

การวัดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล
Enhalus acoroides Linn. ด้วยรังสีอินฟราเรดในระบบปิด

Carbon dioxide absorption measurement of seagrass

Enhalus acoroides Linn. By infrared gas analyser in closed system

สุमितร คุณเจตน์^{1*}, ปัทมา ศรีน้ำเงิน¹, เจษฎา ภัทรเลอพงษ์², เบนจามาต ไพบุลกีจกุล³
และ สอนธิชัย จันทระปรม⁴

Sumit Kunjet^{1*}, Pattama Srinamgoen¹, Jessada Phattaralerphong²,

Benjamas Paibukichakul³ and Sontichai Chanprame⁴

บทคัดย่อ: 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) โดยการต่อสายสู่มอากาศจากตู้มายังเครื่องวัดและหมุนเวียนอากาศที่ผ่านการวัดแล้วกลับไปยังตู้อีกครั้งหลังจากตรวจวัดภายในตู้วัดบรรจุหญ้าทะเลที่มีความเค็ม 30 พีพีที และมีความลึก 15 ซม. ทดสอบการวัดทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8:00 – 17:00 น. พร้อมการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิและความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำ คำนวณอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามวิธีการซึ่งดัดแปลงจาก Silva et al. (2008) พบว่า อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง โดยในช่วงเช้ามีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำและเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในเวลา 13.00 น. หลังจากนั้นมีความลดลงในช่วงบ่าย การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล มีค่าสูงสุดเท่ากับ $0.3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลคงที่ 6.6 ตลอดการทดลอง ขณะที่ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลที่มีหญ้าทะเลมีค่า 5.8 ในช่วงเช้าและค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุด 7.5 เมื่อเวลา 17.00 น.

คำสำคัญ: หญ้าทะเล, การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

ABSTRACT: 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).

¹ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี จันทบุรี 22170

Faculty of Science and Arts, Burapha University, Chanthaburi Campus, Chanthaburi, 22170

² คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สกลนคร 47000

Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University, Thailand. 47000

³ คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี จันทบุรี 22170

Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi Campus, Chanthaburi, 22170

⁴ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Agronomy Kasetsart University, Kampaeng Sean Campus, NakhonPathom 73140

* Corresponding author: skunjet@yahoo.com

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 CO₂ absorption was calculated by the method modified from Silva et al. (2008). The result found that CO₂ absorption was change correlated to light intensity. The lower CO₂ absorption was found in the morning then raise up to highest at 1:00 pm then lower in the afternoon. The highest CO₂ absorption of seagrass was 0.3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. 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.

Keyword: Seagrass, Carbon Dioxide Absorption

บทนำ

หญ้าทะเล (Sea grass) เป็นพืชชั้นสูงหรือพืชดอกที่อยู่ในกลุ่มของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เป็นกลุ่มของพืชใต้น้ำที่มีการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดในทะเลอย่างสมบูรณ์ ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปคล้ายกับหญ้าบก มีลำต้นใต้ดินซึ่งจะสร้างส่วนของลำต้นและใบขึ้นมาเหนือดิน มีการสืบพันธุ์โดยอาศัยเพศสามารถสร้างดอก ผล เมล็ด และใบใต้น้ำได้ดี สามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณเขตน้ำตื้นชายฝั่งที่มีคลื่นลมค่อนข้างสงบ ความเค็มของน้ำคั้งที่และน้ำค่อนข้างใส มีการเจริญเติบโตติดต่อกันเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ สำหรับประเทศไทยมีหญ้าทะเลอยู่ประมาณ 12 ชนิด กระจายอยู่ตามชายฝั่งทางด้านอ่าวไทยและอันดามัน ซึ่งแหล่งหญ้าทะเลแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมในแหล่งหญ้าทะเลประโยชน์ของหญ้าทะเล ได้แก่ ใช้เป็นแหล่งอาหาร การผสมวางไข่ เป็นที่พักอาศัยและใช้เป็นที่พักหลบภัยจากศัตรู นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในแง่ของชีววิทยาและนิเวศวิทยาของเต่าทะเลและพะยูน (สมบัติ และคณะ, 2549) ระบบนิเวศทางทะเลและมหาสมุทรมีความสามารถเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sink) ที่ดี สามารถเก็บกักคาร์บอนในบรรยากาศได้ถึง 22 ล้านเมตริกตันต่อวัน (Richard et al., 2006) และจากรายงานพบว่าหญ้าทะเลมีความสามารถในการดูดซับและกักเก็บคาร์บอนได้ดีทั้งในรูป CO₂ และ HCO₃⁻ (Edward et al., 2011) หญ้าทะเลมีศักยภาพในการใช้คาร์บอนหรือดูดซับคาร์บอนจากบรรยากาศมากกว่าป่าในเขตร้อนชื้นประมาณ 40 เท่า และหญ้าทะเลชนิด *Posidonia oceanica* ที่พบขึ้นอยู่ที่บริเวณทะเล

