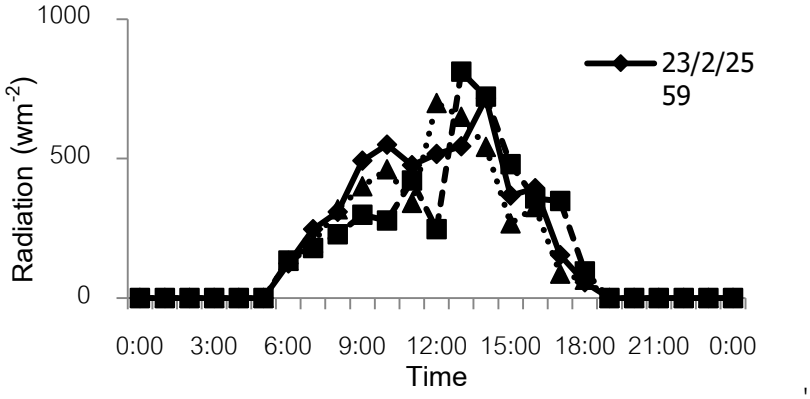
1. ข้อมูลสภาพอากาศระหว่างการทดลอง

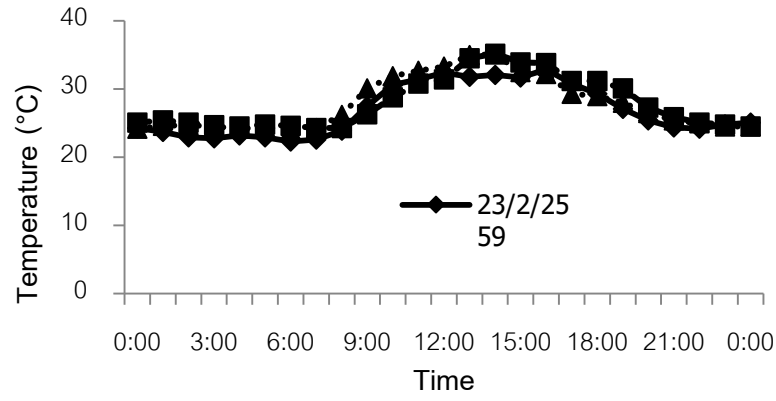
ความเข้มแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงบ่าย โดยมีค่าสูงสุดแตกต่างกัน ดังนี้ โดยวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2559 ความเข้มแสงมีค่าสูงสุด เท่ากับ 720 wm^{-2} เวลา 14.00 น. ส่วนวันที่ 9 มีนาคม 2559 ความเข้มแสงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 700 wm^{-2} เวลา 13.00 น. ในขณะที่วันที่ 2 เมษายน 2559 ความเข้มแสงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 800 wm^{-2} เวลา 12.00 น. (ภาพที่ 12A)

อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นในช่วงเที่ยงและลดลงในช่วงเย็น โดยวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2559 อุณหภูมิสูงสุดมีเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส ส่วนวันที่ 9 มีนาคม 2559 และวันที่ 2 เมษายน 2559 อุณหภูมิสูงสุดมีเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 12B)

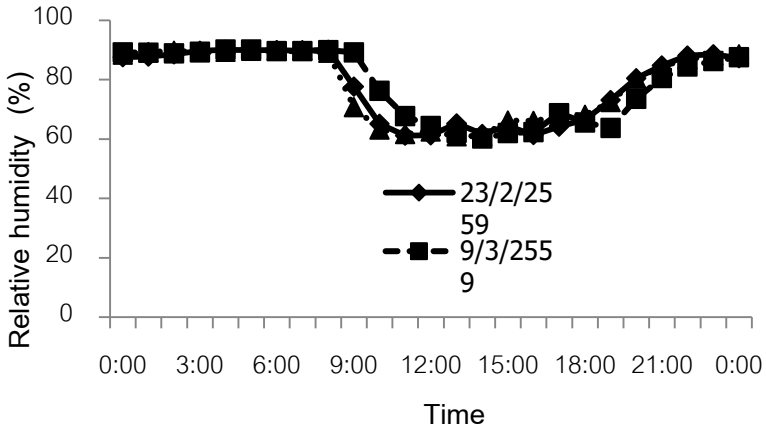
ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลงในช่วงกลางวันไม่แตกต่างกันในแต่ละวัน โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 12C)

