

การศึกษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

Study of Organic Carbon Content in Seagrass Meadows of Sattahip Bay,

Chonburi Province, Thailand

ชนัดดา เกตุมา* ศรีณยา รักเสรี และ จันทฤทธิ์ ทองจันทร์

Chanadda Ketma* Saranya Rakseeree and Junthip Tongjun

สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Fishery Division, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

*E-mail: chanadda_ke@rmutto.ac.th Tel (+66)831118803

(Received 17/09/2024, Revised 28/01/2025, Accepted 17/06/2025)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอน และไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนที่ตกตะกอนลงสู่พื้นที่แนวหญ้าทะเล 3 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล 0%, แนวหญ้าทะเลปกคลุม <25% และแนวหญ้าทะเลปกคลุม >75% ณ บริเวณชายหาดด้านหน้าโรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ อ่าวสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี เก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำและวางเครื่องมือดักจับตะกอนทิ้งไว้ในพื้นที่ศึกษาเป็นเวลา 7 วัน ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม) และในฤดูฝน (มิถุนายน) ปี 2565 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การสะสมของอินทรีย์วัตถุในพื้นที่ที่มีหญ้าทะเลปกคลุม <25 % และ >75 % สามารถดักจับตะกอนมากกว่าพื้นที่ที่ไม่มีหญ้าทะเล (0%) ในช่วงฤดูร้อนถึงประมาณ 10 เท่า และในฤดูฝนประมาณ 2 เท่า ส่วนปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูฝนแตกต่างกับฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยในฤดูฝน คือ $11.31 \pm 5.99 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ สูงกว่าในฤดูร้อนซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.69 \pm 1.81 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ทั้งนี้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ตกตะกอนในแนวหญ้าทะเลปกคลุม >75% มีการสะสมสูงที่สุด ตามด้วย <25% และ 0% ตามลำดับ และอัตราส่วนของไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) สามารถใช้เพื่อระบุแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่เคลื่อนย้ายเข้าไปในพื้นที่แนวหญ้าทะเล พบว่าตะกอนมีแหล่งที่มาจากแฟลงก์ตอน -21 ‰ และตะกอนแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุ -28.5 ‰ ถึง -21 ‰ (เศษซากสิ่งมีชีวิต) มากที่สุด ดังนั้นการสะสมของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ และไอโซโทป เสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับประเภทการปกคลุมของพื้นที่แนวหญ้าทะเล

คำสำคัญ: อินทรีย์คาร์บอน ฟลักซ์ของตะกอน ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน อ่าวสัตหีบ

Abstract

This research aimed to study the amount of organic carbon, organic carbon flux in sediments, and stable isotopes of carbon precipitated into 3 types of seagrass areas: 0% no seagrass area, <25% seagrass cover, and >75% seagrass cover at the beach in front of Apakornkiatwong Hospital, Sattahip Bay, Sattahip District, Chonburi Province. Water quality samples were collected and sediment traps were left in the study area for 7 days. Samples were collected twice in the summer (March) and the rainy season (June) of 2022. The results showed that the accumulation of organic matter in areas with seagrass cover <25% and >75% could trap more sediment than the area without seagrass (0%) during summer by about 10 times and about 2 times in the rainy season. The amount of organic carbon flux in the rainy season was significantly different from the summer, with an average value in the rainy season of $11.31 \pm 5.99 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, which was higher than that in the summer, which was $1.69 \pm 1.81 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. The amount of organic carbon sedimented in seagrass covers >75 % had the

highest accumulation, followed by <25 % and 0%, respectively. The ratios of stable isotopes of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) can be used to identify the sources of organic matter transported into the seagrass areas. It was found that the sediments were sourced from plankton -21 ‰ and suspended organic sediments of -28.5 to -21 ‰ (organismal debris) the most. Therefore, the accumulation of organic carbon, organic carbon flux and stable isotopes of carbon in sediments are related to the type of seagrass covers.

Keywords: Organic carbon, Fluxes of sediment, Carbon isotope, Sattahip Bay

1. บทนำ

ปัจจุบันภาวะโลกร้อนเป็นภัยคุกคามต่อระบบนิเวศทั่วโลก เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด (Pearson & Palmer, 2000) ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในชั้นบรรยากาศสูงถึง 379 ppm ในปี 2021 เพิ่มขึ้น 5.3% เมื่อเทียบกับปี 2020 (Crippa et al., 2022; United Nations Environment Programme, 2022) อย่างไรก็ตาม มีกระบวนการของแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่เป็นการดูดซึมคาร์บอนในชั้นบรรยากาศกลับเข้าสู่ระบบนิเวศ ซึ่งสามารถช่วยให้สภาพภูมิอากาศสมดุลได้ โดยการกักเก็บคาร์บอนในมหาสมุทรนี้เรียกว่า Blue Carbon ถือว่ามีความสำคัญมาก ต่อวัฏจักรคาร์บอนของโลกที่เกิดขึ้นในทะเล โดยมีพื้นที่หญ้าทะเล ป่าพรุน้ำเค็ม และป่าชายเลนที่สามารถ กักเก็บคาร์บอนได้ถึง 55% ของการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด ถือเป็นแหล่งคาร์บอนที่หนาแน่นที่สุดในโลก (Duarte et al., 2005; Macreadie et al., 2014) แม้จะมีพื้นที่ขนาดเล็ก แต่มีการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าป่าบกถึง 35 เท่า (Macreadie et al., 2014) โดยหญ้าทะเลเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่ปรับตัวเข้ากับความเค็มและเติบโตได้ดีในพื้นที่ชายฝั่ง (Waycott et al., 2009) จัดเป็นพืชชั้นสูงเป็นหนึ่งในระบบนิเวศ ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในโลกอีกระบบหนึ่ง (Fortes, 1995; Hemminga & Duarte, 2000; Morgan & Kitting, 1984; Terrados et al., 1998) มีความสำคัญต่อระบบนิเวศทางทะเลเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญสามารถตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากชั้นบรรยากาศ เก็บไว้ในลำต้นเหนือดินและใต้ดิน รวมทั้งถ่ายโอนไปยังตะกอนในแนวหญ้าทะเลได้ (Macreadie et al., 2015; Mcleod et al., 2011; Serrano et al., 2013) กระบวนการกักเก็บคาร์บอนในแนวหญ้าทะเล มีความสำคัญ ต่อสิ่งแวดล้อม โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซับจากชั้นบรรยากาศ และเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปโครงสร้างของหญ้าทะเล ผ่านการสังเคราะห์แสง จากนั้นคาร์บอนจะถูกดูดซับและกักเก็บไว้ในโครงสร้างใต้ดิน (Kennedy et al., 2010; Valentine & Heck, 1999) คาร์บอนที่สะสมอยู่ในตะกอนผ่านกระบวนการนี้เท่ากับ $0.16 \times 10^{15} \text{ g C yr}^{-1}$ หรือประมาณ 15% ของคาร์บอนทั้งหมด ที่สะสมในระบบนิเวศทางทะเล (Duarte & Chiscano, 1999) แนวหญ้าทะเล ยังถือเป็นพื้นที่ที่สำคัญ มากของแหล่งกักเก็บคาร์บอน ซึ่งสามารถกักเก็บคาร์บอนได้นานหลายพันปี (Macreadie et al., 2014) ในแนวหญ้าทะเลมีการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ประมาณ $83 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (Duarte et al., 2005) คิดเป็น 10–18% ของการกักเก็บคาร์บอน ในมหาสมุทร (Kennedy & Björk 2009)