เมดิเตอร์เรเนียนสามารถดูดซับคาร์บอนไว้ได้ประมาณ 92.5-144.7 $\text{gcm}^{-2}\text{s}^{-1}$ คิดเป็น 27 เปอร์เซ็นต์ของระบบนิเวศทางทะเล แต่ปัจจุบันพบว่าหญ้าทะเลทั่วโลกได้ถูกทำลายไปแล้ว 29% (Waycott et al., 2009) เนื่องจากหญ้าทะเลมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนในบรรยากาศได้ดี หญ้าทะเลจึงเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่ดีเช่นกัน การลดการสะสมของคาร์บอนในบรรยากาศนับเป็นกิจกรรมที่ต้องเร่งกระทำเพราะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือภาวะโลกร้อน (Macreadie et al., 2014) การศึกษาด้านนี้ในหญ้าทะเลส่วนใหญ่เป็นการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งทำในห้องปฏิบัติการ ทำในระบบปิดและใช้วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงของ O₂ ผลผลิตจากการบวการสังเคราะห์ด้วยแสง วิธีการนี้มักใช้ในการศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงเฉพาะส่วนของใบและไม่ได้วัดการดูดซับ CO₂ โดยตรง Silva et al. (2008) เสนอวิธีการใหม่ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจวัดตรวจวัดการแลกเปลี่ยน CO₂ ด้วยรังสีอินฟราเรด สามารถวัดพืชใต้น้ำได้ในระดับเรือนพุ่มหรือกลุ่มสังคมพืชใต้น้ำ ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้วัดหญ้าทะเลได้ แต่ในประเทศไทยการศึกษาดูดซับคาร์บอนของหญ้าทะเลยังมีอยู่จำกัดและยังไม่มี การทดสอบการวัดด้วยวิธีการใหม่ดังนั้นการทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการวัดการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลโดยวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิด เพื่อที่จะสามารถศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนของหญ้าทะเล รวมถึงโอกาสของการพัฒนาเพื่อตรวจวัดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมของหญ้าทะเลต่อไป

วิธีการศึกษา

1. ทำการศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศของหญ้าทะเล โดยวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิดในห้องปฏิบัติการที่มีหลังคาเป็นแผ่นพลาสติกใส ซึ่งมีแสงจากดวงอาทิตย์ส่องถึง โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ชุด ได้แก่ 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 ซม. จำนวน 3 ซ้ำในแต่ละครั้ง นำตัวอย่างหญ้าทะเลที่เก็บมาเลี้ยงในตู้กระจกเลี้ยงปลา ขนาด 29 x 39 x 40 ซม. ที่บรรจุน้ำทะเลมีความเค็ม 30 พีพีที (น้ำทะเลที่นำมาใส่ในตู้ใช้น้ำทะเลจากแหล่งหญ้าทะเล ที่มีความเค็ม 30 พีพีที) ระดับน้ำลึก 15 ซม. ระดับทรายสูง 5 ซม. และมีการเติมอากาศ เป็นเวลา 1 วันก่อนการทดลอง เพื่อให้หญ้าทะเลมีการปรับตัวก่อนการทดลอง

3. ระบบการวัดการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบระบบปิด (close system) ทำโดยใช้แผ่นพลาสติกใสหนา 1.2 ไมโครเมตร เป็นฝาปิดด้านบนของตู้กระจก เพื่อไม่ให้อากาศจากภายนอกไหลเข้าออกได้ขณะทำการวัดการดูดซับ CO₂ ด้วยเครื่องวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศด้วยรังสีอินฟราเรด รุ่น LI-820 (LI-COR, Inc) ทำการวัดสลับกันระหว่างชุดควบคุมที่ไม่มีหญ้าทะเล จำนวน 3 ซ้ำ และชุดทดสอบที่มีหญ้าทะเล จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละชุดใช้เวลา 10 นาที โดยการต่อสายสูมอากาศจากตู้มายังเครื่องวัดและหมุนเวียนอากาศที่ผ่านการวัดแล้วกลับไปยังตู้อีกครั้งหลังจากตรวจวัด และบันทึกความเข้มข้นของ CO₂ ด้วย CR10 datalogger (Campbell Scientific, Inc) ดังแสดงใน Figure 1

คำนวณอัตราการดูดซับ CO₂ จากการลดลงของความเข้มข้น CO₂ ในช่วงเวลา 10 นาที โดยสมการ ดังนี้ (ดัดแปลงจาก Silva et al., 2008)

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

โดย A คือ อัตราการดูดซับ CO₂ ของหญ้าทะเล ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

a คือ ความชันของการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้น CO₂ (ppm min⁻¹) ในช่วงเวลา 10 นาที

V คือ ปริมาตรอากาศของระบบ (L)

S คือ พื้นที่ที่ทำการสุ่มเก็บหญ้าทะเล (m²)

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)

4. ทำการวัดอัตราการวัดการดูดซับ CO₂ ของตู้ที่มีหญ้าทะเล จำนวนครั้งละ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบกับตู้ที่ไม่มีหญ้าทะเลเพียงอย่างเดียว จำนวนครั้งละ 3 ซ้ำ โดยปิดฝาตู้กระจกเพื่อทำการวัด แต่ละซ้ำใช้เวลา 10 นาที ทำการวัดทุกชั่วโมง ระหว่างเวลา 8:00 น – 17:00 น คำนวณค่าอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากวัดเสร็จแล้วจึงเปิดฝาดูออกเพื่อให้มีอากาศถ่ายเทตามปกติ

5. บันทึกข้อมูลต่อไปนี ระหว่างทำการทดลอง ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ดังนี้

5.1 ข้อมูลสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเข้มของแสง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ภายในห้องปฏิบัติการ โดยติดตั้งเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

5.2 ข้อมูลสภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิและค่า pH ของน้ำในตู้กระจก

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

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

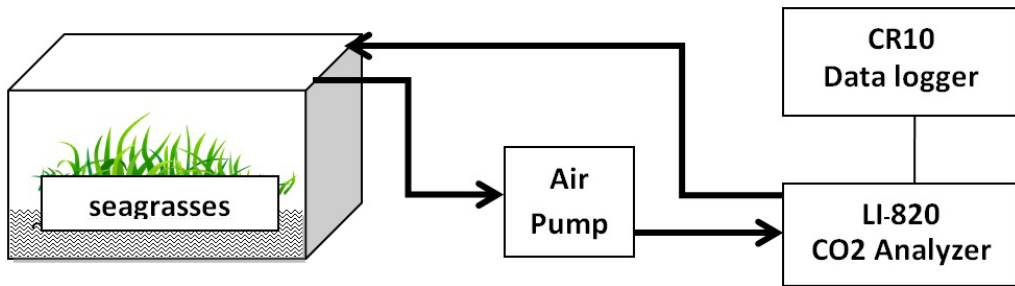


Figure 1 Closed system for CO₂ absorption measurement of seagrass

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

ผลการศึกษา

1. อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลและการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำระหว่างการทดลอง

1.1 อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลและการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของน้ำในรอบวัน

อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลในน้ำทะเลลึกมีค่าต่ำในเวลา 8:00 น. แต่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 10:00 น. จนมีค่าสูงสุดในเวลา 13:00 น. (Figure 1A-C) ซึ่งตรงกับช่วงที่มีความเข้มของแสงสูงที่สุด (Figure 2A) หลังจากนั้นอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลงในช่วงบ่าย ซึ่งมีแนวโน้มแบบเดียวกันในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 0.66 (Table 3) โดยพบอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.3, 0.18 และ 0.18 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ในวันที่ 23 กุมภาพันธ์ วันที่ 3 มีนาคม และวันที่ 2 เมษายน 2559 ตามลำดับ ซึ่งอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มแสงในรอบวันในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ส่วนน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยมาก (Figure 2A-C)

ค่าความเป็นกรด-เบส ในน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลมีค่า 6.6 คงที่ตลอดทั้งวัน ค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำทะเลที่มีหญ้าทะเลมีค่าต่ำกว่าค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลในช่วงเช้ามีค่า 5.8 และค่าความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเลในช่วงเวลา 10:00-11:00 น. และค่าความเป็นกรด-เบส ยังคงสูงขึ้นอีกในช่วงบ่าย จนถึงสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่า 7.5 เมื่อเวลา 17:00 น. เช่นเดียวกันตลอดทั้ง 3 ครั้งของการทดลอง (Figure 2 D-F)

1.2 ผลของเวลาต่ออัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล

จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งสองชุดการทดลองมีความแตกต่างทางสถิติ โดยชุดทดสอบที่มีหญ้าทะเลมีค่ามากกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีหญ้าทะเลเพียงอย่างเดียวทุกช่วงเวลา ทั้งนี้เวลา 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 (Table 1)

1.3 ผลของระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลต่ออัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล

จากผลการทดลอง พบว่า การเก็บตัวอย่างหญ้าทะเลในเดือนกุมภาพันธ์ มีอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด เท่ากับ 0.24 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ รองลงมา คือ เดือนเมษายน และ มีนาคม มีค่าเท่ากับ 0.17 และ 0.14 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ (Table 2)

Table 1 CO₂ Absorbtion 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

ns = non-significant

* = significant at P<0.05

** = significant at P<0.01

Table 2 CO₂ 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

* = significant at P<0.05

^{1/}Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by DMRT.

2. ข้อมูลสภาพแวดล้อมระหว่างการทดลอง

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

อุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเช้าสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มแสง โดยมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 13.00 น. และลดต่ำลงในช่วงเย็น (Figure 3B)

ความชื้นสัมพัทธ์มีสูงในช่วงเช้าและค่าลดลงในช่วงกลางวันและกลับสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงบ่ายมีการเปลี่ยนแปลงผกผันกับอุณหภูมิอากาศ แต่ไม่แตกต่างกันในการทดลองทั้ง 3 วัน (P=0.345) โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 14.00-16.00 น. (Figure 3C)

อุณหภูมิของน้ำทะเลระหว่างการศึกษาอุณหภูมิของน้ำทะเลทั้งที่มีและไม่มีหญ้าทะเลมีค่าไม่แตกต่างกันตลอดทั้งวัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเช้า อุณหภูมิของน้ำทะเลมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 13.00 น. หลังจากนั้นก็มีค่าลดลงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงและอุณหภูมิของอากาศ (Figure 4 (A-B))

3. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลกับปัจจัยสภาพแวดล้อม

ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลกับค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มแสง อุณหภูมิของอากาศ และน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.12, 0.66, 0.56, 0.11 และ 0.62 ตามลำดับ มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรง หมายถึง เมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มแสง อุณหภูมิของอากาศ และน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมากขึ้น