A





C

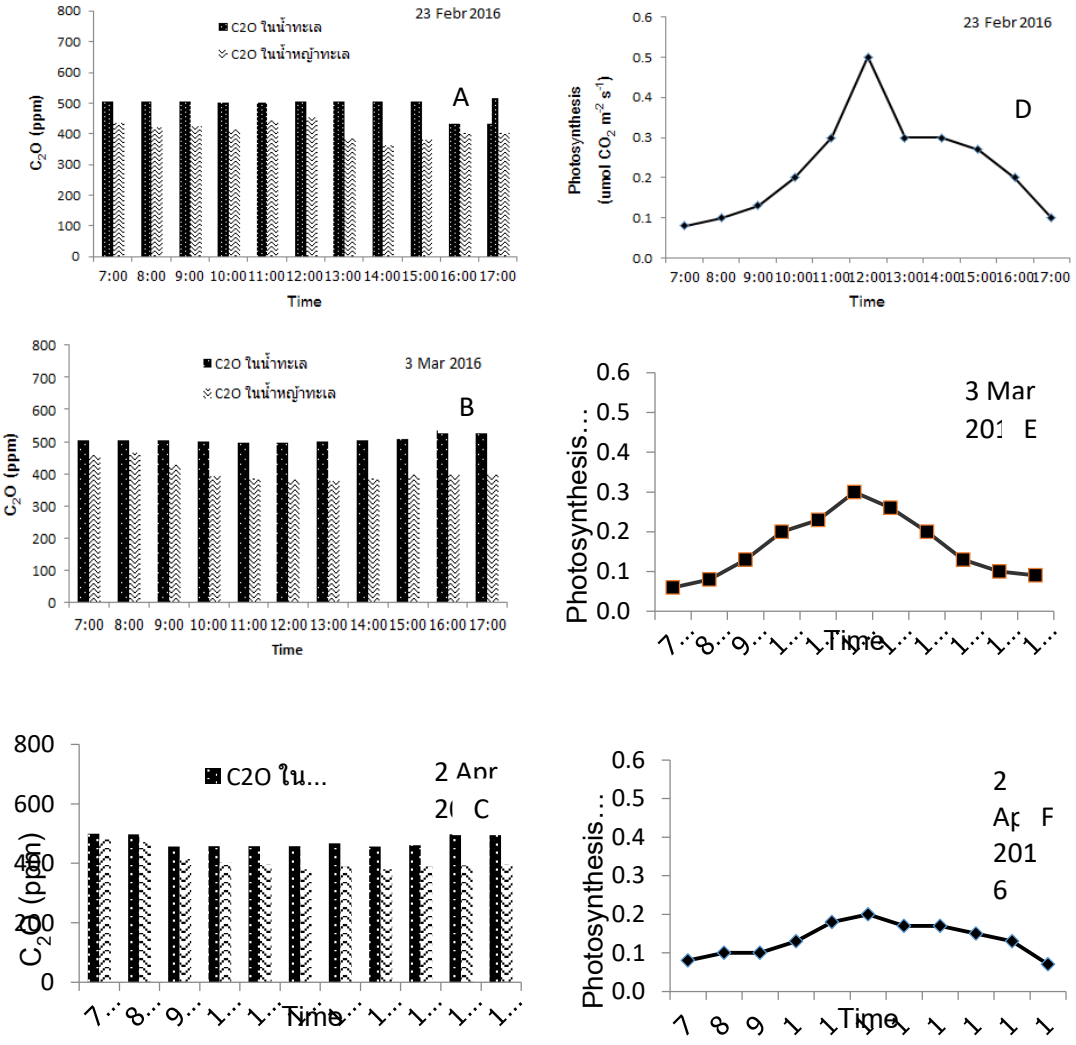


ภาพที่ 12 การวัดการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* , Radiation (A) temperature (B) andrelative humidity (C)

2. อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเล

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเลมีค่าเฉลี่ย 500-520 ppm ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเลที่มีหญ้าทะเล มีค่าสูงในช่วงเวลา 7.00 – 12.00 น. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 400-480 ppm ส่วนในช่วงเวลา 13.00 – 17.00 น. มีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 420 ppm โดยในวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2559 มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงมากที่สุด รองลงมา คือ วันที่ 9 มีนาคม 2559 และวันที่ 2 เมษายน 2559 ตามลำดับ (ภาพที่ 13A-C)

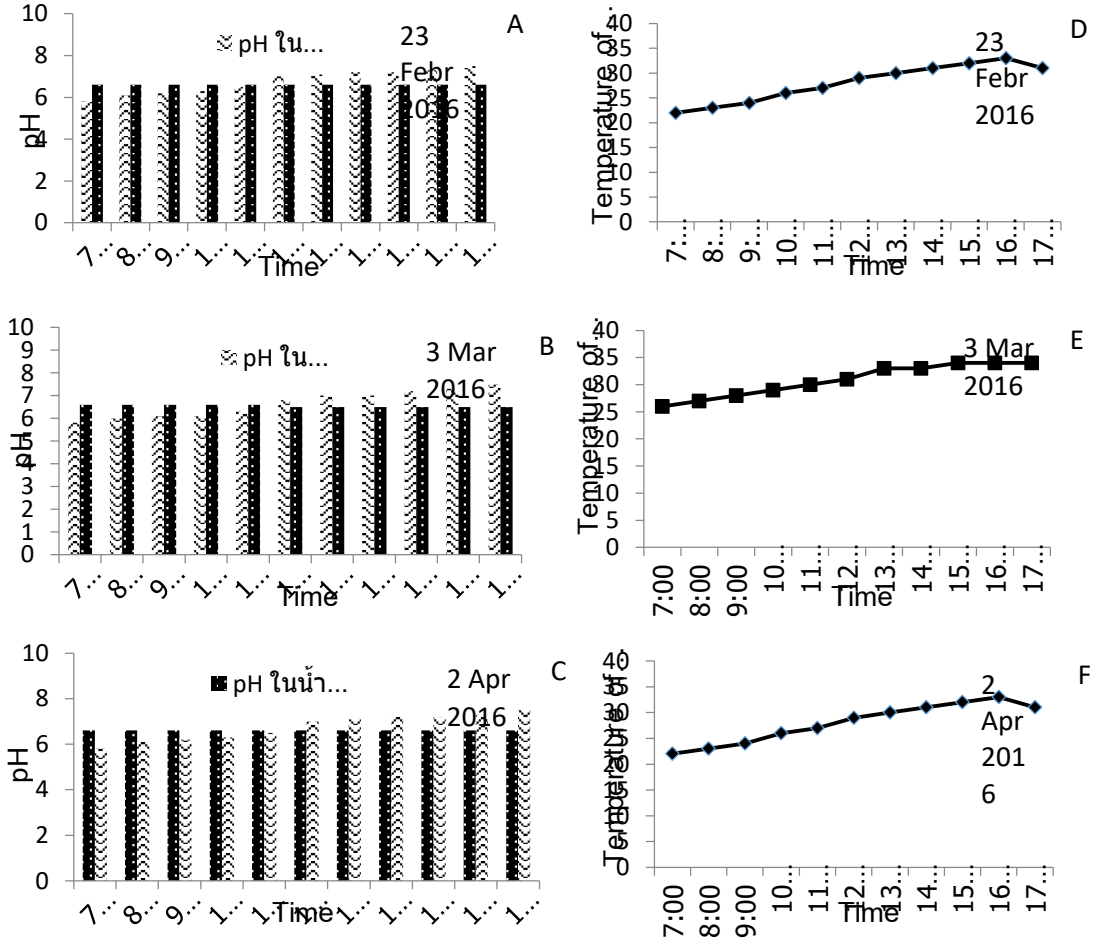
อัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเล มีค่าสูงสุดเวลา 12.00 น.ในวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2559 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.5 µmol CO_2 m^{-2} รองลงมา คือ วันที่ 9 มีนาคม 2559 และวันที่ 2 เมษายน 2559 มีค่าเท่ากับ 0.3 และ 0.2 µmol CO_2 m^{-2} ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละวัน จะเห็นได้ว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลในรอบวันมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มแสง ส่วนอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลในแต่ละฤดูกาลมีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิของอากาศ (ภาพที่ 13D-F)



ภาพที่ 13 ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *acoroides*

3. การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และอุณหภูมิของน้ำระหว่างการทดลอง

ค่า pH ในน้ำทะเล มีค่าคงที่ตลอดทั้งวัน ทั้งนี้ค่า pH ในน้ำทะเลในช่วงเวลาก่อน 12.00 น. มีค่ามากกว่าค่า pH ในหญ้าทะเล ส่วนช่วงเวลา 12.00 – 17.00 น. pH ในน้ำทะเลจะมีค่าต่ำกว่าในหญ้าทะเล (ภาพที่ 14A-C) ส่วนอุณหูมิของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งวัน โดยอุณหภูมิของน้ำสูงสุดมีค่าเท่ากับ 30 – 32 องศาเซลเซียสในช่วงเย็น (ภาพที่ 14D-F)



ภาพที่ 14 Diurnal of pH (A-C) temperature of the sea water (D-F)

