รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
ฟลักซ์และแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลบริเวณ อ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี

Fluxes and sources of organic carbon in seagrass meadows at Khung Krabean Bay, Chanthaburi Province

อนุกูล บูรณประทีปรัตน์
วิชญา กันบัว
ชนัดดา เกตุมา

โครงการวิจัยประเภทเงินรายได้ส่วนงาน
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

สัญญาเลขที่ SC15/2562

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
ฟลักซ์และแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี
Fluxes and sources of organic carbon in seagrass meadows at Khung Krabean Bay, Chanthaburi Province

อนุกูล บูรณประทีปรัตน์
วิชญา กันบัว
ชนัดดา เกตุมา

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณโครงการวิจัยประเภทเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 เลขที่สัญญา SC15/2562

Acknowledgment

This work was financially supported by the Research Grant of the Faculty of Science, Burapha University (Grant no. SC15/2562)

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล บริเวณอ่าวคุ้งกระเบนจังหวัดจันทบุรี จากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ทั้งหมด 2 ครั้ง คือ ฤดูร้อนและฤดูฝน ผลการศึกษาพบว่า ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน มีค่าอยู่ระหว่าง 70.06 – 188.35 $mg/m^2/day$ โดยฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในบริเวณที่ไม่มีหญ้าทะเลปกคลุมมีปริมาณมากกว่าในบริเวณที่มีหญ้าทะเลปกคลุม และฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูร้อนมีปริมาณมากกว่าในฤดูฝน ในบริเวณที่ไม่มีหญ้าทะเลปกคลุม และบริเวณที่มีหญ้าทะเลปกคลุมน้อยกว่า 25% ส่วนในบริเวณที่มีหญ้าทะเลปกคลุม มากกว่า 75% ฟลักซ์ของสารอินทรีย์ในสองฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกัน จากการวิเคราะห์ค่าไอโทปเสถียรของคาร์บอนอินทรีย์ ($\delta^{13}C$) จากตัวอย่างตะกอนในตัวดักตะกอนในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน พบค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -24.43 ± 0.07 ‰ และ -20.13 ± 0.45 ‰ โดยพบว่าแหล่งของตะกอนที่พบมีที่มาจากเศษซากของไม้โกงกาง บ่อเลี้ยงกุ้ง เศษซากแพลงก์ตอน และหญ้าทะเล ที่มีความแตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา

Abstract

The study of organic carbon flux in seagrass meadows at Khung Krabean Bay, Chanthaburi Province has been conducted. The samples from sediment traps were collected in the area twice, during the summer and the rainy season. The results of the study found that the flux of organic carbon in the seagrass beds in Kung Krabean Bay ranged from 70.06 to 188.35 mg/m^2/day, with the flux in the non-seagrass-covered area greater than in the seagrass-covered area. The flux in summer was greater than that in the rainy season in areas without seagrass cover and seagrass cover areas less than 25%. The fluxes were similar between seasons in seagrass cover areas greater than 75%. The stable isotopes of organic carbon ($\delta^{13}C$) were also analyzed from the sediment samples. Mean values were found in the range of -24.43 ± 0.07 ‰ and -20.13 ± 0.45 ‰ suggesting that the sediment sources were from mangrove residues, shrimp ponds, plankton, and seagrass debris which were different in both space and time.

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและสรุปความเป็นมาของโครงการ	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1 ลักษณะทั่วไปของอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี	3
	2.2 แหล่งหญ้าทะเลที่พบในประเทศไทย	4
	2.3 ฟลักซ์ของคาร์บอนของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล	7
	2.3.1 การหมุนเวียนคาร์บอนในแนวหญ้าทะเล	8
	2.4 ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในแนวหญ้าทะเล	12
3	ระเบียบวิธีวิจัย	14
	3.1 พื้นที่ทำการศึกษา	14
	3.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล	15
	3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	19
4	ผลการศึกษา	20
	4.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ 8 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ และอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ	20
	4.2 การประเมินฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล	24
	4.3 แหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลด้วยการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน	28
5	วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย	31
บรรณานุกรม		36
ประวัติผู้วิจัย		49

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	พื้นที่ศึกษาภายในบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน	4
2-2	สัณฐานวิทยาของหญ้าทะเล	5
2-3	หญ้าทะเลที่พบในประเทศไทย	6
2-4	การสะสม และการกักเก็บคาร์บอนในแนวหญ้าทะเล	10
2-5	ฟลักซ์ของคาร์บอนในแหล่งหญ้าทะเล	11
3-1	พื้นที่ทำการศึกษาบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี	14
4-1	แผนที่สถานีเก็บตัวอย่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 % บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี	20
4-2	(a) การประเมินการปกคลุมแนวหญ้าทะเล (b) เครื่องมือดักจับตะกอนและ (c) ปริมาณตะกอนในแนวหญ้าทะเล	21
4-3	คุณสมบัติของน้ำระหว่างฤดูร้อน – ฤดูฝน ในแนวหญ้าทะเล 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %	22
4-4	ปริมาณสารแขวนลอยที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหญ้าทะเลระหว่างฤดูร้อน – ฤดูฝน ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %	23
4-5	ปริมาณอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำบริเวณแนวหญ้าทะเลระหว่างฤดูร้อน – ฤดูฝน ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %	24
4-6	ปริมาณฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยที่ตกลงในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %	26
4-7	ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %	28
4-8	(a) และ (b) ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %	30

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	การฝังตัวของคาร์บอน (Carbon burial) จากแหล่งคาร์บอนสีน้ำเงิน และคาร์บอนสีเขียว	8
3-1	พิกัดทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี	15
3-2	วิธีวิเคราะห์สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด อนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ และไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน	17
4-1	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน)	21
4-2	ปริมาณอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ (Particulate organic matter, POM) ระหว่างช่วงฤดูร้อน – ฤดูฝน	24
4-3	ปริมาณฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยที่อยู่น้ำที่ตกตะกอนที่ลงสู่แนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 % ในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน)	25
4-4	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 % ในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน)	27
4-5	ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 % ในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน)	29

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและสรุปความเป็นมาของโครงการ

สภาวะโลกร้อนจากปรากฏการเรือนกระจกเป็นภัยคุกคามที่เกิดขึ้นระบบนิเวศบนโลกในปัจจุบัน เกิดจากการปลดปล่อยแก๊ซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ต่าง ๆ โดยมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงที่สุด (Pearson et al., 2000) โดยพบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลก มีปริมาณมากถึง 403.3 พีพีเอ็ม ในปี 2559 ซึ่งเพิ่มขึ้นเกือบ 100 เท่า จากในช่วง 70 ปีที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม มีกระบวนการคาร์บอนซิงค์ (Carbon Sinks) ซึ่งเป็นการดูดซับคาร์บอนในบรรยากาศกลับเข้าสู่ระบบนิเวศ ที่สามารถช่วยให้สภาพภูมิอากาศอยู่ในภาวะสมดุลได้ ซึ่งในระบบนิเวศทางทะเลเรียกว่า แหล่งคาร์บอนสีน้ำเงิน (Blue carbon) เนื่องจากทะเลและมหาสมุทรมีพื้นที่มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมดของโลก โดยเฉพาะแหล่งที่อยู่อาศัยในทะเลที่ปกคลุมไปด้วยพืช ได้แก่ บริเวณแนวหญ้าทะเล ป่าพรุน้ำเค็ม และป่าชายเลน ที่สามารถสะสมคาร์บอนได้มากถึง 55 เปอร์เซ็นต์ ของคาร์บอนทั้งหมด ถือเป็นแหล่งที่มีการสะสมของคาร์บอนหนาแน่นที่สุดบนโลก (Duarte et al., 2005; Macreadie et al., 2014a) แม้ว่ามีพื้นที่น้อย แต่การจัดเก็บคาร์บอนมีปริมาณมากกว่าป่าบกถึง 35 เท่า (Macreadie et al., 2014a)

หญ้าทะเลจัดเป็นพืชดอกใบเลี้ยงเดี่ยว มีการปรับตัวให้ทนความเค็ม เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชายฝั่งทะเล (Waycott et al., 2009) เป็นผู้ผลิตขั้นต้นลำดับแรกๆ ที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศทางทะเล เป็นแหล่งอาหาร แหล่งวางไข่ แหล่งหลบซ่อนศัตรูของสัตว์น้ำ และเป็นหนึ่งในระบบนิเวศที่มีผลผลิตสูงที่สุดในโลก (Forster, 1995; Hemminga & Duarate, 2000; Morgan & Kitting, 1984; Terrados et al., 1998) นอกจากนี้หญ้าทะเลยังสามารถกักเก็บคาร์บอนไว้ในลำต้นส่วนเหนือดิน ใต้ดิน และสามารถสะสมคาร์บอนลงสู่ดินในแนวหญ้าทะเล รวมทั้งตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศเปลี่ยนคาร์บอนให้อยู่ในรูปอื่น ๆ กักเก็บในโครงสร้าง และถ่ายทอดไปยังดินตะกอน เกิดกระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรียสารอย่างช้า ๆ (Mineralization) และส่งผ่านไปยังผู้บริโภคชั้นอื่นในห่วงโซ่อาหาร (Macreadie et al., 2015; Mcleod et al., 2011; Serrano et al., 2013; Waycott et al., 2009)

อย่างไรก็ดี องค์ความรู้เกี่ยวกับการเก็บกักคาร์บอนโดยแนวหญ้าทะเลในประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด จึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่จะต้องทำการศึกษาในด้านนี้เพื่อสร้างความเข้าใจในความสำคัญของแนวหญ้าทะเลในการกักเก็บคาร์บอนในเชิงปริมาณ โดยงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่ความสามารถของแนวหญ้าทะเลในการดักจับตะกอนคาร์บอนอินทรีย์ที่มากับมวลน้ำ ด้วยการตรวจวัดฟลักซ์และแหล่งที่มาของตะกอนทที่ตกลงสู่ท้องน้ำในแนวหญ้าทะเลในพื้นที่บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณและแหล่งของคาร์บอน

อินทรีย์ที่ถูกพัดพามาตกทับถมในแนวหญ้าทะเล ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของการประเมินปริมาณคาร์บอนซิงค์ในทะเลบริเวณนี้ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล บริเวณอ่าวคุ้งกระเบนจังหวัดจันทบุรี บริเวณบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี
2. เพื่อศึกษาแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลจากตะกอนที่ตกในพื้นที่บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยในบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน ตำบลคลองขุด อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ทำการศึกษาแนวหญ้าทะเล 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และไม่มีหญ้าทะเล เก็บตัวอย่างในพื้นที่ทั้งหมด 2 ครั้ง คือ ฤดูร้อน กลางเดือนกุมภาพันธ์ - กลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่เปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 1 ครั้ง และฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคม อยู่ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 1 ครั้ง ใช้วิธีการสุ่มสำรวจในพื้นที่จากจุดพิกัดที่พบหญ้าทะเลด้วยการบันทึกในระบบการค้นหาตำแหน่ง (Global Positioning System; GPS)

เก็บข้อมูลเพื่อตรวจวัดฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลโดยการวางอุปกรณ์ดักจับตะกอนเพื่อวัดอัตราการตกตะกอน ทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในตัวอย่างตะกอนและคำนวณค่าฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกนำมาวิเคราะห์หาแหล่งที่มาของตะกอนอินทรีย์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าไอโซโทปเสถียร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

ทราบแหล่งที่มาของคาร์บอน ในรูปฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ ในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบนตามฤดูกาลในรอบปี รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการการอนุรักษ์และรักษาระบบนิเวศทางทะเล รวมทั้งด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น การฟื้นฟูระบบนิเวศหญ้าทะเลที่ถูกทำลาย การส่งเสริมการปลูกหญ้าทะเล และการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมต่อไปในอนาคต

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทั่วไปของอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี

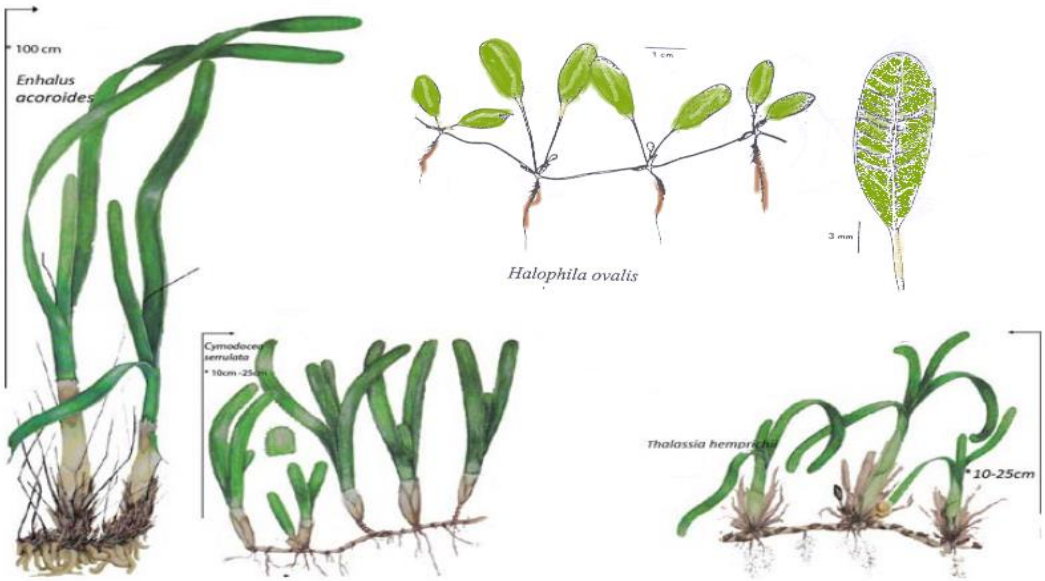
อ่าวคุ้งกระเบน ตั้งอยู่ที่ตำบลคลองขุด อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี เป็นจังหวัดที่มีอาณาเขตติดกับชายฝั่งทะเลตะวันออกอยู่ในพื้นที่อ่าวไทย เป็นบริเวณที่ได้รับการจัดให้เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับชาติ อ่าวคุ้งกระเบนเป็นอ่าวกึ่งปิดมีพื้นที่ภายในประมาณ 4,000 ไร่ มีรูปร่างคล้ายปลากระเบน (ภาพที่ 2-1) โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทรายปนโคลนทางด้านทิศเหนือจนถึงทิศตะวันออก และมีลักษณะเป็นโคลนปนทรายตั้งแต่ทิศตะวันออกเฉียงใต้จนถึงทิศใต้ของอ่าวคุ้งกระเบน ปากอ่าวเปิดออกสู่ทะเลทางตะวันตกที่ทางให้น้ำทะเลไหลเข้าออกหมุนเวียนเป็นช่องแคบเพียงทางเดียว มีความกว้างประมาณ 600 เมตร ทางเหนือมีเขาหินทรายอยู่บริเวณปากอ่าว เรียกว่า แหลมหินชัน ทางใต้ เรียกว่า เขาคุ้งกระเบน ระหว่างกลางมีสันทรายปิดกั้นน้ำไม่ให้เข้าออกได้อีกในระดับหนึ่ง ชายฝั่งมีป่าชายเลนขึ้นอยู่เป็นแนว หลังแนวป่าชายเลนเป็นบริเวณที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง ซึ่งเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ด้านหลังอ่าวทางตะวันออกมีภูเขาปิดกั้นเป็นแนวยาวระหว่างอ่าวคุ้งกระเบนและอ่าวนก มีคลองธรรมชาติ 7 คลองไหลลงอ่าว คือคลองหิน คลองตาอู คลองตาก๋วย คลองหมอสุข คลองสลุด คลองแปง และคลองปลาช่อน (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2542) ระดับความลึกของน้ำทะเลเฉลี่ยภายในอ่าวเท่ากับ 0.7 - 3 เมตร และบริเวณปากอ่าวมีระดับความลึกเฉลี่ย เท่ากับ 0.6 – 1.5 เมตร (Dean, 1992) พื้นที่โดยรอบอ่าวเป็นเขตเกษตรกรรม เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เช่น บ่อกุ้ง บ่อเลี้ยงปลาในกระชัง และหมู่บ้านชาวประมงตลอดแนวชายฝั่ง

นับตั้งแต่อดีตอ่าวคุ้งกระเบนแห่งนี้มีแหล่งระบบนิเวศวิทยาที่สำคัญ อันได้แก่ แนวป่าชายเลนขนาดใหญ่ และแนวหญ้าทะเลที่มีความอุดมสมบูรณ์ เป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน มีสัตว์น้ำหลากหลายชนิดอาศัยอยู่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558) บริเวณอ่าวคุ้งกระเบนมีหญ้าทะเล 1,245 ไร่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558) ถือเป็นแหล่งหญ้าทะเลที่มีความสมบูรณ์ พบเป็นแหล่งอาหาร ที่หลบภัย วางไข่ และที่อยู่อาศัยของสัตวน้ำ เช่น กุ้งดีดขัน หอยแครงนก ปูม้า ปูเสฉวน ปลาสลิดหิน หมึกกะตอย และม้าน้ำ เป็นต้น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561) รวมทั้งพะยูนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่กินหญ้าทะเลเป็นอาหาร (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2554) แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของพื้นที่ดังกล่าวเป็นอย่างยิ่ง

ภาพที่ 2-1 พื้นที่ศึกษาภายในบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน

2.2 แหล่งหญ้าทะเลที่พบในประเทศไทย

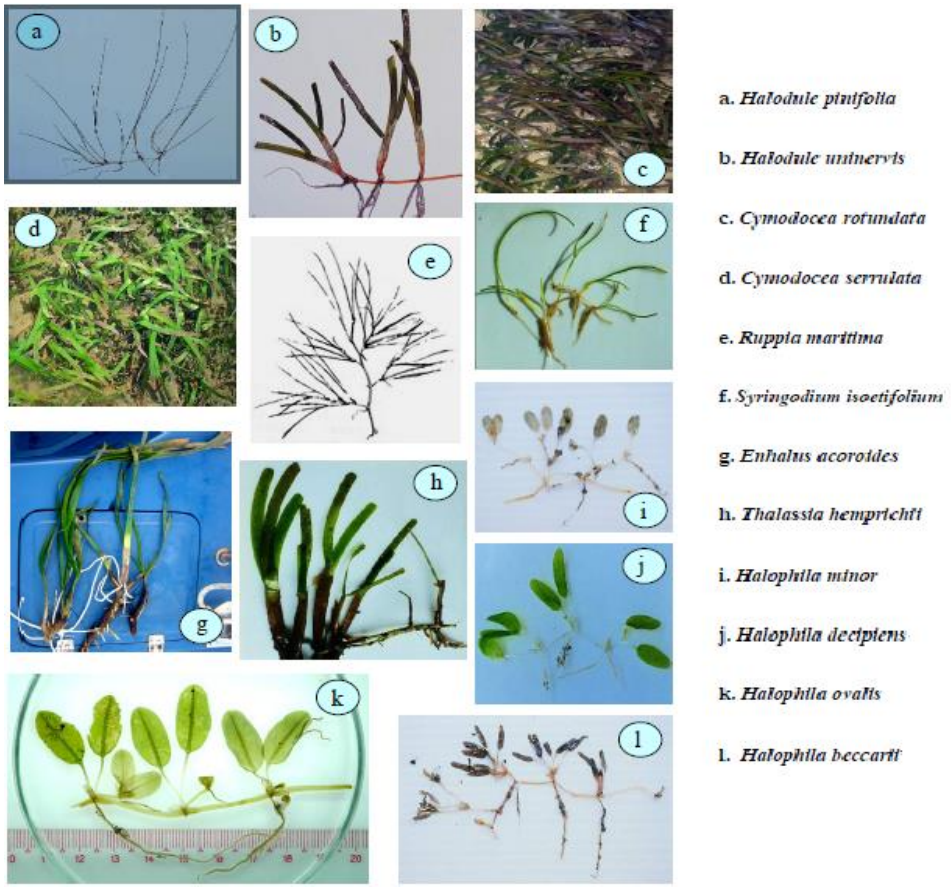
หญ้าทะเลเป็นพืชชั้นสูงจัดอยู่ในกลุ่มของพืชดอกใบเลี้ยงเดี่ยว ที่มีวิวัฒนาการพัฒนากลับลงไปสู่ทะเล โดยมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายหญ้าบกทั่วไป (den Hartog, 1970; Waycott et al., 2009) ส่วนใหญ่มีการเติบโตแบบยืนต้นมากกว่าแบบล้มลุก แต่ขึ้นอยู่กับความทนทานต่อการตากแห้งในอากาศขณะน้ำลง ความแตกต่างของการเจริญเติบโต และความชุกชุมตามฤดูกาล เนื่องจากการแข่งขันกับหญ้าทะเลชนิดอื่น (จิตติมา, 2538) โครงสร้างพื้นฐานคล้ายหญ้าบกทั่วไป ประกอบด้วยลำต้น (Shoot) ใบ (Leaf) ลำต้นใต้ดิน หรือ เหง้า (Rhizome) ดอก (Flower) และผล (Fruit) ที่แท้จริง (ภาพที่ 2-2) โดยหญ้าทะเลมีความสารมารถในการปรับตัวให้เจริญเติบโต และขยายพันธุ์ตามแนวชายฝั่งทะเลได้ดี (Kuo & McComb, 1989) พบประมาณ 0.2 % จากพืชในทะเลทั้งหมด (Duarte et al., 2005) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาระบบนิเวศวิทยาของหญ้าทะเลมีส่วนสำคัญอย่างมาก และเป็นผู้ผลิตขั้นต้นลำดับแรกๆ ของระบบนิเวศบริเวณชายฝั่งทะเล (Hillman et al., 1989; Vichkovitten, 1998)



ภาพที่ 2-2 สัณฐานวิทยาของหญ้าทะเล ดัดแปลงภาพจาก McKenzie (2008) และ Richmond (2002)

สำหรับในประเทศไทยพบหญ้าทะเลทั้งหมด 7 สกุล 13 ชนิด ใน 2 ครอบครัว (Green & Short, 2003; Lewmanomont et al., 1996; Tuntiprapas et al., 2015) (ภาพที่ 2-3) โดยมีการจัดลำดับอนุกรมวิธานตามระบบของ den Hartog (1970) ดังนี้

Division Anthophyta
Class Monocotyledoneae
Order Helobiae
Family Hydrocharitaceae
Genus Enhalus ได้แก่ *Enhalus acorides*
Genus Thalassia ได้แก่ *Thalassia hemprichii*
Genus Halophila ได้แก่ *Halophila ovalis*, *Halophila minor*
Halophila major, Halophila decipiens,
Halophila beccarii
Family Potamogetonaceae
Genus Halodule ได้แก่ *Halodule uninervis*,
Halodule pinifolia
Genus Cymodocea ได้แก่ *Cymodocea rotundata,*
Cymodocea serrulata
Genus Ruppia ได้แก่ *Ruppia maritima*
Genus Syringodium ได้แก่ *Syringodium isoetifolium*



ภาพที่ 2-3 หญ้าทะเลที่พบในประเทศไทย (ที่มา: ชัชรี แก้วสุรลิขิต, 2548)

ตลอดแนวชายฝั่งทะเลของไทยพบหญ้าทะเลแพร่กระจายครอบคลุมเนื้อที่ไม่ต่ำกว่า 167 ตารางกิโลเมตร อย่างไรก็ตามแนวหญ้าทะเลที่สำคัญในประเทศพบอยู่หลายแห่ง รวมถึงชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ได้แก่พื้นที่จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดตราด (Kaewsuralikhit, 2011& Supanwanid; Lewmanomont, 2003) พื้นทะเลเป็นโคลนปนทราย ผิวหน้าเป็นตะกอนทรายละเอียดผสมโคลนสีน้ำตาล ส่วนตะกอนด้านล่างเป็นโคลนปนเปลือกหอยละเอียด และเป็นอ่าวกึ่งปิดที่โอบล้อมด้วยชายฝั่งทะเล (กรมทรัพยากรธรณี, 2555) พบหญ้าทะเลทั้งหมด 5 สกุล 9 ชนิด โดยมี *E. acoroides*, *H. pinifolia*, *H. ovalis*, และ *H. decipiens* เป็นชนิดเด่น และ *T. hemprichii*, *C. rotundata*, *C. serrulata*, *H. uninervis* และ *H. beccarii* ตามลำดับ จากข้อมูลการสำรวจและติดตามการเปลี่ยนแปลงสถานภาพแหล่งหญ้าทะเลในประเทศไทยในปี 2555 มีรายงานพบเนื้อที่หญ้าทะเลบริเวณอ่าวไทยภาคตะวันออกประมาณ 11,958 ไร่ และปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ตามฤดูกาลค่อนข้างมาก ซึ่งในปี 2558 พบว่า แหล่งหญ้าทะเลในพื้นที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 25,574 ไร่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558)