เนื่องจากความรู้เกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนในแนวหญ้าทะเลในประเทศไทยยังมีจำกัด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นเร่งด่วนสำหรับการศึกษาในด้านนี้ เพื่อทำความเข้าใจถึงความสำคัญของแนวหญ้าทะเลในการกักเก็บคาร์บอน การวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การศึกษาฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนและไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน เพื่อตรวจสอบแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ ข้อมูลที่ได้ จากการศึกษา นี้ จะเป็นประโยชน์ในการทำทำความเข้าใจ การกักเก็บคาร์บอนในแนวหญ้าทะเลของบริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี

2. วิธีการทดลอง

2.1 พื้นที่ศึกษา

กำหนดพื้นที่ศึกษาแนวหญ้าทะเลอ่าวสัตหีบ บริเวณโรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี มีพิกัดระหว่างละติจูด $12^{\circ}66'41$ เหนือ $100^{\circ}89'50$ ตะวันออก (Figure 1) โดยบริเวณนี้ปกคลุมด้วยหญ้าทะเล *Halodule pinifolia* และ *Halodule uninervis* มีการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ได้แก่ ฤดูร้อนในช่วงเดือนมีนาคม และฤดูฝนในช่วงเดือนมิถุนายนในปี 2565 โดยอ้างอิงการเก็บตัวอย่างดัดแปลงตามวิธีการของ Howard et al. (2016) และ Ganguly et al. (2017b) โดยแบ่งพื้นที่หญ้าทะเลออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม >75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม <25% และไม่มีหญ้าทะเลปกคลุม 0%



Figure 1 Map of the 3 types of seagrass sampling stations based on seagrass covers, namely, 0%, <25%, and >75% at beach area in front of Abhakornkiartiwong Hospital, Sattahip District, Chonburi Province

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำด้วยการสุ่มตามแนวหญ้าทะเล ทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม >75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม <25% และไม่มีหญ้าทะเลปกคลุม 0% สุ่มตัวอย่างจุดละ 3 ซ้ำ ตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำพื้นฐาน ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความเค็ม และความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) ด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำแบบหลายตัวแปร (Environmental Monitoring Systems: YSI 6920) สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ วิเคราะห์ตามวิธี TSS Analytical Methods (APHA, AWWA & WPCF, 1995) และเก็บตัวอย่างน้ำสูงจากพื้นดินประมาณ 30 cm ด้วยกระบอกเก็บน้ำ จากนั้นบรรจุลงในขวดพลาสติกขุ่น ขนาด 1,500 mm เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 °C ก่อนนำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์และไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในแนวหญ้าทะเล

2.3.1 ขั้นตอนภาคสนาม

เครื่องมือตัดตะกอนถูกวางไว้ในเขตน้ำขึ้นน้ำลงในช่วงน้ำลง ทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ของแนวหญ้าทะเล โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแนวหญ้าทะเล 100 เมตร ใช้กรอบสุ่มตัวอย่าง (Quadrat) ขนาด 50 x 50 เซนติเมตร เพื่อทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การครอบคลุมพื้นที่ของหญ้าทะเลที่แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ครอบคลุม 0, 25, 50, 75 และ 100% ดัดแปลงตามวิธีการของ English et al. (1997) และ McKenzie et al. (2001) จากนั้นบันทึกพิกัดที่ทำการสุ่มตัวอย่างด้วยเครื่อง GPS และจำแนกชนิดของหญ้าทะเลตาม Lewmanomont et al. (1996) ซึ่งในการศึกษานี้ได้แบ่งหญ้าทะเลออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม >75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม <25% และไม่มีหญ้าทะเลปกคลุม 0% ต้องไม่พบเศษหญ้าทะเลขนาดใหญ่ในดินตะกอนภายในระดับความลึก 30 เซนติเมตร เครื่องมือตัดตะกอนประกอบด้วย ขวดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร และสูง 10.5 เซนติเมตร มีการติดตั้งลวดตาข่ายขนาดตาข่าย 1 เซนติเมตร ที่ปากขวดเพื่อป้องกันการรบกวนจากสิ่งมีชีวิต

ขวดถูกยึดติดกับแท่งเหล็กยาว 1 เมตร ซึ่งเจาะลงไปในพื้นทะเลเพื่อยึดขวดแก้วไว้ที่ระดับเหนือพื้นดิน เครื่องดักตะกอนถูกวางไว้ตามหญ้าทะเลปกคลุม 3 ประเภท ได้แก่ >75%, <25% และ 0% ประเภทละ 4 ซ้ำ (ห่างกันอย่างน้อย 100 เมตร) รวม 12 ตัวอย่างในแต่ละฤดูกาล วางเครื่องมือทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน เพื่อนำมาประเมินฟลักซ์ของคาร์บอนและแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ในสถานที่ศึกษา (Ricart et al., 2015) ทั้งนี้น้ำหนักแห้งของตัวอย่างตะกอนดินแต่มีปริมาณมากกว่า 200 กรัม

2.3.2 ขั้นตอนในห้องปฏิบัติการ

อินทรีย์วัตถุในตะกอนดินถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการความสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss of ignition; LOI) ที่ดัดแปลงจาก Strickland (1965) ตัวอย่างตะกอนดินส่วนหนึ่งถูกชั่งน้ำหนักและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60–70 °C ในเตาอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ จากนั้นตะกอนจะถูกอบที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทั้งไว้ให้เย็นในโถดูด ความชื้น และชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่สูญเสียไปหลังการอบถูกนำมาคำนวณค่า LOI (%) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$LOI = \frac{W_B - W_A}{W_B} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ W_B และ W_A คือการลดน้ำหนักตะกอน (g) ก่อนและหลังอบที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 550 °C ตามลำดับ

การวิเคราะห์ตัวอย่างย่อยอีกตัวอย่างหนึ่งจากเครื่องดักตะกอนเดียวกัน เพื่อหาคาร์บอนอินทรีย์และไอโซโทปที่เสถียรของคาร์บอน โดยเครื่องวิเคราะห์อัตราส่วนมวล (Isotope Ratio Mass Spectrometer) ทำการร่อนตะกอนดิน (0.4 mm) เพื่อขจัดอนุภาคขนาดใหญ่รวมถึงเศษเปลือกหอย จากนั้นชั่งตะกอนประมาณ 2–5 กรัม ไปยังหลอดขนาด 20 mm และหยดสารละลาย 2N HCl ลงในตัวอย่าง จนกว่าจะไม่มีฟองอากาศ เพื่อขจัดคาร์บอนอนินทรีย์ หลังจากนั้นนำของเหลวออกให้ได้มากที่สุด ด้วยพาสเจอร์บีเปต แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัวอย่างตะกอน 6–30 mg ถูกอัดเม็ดด้วยแผ่นดีบุก และนำเข้าสู่เครื่อง EA-IRMS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ของแต่ละตัวอย่างถูกรายงานตามอัตราส่วนเป็นความแตกต่างสัมพัทธ์ต่อมิล (‰) ระหว่างอัตราส่วนของ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ของตัวอย่าง (R_{sam}) และอัตราส่วนของมาตรฐาน (R_{std}) ตามสมการที่ (2) ดังนี้:

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{R_{sam} - R_{std}}{R_{std}} \times 1000 \quad (2)$$

ความแม่นยำ (1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ไม่น้อยกว่า 5% การวัด $\delta^{13}\text{C}$ ได้รับการตรวจสอบเทียบกับ IAEA-CH-3 โดยมีความแม่นยำไม่น้อยกว่า 0.2‰ ทั้งนี้ประเมินค่าจากค่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ (Amino Standard, SI Science)

การวิเคราะห์ปริมาณฟลักซ์ในตะกอน ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ และคาร์บอนอินทรีย์ของตัวอย่าง ในพื้นที่หญ้าทะเลคำนวณโดยใช้วิธีการคำนวณอ้างอิงตาม Ketma et al. (2022) ที่ดัดแปลงจาก Wahyudi et al. (2016) ดังแสดงในสมการที่ (3)–(5)

$$S_{flux} = \frac{S_{dry} \times 24}{TA} \quad (3)$$

$$C_{flux} = R_{org} S_{flux} \quad (4)$$

$$R_{org} = \frac{R_{org}}{S_{dry}} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ S_{flux} คือ ฟลักซ์ของตะกอน ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) S_{dry} คือ น้ำหนักแห้งของตะกอนในเครื่องดักตะกอน (g) T คือ ระยะเวลาดักจับตะกอน (h) และ A คือ พื้นที่ภายในของกับดักตะกอน (m^2) C_{flux} คือ ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ ($\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) และ R_{org} คือ คาร์บอนอินทรีย์ของตัวอย่างตะกอนในน้ำหนักแห้ง

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดิน ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดิน และไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน กรณีที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มจะถูกทดสอบด้วย Tukey's test

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 คุณภาพน้ำเบื้องต้นในพื้นที่ศึกษา

การศึกษาคุณภาพน้ำในพื้นที่อ่าวสัตหีบ บริเวณโรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) และช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน) ในเดือนมีนาคมและมิถุนายน 2565 ตามลำดับ ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความเค็ม ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ และอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ (Table 1) จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่าอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 ± 0.08 °C และความเค็มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.77 ± 0.22 ppt มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 ประเภท (>75%, <25% และ 0%) ส่วนความโปร่งแสงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 104.14 ± 7.07 cm ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.0 ± 0.07 ไม่พบความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.52 ± 0.12 mg/L มีความสัมพันธ์กับแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 ประเภท โดยมีค่าเฉลี่ยดัง Table 1 ส่วนปริมาณตะกอนของสารแขวนลอย (TSS) ที่ตกลงในเครื่องมือดักจับตะกอนในแนวหญ้าทะเลในพื้นที่แนวหญ้าทะเล >75% ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนมีความสัมพันธ์กัน ส่วนแนวหญ้าทะเล <25% และไม่มีหญ้าทะเล 0% ไม่สัมพันธ์กันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณสูงสุดในช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 107.94 ± 6.74 mg/g และต่ำสุดในช่วงฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 58.34 ± 0.27 mg/g ทั้งนี้ในพื้นที่หญ้าทะเลอ่าวสัตหีบ (หาดอาภากร-หาดสัตหีบ) มีความเค็ม 30 ppt อุณหภูมิ 32 °C ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 6.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) 8.12 ความโปร่งแสง 40–100 cm (Department of Marine and Coastal Resources, 2015) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ruangson (2007) ที่คุณภาพน้ำและดินตะกอนที่เหมาะสมต่อความสมบูรณ์ของหญ้าทะเลในประเทศไทย พบว่าระดับความเค็มอยู่ในช่วง 14.36–33.94 ppt อุณหภูมิของน้ำมีค่าระหว่าง 28.98–34.36 °C ออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าระหว่าง 7.33–11.33 mg/L และความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำมีค่าระหว่าง 7.87–8.64 สอดคล้องกับการศึกษาของ Sathummanasphan (2003) พบว่าแนวหญ้าทะเลส่วนใหญ่จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีความเค็มคงที่ ซึ่งสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มของน้ำทะเลได้แตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของหญ้าทะเล ถ้ามีความเค็มอยู่ในช่วง 6–60 ppt และจากการศึกษาของ Chamontri (2018) ที่ศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในแหล่งหญ้าทะเล บริเวณชายฝั่งเทศบาลเมืองสัตหีบ จังหวัดชลบุรี พบว่าความเค็มของน้ำในดินอยู่ในช่วง 27.2–30.9 ppt ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ระหว่างเดือนพฤษภาคมและกันยายน และความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.2–7.9 ซึ่งเป็นช่วงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของหญ้าทะเล

Table 1. Average values of water quality during in the summer (March) and rainy season (June)

Parameter	Summer			Rainy		
	> 75%	< 25%	0%	75%	25%	0%
Temperature (°C)	28.5 ± 0.08	28.3 ± 0.10	28.4 ± 0.06	30.5 ± 0.05	31.3 ± 0.11	30.0 ± 0.07
Salinity (ppt)	32.5 ± 0.22	32.1 ± 0.18	32.0 ± 0.15	23.4 ± 0.20	23.5 ± 0.23	23.1 ± 0.19
pH	8.27 ± 0.11	8.11 ± 0.07	8.22 ± 0.15	7.66 ± 0.17	7.81 ± 0.09	7.94 ± 0.14
DO (mg/L)	5.6 ± 0.12	5.3 ± 0.20	5.5 ± 0.22	5.2 ± 0.24	5.7 ± 0.19	5.8 ± 0.11
Transparency (cm)	115 ± 7.07	100 ± 5.05	100 ± 5.00	110 ± 4.22	100 ± 5.55	100 ± 4.15
Total suspended solids (mg/g)	88.46 ± 6.74	58.34 ± 1.85	60.90 ± 2.72	97.72 ± 7.02	98.92 ± 9.22	107.94 ± 8.66

3.2 ฟลักซ์ของตะกอนอินทรีย์วัตถุในแนวหญ้าทะเล

การดักจับตะกอนที่มากับมวลน้ำด้วยการตรวจวัดฟลักซ์ของตะกอนอินทรีย์วัตถุในแนวหญ้าทะเล บริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ $>75\%$, $<25\%$ และ 0% เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน และระหว่างประเภทการครอบคลุมของแนวหญ้าทะเล พบว่าฟลักซ์ของอินทรีย์วัตถุที่หาค่าด้วยวิธี LOI (%) มีเฉลี่ย ในช่วงฤดูร้อน เท่ากับ $8.03 \pm 1.14\%$, $7.28 \pm 0.75\%$ และ $7.12 \pm 0.68\%$ ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝน เท่ากับ $1.76 \pm 0.87\%$, $2.09 \pm 0.93\%$ และ $1.55 \pm 0.26\%$ ตามลำดับ โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในช่วงฤดูฝนต่ำกว่าช่วงฤดูร้อน (Figure 2) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันตามฤดูกาล ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 ประเภท ทั้งนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ต่ำในช่วงฤดูฝนอาจเกิดจากการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณน้ำฝน (300–400 mm) ที่ตกลงในพื้นที่ในเดือนมิถุนายน เมื่อเทียบกับในเดือนมีนาคม (30–90 mm) (Amatayakul & Chomtha, 2016) ทำให้ตะกอนถูกกัดเซาะจากพื้นดินและพื้นน้ำตกตะกอนลงสู่พื้นที่ศึกษา ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในฤดูร้อนเนื่องจาก การไหลบ่าของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง รวมถึงกิจกรรมที่เกิดจากมนุษย์ (Ganguly et al., 2017b)