จากการประมาณค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลในรอบวัน พบว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลมีความผันแปรในแต่ละวันและตามฤดูกาล เนื่องจากความผันแปรของสภาพแวดล้อม เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิของน้ำและอากาศ ค่า pH ของน้ำ (Taiz and Zeiger, 2010) สำหรับการทดลองในครั้งนี้นักวิจัยทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะล จำนวน 3 วัน ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน จะพบความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเล (ภาพที่ 12D-F) โดยหญ้าทะเลมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วงกลางวันต่ำ (30 องศาเซลเซียส) จะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง และลดลงในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วงกลางวันสูงกว่า (32-35 องศาเซลเซียส) จึงมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่า เช่นเดียวกับการทดลองของ Diloksumpun and Staporn (2009) รายงานว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของใบในป่าผสมผลัดใบมีค่าสูงในช่วงฤดูฝนและมีค่าลดลงในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำกว่า ส่วนการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์ใน

รอบวันมีความสอดคล้องกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเล (ภาพที่ 13A-C) กล่าวคือ ในช่วงเดือนที่หญ้าทะเลมีการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์มาก (ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จะมีค่าน้อย) หญ้าทะเลจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงด้วย สอดคล้องกับการทดลองของ เจษฎา และคณะ (2559) รายงานว่า ต้นทุเรียนที่มีทรงพุ่มแคบและมีความหนาแน่นของใบมาก มีความสามารถในการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวันน้อยลง ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของทุเรียนลดลง (Salisbury and Ross, 1985) จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือนที่หญ้าทะเลมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมาก จึงมีการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศของระบบปิดในรอบวันมากด้วย ซึ่งการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลจะช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดในบรรยากาศได้ จึงมีส่วนช่วยลดภาวะโลกร้อนได้

ในหญ้าทะเลมีค่า pH ต่ำในช่วงเช้า และมีค่าสูงขึ้นในช่วงบ่าย (ภาพที่ 14A-C) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงกลางคืนหญ้าทะเลมีการหายใจเกิดขึ้นแต่ไม่มีการสังเคราะห์แสง จึงทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ในน้ำทะเลในรูปของ (HCO_3^-) มาก จึงมีค่า pH ต่ำกว่าในน้ำทะเลปกติ ส่วนในช่วงบ่ายหญ้าทะเลมีการสังเคราะห์สูงขึ้น จึงมีการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำมากขึ้น ทำให้ pH มีค่ามากกว่าในน้ำทะเลปกติ (Pedersen et al., 2013) ส่วนอุณหภูมิของน้ำมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเล กล่าวคือ ในช่วงเวลาเช้าถึงเที่ยงอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงเกิน 30 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของปิยะพงษ์ และไตรเทพ (2542) ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* Linn. ด้วยการวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิจนอย่างต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำมีค่าลดลง โดยมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด เท่ากับ 2.10 mgO_2 (g/dry wt) ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในขณะที่อัตราการหายใจสูงสุด เท่ากับ 1.15 mgO_2 (g/dry wt) ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส แต่มีการสังเคราะห์แสงลดลง

การศึกษาวิจัยส่วนที่ 3 การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *E. acoroides* ด้วยรังสีอินฟราเรดในระบบปิด

ผลการศึกษาวิจัย

อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลและการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำระหว่างการทดลอง

1. อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลและการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของน้ำในรอบวัน

อัตราการดูดซับคาร์บอนไดอกไซด์ของหญ้าทะเลในน้ำทะเลมีค่าต่ำในเวลา 8:00 น. แต่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เวลา10.00 น. จนมีค่าสูงสุดในเวลา 13.00 น. ซึ่งตรงกับช่วงที่มีความเข้มของแสงสูงที่สุด (ภาพที่ 15A) หลังจากนั้นอัตราการดูดซับคาร์บอนไดอกไซด์มีค่าลดลงในช่วงบ่าย ซึ่งมีแนวโน้มแบบเดียวกันในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 0.66 โดยพบอัตราการดูดซับคาร์บอนไดอกไซด์ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.3, 0.18 และ 0.18 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} ในวันที่ 23 กุมภาพันธ์ วันที่ 3 มีนาคม และวันที่ 2 เมษายน 2559 ตามลำดับ ซึ่งอัตราการดูดซับคาร์บอนไดอกไซด์ของหญ้าทะเลมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มแสงในรอบวันในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ส่วนน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยมาก (ภาพที่ 15A-C)

ค่าความเป็นกรด-เบส ในน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลมีค่า 6.6 คงที่ตลอดทั้งวัน ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทะลที่มีหญ้าทะเลมีค่าต่ำกว่าค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลในช่วงเช้ามีค่า 5.8 และค่าความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลในช่วงเวลา 10.00-11.00 น. และค่าความเป็นกรด-เบส ยังคงสูงขึ้นอีกในช่วงบ่ายจนสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่า 7.5 เมื่อเวลา 17.00 น. เช่นเดียวกันตลอดทั้ง 3 ครั้งของการทดลอง (ภาพที่ 15D-F)

a. ผลของเวลาต่ออัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล

จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งสองชุดการทดลองมีความแตกต่างทางสถิติ โดยชุดทดสอบที่มีหญ้าทะเลมีค่ามากกว่าชุดควบคุมที่มีแต่น้ำทะเลเพียงอย่างเดียวทุกช่วงเวลา ทั้งนี้ที่เวลา 17:00 ทั้งสองชุดการทดลองมีอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันทางสถิติมากที่สุด รองลงมา เวลา 13:00, 8:00, 16:00, 15:00, 14:00 และ 12:00 ส่วนเวลา 9:00, 10:00 11:00 ทั้งสองชุดการทดลองมีอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 14)

b. ผลของระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลต่ออัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล

จากผลการทดลอง พบว่า การเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลในเดือนกุมภาพันธ์ มีอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด เท่ากับ 0.24 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} รองลงมา คือ เดือนเมษายน และมีนาคม มีค่าเท่ากับ 0.17 และ 0.14 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 14 CO_2 Absorption in different time between with and without seagrass

Treatment	CO_2 Absorbtion (μmol CO_2 m^{-2} s^{-1})									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
With seagrass	0.09a	0.12	0.18	0.24a	0.33a	0.24a	0.22a	0.18a	0.14a	0.09a
Without seagrass	0.03b	0.07	0.14	0.33b	0.02b	0.01b	0.04b	0.01b	0.01b	0.01b
T-test	**	ns	ns	ns	*	**	*	*	*	**
P value	0.008	0.057	0.599	0.057	0.023	0.003	0.020	0.017	0.012	0.001

*ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี T-test

ns = non-significant

* = significant at P<0.05

** = significant at P<0.01

ตารางที่ 15 CO_2 Absorbtion of seagrass between February, March and April 2016

Treatment	CO_2 Absorbtion of seagrass (μmol CO_2 m^{-2} s^{-1})
February (23/2/2016)	0.24a[1/]
March (3/3/2016)	0.14b
April (2/4/2016)	0.17b
F-test	*
P - value	0.0451

*ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี DMRT

ns = non-significant

* = significant at P<0.05

** = significant at P<0.01

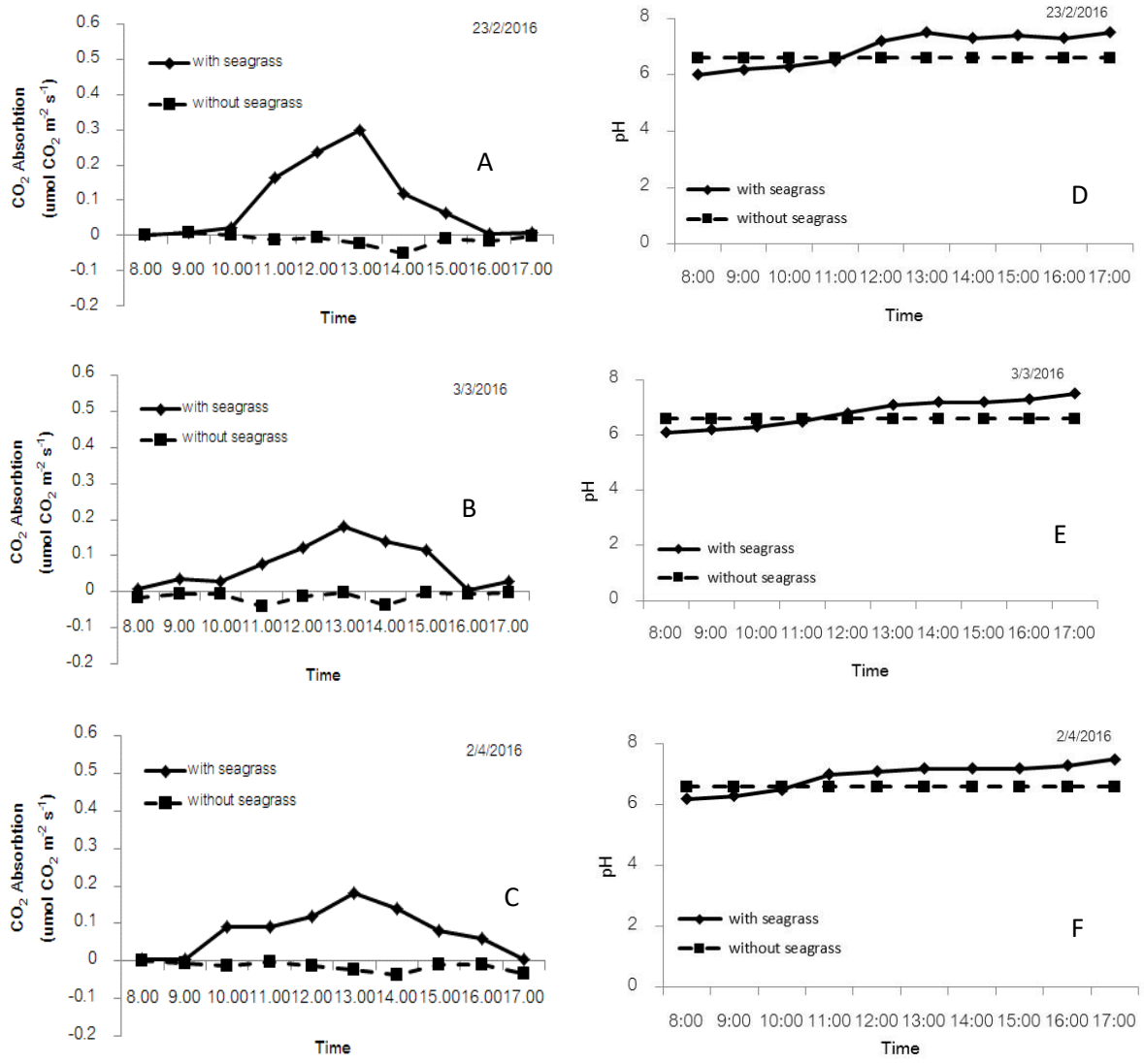
3. ข้อมูลสภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง

ความเข้มแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเช้าจนมีค่าสูงสุดเวลา 12.00 - 14.00 น. หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงในช่วงบ่าย โดยวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2559 ความเข้มแสงมีค่าสูงสุด เท่ากับ 720 wm^{-2} ส่วนวันที่ 3 มีนาคม 2559 ความเข้มแสงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 800 wm^{-2} ในขณะที่วันที่ 2 เมษายน 2559 ความเข้มแสงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 700 wm^{-2} (ภาพที่ 16A)

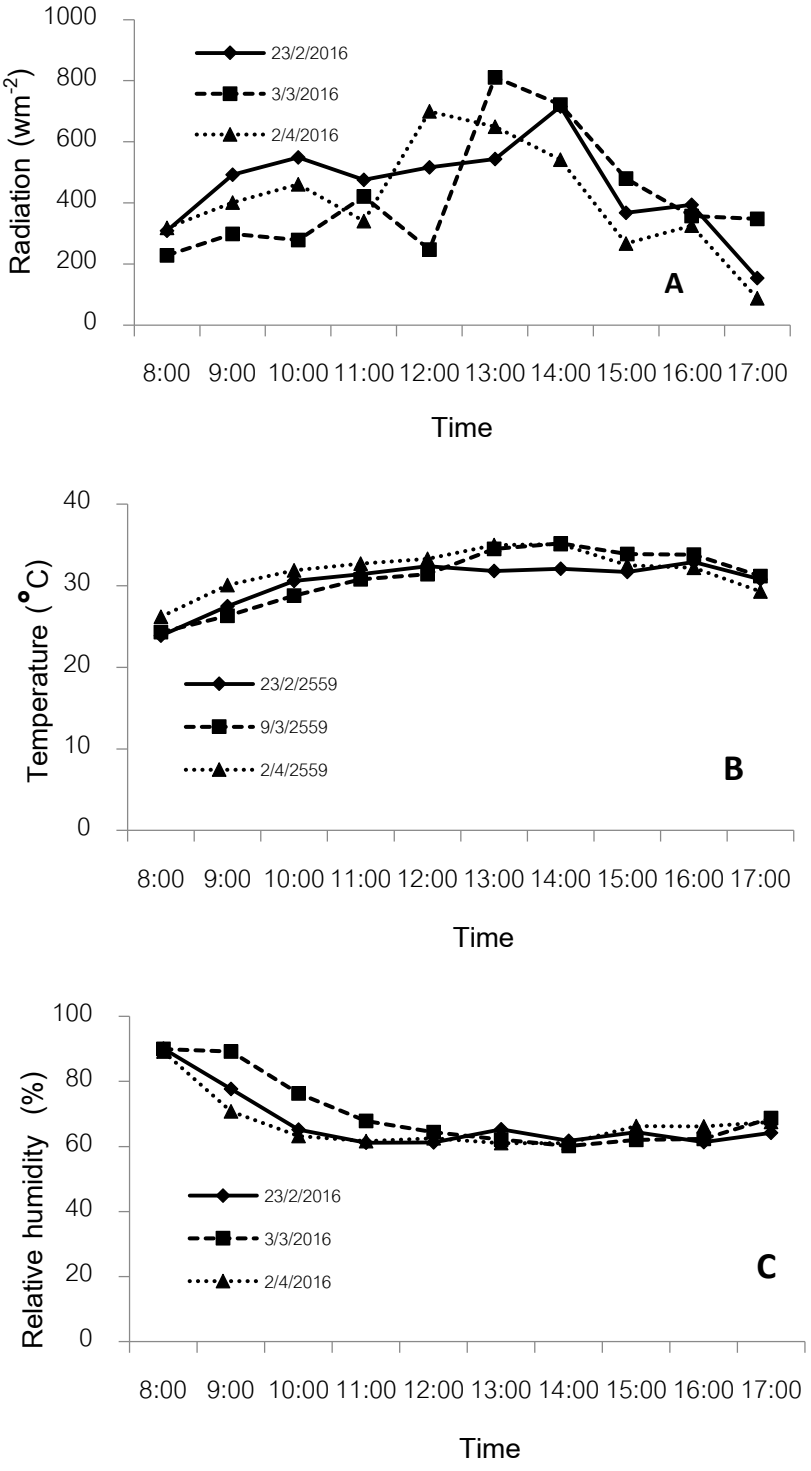
อุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเช้าสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มแสง โดยมีค่าสูงที่สุด ในช่วงเวลา 13.00 น. และลดต่ำลงในช่วงเย็น (ภาพที่ 16B)