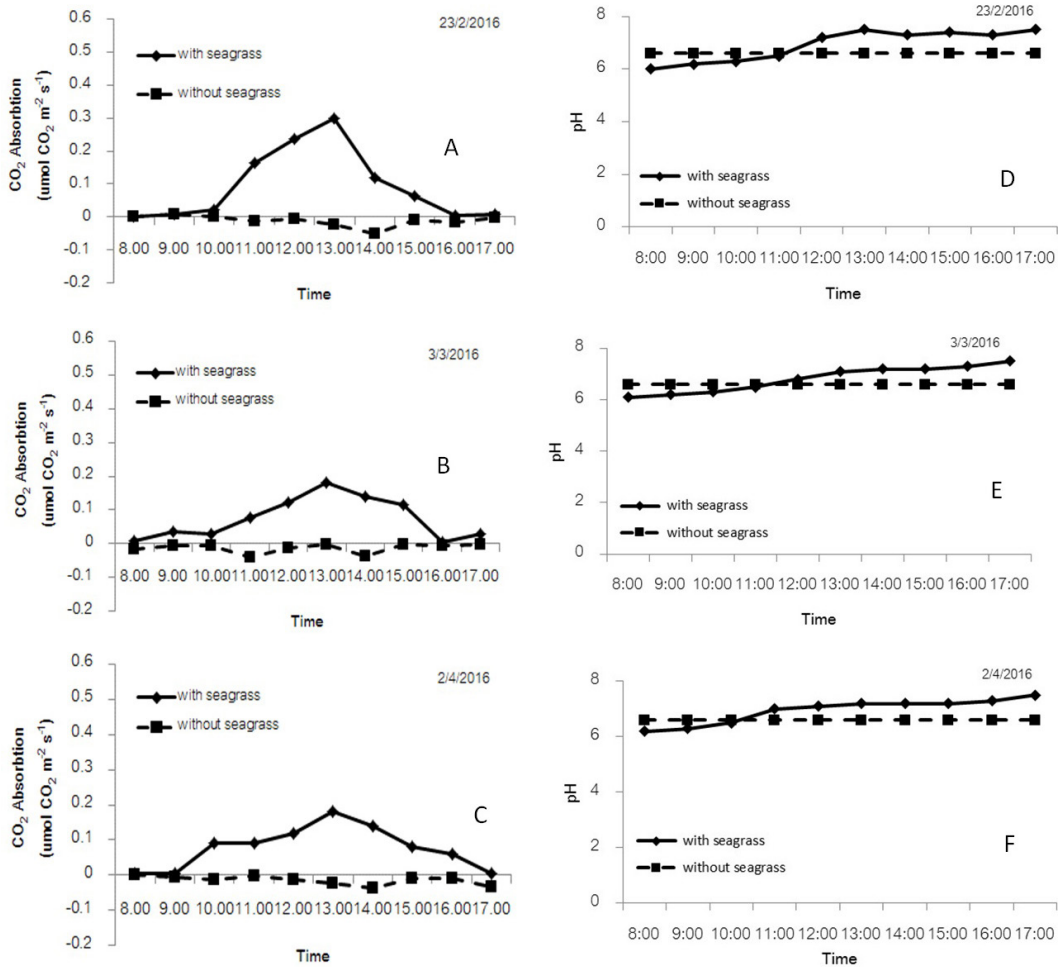


Figure 2 CO₂ Absorption of seagrass in the 15 cm sea water depth (A-C) and pH measured (D-F) the closed system (solid line) compared with sea water without seagrass (dotted line)

อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลจะเพิ่มขึ้น (Table 3)

วิจารณ์

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการวัดนี้สามารถวัดอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลในน้ำทะเลได้ โดยพบความแตกต่างระหว่างตู้ที่มีหญ้าทะเลและไม่มีหญ้าทะเลอย่างชัดเจน โดยอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของตู้ที่มีหญ้าทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันซึ่งมี

ความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ โดยปัจจัยความเข้มแสงมีผลต่ออัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลมากที่สุด กล่าวคือ ในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงสูงหญ้าทะเลจะมีการการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากด้วยสอดคล้องกับการทดลองของ เจษฎา และคณะ (2559) รายงานว่า ต้นทุเรียนมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในตอนเช้าจนมีค่าสูงสุด เวลา 09.00-11.00 น. เนื่องจากแสงช่วยกระตุ้นการปิดเปิดของปากใบ (สมบุญ, 2548) หลังจากนั้นมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง

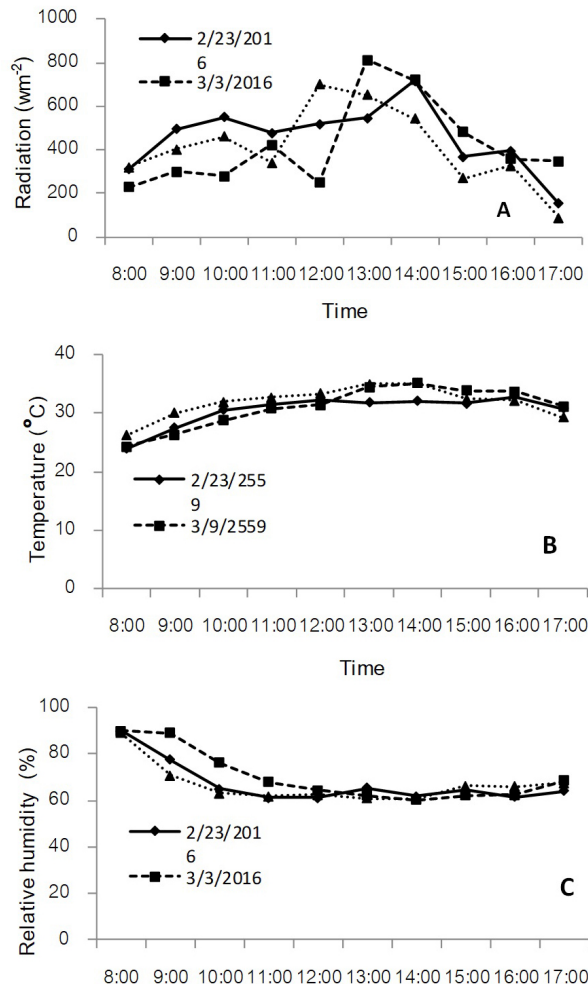


Figure 3 Solar radiation (A) temperature (B) and relative humidity (C) during CO₂ absorption measurement of seagrass

ในช่วงเวลาบ่าย เนื่องจากความชื้นของบรรยากาศลดลงและอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลต่อการปิดเปิดของปากใบ ทำให้ปากใบเปิดน้อยลง จึงมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง (สมบุญ, 2548) ทั้งนี้ความเข้มแสงจากธรรมชาติ มีค่ามากกว่าความเข้มแสงในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากในห้องปฏิบัติการหลังคามุงด้วยกระเบื้องแผ่นใส ซึ่งยอมให้แสงผ่านได้บางส่วน ในขณะที่ในธรรมชาติได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ จึงทำให้หญ้าทะเล ใน ชุด ทด ล อ ง มี อัตรา การ ดู ด ซ ับ คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าในธรรมชาติ ส่วนอัตรา

การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลที่พบในการทดลองนี้มีค่าสูงสุด เวลา 13:00 น. ซึ่งแตกต่างกับที่พบในพืชชนิดอื่น เช่น ทุเรียน ข้าวโพด และ ยางพารา ที่มีค่าสูงสุด เวลา 10:00 น ทั้งนี้น่าจะมาจากการที่หญ้าทะเลอยู่ในน้ำทะเลตลอดเวลา ทำให้การแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงเพียงอย่างเดียว อัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงที่สุดซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มแสงสูงสุดด้วย สำหรับการทดลองวันที่ 23 กุมภาพันธ์ มีอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลสูงกว่าเดือนอื่น เนื่องจากมีความเข้ม