แนวหญ้าทะเลในพื้นที่จังหวัดจันทบุรีทั้งหมดมีจำนวน 2,046.11 ไร่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561) ในพื้นที่อ่าวคุ้งกระเบน ตำบลคลองขุด อำเภอท่าใหม่ มีจำนวน 1,245 ไร่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558) พบหญ้าทะเลทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ *E. acoroides*, *H. pinifolia*, *H. uninervis*, *H. decipiens* และ *H. minor* ตามลำดับ (Aryuthaka et al., 1992; Tritep, 1998; จริยาวดี สุริยพันธุ์ และชนัดดา เกตุมา, 2560) และจากการติดตามสถานภาพแหล่งหญ้าทะเลตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2548 จนถึงปัจจุบัน พบว่า *E. acoroides* และ *H. pinifolia* เป็นหญ้าทะเลชนิดเด่นในอ่าวคุ้งกระเบน ซึ่งเป็นแนวหญ้าทะเลขนาดใหญ่ พบอยู่บริเวณตอนกลาง และตอนในของอ่าวคุ้งกระเบน (UNEP, 2547) อยู่ใกล้กับแนวชายฝั่งทะเลติดกับพื้นที่ป่าชายเลนรอบ ๆ อ่าว โดยในพื้นที่มีสถานภาพแนวหญ้าทะเลค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับสมบูรณ์ปานกลางถึงสมบูรณ์ดี (การปกคลุม > 50 %) (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2558) ทั้งนี้แหล่หญ้าทะเลในพื้นที่ มี 2 ลักษณะ คือ อยู่ในบริเวณน้ำท่วมขังตลอดเวลา และโผล่พ้นน้ำในช่วงน้ำลง สาเหตุที่มีผลกระทบปัญหาเสื่อมโทรมต่อหญ้าทะเลในพื้นที่ ได้แก่ การพัฒนาชุมชนชายฝั่ง ทำให้เกิดดินตะกอนลงสู่แหล่งหญ้าทะเล เช่น โรงแรม และรีสอร์ท น้ำเสียที่เกิดจากแหล่งชุมชน และอุตสาหกรรม ภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นตามฤดูกาล เช่น คลื่นมรสุม และอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น การทำประมงในแหล่งหญ้าทะเล เช่น คราดหอย การสร้างท่าเทียบเรือ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561) ซึ่งมีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่บริเวณชายฝั่งหลากหลายรูปแบบทั้งในด้านเกษตรกรรม การประมง และการท่องเที่ยว ตลอดจนการดำรงชีวิตของชุมชนตามแนวชายฝั่งทะเล ส่งผลต่อระบบนิเวศวิทยาในแหล่งหญ้าทะเล (Thorhang et al., 2017)

2.3 ฟลักซ์ของคาร์บอนของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล

ฟลักซ์ คือ การส่งผ่านของคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ โดยในหนึ่งหน่วยเวลาโดยการศึกษานี้ หมายถึง การส่งผ่านคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่งว่ามีค่าเท่าใด โดยผ่านพื้นที่หน้าตัดในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งค่าฟลักซ์จะสามารถบอกถึงปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำและตะกอนที่ถูกลำเลียงในหนึ่งหน่วยเวลาได้ (อนุกูล บูรณประทีปรัตน์ และ คณะ, 2556)

แหล่งของคาร์บอนที่มาจากพืชที่อยู่อาศัยอยู่ในมหาสมุทร (Ocean’s vegetated habitats) ภายในระบบนิเวศชายฝั่ง และระบบนิเวศทางทะเล หรือ มหาสมุทร คือ แหล่งคาร์บอนสีน้ำเงิน (McLeod et al., 2011) ได้แก่ ป่าพรุน้ำเค็ม ป่าชายเลน และแนวหญ้าทะเล มีพื้นที่รวมประมาณ 0.5 % ของพื้นที่มหาสมุทรทั้งหมด แม้พื้นที่ดังกล่าวมีอยู่น้อยแต่มีประสิทธิภาพในการดักจับ และกักเก็บคาร์บอนในธรรมชาติทั่วโลก (Fourqurean et al., 2012) โดยมีการสะสมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 50 % อาจสูงถึง 71 % หากรวมคาร์บอนที่สะสม และกักเก็บอยู่ในดินตะกอนของแนวหญ้าทะเล (Nellemann et al., 2009) และมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งสะสมไว้ในดินตะกอนกักเก็บภายในมวลชีวภาพ ได้แก่ ส่วนที่อยู่เหนือดิน (ใบ, ลำต้น, กิ่งก้าน) และส่วนที่อยู่ใต้ดิน (เหง้า, ราก) รวมถึงสิ่งไม่มีชีวิต (ซากของพืช หรือไม้ที่ตายลง) ซึ่งคาร์บอนที่อยู่ในมวลชีวภาพสามารถกักเก็บไว้ได้ในช่วงสั้น เป็นเวลาประมาณ 10 ปี แต่เมื่อสะสมอยู่ในดินตะกอนสามารถจัดเก็บคาร์บอนไว้ได้นาน

ประมาณ 1,000 ปี (Duarte et al., 2005) และขนาดของดินตะกอนมีผลต่อการสะสมคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป (Chmura et al., 2003) ยกตัวอย่างกรณีศึกษาแนวหญ้าทะเล *Posidonia oceanica* บริเวณปากอ่าวพอทลิแกท ในประเทศสเปน และป่าชายเลนที่มีต้นโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mangle*) บริเวณชายฝั่งทะเลแคริบเบียน ในประเทศเบลีซ มีการเพิ่มขึ้นของดินตะกอนมากกว่า 10 เมตร และมีอายุของดินตะกอนมากกว่า 6,000 ปี ที่มาจากการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ (McKee et al., 2007; Lo Iacono et al., 2008) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่แหล่งหญ้าทะเลสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ในระยะที่ยาวนานกว่าพื้นที่ป่าปก (Chambers et al., 2001) เมื่อเปรียบเทียบกับการฝังตัวของคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนจากป่าพรุน้ำเค็ม ป่าชายเลน และแนวหญ้าทะเล มีค่าการจัดเก็บคาร์บอนที่สูงกว่าดินในพื้นที่ป่าบก ได้แก่ ป่าไม้เขตร้อน ป่าไม่ผลัดใบ และป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น ดังตารางที่ 2-1 (Mcleod et al., 2011)

ตารางที่ 2-1 การฝังตัวของคาร์บอน (Carbon burial) จากแหล่งคาร์บอนสีน้ำเงิน และคาร์บอนสีเขียว

พื้นที่	พื้นที่ทั่วโลก (km^2)	อัตราการฝังตัวของคาร์บอน ($g\ C\ m^{-2}\ yr^{-1}$)	การฝังตัวของคาร์บอนทั่วโลก ($Tg\ C\ yr^{-1}$)
ป่าพรุน้ำเค็ม	200,000-400,000	57±6–218 ±24 (96 แห่ง)	11.4–87.0
ป่าชายเลน	137,760-152,361	226±39 (34 แห่ง)	31.-45.2
แนวหญ้าทะเล	177,000-600,000	138±38 (123 แห่ง)	24.4-82.8
ป่าไม้เขตร้อน	19,622,846	4.0±0.5	78.5
ป่าไม้ผลัดใบในเขตอบอุ่น	10,400,000	5.1±1.0	53.0
ป่าไม้ไม่ผลัดใบ	13,700,000	4.6±2.1	49.3

ที่มา: ดัดแปลงข้อมูลจาก Hopkinson et al. (2012) และ Mcleod et al. (2011)

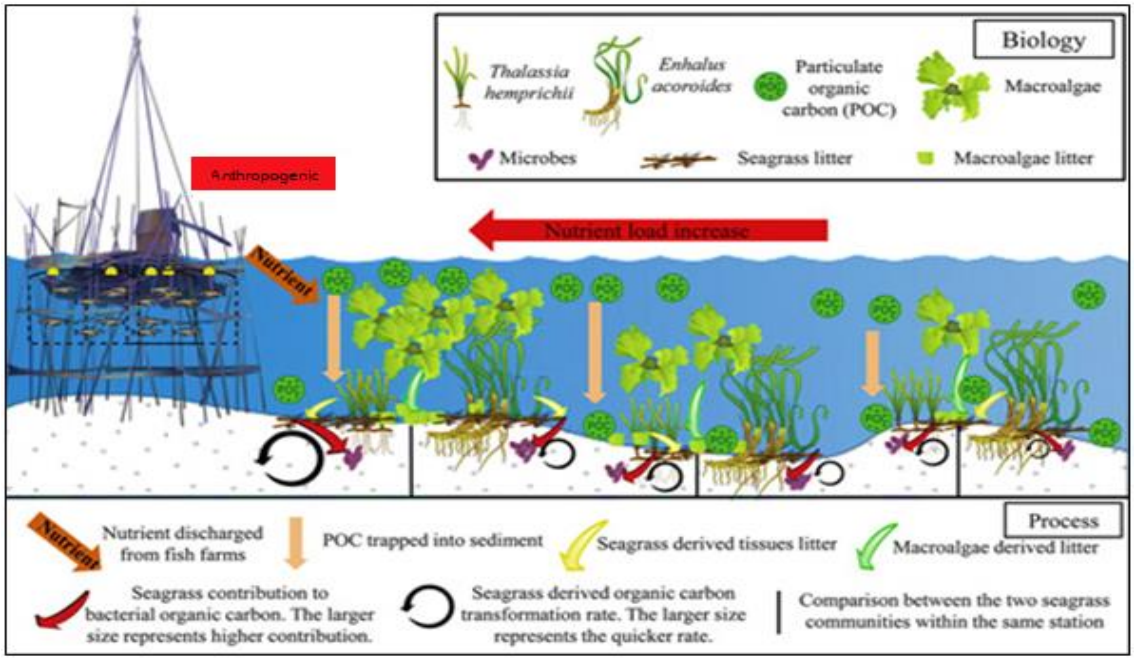
2.3.1 การหมุนเวียนคาร์บอนในแนวหญ้าทะเล

จากการศึกษาของ Duarte et al. (2005) ได้กล่าวถึงบทบาทสำคัญของพืชทะเลที่มีต่อวัฏจักรคาร์บอนในมหาสมุทรไว้ว่า สัดส่วนการฝังตัวของคาร์บอนจะถูกส่งต่อจากพื้นทะเลขึ้นสู่ผิวน้ำและส่งต่อจากผิวน้ำลงสู่เบื้องล่างของมหาสมุทร ซึ่งเป็นการศึกษาครั้งแรกเกี่ยวกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลที่มาจากพืชในพื้นที่ป่าชายเลน พื้นที่ชุ่มน้ำ และแนวหญ้าทะเล โดยการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ที่พบในดินตะกอนมีประมาณ 210 - 244 $Tg\ C\ y^{-1}$ มากกว่าค่างบประมาณคาร์บอน (carbon budget) ที่คาดการณ์ไว้ถึงสองเท่า (48.0 - 112 $Tg\ C\ y^{-1}$) (IPCC, 2001; Duarte et al., 2013) แต่ข้อมูลยังมีคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงอยู่มาก เนื่องจากมีการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนอินทรีย์ในพื้นที่ดังกล่าวอยู่เพียง 2% จากพื้นที่ชายฝั่งทะเลทั้งหมดทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่แนวหญ้าทะเล

หญ้าทะเลใช้พลังงานจากแสง และคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับพืชอื่น ๆ เพื่อสร้างอาหารและนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และซ่อมแซมส่วนที่เสื่อมสภาพ (Duarte & Cebrian, 1996) เนื่องจากหญ้าทะเลส่วนใหญ่เป็นพืช C_3 อาจมีบางชนิดที่เป็นพืช C_3-C_4 หรือมีกลไกในการเก็บเกี่ยวคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบอื่น (Touchette & Burkholder, 2000) ดังนั้นหญ้าทะเลซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เป็นพืชใต้น้ำ นำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้จากในน้ำมากกว่าในดิน โดยทั่วไปคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถในการแพร่ผ่านน้ำได้น้อยกว่าอากาศถึง 10,000 เท่า นอกจากนี้ปริมาณแสงที่ลดลงตามระดับความลึกยังมีผลต่อการสังเคราะห์แสง (ชัชรี แก้วสุรลิขิต, 2548) ดังนั้นหญ้าทะเลจึงต้องปรับตัวให้สามารถดึงคาร์บอนซึ่งอยู่ในรูปไบคาร์บอเนตไอออนเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับใช้ในการสังเคราะห์แสง (James & Larkum, 1996) แสดงตามปฏิกิริยาของการสังเคราะห์แสงดังสมการที่ 1

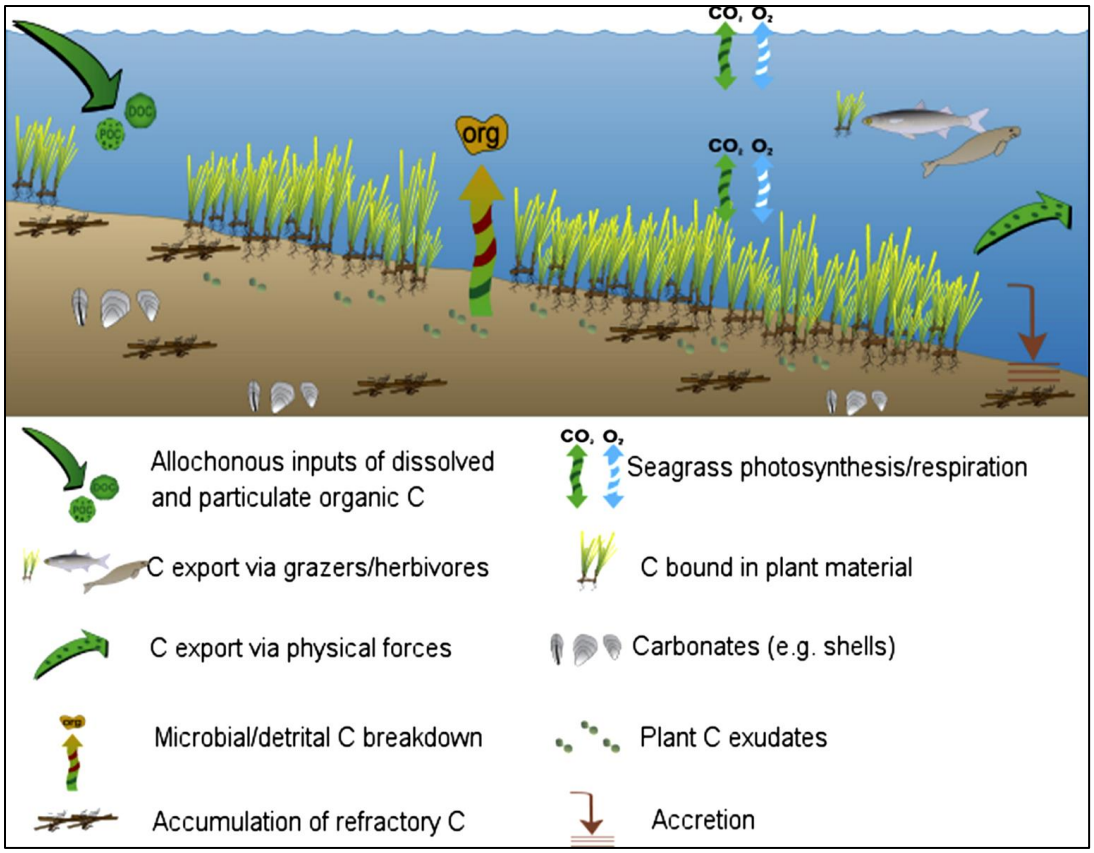
$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 \qquad (1)$$