ความชื้นสัมพัทธ์มีสูงในช่วงเช้าและค่าลดลงในช่วงกลางวันและกลับสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงบ่าย มีการเปลี่ยนแปลงผกผันกับอุณหภูมิอากาศ แต่ไม่แตกต่างกันในการทดลองทั้ง 3 วัน (P=0.345) โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 14.00-16.00 น. (ภาพที่ 16C)

อุณหภูมิของน้ำทะเลระหว่างการทดลอง อุณหูมิของน้ำทะเลทั้งที่มีและไม่มีหญ้าทะเลมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดทั้งวัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเช้า อุณหภูมิของน้ำทะเลมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 13.00 น. หลังจากนั้นมีค่าลดลง สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงและอุณหภูมิของอากาศ (ภาพที่ 17 (A-B))

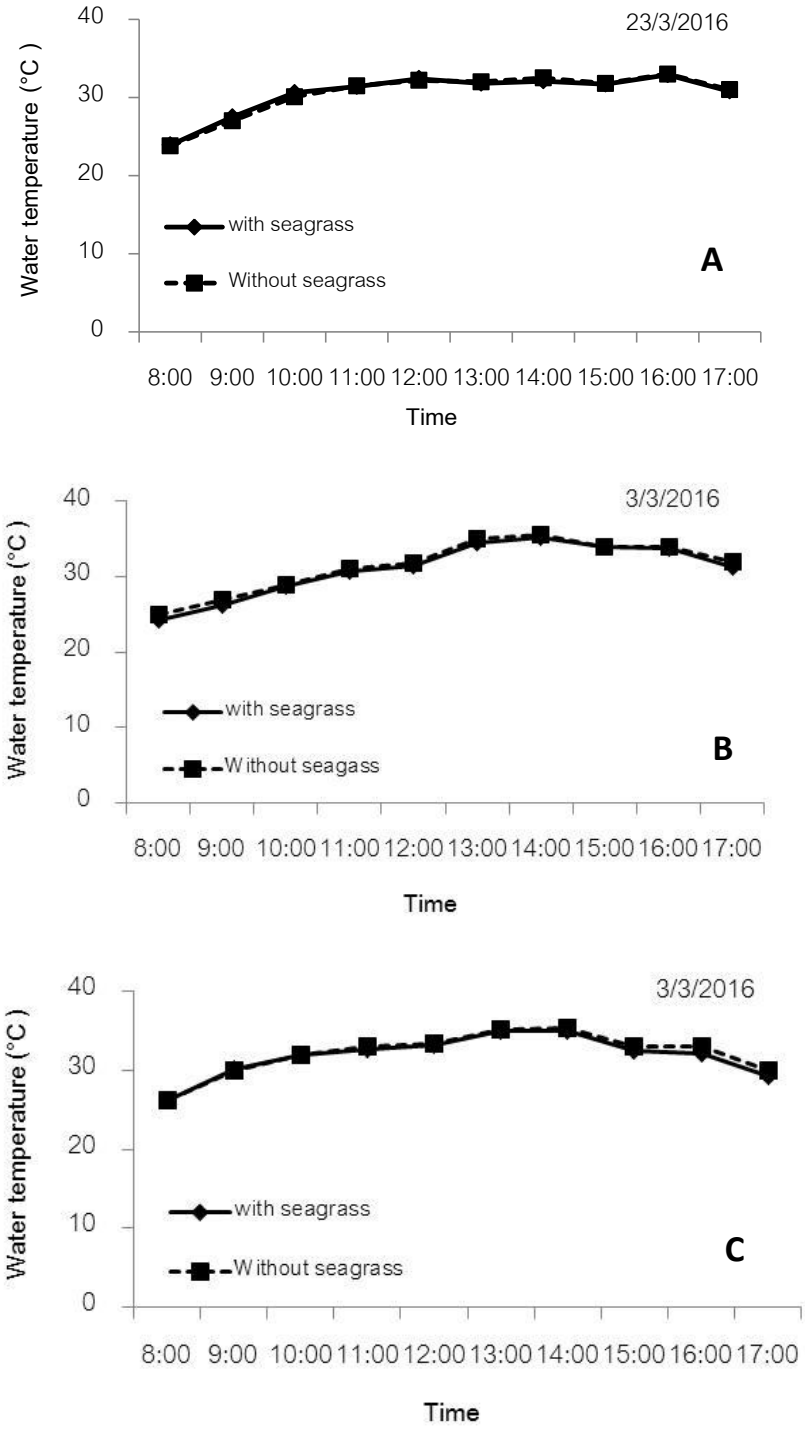


ภาพที่15 CO_2 Absorption of seagrass in the 15 cm sea water depth (A-C) and pH measured (D-F) the closed system (solid line) compared with sea water without seagrass (dotted line)



ภาพที่ 16 Solar radiation (A) temperature (B) and relative humidity (C) during CO_2 absorption measurement of seagrass

C



ภาพที่ 17 Temperature of sea water with and without seagrass (A-C)

4. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลกับปัจจัยสภาพแวดล้อม

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลกับค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มแสง อุณหภูมิของอากาส และน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.12, 0.66, 0.56, 0.11 และ 0.62 ตามลำดับ มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรง หมายถึง เมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มแสง อุณหภูมิของอากาส และน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมากขึ้น อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลจะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 Relationship between CO_2 Absorbtion of seagrass with pH, radiation, air temperature, relative humidity and water temperature