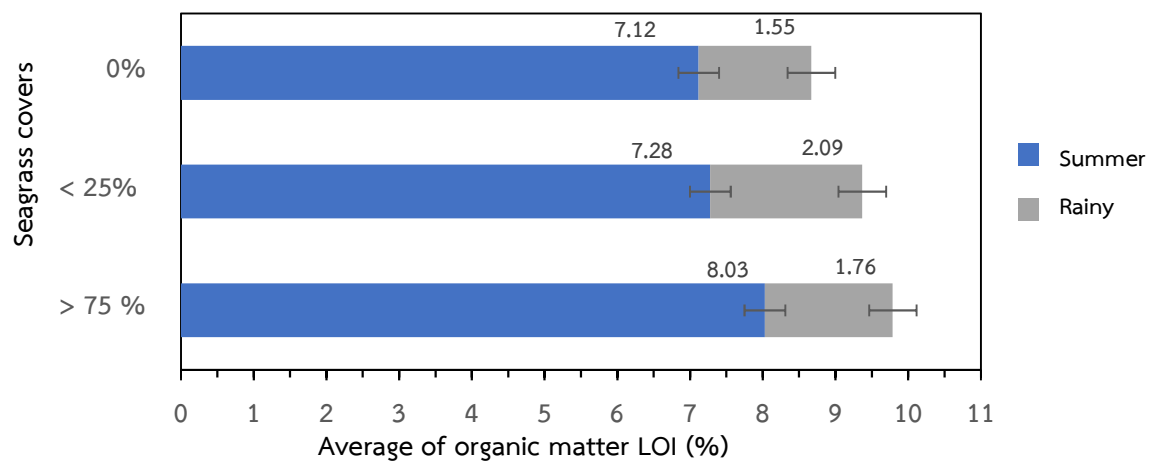


Figure 2. Average of organic matter content (% dry weight) in sediments of 3 types of seagrass covers: 0%, < 25%, and > 75% in summer and rainy seasons

ฟลักซ์ของตะกอนอินทรีย์วัตถุที่ตกตะกอนในพื้นที่แนวหญ้าทะเลทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ $>75\%$, $<25\%$ และ 0% ในช่วงฤดูร้อน มีค่าเท่ากับ $131.07 \pm 28.27 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, $60.22 \pm 9.69 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ และ $13.18 \pm 3.02 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ตามลำดับ (Figure 3) ในช่วงฤดูฝน มีค่าเท่ากับ $1,384.12 \pm 76.08 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, $874.62 \pm 46.17 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ และ $498.65 \pm 64.22 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ตามลำดับ ฟลักซ์ของตะกอนดินในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสูงกว่าในช่วงฤดูร้อนมาก เป็นผลจากการไหลของน้ำจืดที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติยังเผยให้เห็นว่ามีความแตกต่างระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังมีความแตกต่าง ระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 ประเภท มีปริมาณสูงสุดในแนวหญ้าทะเล $>75\%$ และน้อยที่สุดในแนวหญ้าทะเล 0% ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ปราศจาก หญ้าทะเลที่อยู่ใกล้กับแนวชายฝั่ง แต่บริเวณที่ฟลักซ์ของตะกอนดินสะสมสูงที่สุดอยู่ในพื้นที่ที่ปกคลุมด้วย หญ้าทะเลหนาแน่นและน้อยที่สุดในพื้นที่ที่ปราศจากหญ้าทะเล ผลการวิจัยนี้อาจแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของหญ้าทะเล ในการดักจับตะกอนมีมากกว่าพื้นที่ที่มีหญ้าทะเลในช่วงฤดูร้อนถึงประมาณ 10 เท่า และในฤดูฝนประมาณ 2 เท่า การตกตะกอน ในพื้นที่ที่หญ้าทะเลมีมากกว่าพื้นที่ที่ไม่มีหญ้าทะเลอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะของใบหญ้าทะเลที่ช่วยในการดักจับ ตะกอน ลักษณะของกระแสน้ำที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ฤดูกาล ความลึกและระยะทางจากแนวชายฝั่ง (Kakhai et al., 2004; Sirimungkara et al., 2016) ในอนาคตควรศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับอิทธิพลของแต่ละปัจจัยเหล่านี้ต่อการตกตะกอน

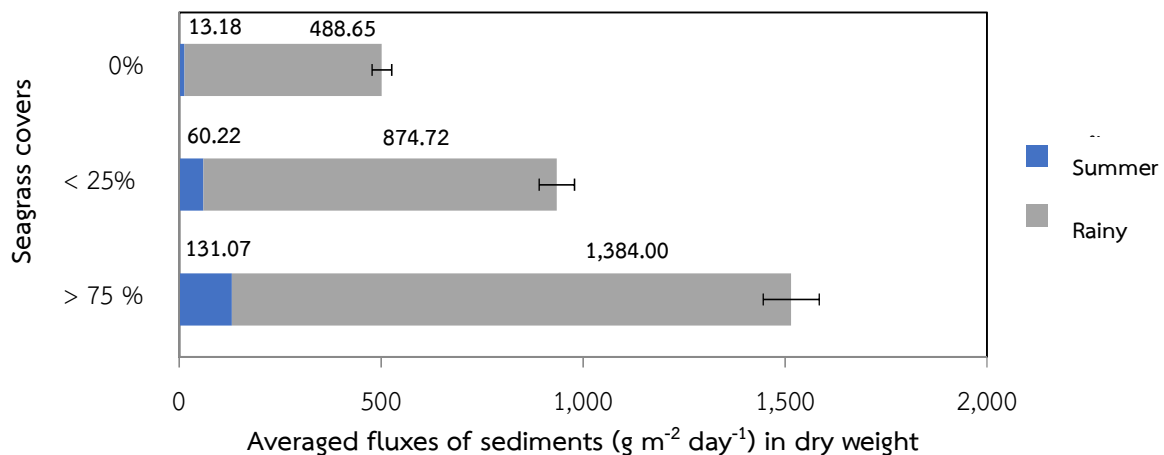


Figure 3 Average fluxes of sediments fell in the sediment traps in 3 types of seagrass covers: 0%, <25%, and >75% in summer and rainy seasons