ในการตรึงคาร์บอนของใบหญ้าทะเลมักมีมากเกินกว่าความต้องการของกระบวนการเผาผลาญอาหาร ส่วนเกินที่ได้จะอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต (Fourqurean et al., 2012) โดยรากทำหน้าที่ปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่ดินตะกอนบริเวณรอบรากระหว่างการสังเคราะห์แสง มีสัดส่วนประมาณ 5 - 17 % ที่สามารถปลดปล่อยออกสู่ดินตะกอนในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ ซึ่งถูกขับออกจากราก และเหง้า รวมทั้งเศษซากของหญ้าทะเลที่เปลี่ยนจากอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารอย่างช้าๆ (Mineralization) ทั้งนี้ดินที่เกาะอยู่บริเวณรอบราก และคาร์บอนอินทรีย์ในรูปของอนุภาคที่มีลักษณะเป็นชิ้นขนาดเล็ก (Particulate organic carbon, POC) มีส่วนสำคัญต่อการหมุนเวียนคาร์บอนภายในแนวหญ้าทะเล (Kaldy et al., 2006) ส่วนก้าน และใบของหญ้าทะเล สามารถดักจับและกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายในน้ำที่พัดพามาจากภายนอกแนวหญ้าทะเลได้ดี (ภาพที่ 2-4) (Mateo et al., 2006) แสดงให้เห็นว่าหญ้าทะเลมีบทบาทต่อการดูดซับ กักเก็บ และปลดปล่อยคาร์บอนในมหาสมุทร



ภาพที่ 2-4 การสะสม และการกักเก็บคาร์บอนในแนวหญ้าทะเล (Liu et al., 2017)

อย่างไรก็ตามการสะสมและการกักเก็บคาร์บอนมีระบบการทำงานที่เชื่อมโยงกันกับฟลักซ์ของคาร์บอนในแหล่งหญ้าทะเล (ภาพที่ 2-5) และจากการศึกษากำลังผลิตของหญ้าทะเล พบว่ามีคาร์บอนประมาณ 16 % ที่ถูกสะสมอยู่ในดินตะกอน นับรวมที่ทับถมอยู่เป็นระยะเวลายาวนาน แสดงให้เห็นถึงปริมาณสุทธิของคาร์บอนที่ฝังตัวสะสมอยู่ในระบบนิเวศ ดังนั้นคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินตะกอนอันเกิดจากหญ้าทะเลจึงมีค่าเท่ากับ 0.16×10^{15} g C yr^{-1} หรือ ประมาณ 15% ของคาร์บอนทั้งหมดที่สะสมอยู่ในระบบนิเวศทางทะเล (Duarte & Chiscano, 1999) ดังนั้นหญ้าทะเลจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของวัฏจักรคาร์บอนในทะเล อันมีส่วนเกี่ยวข้องกับปริมาณคาร์บอนที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ประโยชน์จากการไหลเวียนคาร์บอนที่พัดพา และนำออกภายในแหล่งหญ้าทะเล



ภาพที่ 2-5 ฟลักซ์ของคาร์บอนในแหล่งหญ้าทะเล (Macreadie et al., 2014)

นอกจากนี้แนวหญ้าทะเลถือเป็นแหล่งคาร์บอนซิงค์ (Carbon sinks) ที่มีความสำคัญอย่างมาก รวมทั้งมีประสิทธิภาพในการจัดเก็บคาร์บอนได้ในระยาวหลายพันปี (Macreadie et al., 2014) มีการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ประมาณ 83 g C m^{-2} yr^{-1} (Duarte et al., 2005) ประกอบด้วย 10-18 % ของการจัดเก็บคาร์บอนในมหาสมุทร และมีอัตราการฝังตัวของคาร์บอนทั้งโลกในแนวหญ้าทะเลประมาณ 27 - 44 Tg C yr^{-1} (Kennedy & Björk 2009) อย่างไรก็ตามการประเมินปริมาณคาร์บอนในแหล่งหญ้าทะเลมีความผันแปรสูง เนื่องจากชนิดของหญ้าทะเล สภาพแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลในรอบปี และอิพิไฟต์ (Macreadie et al., 2014) จากรายงานในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าหญ้าทะเล *P. oceanica* ในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน เป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการจัดเก็บคาร์บอนระยะยาว โดยมีอัตราการฝังตัวของคาร์บอนประมาณ 17 - 191 g C m^{-2} yr^{-1} ในชั้นดินที่เป็นอินทรีย์วัตถุ สามารถจัดเก็บได้นานหลายพันปี (Fourqurean et al., 2012) แม้ว่าข้อมูลเกี่ยวกับการสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลในแถบเมดิเตอร์เรเนียนมีระดับปานกลาง (Fourqurean et al., 2012; Lavery et al., 2013) แต่ข้อมูลเกี่ยวกับฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลเขตร้อนยังมีอยู่น้อยมาก (Cornell et al., 2018)

2.4 ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในแนวหญ้าทะเล

ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ $^{12}{}_{6}C$ และ $^{13}{}_{6}C$ เนื่องจากทั้งสองไอโซโทปมีโปรตอน 6 ตัวจึงมักเขียนว่า ^{12}C และ ^{13}C ซึ่ง ^{12}C มีจำนวน 6 นิวตรอน และ ^{13}C มีจำนวน 7 นิวตรอน (Hoefs, 2009) ไอโซโทปเสถียรแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ไอโซโทปหนัก (Heavy isotope) และไอโซโทปเบา (Light isotope) โดยสัดส่วนของไอโซโทปเสถียรสามารถวัดด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer (IRMS) เนื่องจากการวัดสัดส่วนความอุดมสมบูรณ์แท้จริงของไอโซโทปไม่สามารถวัดได้โดยตรงจากน้ำในธรรมชาติหรือสารประกอบอื่น ๆ แต่สามารถวัดจากความแตกต่างของอัตราส่วนของไอโซโทปเปรียบเทียบกับไอโซโทปซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์กับตัวอย่างอ้างอิง โดยรายงานแสดงด้วยค่าของเดลต้า (Delta) ใช้สัญลักษณ์ คือ δ และมีหน่วยเป็นส่วนในพัน ใช้สัญลักษณ์ คือ ‰ (Hoefs, 2009; Lajtha & Michener, 1994)

การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์บริเวณปากแม่น้ำ ป่าชายเลน และแหล่งหญ้าทะเล เนื่องมาจากผลของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าที่แม่นยำและถูกต้อง (Macreadie et al, 2014) โดยสารอินทรีย์แขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำ ที่เกิดการรวมกันของน้ำจืดและน้ำเค็ม พบว่า สัดส่วนไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนใกล้เคียงกับพืช C_3 และดินที่ได้รับสารอินทรีย์จากพืช C_3 แต่เมื่อสารอินทรีย์จมลงผ่านมวลน้ำเป็นดินตะกอนบริเวณชายฝั่งจะได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำ และทะเล พบว่าสัดส่วนไอโซโทปเสถียรอยู่ระหว่างสารอินทรีย์จากแผ่นดินและสารอินทรีย์ในทะเล ส่วนดินตะกอนในบริเวณที่ห่างจากชายฝั่งทะเล ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดน้อยลงแต่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้น (Themdee et al., 2004; Shulz & Zabel, 2006) ซึ่งค่า $\delta^{13}C$ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความแตกต่างของแหล่งที่มาจากทะเล หรือมีแหล่งที่มาจากบนบก นอกจากนี้ยังช่วยบ่งชี้ที่มาของเศษซากวัตถุที่ไหลมาตามกระแสน้ำ หรือในดินตะกอนที่มีการถับถมในพื้นที่ และที่มาของมลพิษในน้ำจากกิจกรรมของมนุษย์ (Minagawa & Wada, 1984)

การแยกส่วนคาร์บอนในหญ้าทะเล (พืช C_3, C_4) เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสง 2 กระบวนการ ได้แก่ 1) การแพร่กระจาย หรือ การละลาย เกิดจากการแพร่กระจายของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมี ^{13}C และ ^{12}C ซึ่งควบคุมความเข้มข้นระหว่างภายใน และภายนอกของใบหรือเซลล์ 2) ปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชั่นที่เกิดจากสารชนิดหนึ่งที่รวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการแยกส่วนโดยเอนไซม์ ribulose-1, 5- bisphosphate carboxylate (RUBISCO) (Farquhar et al., 1989, Hemminga & Mateo, 1996) δ ^{13}C ของหญ้าทะเลลดลงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับผู้ผลิตเบื้องต้นในทะเลอื่นๆ เช่น ป่าชายเลน แพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายที่มีขนาดใหญ่ (Lepoint et al., 2004) จากการศึกษาที่ผ่านมา ได้มีการรายงานว่าความแปรปรวนของ δ ^{13}C จากตัวอย่างหญ้าทะเล 216 ตัวอย่าง พบว่ามี δ ^{13}C อยู่ในช่วง -19.6 ‰ ถึง -4.8 ‰ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -10.3 ‰ และจากการศึกษาในหญ้าทะเล 20 ชนิด พบว่า δ ^{13}C ที่พบในดินตะกอนเท่ากับ -7.3 ‰ ถึง -26.4 ‰ แสดงให้เห็นว่าดินตะกอนนั้นมีค่า δ ^{13}C ที่เบากว่า δ ^{13}C ของหญ้าทะเลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการนำเข้าของคาร์บอนอินทรีย์ที่มาจากซากพืช (Allochthonous source) ในแนวหญ้าหญ้าทะเลมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง (Kennedy et al., 2010)

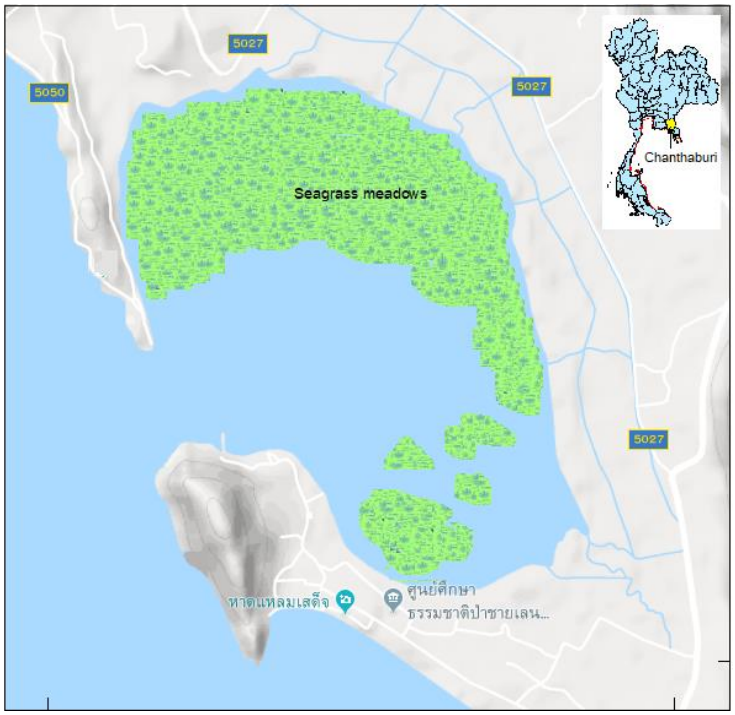
ในประเทศไทยมีการนำวิธีวิเคราะห์ด้วยไอโซโทปเสถียรในแหล่งหญ้าทะเลที่เกี่ยวกับที่มาของคาร์บอนอินทรีย์อยู่ไม่มาก แต่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาห่วงโซ่อาหาร และสายใยอาหาร ยกตัวอย่างเช่น อลงกต อินทรชาติ และคณะ (2559) นำการใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจน ในการศึกษาลาดับขั้นการถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวประดู่ จังหวัดระยอง โดยใช้ไอโซโทปเสถียรคาร์บอน ($\delta^{13}C$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) พบว่ากลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ประกอบด้วยแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน และสัตว์น้ำต่างๆ มีค่าเฉลี่ยปริมาณของ $\delta^{13}C$ อยู่ในช่วง -23.77+0.07 ‰ (ในปลาแป้นเขี้ยว) ถึง -19.67+0.73 ‰ (ในหอยแมลงภู่) และมีค่าเฉลี่ยปริมาณของ $\delta^{15}N$ 5.65 +0.17 ‰ (ในแพลงก์ตอนพืช) ซึ่งเป็นผู้ผลิต ถึง 22.25+0.16 ‰ (ในปูทะเล) ซึ่งเป็นผู้บริโภคอันดับสุดท้ายของการศึกษาในครั้งนี้ สามารถจัดกลุ่มของสิ่งมีชีวิตได้เป็น 2 ลักษณะ โดยแบ่งตามลักษณะของลาดับขั้นของห่วงโซ่อาหารมีทั้งหมด 4 กลุ่ม ประกอบด้วย ผู้ผลิต ผู้บริโภคอันดับหนึ่ง ผู้บริโภคอันดับสอง และผู้บริโภคอันดับสุดท้าย ส่วนการแบ่งตามลักษณะการกินอาหารมีทั้งหมด 4 กลุ่ม ประกอบด้วย พวกกินตะกอนอินทรีย์สาร พวกกินพืช พวกกินสัตว์ขนาดเล็ก และพวกผู้ล่า