Relationship between CO_2 Absorbtion of seagrass with	Value
pH	0.12
Radiation (w/m^2)	0.66*
Air temperature ($^{\circ}C$)	0.56*
Relative humidity (%)	0.62*
Water temperature ($^{\circ}C$)	0.11

* = significant of relationship at P< 0.05

วิจารณ์ผลการศึกษาวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการวัดนี้สามารถวัดอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลในน้ำทะเลได้ โดยพบความแตกต่างระหว่างตู้ที่มีหญ้าทะเลและไม่มีหญ้าทะเลอย่างชัดเจน โดยอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของตู้ที่มีหญ้าทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันซึ่งมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำ โดยปัจจัยความเข้มแสงมีผลต่ออัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลมากที่สุด กล่าวคือ ในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงสูงหญ้าทะเลจะมีการการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากด้วย สอดคล้องกับการทดลองของ เจษฎา และคณะ (2559) รายงานว่า ต้นทุเรียนมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในตอนเช้าจนมีค่าสูงที่สุด เวลา 09.00-11.00 น. เนื่องจากแสงช่วยกระตุ้นการปิดเปิดของปากใบ (สมบุญ, 2548) หลังจากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาบ่าย เนื่องจากความชื้นของบรรยากาศลดลงและอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลต่อการปิดเปิดของปากใบ ทำให้ปากใบเปิดน้อยลง จึงมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง (สมบุญ, 2548) ทั้งนี้ความเข้มแสงจากธรรมชาติ มีค่ามากกว่าความเข้มแสงในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากในห้องปฏิบัติการหลังคามุงด้วยกระเบื้องแผ่นใส ซึ่งยอมให้แสงผ่านได้บางส่วน ในขณะที่ในธรรมชาติได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิจย์ จึงทำให้หญ้าทะเลในชุดทดลองมีอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าในธรรมชาติ ส่วนอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลที่พบในการทดลองนี้มีค่าสูงสุด เวลา 13:00 น. ซึ่งแตกต่างกับที่พบในพืชชนิดอื่น เช่น ทุเรียน ข้าวโพด และยางพารา ที่มีค่าสูงสุด เวลา 10:00 น ทั้งนี้น่าจะมาจากการที่หญ้าทะเลอยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลา ทำให้การแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงเพียงอย่างเดียว อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงที่สุดซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มแสงสูงสุดด้วย สำหรับการทดลองวันที่ 23 กุมภาพันธ์ มีอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลสูงกว่าเดือนอื่น เนื่องจากมีความเข้มแสงสูงกว่าในเดือนอื่น สอดคล้องกับการทดลองของ Yang et al. (2017) รายงานว่า การสังเคราะห์ของหญ้าทะเล

Zostera marina L. ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง โดยฤดูร้อนมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงมากกว่าในฤดูฝน นอกจากนี้ Park et al. (2016) ศึกษาการตอบสนองของสภาพแวดล้อมต่อการสังเคราะห์ของหญ้าทะเล พบว่า เมื่อระดับความลึกของน้ำเพิ่มขึ้น แสงส่องลงไปได้น้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง แต่จากรายงานของ Anacha (2012) พบว่า หญ้าทะเล *Halodule uninervis, Halodule ovalis* และ *Enhalus acorroides* ในเขตอุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง มีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนได้ประมาณ 335.16 $mgCO_2\ m^{-2}$ ซึ่งสูงกว่าชุดทดลอง เนื่องจากหญ้าทะเลในแหล่งธรรมชาติได้รับความเข้มแสงมากกว่าชุดทดลอง แม้ว่าในบางช่วงเวลาจะมีความลึกของน้ำมากกว่าในชุดทดลอง

ทั้งนี้จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าหญ้า ทะเลมีความสามารถในการดูดซับคาร์คาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศได้ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ จึงมีส่วนช่วยลดภาวะโลกร้อนได้

ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดเพียงในช่วงเวลากลางวันเป็นเวลา 9 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8:00-17:00 น. จึงยังไม่ทราบอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงเวลาอื่น ๆ โดยเฉพาะเวลากลางคืนซึ่งไม่มีแสง เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนหญ้าทะเลมีการหายใจและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา จึงทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ในน้ำทะเลในรูปของ (HCO_3^-) มาก จึงมีค่า pH ต่ำกว่าในน้ำทะเลปกติในช่วงเช้า ส่วนในช่วงบ่ายหญ้าทะเลมีการสังเคราะห์สูงขึ้น จึงมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำมากขึ้น ทำให้ pH มีค่ามากกว่าในน้ำทะเลปกติ (Pedersen et al., 2013) ส่วนอุณหภูมิของน้ำมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเล กล่าวคือ ในช่วงเวลาเช้าถึงเที่ยงอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงเกิน 30 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของปิยะพงษ์ และไตรเทพ (2542) ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลพันธุ์ *E. acoroides* Linn. ด้วยการวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนอย่างต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของหญ้าทะเลมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างน้ำทะเลกับบรรยากาศ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ควรจะต้องมีการศึกษาต่อไป

วิธีการวัดนี้นำมาใช้กับหญ้าทะเลเป็นครั้งแรกในประเทศไทย ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ใช่การวัดการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลโดยตรง แต่เป็นการวัดการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างบรรยากาศกับน้ำทะเลที่มีหญ้าทะเลอยู่ วิธีการนี้น่าจะเหมาะกับการประเมินอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลในสภาพที่มีระดับน้ำตื้น เนื่องจากมีการถ่ายเท CO_2 ระหว่างบรรยากาศกับน้ำทะเลได้ดี ส่วนที่ระดับน้ำลึกอาจต้องมีการศึกษาต่อไป วิธีการนี้มีข้อดี คือทำได้ง่าย และได้ค่าที่บ่งบอกความสามารถของหญ้าทะเลในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ จากบรรยากาศโดยตรง แต่วิธีการนี้อาจมีมีข้อจำกัดที่ทำให้การประเมินค่าการดูดซับ CO_2 ของพืชในน้ำ อาจต่ำกว่าความเป็นจริงเมื่อค่า pH ของน้ำทะเลมีค่าสูง ประมาณ 8.0 หรือมีระดับน้ำลึก (Abril, 2009) ในการวัดครั้งนี้ใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากการทดลองของ 292 (2008) แต่ใช้ระยะเวลาในการวัด 10 นาที ก็สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ซึ่งการวัดที่ใช้ระยะเวลาสั้นในการปิดฝาตู้วัดและเปิดออกหลังการวัดจะไม่ส่งต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดอออกไซด์ในบรรยากาศ ในช่วง 10 นาที ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงประมาณ 10 ppm ขณะที่การทดลองของ Silva et al. (2009) ใช้ระยะเวลาในการวัดนานถึง 1 ชั่วโมง ซึ่งอาจจะทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบการวัดลดลงมาก

สิ่งที่ควรปรับปรุงต่อไป ได้แก่ การวัดให้ครบรอบวัน โดยพัฒนาระบบการวัดอัตโนมัติและสามารถทำได้หลายตู้ในขณะเดียวกัน การชดเชยส่วนที่อาจจะประเมินค่าได้ผิดพลาดการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำ การควบคุมอุณหภูมิและ pH ของน้ำให้คงที่หรือใกล้เคียงกับสภาพจริงในทะเลซึ่งควรต้องมีการศึกษาต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัย

1. หญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *E. acoroides* จะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจะสะสมอยู่บริเวณเหง้ามากที่สุด รองมาคือใบและราก ในขณะที่ในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าทะเลชนิดพันธุ์ *H. pinifolia* คือ ใบ เหง้าและราก มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนไม่แตกต่างกัน โดยลักษณะปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมนี้จะไม่ขึ้นกับตำแหน่งหรือบริเวณที่หญ้าทะเลขึ้นอยู่

2. เมื่อทำการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินบริเวณโดยรอบศูนยีการศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนพบว่า จะพบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมอยู่ในชั้นลึกจากผิวดิน 20-60 เซนติเมตร มากกว่าชั้นผิวดินที่ 0-20 เซนติเมตร โดยลักษณะปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมนี้จะไม่ขึ้นกับตำแหน่งหรือบริเวณที่หญ้าทะเลขึ้นอยู่

3. การศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวันของหญ้าทะเลพันธุ์ *Enhalus acoroides* Linn. พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันและตามฤดูกาลขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิของอากาศและน้ำ โดยในช่วงเช้าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดในเที่ยงวัน และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในเวลาเย็น อัตราการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเล มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.5 μmol CO_2 m^{-2} และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงมากที่สุด เท่ากับ 350 ppm แสดงว่า มีการดูดกลืนคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ส่วนค่า pH ในน้ำทะเล มีค่าคงที่ตลอดทั้งวัน ทั้งนี้ค่า pH ในหญ้าทะเลในช่วงเวลา 7.000 - 12.00 น. มีค่าน้อยกว่าค่า pH ในน้ำทะเล ส่วนช่วงเวลา 12.00 – 17.00 น. pH ในหญ้าทะเลจะมีค่ามากกว่าในน้ำทะเล

4. การศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *E. acoroides* Linn. โดยวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิดในห้องปฏิบัติการ พบว่า วิธีการวัดนี้สามารถวัดและคำนวณหาอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลได้ อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง โดยในช่วงเช้าจะมีอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงที่สุดในเวลา 13.00 น. มีค่า 0.3 μmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ หลังจากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลาเย็น พบการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำทะเลที่มีหญ้าทะเลในช่วงเช้ามีค่า 5.8 และค่า pH เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าใกล้เคียงกับ pH ของน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเล มีค่า 6.6 ในช่วงเวลา 10.00 - 11.00 น. และ pH ยังคงสูงขึ้นอีกในช่วงบ่ายจนสิ้นสุดการทดลอง พบว่า pH มีค่า 7.5 เมื่อเวลา 17.00 น.

บทที่ 6

ผลผลิต

โครงการวิจัยเรื่อง การสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลที่มีผลต่อการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 114/2559 ได้ตีพิมพ์ผลการศึกษาวิจัยบางส่วนในวารสารวิชาการระดับชาติ ในกลุ่ม TCI ที่ 1 จำนวน 1 เรื่อง คือ

ปัทมา ศรีน้ำเงิน*, เพชรดา ปินใจ, สุมิตร คุณเจตน์ และสนธิชัย จันทรเปรม. 2559. การสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. ว.พืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 3 (พิเศษ II) 29-35 น.

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการปลูกหญ้าทะเลเพื่อลดปริมาณคาร์บอนสะสมในสิ่งแวดล้อมได้ คือ

1. สามารถเพิ่มพื้นที่ปลูกหญ้าทะเลชนิดใดก้อได้ ให้เหมาะสมกับสถาพพื้นที่ เพราะหญ้าทะเลทั้งสองชนิดคือ *E.acoroides* และ *H.pinifolia* มีความสามารถในการเป็น carbon sink ไม่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

เจษฎา ภัทรเลอพงศ์ ศรปราชญ์ ธไนศวรรยางค์กูร พูนพิภพ เกษมทรัพย์ ดวงรัตน์ ศตคุณ เชฎส์ สาธรกิจ อรอุมา ด้วงงาม และดอกแก้ว จุระ. 2559. อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวันของเรือนพุ่มทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า ปีที่33 (ฉบับพิเศษ1) : 265-273.

ณัฐวดี บันตวัฒน์กุล พรนาภา เพชรศรี และปิ่นฤทัย ฤคดี. 2560. การกักเก็บคาร์บอนของหญ้าทะเล บริเวณเกาะมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง อ่าวไทยตอนกลาง

นฤนาท ชัยรังสี. 2546. การศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงของเรือนพุ่มอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยะพงษ์ โชติพันธุ์ และ ไตรเทพ วิชย์โกวิทเทน. 2542. การสังเคราะห์แสงและผลผลิตขั้นปฐมภูมิของหญ้าทะเล (*Enhalus acoroides* Linn.). หนังสือรวบรวมบทคัดย่อและผลงานวิจัยของคณาจารย์ในสถาบีนอุดมศึกษาปี 2540-2542. สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ, กรุงเทพฯ.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2550. ต้นไม้และสภาวะโลกร้อน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วสันต์ จันทร์แดง, ลดาวัลย์ พวงจิตร และ สาพิศ ดิลกสัมพันธ์. 2553. การกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ณ สวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดของแก่น.วารสารวนศาสตร์ 29(3): 36-44.

วิโรจน์ อรุณมานะกุล. 2560. สถิติและการใช้โปรแกรม R. ภาควิชาภาษาศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แหล่งข้อมูล: http: // cran.r-project.org. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2561.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมบัติ ภู่วชิรานนท์, กาญจนา อดุลยนุโกศล, ภูธร แซ่หลิม, อดิศร เจริญวัฒนาพร, ชัยมงคล แย้มอรุณพัฒนา และ จันทร์เพ็ญ วุฒิวรวงศ์. 2549. หญ้าทะเลในน่านน้ำไทย. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

อัสนี มีแก้ว. 2554. ปริมาณสารอินทรีย์ และธาตุอาหารในดินตะกอนป่าชายเลนพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย. วิทยานิพนธีปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตรีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตรีและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 143 หน้า

Abril, G. 2009. Comments on: Underwater measurements of carbon dioxide evolution in marine plant communities: Anew method by J. Silva and R. Santos [Estuarine, Coastal and Shelf Science 78(2008): 827-830]. Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 82: 357-360.