3.3 ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในที่ตกตะกอนบริเวณแนวหญ้าทะเล <25% และ >75% ในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่า (2.09±0.11% และ 2.93±0.33% ตามลำดับ) ในฤดูฝน (1.02±0.41% และ 1.26±0.41% ตามลำดับ) แต่บริเวณที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล 0% ในฤดูร้อนและฤดูฝนไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (1.15±0.08% และ 1.06±0.09% ตามลำดับ) แต่มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย (Figure 4) จากการวิเคราะห์ทางสถิติชี้ให้เห็นว่าในช่วงฤดูฝนแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 ประเภท อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ในช่วงฤดูร้อน พบว่าแนวหญ้าทะเล <25% และ >75% อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่แนวหญ้าทะเล 0% อยู่ในกลุ่มเดียวกับช่วงฤดูฝน ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยตามฤดูกาล แสดงให้เห็นว่าปริมาณ คาร์บอน อินทรีย์ในช่วงฤดูร้อนมีค่ามากกว่าในช่วงฤดูฝน สอดคล้องกับการศึกษาของ Ganguly et al. (2017b) พบว่าคาร์บอนอินทรีย์มีการสะสมในตะกอนดินภายในระบบนิเวศหญ้าทะเลในอ่าวซิลิกา และอ่าวปอล์ก ซึ่งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ตะวันออกของอ่าวอินเดีย โดยมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดินในฤดูร้อน (0.98±0.33% และ 1.01±0.33% ตามลำดับ) สูงกว่าในฤดูฝน (0.69±0.22% และ 0.97±0.19% ตามลำดับ) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อาจเป็นการตอบสนองต่อความแปรปรวนของกำลังผลิตเบื้องต้นในพื้นที่แนวหญ้าทะเล ทำให้ในช่วงฤดูร้อนมีสูงกว่าในฤดูฝน เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสง อุณหภูมิของน้ำ ความเค็ม และสารอาหารที่ละลายในน้ำต่ำ ในทางตรงกันข้ามผลผลิตที่เกิดขึ้นในน้ำนั้นเกิดจากแพลงก์ตอนพืชที่ เติบโตอย่างรวดเร็ว แสดงแนวโน้มตามฤดูกาลที่ย้อนกลับ โดยมีค่าที่สูงกว่า ในช่วงฤดูฝนมากกว่าในฤดูร้อน (Ganguly et al., 2017a) ในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัดจนกว่าปัจจัยใด ที่ควบคุมความแปรผันการตกตะกอนของเศษอินทรีย์วัตถุ ส่วนของ คาร์บอนอินทรีย์ที่สูงในฤดูร้อนบริเวณพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง อาจเกิดจากอิทธิพลของชุมชนที่ตั้งอยู่ตามแนวชายฝั่งภายในอ่าวสัตหีบ และคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดินที่สูงในฤดูร้อนและต่ำในฤดูฝน เนื่องจากหญ้าทะเลอาจใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบอื่น (Hemminga & Duarte, 2000) เช่น การสะสมอาหารที่อยู่ในรูปของน้ำตาล หรือดึงคาร์บอนให้อยู่ในรูป ไบคาร์บอเนต หรือเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการใช้ในการสังเคราะห์แสง เป็นต้นทั้งนี้ความต้องการสารประกอบคาร์บอนจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของหญ้าทะเล (Fortes, 1995)

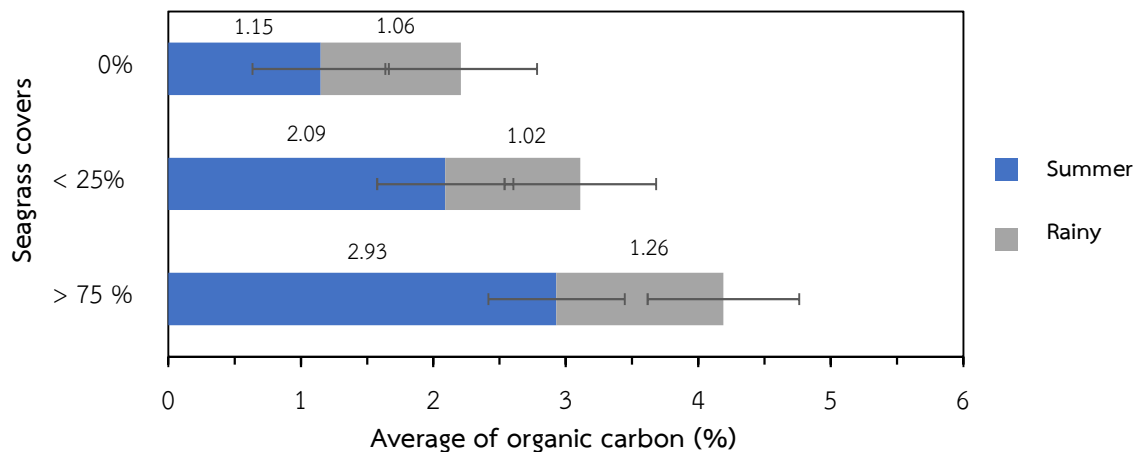


Figure 4 Average of organic carbon fell in sediment traps in 3 types of seagrass covers: 0%, <25%, and >75% in summer and rainy seasons

ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ (Figure 5) มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับปริมาณฟลักซ์ของตะกอนดิน (Figure 5) ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในช่วงฤดูฝนและต่ำสุดในช่วงฤดูร้อน แม้ว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ระหว่างแนวหญ้าทะเล 3 ประเภทใกล้เคียงกันในช่วงฤดูฝนและมากที่สุดในพื้นที่ที่ไม่มีหญ้าทะเลปกคลุมในฤดูร้อน (Figure 4) โดยปริมาณฟลักซ์ของ คาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยสูงสุดที่แนวหญ้าทะเล >75% ในฤดูฝน ($17.86 \pm 5.48 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) และต่ำสุดที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล (0%) ในฤดูร้อน ($0.39 \pm 0.12 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูร้อน และฤดูฝนแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และจากการทดสอบด้วย Tukey's test แสดงให้เห็นว่าพื้นที่แนวหญ้าทะเลทั้ง 3 ประเภท ในฤดูร้อนอยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่แตกต่างกันในทั้ง 3 ประเภท ($p < 0.05$) ในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้ความแปรปรวนของฟลักซ์ ของคาร์บอนอินทรีย์ตามฤดูกาลเป็นผลมาจากปัจจัยแวดล้อม เช่น การไหลบ่าของน้ำที่มีการสะสมของอินทรีย์วัตถุจากพื้นดิน ทำให้ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูฝนมีมากกว่าในฤดูร้อน การตกตะกอนของคาร์บอนอินทรีย์มีความแตกต่างของพื้นที่ที่มีแนวหญ้าทะเลและไม่มีแนวหญ้าทะเลอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะบริเวณขอบของแนวหญ้าทะเลที่สามารถช่วยชะลอการไหลของน้ำ (Granata et al., 2001) และเพิ่มการสะสมของอนุภาคตะกอนภายในแนวหญ้าทะเล (Macreadie et al., 2010) และจากการศึกษาความแปรปรวนของคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณแนวหญ้าทะเลของ Ricart et al. (2015) พบว่าปริมาณ คาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมในพื้นที่ที่ไม่มีหญ้าทะเล ($1.5\% \text{ C}_{\text{org}}\text{DW}$) น้อยกว่าในพื้นที่ที่มีหญ้าทะเล ($1.75\% \text{ C}_{\text{org}}\text{DW}$) ส่วนผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่าฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล >75% สูงกว่าพื้นที่ที่ไม่มีหญ้าทะเลโดยเฉลี่ย 2-3 เท่า