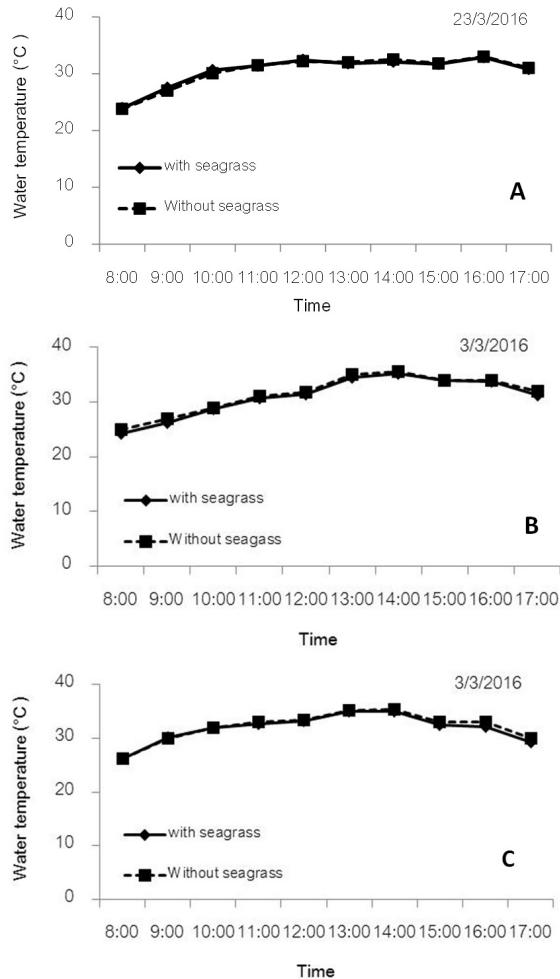


Figure 4 Temperature of sea water with and without seagrass (A-C)

แสงสูงกว่าในเดือนอื่น 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 mgCO₂ m⁻² ซึ่งสูงกว่าชุดทดลอง เนื่องจากหญ้าทะเลในแหล่งธรรมชาติได้รับความเข้มแสงมากกว่าชุดทดลอง แม้ว่าในบางช่วงเวลาจะมีความลึกของน้ำมากกว่าในชุดทดลอง

ทั้งนี้จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าหญ้าทะเลมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศได้ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ จึงมีส่วนช่วยลดภาวะโลกร้อนได้

การทดลองนี้ได้ทำการวัดเพียงในช่วงเวลากลางวันเป็นเวลา 9 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8:00-17:00 น. จึงยังไม่ทราบอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงเวลาอื่น ๆ โดยเฉพาะเวลากลางคืน

Table 3 Relationship between CO₂ 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 (°C)	0.56*
Relative humidity (%)	0.62*
Water temperature (°C)	0.11

* = significant of relationship at P< 0.05

ซึ่งไม่มีแสง เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนหญ้าทะเลมีการหายใจและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา จึงทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ในน้ำทะเลในรูปของ (HCO⁻) 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 ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ใช้การวัดการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลโดยตรง แต่เป็นการวัดการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างบรรยากาศกับน้ำทะเลที่มีหญ้าทะเลอยู่ วิธีการนี้ น่าจะเหมาะกับการประเมินอัตราการดูดซับ

คาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลในสภาพที่มีระดับน้ำตื้น เนื่องจากมีการถ่ายเท CO₂ ระหว่างบรรยากาศกับน้ำทะเลได้ดี ส่วนที่ระดับน้ำลึกอาจต้องมีการศึกษาต่อไป วิธีการนี้มีข้อดี คือทำได้ง่าย และได้ค่าที่บ่งบอกความสามารถของหญ้าทะเลในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ จากบรรยากาศโดยตรง แต่วิธีการนี้อาจมีข้อจำกัดที่ทำให้การประเมินค่าการดูดซับ CO₂ ของพืชในน้ำ อาจต่ำกว่าความเป็นจริงเมื่อค่า pH ของน้ำทะเลมีค่าสูง ประมาณ 8.0 หรือมีระดับน้ำลึก (Abril, 2009) ในการวัดครั้งนี้ใช้วิธีการที่ดัดแปลงจากการทดลองของ 292 (2008) แต่ใช้ระยะเวลาในการวัด 10 นาที ก็สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ซึ่งการวัดที่ใช้ระยะเวลาสั้นในการปิดฝาตู้วัดและเปิดออกหลังการวัดจะไม่ส่งต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ในช่วง 10 นาที ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ประมาณ 10 ppm ขณะที่การทดลองของ Silva et al. (2009) ใช้ระยะเวลาในการวัดนานถึง 1 ชั่วโมง ซึ่งอาจจะทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบการวัดลดลงมาก

สิ่งที่ควรปรับปรุงต่อไป ได้แก่ การวัดให้ครบรอบวัน โดยพัฒนาระบบการวัดอัตโนมัติและสามารถทำได้หลายตู้ในขณะเดียวกัน การชดเชยส่วนที่อาจจะประเมินค่าได้ผิดพลาดการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำ การควบคุมอุณหภูมิและ pH ของน้ำให้คงที่หรือใกล้เคียงกับสภาพจริงในทะเลซึ่งควรต้องมีการศึกษาต่อไป