Anchana Prathep. 2012. Seagrass bed as a Carbon Sink in Ranong Biosphere Reserve and Trang-Haad Chao Mai Marine National Park; an important role of seagrass. Research repost to Man Bioshere (MAB) Program, UNESCO. เข้าถึงได้ที่ http://www.unesco.org/

Aryuthaka, C., S. Sungthong, and K. Awaiwanont. 1992. Seagrass community in Khung KrabenBay, Chanthaburi, East Thailand, pp. 369-378. *In* Proceedings of seminar on fisheries1992. Dept. of Fisheries, Bangkok.

Diloksumpun. S. and D. Staporn. 2009. Canopy carbon balance of the Sakaerat dry evergreen and the Maeklong mixed deciduous forests. Thai J. For. 28 (1) : 67-81.

Duarte, C. M., J. J. Middelburg and N. Caraco. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. Biogeosciences. 2: 1-8.

Edward, B. B., S. D. Hacker, C. Kennedy, E. W. Koch, A. C. Stier and B. R. Silliman. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological Monographs 81(2): 169–193.

Macreadie, P.I., M.E. Baird, S.M. Trevathan-Tackett, A.W.D. Larkum and P.J. Ralph. 2014. Quantifying and modelling the carbon sequestration capacity of seagrass meadows – A critical assessment. Marine Pollution Bulletin 83: 430–439.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter, pp. 961-1010. In C.A. Black, eds. Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods, Soil Science of America and American Society of Agronomy. Medison, WI, USA

Orth, R.J., T.J.B. Carruthers , W.C. Dennison, C.M. Duarte, J.W. Fourqurean, , Jr. K.L. Heck., A.R. Hughes, G.A. Kendrick, W.J. Kenworthy, S. Olyarnik, F.T. Short, M. Waycott and S.L. Williams. 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. Bioscience. 56 (12): 987-996.

Park, S.R., S. Kim, Y.K. Kim, C.K. Kang, and K.S. Lee. 2016. Photoacclimatory responses of *Zoster marina* L. in the intertidal and subtidal zones. Plos. One. 11: 123-132.

Pendleton, L., D.C. Donato, B.C. Murray, S. Crooks, W.A. Jenkins, S. Sifleet, C. Craft, J.W. Fourqurean, J.B. Kauffman, N. Marba, P. Megonigal, E. Pidgeon, D. Herr, D. Gordon and A. Baldera, 2012. Estimating global ‘‘blue carbon’’ emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. PLoS ONE 7(9), e43542, http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0043542

Pedersen, O. T.D. Collmer and S.J. Kai. 2013. Underwater photosynthesis of submerged plants-recent advances and methods. Plant Sci. 4: 1-19.

Pergent,G., H. Bazairi, C. N. Bianchi, C. F. Boudouresque, M. C. Buia, S. Calvo, P. Clabaut, M. Harmelin-vivien, M. A. Mateo, M. Montefalcone, C. Morri, S. Orfanidis, C. Pergent-Mmartini, R. Semroud, O. Serrano, T. Thibaut, A. Tomasello, M. Verlaque. 2014. Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers. Mediterranean Marine Science. 15(2): 462-473. Doi: http://dx.doi.org/10.12681/mms.621

Richard, A. F., C. L. Sabine and V. J. Fabry. 2006. Carbon dioxide and our ocean legacy. http://www.pmel.noaa.gov/pubs/PDF/feel2899/feel2899.pdf

Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1985. Plant Physiology. 3nd ed. Wadsworth Publishing Co. Inc., Belmont. California. 540 p.

Silva, J., Y. Sharon, R. Santos, and S. Beer. 2009. Measuring seagrass photosynthesis: methods and applications. Aquat. Biol. 7: 127-141.

Short, F.T., L.J, Mckenzie, R.G. Coles and J.L. Gaeckle. 2004. Seagrass Net Manual for Scientific Monitoring of Seagrass Habitat. USA: University of New Hampshire, QDPI, Northern Fisheries Centre

Short, F., T. Carruthers, W. Dennison and M. Waycott. 2007. Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model. Journal of Experimental in Marine Biology and Ecology. 350: 3–20.

Stankovic, M., Tantipisanuh, N. and Prathep, A. 2018. Carbon storage in seagrass ecosystems along the Andaman coast of Thailand. Botanica Marina, 0(0), pp. -. Retrieved 15 Sep. 2018, from doi:10.1515/bot-2017-0101

Taiz, L. and E. Zeiger. 2010. Plant Physiology Fifth Edition. Sinauer Assosiates, Inc., Sunderland. 782 p.

Tam, N.F.Y., and Wong, Y.S. 1998. Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. Water, Air and Soil Pollution 103, pp., 245-261.

Tritep, V. 1998. Biomass, Growth and Productivity of Seagrass; *Enhalus acoroides* (Linn. f) in Khung Kraben Bay, Chanthaburi, Thailand. Kasetsart J. (Nat. Sci) 32 : 109 – 115

Wawo, M., Y. Wardiatno, L. Adrianto and D. G. Bengen. 2014. Carbon stored on seagrass community in marine nature tourism park of Kotania Bay, Western Seram, Indonesia. JMHT Vol XX(1):51-57.

Waycott, M., C.M. Duarte , T.J.B. Carruthers, R.J. Orth, W.C. Dennison, S. Olyarnik, A. Calladine, J.W Fourqurean, K.L. Heck, A.R. Hughes, G.A. Kendrick, W.J. Kenworthy, F.T. Short and S.L. Williams. 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 106, 12377–12381.

Yang, X.Q., Q.S. Zhang, D. Zhang, and Z.T. Sheng. 2017. Light intensity dependent photosynthetic electron transport in *Zoster marina* L. Plant Physiol. And Biol. 113: 168-176.

รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย (NRMS 13 หลัก) 3620100927425 สัญญาเลขที่114/2559

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ การสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลที่มีผลต่อการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ดร.ปัทมา ศรีน้ำเงิน

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 20 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 18 กันยายน 2561

ระยะเวลาดำเนินการ.....2.....ปี ....11..... เดือน ตั้งแต่วันที่ 20 ตุลาคม 2559

<u>รายรับ</u>

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%) 188,000 บาท เมื่อที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2558

งวดที่ 2 (40%) 150,400 บาท เมื่อวันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2559

งวดที่ 3 (10%) ..... บาท เมื่อวัน เดือน ปี.....

รวม 376,000 (สามแสนเจ็ดหมื่นหกพันบาทถ้วน)

<u>รายจ่าย</u>

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน
1.ค่าตอบแทน	30,000	30,000	0
2.ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	54,000	54,000	0
3. ค่าวัสดุ	66,600	66,600	0
4. ค่าใช้สอย	187,800	187,800	0
5. ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
6. ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ -ค่าธรรมเนียมอุดหนุนสถาบัน	37,600	37,600	0
รวม	376,000	376,000	0

(.....ดร.ปัทมา ศรีน้ำเงิน.....)

หัวหน้าโครงการวิจัย