Thimdee et al. (2003) ได้ศึกษาแหล่งที่มาและการเคลื่อนย้ายของอินทรีย์สารในอ่าวคุ้งกระเบนในประเทศไทย ด้วยการจำแนกตาม $\delta^{13}C$ และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เพื่อประเมินผลของน้ำทิ้งจากบ่อกุ้งต่อระบบนิเวศภายในอ่าว โดยมีการระบุแหล่งข้อมูลสำคัญ 5 แหล่ง (ป่าโกงกาง หญ้าทะเล สาหร่าย แพลงก์ตอนและอาหารกุ้ง) ที่มีส่วนทำให้อินทรียวัตถุลงสู่น้ำ และในดินตะกอน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่า $\delta^{13}C$ และ (C/N) ของใบโกงกาง ($\delta^{13}C$ มีค่า - 29 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 40 - 105), หญ้าทะเล ($\delta^{13}C$ มีค่า - 11 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 19) และสาหร่าย ($\delta^{13}C$ มีค่า - 16 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 18) ในขณะที่แพลงก์ตอน ($\delta^{13}C$ มีค่า - 21 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 5 - 6) และอาหารกุ้ง ($\delta^{13}C$ มีค่า - 23 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 7) มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าที่เป็นลบที่สุดของ $\delta^{13}C$ ที่มาจากอนุภาคของอินทรีย์วัตถุ (POM) และดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลน พบว่า โกงกางเป็นแหล่งที่มาหลักของอินทรีย์สารในบริเวณนี้ และระดับของ $\delta^{13}C$ ที่พบในคลอง มีอินทรีย์วัตถุส่วนใหญ่มาจากแหล่งโกงกางมากกว่าน้ำทิ้งจากกุ้ง แสดงให้เห็นว่าป่าโกงกางมีประสิทธิภาพในการดักจับสารอาหารที่มาจากน้ำทิ้งของบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยบริเวณด้านในของอ่าวคุ้งกระเบน จากผลของค่า $\delta^{13}C$ ระบุแหล่งที่มาของอนุภาคของอินทรีย์วัตถุที่เกิดจากการผสมกันของหญ้าทะเล สาหร่าย และแพลงก์ตอน ส่วนใหญ่มีที่มาจากหญ้าทะเล และสาหร่ายอย่างเห็นได้ชัดในการศึกษานี้ ส่วนแพลงก์ตอนกลับเป็นแหล่งที่มาสำคัญในอนุภาคของอินทรียวัตถุ และดินตะกอนที่มาจากนอกชายฝั่ง ดังนั้นผลของ $\delta^{13}C$ เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีในการระบุแหล่งที่มา และการเคลื่อนย้ายของอินทรีย์สาร

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 พื้นที่ทำการศึกษา

พื้นที่ในการสำรวจ ศึกษา และเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ดินตะกอน และน้ำ ในบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน ตำบลคลองขุด อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งตั้งทางภาคตะวันออกของประเทศไทย มีพิกัดระหว่างละติจูด 12° 33’ – 12° 36’ เหนือ และลองจิจูด 101° 52’ – 101° 54’ ตะวันออก (ภาพที่ 3-1 และตารางที่ 3-1) คลอบคลุมพื้นที่มีความยาว เท่ากับ 4.6 กิโลเมตร และความกว้าง เท่ากับ 2.6 กิโลเมตร เก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง คือ ฤดูร้อน กลางเดือนกุมภาพันธ์ - กลางเดือนพฤษภาคม (ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) 1 ครั้ง และฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคม (มรสุมตะวันตกเฉียงใต้) 1 ครั้ง



ภาพที่ 3-1 พื้นที่ทำการศึกษาบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี (ดัดแปลงข้อมูลแนวหญ้าทะเลจาก UNEP (2548) และกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2558, 2561), ดัดแปลงภาพจาก Google earth)

ตารางที่ 3-1 พิกัดทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี

Station	Latitude	Longitude	Remark*
1/1	101° 54' 15.94"	12° 35' 21.74"	US
1/2	101° 54' 12.91"	12° 35' 23.47"	US
1/3	101° 54' 12.55"	12° 35' 19.60"	US
2/1	101° 54' 07.40"	12° 35' 20.66"	DS
2/2	101° 54' 04.74"	12° 35' 18.08"	DS
2/3	101° 54' 03.54"	12° 35' 20.91"	DS
3/1	101° 53' 59.14"	12° 35' 09.48"	NS
3/2	101° 54' 01.49"	12° 35' 06.56"	NS
3/3	101° 53' 57.46"	12° 35' 06.41"	NS

* US: 0 % (Unavailable seagrass), DS : < 25 % (Degenerate seagrass), NS : > 75 % (Natural seagrass)

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล

วิธีการภาคสนาม

ตรวจวัดข้อมูลภาคสนามและเก็บตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 ครั้ง คือ ฤดูร้อน ระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ - กลางเดือนพฤษภาคม (ฤดูแล้ง ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) 1 ครั้ง และฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคม (ฤดูน้ำมาก ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) 1 ครั้ง เก็บตัวอย่างบริเวณเขตน้ำขึ้นน้ำลงที่มีน้ำทะเลอยู่ตลอดเวลา เพื่อตรวจวัดปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล ก่อนสุ่มวางเครื่องมือดักจับตะกอน ต้องทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ของแนวหญ้าทะเล 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 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% (Natural seagrass; NS) แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% (Degenerate seagrass; DS) และไม่มีหญ้าทะเลปกคลุม 0% (Unavailable seagrass; US)

การนำเครื่องมือดักจักตะกอนวางบริเวณแนวหญ้าทะเลที่ทำการศึกษา เครื่องมือประกอบด้วยขวดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร สูง 10.5 เซนติเมตร และแท่งเหล็กความยาว 100 เซนติเมตร สำหรับยึดขวดแก้วก่อนปักลงในแนวหญ้าทะเล สุ่มวางเครื่องมือตามการปกคลุมของแนวหญ้าทะเลทั้งหมด 3 แบบ (> 75% = NS, < 25% = DS และ 0% = US) แบบละ 5 ซ้ำ รวมทั้งหมด 15 ตัวอย่าง ทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน เพื่อนำมาใช้ประเมินการดักจับคาร์บอนที่ตกลงสู่พื้นที่ศึกษาต่อพื้นที่และ

เวลา (Ricart et al., 2015) ทั้งนี้พื้นที่ตัวอย่างแนวหญ้าทะเลต้องมีระยะห่างอย่างน้อย 100 เมตร เพื่อลดความคลาดเคลื่อนระหว่างพื้นที่ศึกษา เมื่อครบกำหนดเวลาทำการเก็บเครื่องมือ เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาสเซลเซียส นำตัวอย่างกลับสู่ห้องปฏิบัติการไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนรวม คาร์บอนอินทรีย์ คาร์บอนอนินทรีย์ อนุภาคของอินทรียวัตถุ และ ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ดังวิธีการในตารางที่ 3-2 โดยฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลใช้วิธีการคำนวณดัดแปลงตาม Wahyudi et al. (2016) ดังสมการที่ 2

$$\text{Daily C}_{flux}\ (\text{mg C m}^{-2}\ \text{day}^{-1}) = \frac{((OC / T) \times 24\ h)}{(I \times 10^{-4})} \qquad (2)$$

เมื่อ	Daily C_{flux}	=	ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในรอบวัน
	OC	=	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม
	T	=	ระยะเวลาการดักจับ
	I	=	พื้นที่ภายในของเครื่องมือดักจักตะกอน (cm^2)

เก็บตัวอย่างน้ำด้วยการสุ่มตามแนวหญ้าทะเล ทั้ง 3 แบบ (> 75% = NS, < 25% = DS และ 0% = US) เพื่อตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำพื้นฐาน ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม และความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) ด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำแบบหลายตัวแปร (Environmental Monitoring Systems: YSI 6920) และเก็บตัวอย่างน้ำเหนือพื้นทะเล 30 – 50 เซนติเมตร ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ จำนวน 3 ซ้ำ ด้วยกระบอกเก็บน้ำ จากนั้นบรรจุลงในขวดพลาสติกขุ่น ขนาด 1,500 มิลลิลิตร เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

วิธีการในห้องปฏิบัติการ

นำตัวอย่างฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ และน้ำที่เก็บจากพื้นที่ศึกษามากรองผ่านชุดกรอง (Filter set) ด้วยกระดาษกรอง GF/F ที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อไล่คาร์บอนที่อาจติดค้างในกระดาษกรองออก จากนั้นบันทึกน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนนำมากรองน้ำตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ตามวิธีการดังตารางที่ 3-2 ได้แก่ สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ (Total suspended solids, TSS) คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) และอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ (Particulate organic matter, POM) ตัวอย่างส่วนหนึ่งถูกนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาแช่กรดไฮโดรคลอริก 1 N เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดคาร์บอเนตออก นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ และนำกระดาษกรองตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมเล็กๆ บรรจุในฟอยด์ (Tin capsules) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer เพื่อวิเคราะห์หาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์คาร์บอนจากตะกอนแขวนลอยที่ตกทับถมในบริเวณแหล่งหญ้าทะเล (ตารางที่ 3-2)

ตารางที่ 3-2 วิธีวิเคราะห์สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด อนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ และไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	วิธีการวิเคราะห์
สารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (TSS)	TSS Analytical Methods (APHA, AWWA & WPCF, 1995)
คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)	HCl Fumigation ด้วยเครื่องมือ CHN/O elemental analyzer รุ่น Flash2000 ดัดแปลงวิธีตาม Allison (1960) และ USDA (1996)
อนุภาคสารอินทรีย์แขวนลอย (POM)	ดัดแปลงตาม Strickland (1965) และ Thimdee et al. (2003)
ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$)	Mass spectrometer ด้วยเครื่อง EA1110-Delta Plus ดัดแปลงวิธีตาม Peterson & Fry, (1987)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ (Total Suspended Solid ; TSS) ใช้วิธีการคำนวณดังสมการที่ 3

$$\text{TSS (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}} \quad (3)$$

เมื่อ A = น้ำหนักของกระดาษกรอง + สารแขวนลอยในน้ำ (กรัม)

B = น้ำหนักของกระดาษกรองเปล่า (กรัม)

การวิเคราะห์อนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ (Particulate organic matter, POM) ด้วยวิธีการเผา Ignition loss ดัดแปลงวิธีจาก Thimdee et al. (2003) และ Verardo et al. (1990) โดยการนำตัวอย่างฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ที่เก็บจากพื้นที่ศึกษา จากนั้นนำมากรองผ่านชุดกรอง (Filter set) ด้วยกระดาษกรอง GF/F ที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่คาร์บอนที่อาจติดค้างในกระดาษกรองออก แล้วนำไปพักในโถดูดความชื้นรอให้เย็นลง บันทึกน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนนำมากรองตัวอย่าง และชั่งน้ำหนักหลังจากกรอง ทำการจดบันทึก แล้วนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นชั่งน้ำหนักดินหลังเผาเพื่อคำนวณหาน้ำหนักที่หายไปจากการเผา ด้วยการคำนวณหาอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ ดังสมการที่ 4

$$\text{Particulate organic matter (mg/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \times 1{,}000 \quad (4)$$

การหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอนแขวนลอย ทำโดยการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนแขวนลอยที่ผ่านการกำจัดสารอนินทรีย์ด้วยกรด จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่อง CHN Analyzer เพื่อหาสัดส่วนคาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอน (เปอร์เซ็นต์) แล้วจึงคำนวณหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธีการดังสมการที่ 5

$$C_{org} = R_{org} \times W_{dry} \qquad (5)$$

เมื่อ C_{org} = ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (มิลลิกรัม)

R_{org} = สัดส่วนคาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอน (เปอร์เซ็นต์)

W_{dry} = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

การวิเคราะห์สัดส่วนไอโซโทปเสถียรใช้ตรวจวิเคราะห์เพื่อยืนยันแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่เป็นธาตุเบา ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน คือ $\delta^{13}C$ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ไอโซโทป Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS) และแสดงผลเป็นสัดส่วนสัมพันธ์เทียบกับค่ามาตรฐานสากล ด้วยการเขียนอยู่ในรูปเดลต้า (δ) และแสดงผลในหน่วยหนึ่งส่วนในพันส่วนของค่ามาตรฐาน

นำตัวอย่างที่อบแห้งแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล (HCl 1 N) เป็นเวลา 18 – 24 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ปั่นเหวี่ยงตัวอย่าง (3,000 รอบ ประมาณ 8 นาที) เพื่อแยกสารละลายออกจากตัวอย่าง แล้วนำของเหลวออกด้วยปิเปต จากนั้นนำแต่ละตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 20 มิลลิกรัม ใส่ลงในฟอยด์ขนาดเล็ก (Tin capsules) แล้วนำไปวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS) ใช้หลักการแยกและวิเคราะห์ไอโซโทปของธาตุที่อยู่ในรูปก๊าซโครมาโตกราฟ มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ 1) เปลี่ยนสารให้เป็นไอออนแตกเป็นประจุ (Ion source) 2) จำแนกไอออนตามอัตราส่วนของมวลต่อประจุ (Mass filter) 3) ตรวจจับไอออนที่ส่งผ่านและขยายสัญญาณ ซึ่งถูกตรวจนับจำนวนและรวบรวมผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมีสมการที่ 6 ดังนี้

$$\delta X(‰) = \frac{(R_{sample} - R_{standard})}{R_{standard}} \times 1{,}000 \quad \text{หรือ} \quad \frac{(R_{sample} - 1)}{R_{standard}} \times 1{,}000 \qquad (6)$$

เมื่อ X = ไอโซโทปเสถียร เช่น ^{13}C

R = สัดส่วนของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบา เช่น $^{13}C/^{12}C$

R_{sample} = สัดส่วนของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบาของตัวอย่าง

$R_{standard}$ = สัดส่วนของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบาของสารมาตรฐาน

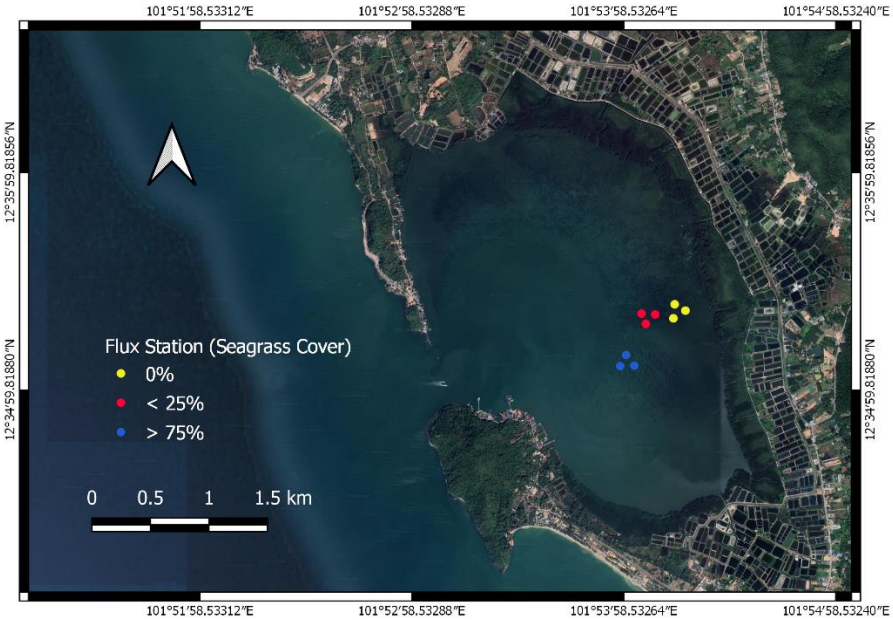
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรม MiniTab ทดสอบความแตกต่างกันทางสถิติของมวลชีวภาพ ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ปริมาณคาร์บอนในแนวหญ้าทะเลชนิดต่าง ๆ ปริมาณคาร์บอนในดินตะกอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา และฤดูกาล โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หากพบว่าข้อมูลดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Tukey's – test

ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล 3 แบบ ปริมาณอนุภาคของอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยในน้ำ (POM) และไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนบริเวณแนวหญ้าทะเลด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การดำเนินงานศึกษาวิจัยในครั้งนี้เก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ในปี พ.ศ. 2563 ได้แก่ ฤดูร้อน กลางเดือนกุมภาพันธ์ - กลางเดือนพฤษภาคม (ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) 1 ครั้ง และฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคม (มรสุมตะวันตกเฉียงใต้) 1 ครั้ง โดยสำรวจ ศึกษา และเก็บตัวอย่างหญ้าทะเล ดินตะกอน และน้ำ ในบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน ตำบลคลองขุด อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี (ภาพที่ 4-1)



ภาพที่ 4-1 แผนที่สถานีเก็บตัวอย่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี

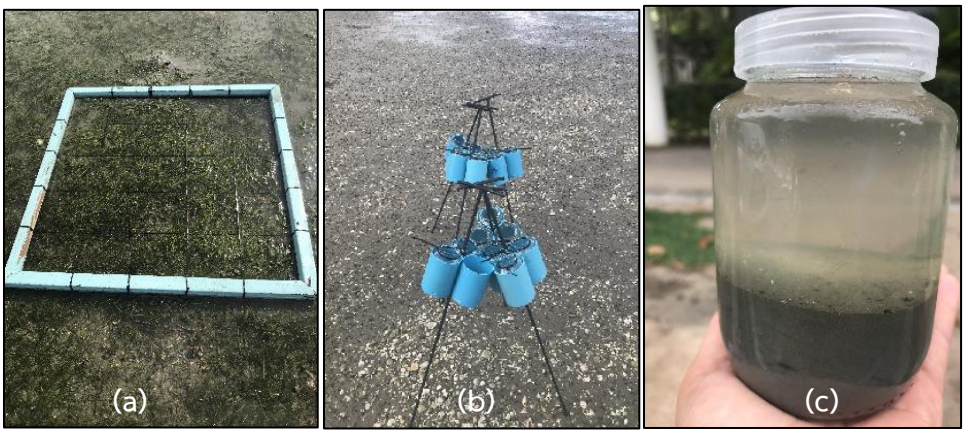
4.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ 8 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ และอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ

การดำเนินงานวิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างในพื้นที่อ่าวคุ้งกระเบน ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) และช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน) ระหว่างวันที่ 6 – 14 มีนาคม 2563 และวันที่ 8 – 17 มิถุนายน 2563 ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างและวางเครื่องมือดักจับตะกอนอยู่ในแนวหญ้าทะเล 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเล

ปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเลในพื้นที่อ่าวคุ้งกระเบน (ภาพที่ 4-2) จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 28.1 – 28.6 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.5 ± 0.26 องศาเซลเซียส ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 4.3 – 5.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.17 ± 0.62 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเค็มอยู่ในช่วง 32.1 – 32.4 พีพีที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.23 ± 0.12 พีพีที ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) อยู่ในช่วง 7.53 – 8.17 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.95 ± 0.29 และค่าความโปร่งแสงอยู่ในช่วง 100 – 125 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 108.33 ± 11.79 เซนติเมตร (ตารางที่ 4-1)

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน)

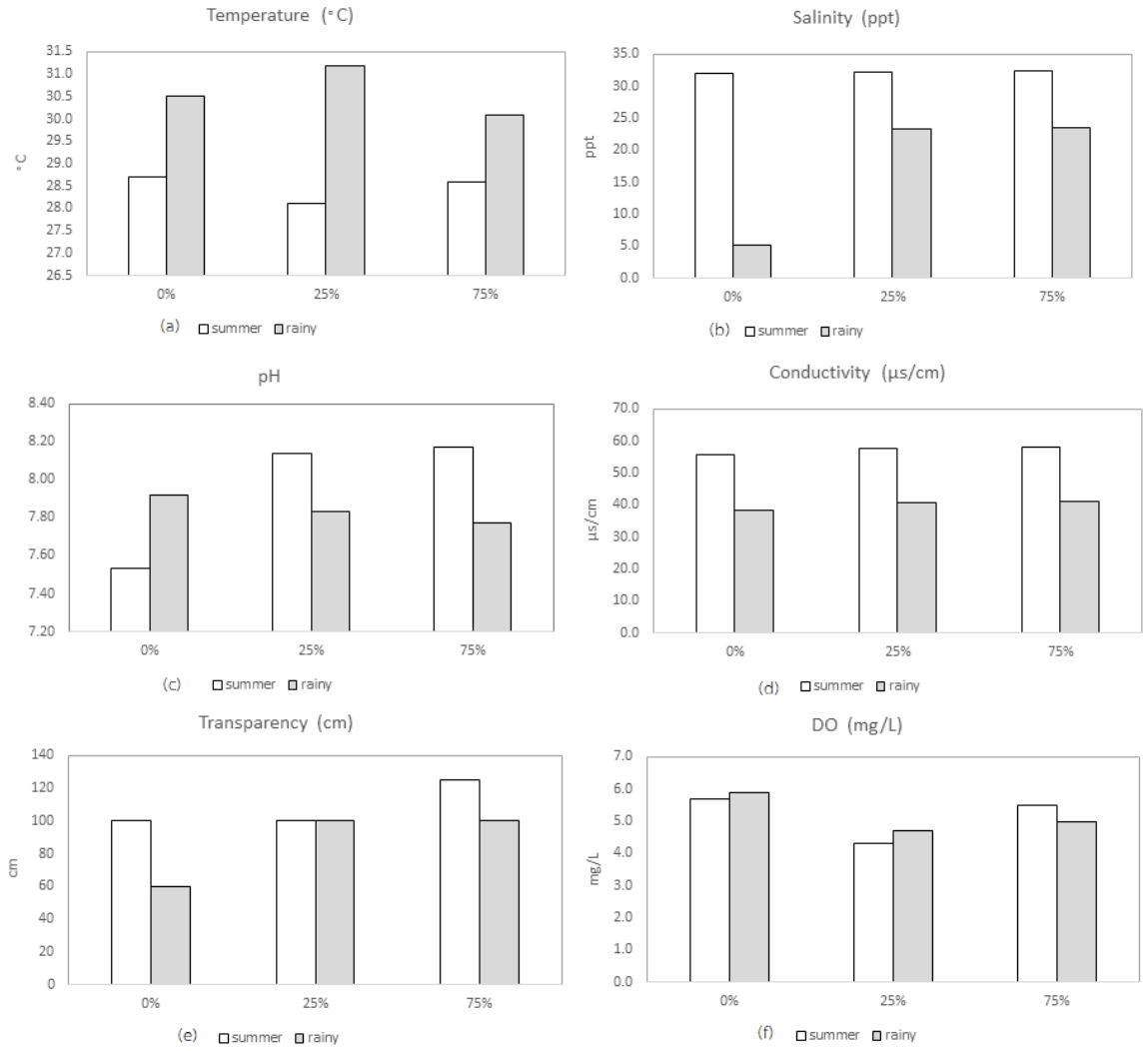
	Summer			Rain		
Parameter	> 75 %	< 25%	0%	75%	25%	0%
Temperature (°C)	28.6	28.1	28.7	30.1	31.2	30.5
Salinity (ppt)	32.4	32.2	32.1	23.6	23.3	5.1
pH	8.17	8.14	7.53	7.77	7.83	7.92
DO (mg/L)	5.5	4.3	5.7	5	4.7	5.9
Conductivity (μS/cm)	53.0	52.2	53.1	41.2	40.6	38.5
Transparency (cm)	125	100	100	100	100	60



ภาพที่ 4-2 (a) การประเมินการปกคลุมแนวหญ้าทะเล (b) เครื่องมือดักจับตะกอนและ (c) ปริมาณตะกอนในแนวหญ้าทะเล

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน พบว่า อุณหภูมิ ความเค็ม ความโปร่งแสง และค่าการนำไฟฟ้ามีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) รวมทั้งมีความ