สรุป

การศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเล *E. acoroides* Linn. โดยวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบปิดในห้องปฏิบัติการ พบว่า วิธีการวัดนี้สามารถวัดและคำนวณหาอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลได้ อัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหญ้าทะเลขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง โดยในช่วงเช้า จะมีอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงสุดในเวลา 13.00 น. มีค่า $0.3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ หลังจากนั้น มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลาเย็น พบการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำทะเลที่มีหญ้าทะเลในช่วงเช้ามีค่า 5.8 และค่า pH เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าใกล้เคียงกับ pH ของน้ำทะเลที่ไม่มีหญ้าทะเล มีค่า 6.6 ในช่วงเวลา 10.00 - 11.00 น. และ pH ยังคงสูงขึ้นอีกในช่วงบ่ายจนถึงสิ้นสุดการทดลอง พบว่า pH มีค่า 7.5 เมื่อเวลา 17.00 น.

เอกสารอ้างอิง

- เกษภา ภัทรเลอพงศ์, ศรีพรานชัย ธีในศวรรยวงศ์กูร, พูนพิภพ เกษมทรัพย์, ดวงรัตน์ ศตคุณ, เขมส์ สารกรกิจ, อรุณา ดั่งวงาม, และดอกแก้ว จุระ. 2559. อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวันของ เรือชุมพูทะเลพื้นหญ้าทะเล. เกษตรพระจอมเกล้า. 33 (ฉบับพิเศษ1): 265-273.
- ปิยะพงษ์ โชติพันธุ์ และ ไตรเทพ วิชชุโยภิตเทน. 2542. การสังเคราะห์แสงและผลผลิตขั้นปฐมภูมิของหญ้าทะเล (*Enhalus acoroides* Linn.). หนังสือนำชมรวบรวมบทความและผลงานวิจัยของคณาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษาปี 2540-2542. สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ, กรุงเทพฯ.
- วิโรจน์ อรุณมานะกุล. 2560. สถิติและการใช้โปรแกรม R. ภาควิชาภาษาศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แหล่งข้อมูล: <http://cran.r-project.org>. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2561.
- สมบัติ ภูวชิรานนท์, กาญจนา อุดลยน์โกศล, ภูธร แซ่หลิม, อติศร เจริญวัฒนาพร, ชัยมงคล เข้มอรุณพัฒนา, และ จันทร์เพ็ญ วุฒิวรรณ. 2549. หญ้าทะเลในน่านน้ำไทย. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- Abril, G. 2009. Comments on: Underwater measurements of carbon dioxide evolution in marine plant communities: A new method by J. Silva and R. Santos [Estuarine, Coastal and Shelf Science 78(2008): 827-830]. Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 82: 357-360.
- Anacha, P. 2012. Seagrass bed as a carbon sink in Ranong Biophere Reserve and Trang-Haad Chao Mai Marine Nation Park; an important role of seagrass. <http://www.unesco.org/>. Accessed 15 Jul. 2018.
- Edward, B.B., S.D. Hacker, C. Kennedy, E.W. Koch, A.C. Stier, and B.R. Siliman. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecolo. Monographs. 81(2): 169-193.
- Macreadie, P.J., 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 meadow – A critical assessment. Marine Poll. Bulletin. 83: 430-439.
- 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.
- Pedersen, O. T.D. Collmer, and S.J. Kai. 2013. Underwater photosynthesis of submerged plants-recent advances and methods. Plant Sci. 4: 1-19.
- Richard, A.F., C.L. Sabine, and V.J. Fabry. 2006. Carbon dioxide and our ocean legacy. <https://www.pmel.noaa.gov/pubs/PDF/feel2899/feel2899.pdf>. Accessed 15 Jan. 2018.
- Silva, J., P. Feijoo, and R. Santos. 2008. Underwater measurements of carbon dioxide evolution in marine plant communities: A new method. Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 78: 827-830.
- Silva, J., Y. Sharon, R. Santos, and S. Beer. 2009. Measuring seagrass photosynthesis: methods and applications. Aquat. Biol. 7: 127-141.
- 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.
- 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 ecosystem. Proc. Natl. Acad. Sci. 106(30): 12377-12381.