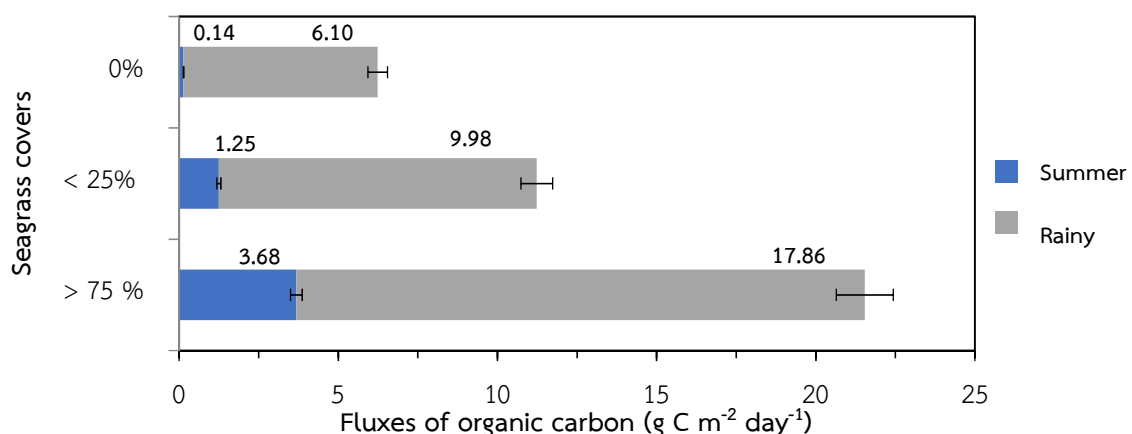


Figure 5 Average fluxes of organic carbon fell in sediment traps in 3 types of seagrass covers: 0%, <25%, and >75% in summer and rainy seasons

3.4 ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$)

ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) ที่อยู่ในอินทรีย์วัตถุในเครื่องดักตะกอนที่วางในแนวหญ้าทะเล 3 ประเภท (Figure 6 และ Table 2) ได้แก่ 0%, <25% และ >75% ในฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-19.9 \pm 0.35\text{‰}$, $-22.0 \pm 0.38\text{‰}$ และ $-21.8 \pm 0.10\text{‰}$ ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ย $\delta^{13}\text{C}$ อยู่ที่ $-20.9 \pm 0.10\text{‰}$, $-23.6 \pm 0.22\text{‰}$ และ $-24.2 \pm 0.45\text{‰}$ ตามลำดับ ค่า $\delta^{13}\text{C}$ ต่ำสุดและสูงสุดทั้ง 2 ฤดูกาลอยู่ในช่วง -19.5‰ ถึง -24.7‰ โดยค่าเฉลี่ยของ $\delta^{13}\text{C}$ ที่ดักจับตะกอนดินในแนวที่ไม่มีหญ้าทะเล (0%) และพบว่าไม่แตกต่างกันระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน ($p > 0.05$) ส่วนระหว่างแนวหญ้าทะเล <25% และแนวหญ้า >75% ในฤดูร้อน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับในฤดูฝนที่แนวหญ้าทะเล <25% และแนวหญ้า >75% ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่ามี ความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นเพื่อตรวจสอบ แหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ ที่ตกตะกอนในพื้นที่หญ้าทะเล เปรียบเทียบกับการศึกษาของ Thimdee et al. (2003) ซึ่งตรวจสอบแหล่งที่มาและการเคลื่อนที่ ของอินทรีย์วัตถุในอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี โดยพิจารณาจาก $\delta^{13}\text{C}$ และ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ที่ระบุ แหล่งที่มา ได้แก่ ป่าชายเลน หญ้าทะเล สาหร่าย และแพลงก์ตอน พบว่า $\delta^{13}\text{C}$ ของไบโโกลังคือ -29‰ หญ้าทะเล -11‰ สาหร่าย -16‰ และแพลงก์ตอน -21‰ ตามลำดับ และตะกอนแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุ (POM) มีค่าอยู่ที่ -28.5 ถึง -21‰ (Hemminga et al., 1994) ดังนั้นจึงใช้ค่าอ้างอิงเหล่านี้เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยในครั้งนี้เพื่อระบุแหล่งที่มาของตะกอน อินทรีย์ในแหล่งหญ้าทะเล พบว่าพื้นที่ที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล (0%) ในช่วงฤดูร้อน มีค่า $\delta^{13}\text{C}$ เท่ากับ -19.9‰ ซึ่งใกล้เคียงกับ $\delta^{13}\text{C}$ ของแพลงก์ตอน ในพื้นที่แนวหญ้าทะเล <25% และแนวหญ้าทะเล >75% มีค่า $\delta^{13}\text{C}$ เท่ากับ -22.0‰ และ -21.8‰ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ $\delta^{13}\text{C}$ ที่มีแหล่งที่มาจากแพลงก์ตอน และตะกอนแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุ (เศษซากสิ่งมีชีวิต) ในช่วงฤดูฝนในพื้นที่ที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล (0%) มีค่า $\delta^{13}\text{C}$ เท่ากับ -20.9‰ ซึ่งใกล้เคียงกับ $\delta^{13}\text{C}$ ของแพลงก์ตอน และตะกอนแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุ ในพื้นที่แนวหญ้าทะเล <25% และแนวหญ้าทะเล >75% มีค่า $\delta^{13}\text{C}$ เท่ากับ -23.6‰ และ -24.2‰ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ $\delta^{13}\text{C}$ ของตะกอนแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุ (เศษซากสิ่งมีชีวิต) ผลไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนแสดงให้เห็นว่ามีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน ซึ่งอาจบ่งบอกถึงแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในอินทรีย์แขวนลอยมากที่สุด ที่มาจากเศษซากสิ่งมีชีวิตที่ตายลงสะสมในพื้นที่แนวหญ้าทะเล