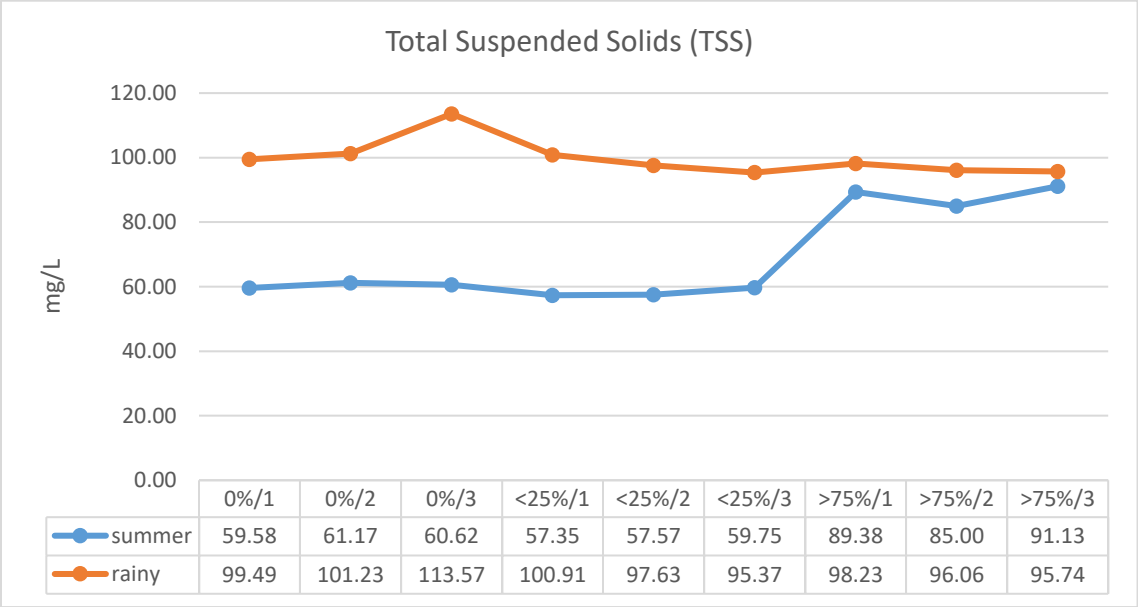
แตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเลส่วนค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) นั้นไม่พบความแตกต่างกันในแนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กันทั้ง 3 แบบ ($p > 0.05$) ดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 คุณสมบัติของน้ำระหว่างฤดูร้อน – ฤดูฝน ในแนวหญ้าทะเล 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %

เมื่อวิเคราะห์สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ในช่วงฤดูร้อน – ฤดูฝน ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.50 ± 3.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 96.68 ±

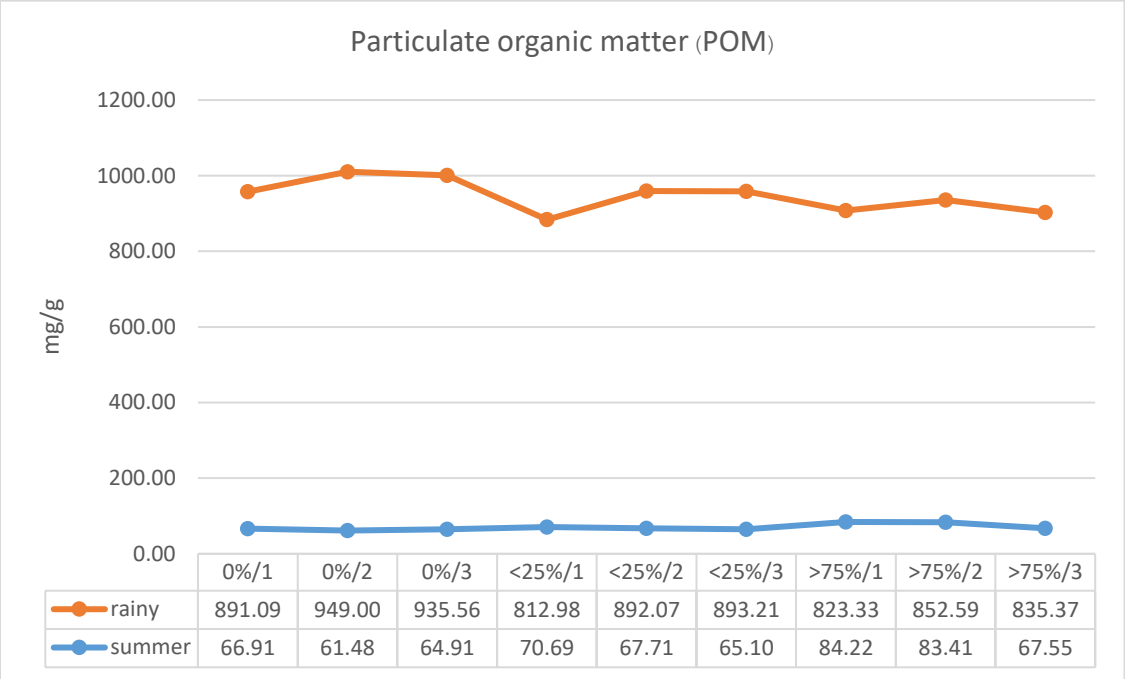
1.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.22 ± 1.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 97.97 ± 2.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และไม่มีหญ้าทะเลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.46 ± 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 104.76 ± 7.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากการหาค่าความสัมพันธ์ พบว่า ตะกอนของสารแขวนลอยที่ตกลงในเครื่องมือดักจับตะกอนในแนวหญ้าทะเลไม่สัมพันธ์กันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) แต่ในพื้นที่แนวหญ้าทะเลการปกคลุม > 75 % ในช่วงฤดูร้อน – ฤดูฝน มีความสัมพันธ์กัน ส่วนแนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเลไม่สัมพันธ์กันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 ปริมาณสารแขวนลอยที่ละลายในน้ำบริเวณแนวหญ้าทะเลระหว่างฤดูร้อน–ฤดูฝน ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %

การวิเคราะห์อนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ (Particulate organic matter, POM) ที่ได้จากเครื่องมือดักจับตะกอนที่พบในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ในช่วงฤดูร้อน ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 79.55 ± 15.54 มิลลิกรัมต่อกรัม แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 67.73 ± 7.05 มิลลิกรัมต่อกรัม และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 64.37 ± 6.40 มิลลิกรัมต่อกรัม และในช่วงฤดูฝน ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 838.20 ± 16.80 มิลลิกรัมต่อกรัม แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 864.11 ± 34.22 มิลลิกรัมต่อกรัม และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 926.02 ± 26.40 มิลลิกรัมต่อกรัม จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูร้อน และฤดูฝน ($p < 0.05$) แต่ไม่

แตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ โดยมีค่าปริมาณอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ ดังภาพที่ 4-5 และตารางที่ 4-2



ภาพที่ 4-5 ปริมาณอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำบริเวณแนวหญ้าทะเลระหว่างฤดูร้อน – ฤดูฝน ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %

ตารางที่ 4-2 ปริมาณอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ (Particulate organic matter, POM) ระหว่างช่วงฤดูร้อน – ฤดูฝน

Sample	Seagrass > 75 %	Seagrass > 25 %	Seagrass 0 %
POM in summer (mg/g)	79.55 ± 15.54	67.73 ± 7.05	64.37 ± 6.40
POM in rain (mg/g)	838.20 ± 16.80	864.11 ± 34.22	926.02 ± 26.40

4.2 การประเมินฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล

การดักจับตะกอนคาร์บอนอินทรีย์ที่มากับมวลน้ำ ด้วยการตรวจวัดฟลักซ์และแหล่งที่มาของตะกอนที่ตกลงสู่ท้องน้ำในแนวหญ้าทะเลช่วงฤดูร้อน กลางเดือนกุมภาพันธ์ - กลางเดือนพฤษภาคม 1

ครั้ง และฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคม 1 ครั้ง ในพื้นที่บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี มีผลการศึกษาดังนี้

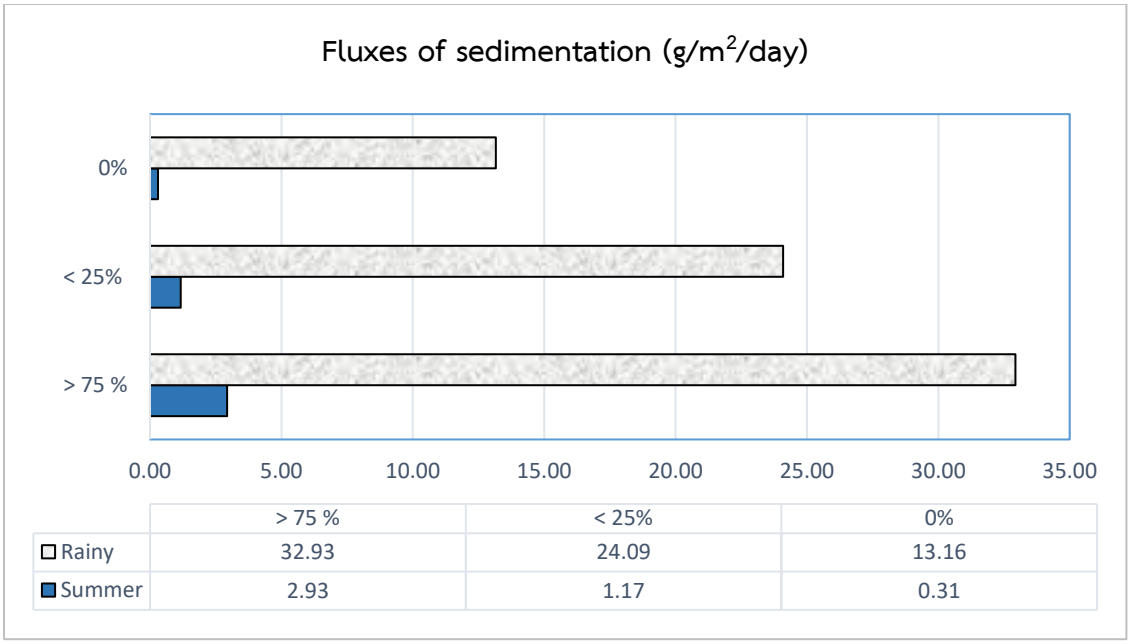
ปริมาณฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยในแนวหญ้าทะเล

จากการศึกษาปริมาณฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยที่ตกลงสู่แนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ในช่วงฤดูร้อน ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 2.93 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.17 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และในช่วงฤดูฝน ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 32.93 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 24.09 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 13.16 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ระหว่างช่วงฤดูร้อน และฤดูฝนมีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) โดยในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณฟลักซ์ของดินตะกอนที่ตกลงสู่แนวหญ้าทะเลน้อยกว่าช่วงฤดูฝนในทุกกลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งมีความแตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล (ตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-6) และปริมาณฟลักซ์ที่ตกลงสู่แนวหญ้าทะเลมากที่สุด คือ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % และน้อยที่สุด คือ ไม่มีหญ้าทะเลปกคลุม 0 %

ตารางที่ 4-3 ปริมาณฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยที่อยู่น้ำที่ตกตะกอนที่ลงสู่แนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเลในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน)

Season	Sample	Sedimentation in 7 days (g wet weight)	Fluxes of sedimentation ($g/m^2/day$)
Summer	> 75%	53.74 ± 5.45	2.93
	< 25%	21.51 ± 3.52	1.17
	0%	5.67 ± 1.13	0.31
Rain	> 75 %	603.25 ± 16.80	32.93
	< 25%	441.31 ± 7.75	24.09
	0%	241.06 ± 18.80	13.16



ภาพที่ 4-6 ปริมาณฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยที่ตกลงในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล 0 %

ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล

จากผลการศึกษาคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ที่ตกลงสู่แนวหญ้าทะเลในช่วงฤดูร้อน พบว่า แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีปริมาณเฉลี่ยคาร์บอนอินทรีย์เท่ากับ 3.45 ± 0.11 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 2.44 ± 0.03 % และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.28 ± 0.14 % และในช่วงฤดูฝน พบว่า แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 1.40 ± 0.12 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.99 ± 0.49 % และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.31 ± 0.07 % เมื่อทำการศึกษาปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ พบว่า ในช่วงฤดูร้อน ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีค่าเท่ากับ 70.06 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 133.21 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 188.35 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และในช่วงฤดูฝน ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 71.70 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 53.87 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 76.62 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

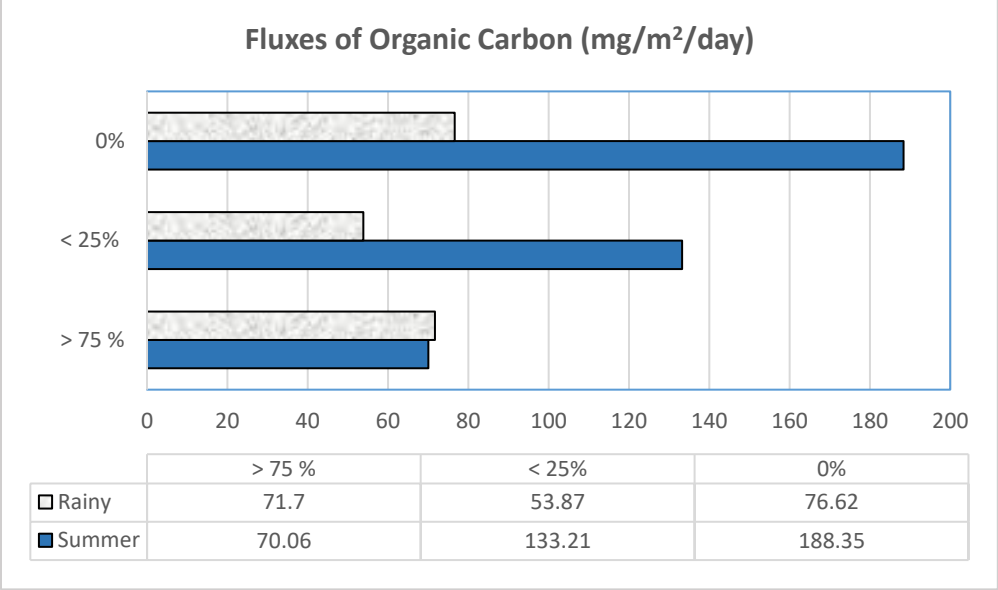
ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลระหว่างช่วงฤดูร้อน และฤดูฝนมีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) ยกเว้นบริเวณที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล โดยในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณฟลักซ์คาร์บอนอินทรีย์ที่ตกลงสู่แนวหญ้าทะเลมากกว่าช่วงฤดูฝนในทุกกลุ่มตัวอย่าง ยกเว้นในช่วงฤดูร้อนที่แนวหญ้า