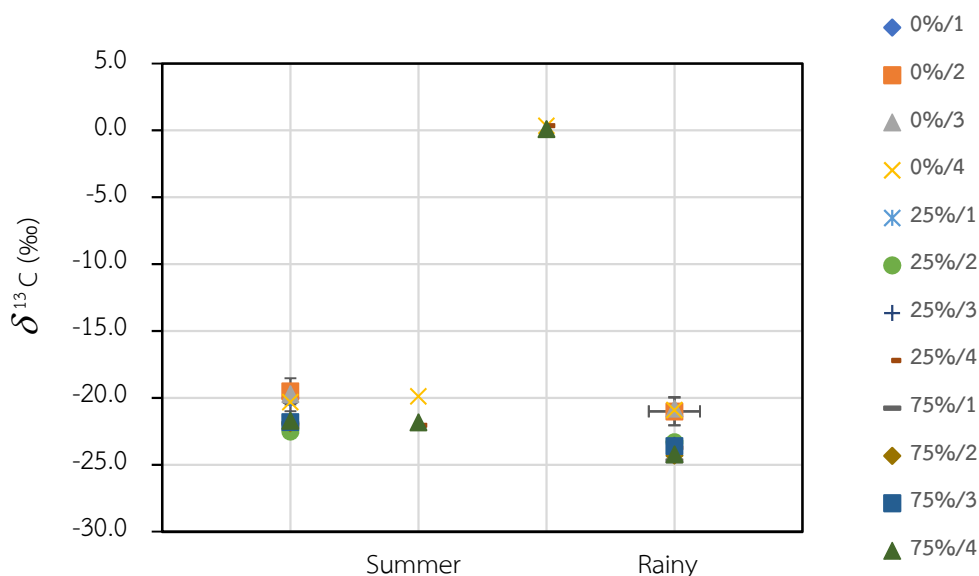


Figure 6 Carbon stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$) in organic matter fell in sediment traps in 3 types seagrass covers: 0%, <25%, and >75% in summer and rainy seasons

Table 2. Stable isotope of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) in the summer (March) and rainy season (June)

Label	0%/1	0%/2	0%/3	0%/4	25%/1	25%/2	25%/3	25%/4	75%/1	75%/2	75%/3	75%/4
Summer	-20.0a	-19.5a	-19.7a	-20.3a	-21.9b	-22.5b	-21.6b	-22.1b	-21.9b	-21.9b	-21.8b	-21.7b
Rainy	-21.0a	-21.0a	-20.8a	-20.9a	-23.8c	-23.3c	-23.5c	-23.7c	-24.7c	-24.3c	-23.6c	-24.2c

Note : a, b and c are statistically significantly different ($p < 0.05$)

อย่างไรก็ตาม ในช่วงฤดูร้อนบริเวณที่มีแนวหญ้าทะเลอาจบังชี้ว่า $\delta^{13}\text{C}$ เกิดจากการสะสมที่มาจากแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ในทะเล ผลการศึกษาไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาอื่น เช่น การศึกษาความแปรปรวนของอัตราส่วนและการทำงานในการศึกษาทางนิเวศวิทยาด้วยค่า $\delta^{13}\text{C}$ ในหญ้าทะเลของ Hemminga & Mateo (1996) และ Kennedy et al. (2010) รวมถึงการศึกษาการใช้ไอโซโทปเสถียรในการบ่งชี้ผลกระทบของน้ำเสียจากชุมชนต่อระบบนิเวศบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน (Boonphakdee et al., 2018) แม้ว่าการศึกษาวิเคราะห์ $\delta^{13}\text{C}$ เพียงอย่างเดียวอาจทำให้ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาอย่างสมบูรณ์ได้ในการศึกษานี้ แต่สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมได้จากการวิเคราะห์ค่า C/N เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดมากขึ้น ซึ่งอาจทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวต่อไปในอนาคต

4. สรุป

จากการศึกษาแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี แสดงให้เห็นว่าฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์มีความผันแปรตามฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่มีการไหลบ่าของน้ำจืดจากน้ำฝนลงสู่พื้นที่แนวหญ้าทะเลมีปริมาณมากกว่าในช่วงฤดูร้อน รวมทั้งความแตกต่างของแนวหญ้าทะเล โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปกคลุมของหญ้าทะเลหนาแน่น >75% มีฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และน้อยที่สุดในพื้นที่ 0% ส่วนไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนสามารถใช้เพื่อระบุ แหล่งที่มาของอินทรีย์วัตถุที่ตกลงมาในพื้นที่หญ้าทะเล ผลการวิจัยพบว่าคาร์บอนอินทรีย์ที่ ตกตะกอนในพื้นที่ดังกล่าว มีแหล่งที่มาจากแพลงก์ตอน (-21‰) และตะกอนแขวนลอยของอินทรีย์วัตถุ (เศษซากสิ่งมีชีวิต) (-24.7 ถึง -21‰) มากที่สุด ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลและประเภทการปกคลุมของแนวหญ้าทะเลขึ้นอยู่กับระยะทาง จากแหล่งที่มาและอิทธิพลของสภาพแวดล้อม เช่น การไหลบ่าของน้ำที่พัดพาตะกอนแขวนลอย และผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

- APHA, AWWA, & WPCF. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (19th ed.). American Public Health Association.
- Amatayakul, P., & Chomtha, T. (2016). *Agricultural meteorology to know for Rayong* (Technical document No. 551.6593-05-2016). Agrometeorological Division, Meteorological Development Bureau.
- Boonphakdee, T., Sangmanee, P., & Thaipichitburapha, P. (2018). *Use of stable isotopes to identify sources and impacts of community wastewater on marine ecosystems in the eastern coastal area of the inner Gulf of Thailand*. Burapha University.
- Chamontri, C. (2018). Sources of organic matter in seagrass meadows, Sattahip Municipality, Chonburi Province [Thesis, Faculty of Science, Burapha University].
- Crippa, M., Guizzardi, D., Banja, M., Solazzo, E., Muntean, M., Schaaf, E., Pagani, F., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Grassi, G., Rossi, S., Oom, J. F., Branco, A., San-Miguel-Ayanz, J., & Vignati, E. (2022). *CO₂ emissions of all world countries* (EUR 31182 EN). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/07904>

- English, S., Wilkinson, C., & Baker, V. (1997). *Survey manual for tropical marine resources* (2nd ed.). Australian Institute of Marine Science.
- Department of Marine and Coastal Resources. (2015). *Survey report and assessment of status and potential of marine and coastal resources: Corals and seagrass 2015*. Marine and Coastal Resources Research and Development Institute.
- Duarte, C. M., & Chiscano, C. L. (1999). Seagrass biomass and production: A reassessment. *Aquatic Botany*, 65(1–4), 159–174. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(99)00038-8)
- Duarte, C. M., Middelburg, J. J., & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005>
- Fortes, M. D. (1995). *Seagrasses of East Asia: Environmental and management perspectives* (RCU/EAS technical report series no. 6). United Nations Environment Programme (UNEP).
- Ganguly, D., Singh, G., Ramachandran, P., Selvam, A. P., Banerjee, K., & Ramachandran, R. (2017a). Seagrass metabolism and carbon dynamics in a tropical coastal embayment. *Ambio*, 46(6), 667–679. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0916-8>
- Ganguly, D., Singh, G., Purvaja, R., Bhatta, R., Paneer Selvam, A., Banerjee, K., & Ramesh, R. (2017b). Valuing the carbon sequestration regulation service by seagrass ecosystems of Palk Bay and Chilika, India. *Ocean & Coastal Management*, 159, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.11.009>
- Granata, T., Serra, T., Colomer, J., Casamitjana, X., Duarte, C. M., & Gacia, E. (2001). Flow and particle distributions in a nearshore seagrass meadow before and after a storm. *Marine Ecology Progress Series*, 218, 95–106. <http://dx.doi.org/10.3354/meps218095>
- Hemminga, M. A., & Duarte, C. M. (2000). *Seagrass Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hemminga, M. A., & Mateo, M. A. (1996). Stable carbon isotopes in seagrasses: Variability in ratios and use in ecological studies. *Marine Ecology Progress Series*, 140, 285–298. <https://doi.org/10.3354/meps140285>
- Hemminga, M., Slim, F., Kazungu, J., Ganssen, G., Nieuwenhuize, J., & Kruyt, N. (1994). Carbon outwelling from a mangrove forest with adjacent seagrass beds and coral reefs (Gazi Bay, Kenya). *Marine Ecology Progress Series*, 106, 291–301. <https://doi.org/10.3354/meps106291>
- Howard, J. L., Perez, A., Lopes, C. C., & Fourqurean, J. W. (2016). Fertilization changes seagrass community structure but not blue carbon storage: Results from a 30-year field experiment. *Estuaries and Coasts*, 39(5), 1422–1434. <https://doi.org/10.1007/s12237-016-0085-1>
- Kaiser, D., Unger, D., & Qiu, G. (2014). Particulate organic matter dynamics in coastal systems of the northern Beibu Gulf. *Continental Shelf Research*, 82, 99–118. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.04.006>
- Kakhai, N., Manthachitra, V., Chalermwat, K., & Sonchaeng, P. (2004). *Community structure of benthic macrofauna in seagrass habitat at Kung Krabaen Bay, Chanthaburi*. Burapha University.
- Kennedy, H., & Björk, M. (2009). Seagrasses. In D. d'A. Laffoley & G. Grimsditch (Eds.), *The management of natural coastal carbon sinks in coastal ecosystems: Investigating and realising the potential* (pp. 23–30). IUCN.
- Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Holmer, M., Marbà, N., & Middelburg, J. J. (2010). Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles*, 24, GB4026. <https://doi.org/10.1029/2010GB003848>

- Ketma, C., Mino, Y., Gunboa, V., & Buranapratheprat, A. (2022). Fluxes of organic carbon settled in the seagrass area at Khung Kraben Bay, Chanthaburi Province, Thailand. *Journal of Fisheries and Environment*, 46(3), 210–220.
- Lewmanomont, K., Deetae, S., & Srimanobhas, V. (1996). Seagrasses of Thailand. In J. Kuo, R. C. Philips, D. I. Walker, & H. Kirkman (Eds.), *Seagrass biology: Proceedings of an international workshop*. Faculty of Sciences, University of Western Australia.
- Macreadie, P. I., Hindell, J. S., Keough, M. J., Jenkins, G. P., & Connolly, R. M. (2010). Resource distribution influences positive edge effects in a seagrass fish. *Ecology*, 91(7), 2013–2021. <https://doi.org/10.1890/08-1890.1>
- Macreadie, P. I., Baird, M. E., Trevathan-Tackett, S. M., Larkum, A. W. D., & Ralph, P. J. (2014). Quantifying and modelling the carbon sequestration capacity of seagrass meadows – A critical assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 83(2), 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.038>
- Macreadie, P. I., Trevathan-Tackett, S. M., Skilbeck, C. G., Sanderman, J., Curlevski, N., Jacobsen, G., & Seymour, J. R. (2015). Losses and recovery of organic carbon from a seagrass ecosystem following disturbance. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1817), 20151537. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1537>
- McKenzie, L. J., Finkbeiner, M. A., & Kirkman, H. (2001). Methods for mapping seagrass distribution. In F. T. Short & R. G. Coles (Eds.), *Global seagrass research methods* (pp. 101–121). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-044450891-1/50006-2>
- Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>
- Morgan, M. D., & Kitting, C. L. (1984). Productivity and utilization of the seagrass *Halodule wrightii* and its attached epiphytes. *Limnology and Oceanography*, 29(5), 1066–1074. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.5.1066>
- Pearson, P., Palmer, M., & Martin, R. (2000). Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years. *Nature*, 406, 695–699. <https://doi.org/10.1038/35021000>
- Ricart, A. M., Dalmau, A., Pérez, M., & Romero, J. (2015). Effects of landscape configuration on the exchange of materials in seagrass ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 532, 89–100. <https://doi.org/10.3354/meps11384>
- Ruangson, C. (2007). *Study of water quality and sediment that is suitable for the abundance of seagrass in Thailand* [Thesis, Marine Science Department, Kasetsart University].
- Sathummanasphan, S. (2003). *Seagrass management*. Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University.
- Serrano, O., Alongi, D., Arias, A., Cherukuru, N., Connolly, R., Duarte, C. M., Esteban, A., Eyre, B., Ford, P., & Garcia, O. J. (2013). Carbon sequestration, stoichiometry, and storage potential of Australian coastal and marine ecosystems. In *Australian Marine Science Golden Jubilee Conference* (pp. 202). Australian Marine Science Association, Gold Coast, Australia.
- Sirimungkara, A., Laongmanee, W., Paibulkichakul, B., Yuvanatemiya, V., & Leadprathom, N. (2016). Seasonal effect on distribution of seagrass in coastal Rayong Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 1, 745–751.

- Strickland, J. D. H. (1965). Production of organic matter in the primary stages of the marine food chain. In J. P. Riley & G. Skirrow (Eds.), *Chemical oceanography* (pp. 477–610). Academic Press.
- Stankovic, M., Panyawai, J., Jansanit, K., Upanoi, T., & Prathep, A. (2017). Carbon content in different seagrass species in the Andaman Coast of Thailand. *Sains Malaysiana*, 46(9), 1441–1447. <https://doi.org/10.17576/jsm-2017-4609-12>
- Terrados, J., Duarte, C. M., Fortes, M. D., Borum, J., Agawin, N. S. R., Bach, Thampanya, U., Kamp-Nielsen, L., Kenworthy, W.J., Geertz-Hansen, O. & Vermaat, J. (1998). Changes in community structure and biomass of seagrass communities along gradients of siltation in SE Asia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46(5), 757–768. <https://doi.org/10.1006/ecss.1997.0304>
- Thimdee, W., G. Deen, C. Sangrungruang, J. Nishioka & K. Matsunaga. (2003). Sources and fate of organic matter in Khung krabaen bay (Thailand) as traced by $\delta^{13}\text{C}$ and C/N atomic ratios and C/N atomic ratios. *Wetlands*, 23, 729–738. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2003\)023\[0729:SAFOOM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2003)023[0729:SAFOOM]2.0.CO;2)
- Thorhaug, A., Poulos, H. M., López-Portillo, J., Ku, T. C. W., & Berlyn, G. P. (2017). Seagrass blue carbon dynamics in the Gulf of Mexico: Stocks, losses from anthropogenic disturbance, and gains through seagrass restoration. *Science of The Total Environment*, 626–636. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.189>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Emissions gap report 2022: The closing window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. United Nations Environment Programme.
- Valentine, J. F., & Heck, K. L. Jr. (1999). Seagrass herbivory: Evidence for the continued grazing of marine grasses. *Marine Ecology Progress Series*, 176, 291–302. <https://doi.org/10.3354/meps176291>
- Wahyudi, A. J., Rahmawati, S., Prayudha, B., Iskandar, M. R., & Arfianti, T. (2016). Vertical carbon flux of marine snow in *Enhalus acoroides*-dominated seagrass meadows. *Regional Studies in Marine Science*, 5, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.01.003>
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck Jr, K.L., Hughes, A.R. & Kendrick, G.A. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(30): 12377-12381. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>