ทะเลปกคลุม > 75 % ที่มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับฤดูฝน รวมทั้งมีความแตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล (ตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-7) และปริมาณฟลักซ์ที่ตกลงสู่แนวหญ้าทะเลมากที่สุด คือ ในฤดูร้อนที่ไม่มีหญ้าทะเลและน้อยที่สุด คือ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 25 %

ตารางที่ 4-4 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเลในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน)

Season	Sample	organic C conc. %	Fluxes of Organic C ($mg/m^2/day$)
Summer	> 75 %	1.28 ± 0.14	70.06^{c}
	< 25%	2.44 ± 0.03	133.21^{ab}
	0%	3.45 ± 0.11	188.35^{a}
Rain	> 75 %	1.31 ± 0.07	71.70^{c}
	< 25%	0.99 ± 0.49	53.87^{c}
	0%	1.40 ± 0.12	76.62^{bc}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย+ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4-7 ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และไม่มีหญ้าทะเล

4.3 แหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลด้วยการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน

ในการศึกษาแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล ได้ทำการเก็บตัวอย่างในพื้นที่อ่าวคุ้งกระเบน ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) และช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน) ระหว่างวันที่ 6 – 14 มีนาคม 2563 และวันที่ 8 – 17 มิถุนายน 2563 ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างและวางเครื่องมือดักจับตะกอนเก็บตัวอย่างของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล เพื่อนำมาวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ให้อยู่ในแนวหญ้าทะเล 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และไม่มีหญ้าทะเล

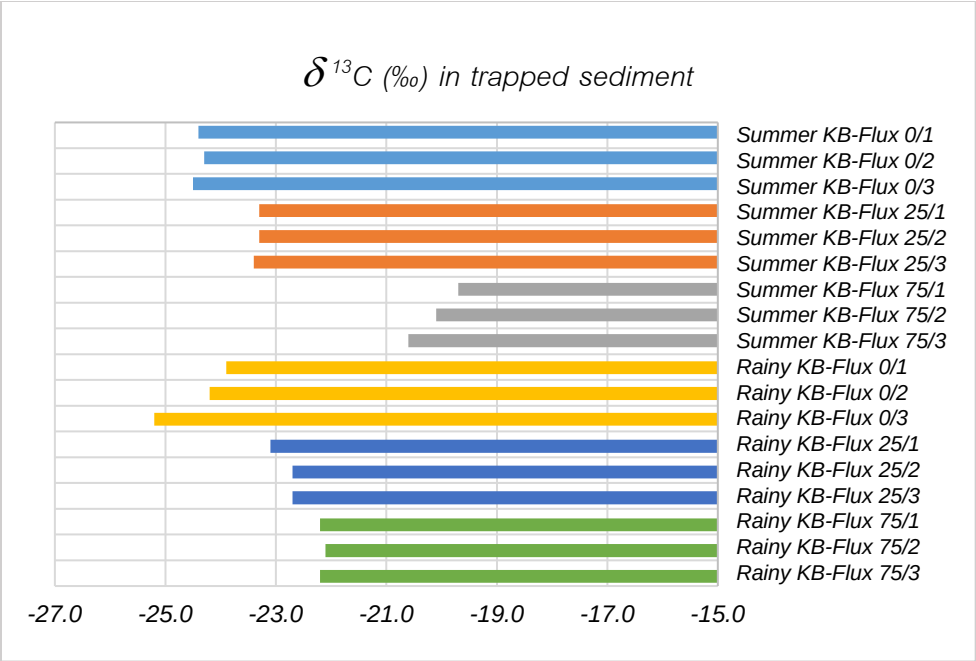
ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ในฟลักซ์ของดินตะกอนที่อยู่ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยจากการศึกษาปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) พบว่าแนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% มีปริมาณเฉลี่ยคาร์บอนอินทรีย์เท่ากับ -20.13 ± 0.33 ‰ แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ -23.33 ± 0.05 ‰ และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ -24.40 ± 0.07 ‰ ทั้งนี้ในพื้นที่ไม่แนวหญ้าทะเลยังมีปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ที่แตกต่างจากสถานีอื่นๆ เท่ากับ -19.7 ‰ และในช่วงฤดูฝนพบว่าแนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ -22.17 ± 0.02 ‰ แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ -22.83 ± 0.09 ‰ และไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ -24.43 ± 0.07 ‰ ทุกสถานีอยู่ในช่วง -25.2 ถึง -19.7 ‰ โดยในบริเวณพื้นที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล มีปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับแนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และในแนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% ที่ไม่แตกต่างกันระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน แต่มีความแตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทั้ง 3 แบบ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 4-5 และภาพที่ 4-8 ทั้งนี้ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) มีปริมาณต่ำสุดช่วงฤดูร้อนในบริเวณที่ไม่มีหญ้าทะเลและมีปริมาณสูงสุดช่วงฤดูฝนในแนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75%

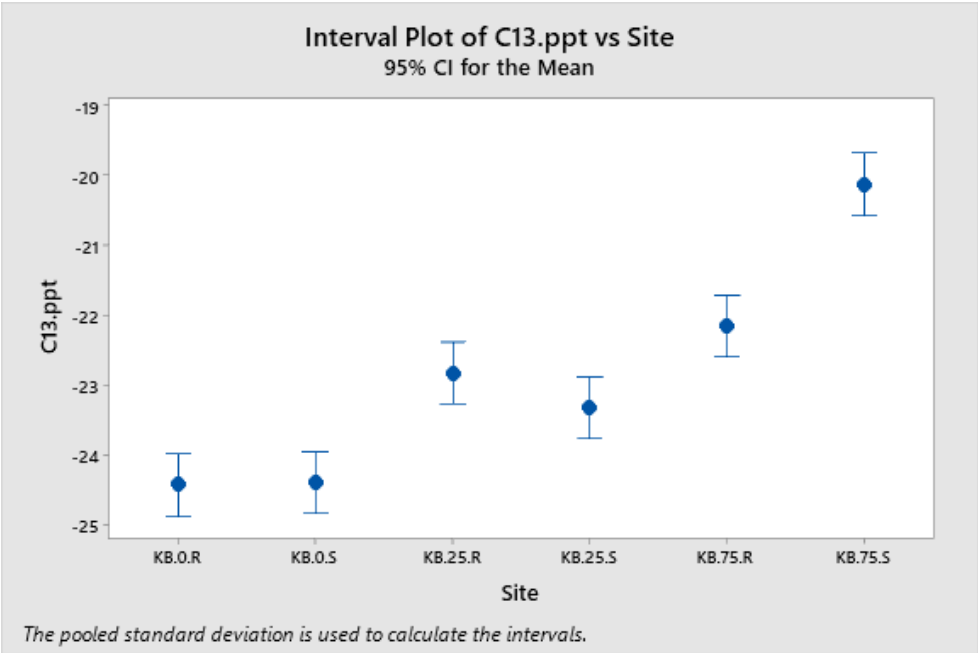
ตารางที่ 4-5 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และไม่มีหญ้าทะเล ในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน)

Season	Sample	Stable Isotope C ($\delta^{13}C$, ‰)	Average of Stable Isotope C (‰)
		-24.4	
	> 75%	-24.3	-20.13 ± 0.45[a]
		-24.5	
		-23.3	
Summer	< 25%	-23.3	-23.33 ± 0.06[c]
		-23.4	
		-19.7*	
	0%	-20.1	-24.40 ± 0.10[d]
		-20.6	
		-23.9	
	> 75 %	-24.2	-22.17 ± 0.06[b]
		-25.2	
		-23.1	
Rainy	< 25%	-22.7	-22.83 ± 0.23[bc]
		-22.7	
		-22.2	
	0%	-22.1	-24.43 ± 0.07[d]
		-22.2	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย+ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



(a)



(b)

ภาพที่ 4-8 (a) และ (b) ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และไม่มีหญ้าทะเล

บทที่ 5
วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

4.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ 8 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าการนำไฟฟ้า ความเค็ม ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) สารแขวนลอยที่ละลายในน้ำ และอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ

คุณภาพน้ำในแหล่งหญ้าทะเลในพื้นที่อ่าวคุ้งกระเบน เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างช่วงฤดูร้อน และฤดูฝน พบว่า อุณหภูมิ ความเค็ม ความโปร่งแสง และค่าการนำไฟฟ้ามีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) รวมทั้งมีความแตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเล ส่วนค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) นั้นไม่พบความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในแนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กันทั้ง 3 แบบ ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเบื้องต้น พบว่า อุณหภูมิอยู่ในช่วง 28.1 – 28.6 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.5 ± 0.26 องศาเซลเซียส ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 4.3 – 5.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.17 ± 0.62 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเค็มอยู่ในช่วง 32.1 – 32.4 พีพีที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.23 ± 0.12 พีพีที ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) อยู่ในช่วง 7.53 – 8.17 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.95 ± 0.29 และค่าความโปร่งแสงอยู่ในช่วง 100 – 125 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 108.33 ± 11.79 เซนติเมตร ปริมาณตะกอนของสารแขวนลอยที่ตกลงในเครื่องมือดักจับตะกอนในแนวหญ้าทะเลในช่วงฤดูร้อน – ฤดูฝน ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีค่าเฉี่ยเท่ากับ 88.50 ± 3.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 96.68 ± 1.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % มีค่าเฉี่ยเท่ากับ 58.22 ± 1.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 97.97 ± 2.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และไม่มีหญ้าทะเลมีค่าเฉี่ยเท่ากับ 60.46 ± 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 104.76 ± 7.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับไม่สัมพันธ์กันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) แต่ในพื้นที่แนวหญ้าทะเลการปกคลุม > 75 % ในช่วงฤดูร้อน – ฤดูฝน มีความสัมพันธ์กัน ส่วนแนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25 % และไม่มีหญ้าทะเลไม่สัมพันธ์กันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณอนุภาคของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ (Particulate organic matter, POM) พบว่า มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูร้อน และฤดูฝน ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ โดยมีปริมาณสูงสุดในช่วงฤดูฝนที่ไม่มีแนวหญ้าทะเลเท่ากับ 926.02 ± 26.40 มิลลิกรัมต่อกรัม และต่ำที่สุดในช่วงฤดูร้อนที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล เท่ากับ 64.37 ± 6.40 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งโดยปกติปริมาณอินทรียสารในแหล่งหญ้าทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-16.5 เปอร์เซ็นต์ (Koch, 2001)

สอดคล้องกับการศึกษาของชาคริต เรืองสอน (2550) ที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและดินตะกอนที่เหมาะสมต่อความสมบูรณ์ของหญ้าทะเลในประเทศไทย โดยช่วงความเหมาะสมของคุณภาพน้ำในแนวหญ้าทะเลมีระดับความเค็มอยู่ในช่วง 14.36 – 33.94 psu อุณหภูมิของน้ำมีค่าระหว่าง 28.98 – 34.36 องศาเซลเซียส ออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าระหว่าง 7.33 – 11. 33 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเป็นกรดเป็น

ด่างในน้ำมีค่าระหว่าง 7.87 – 8.64 เช่นเดียวกับการศึกษาของสุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์ (2546) พบว่า แนวหญ้าทะเลส่วนใหญ่จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีความเค็มคงที่ ซึ่งสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มของน้ำทะเลได้แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของหญ้าทะเล ซึ่งจะมีความเค็มอยู่ในช่วง 6 – 60 psu แตกต่างจากการศึกษาของฉัตรธิดา ชามนตรี (2561) ที่ศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในแหล่งหญ้าทะเล บริเวณชายฝั่งเทศบาลเมืองสัตหีบ จังหวัดชลบุรี พบว่า ความเค็มของน้ำในดินอยู่ในช่วง 27.2 -30.9 ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ระหว่างเดือนพฤษภาคม และกันยายน ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.2 - 7.9 และค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 44.1 -55.1 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการแพร่กระจายของหญ้าทะเล ทั้งนี้ในพื้นที่อ่าวคุ้งกระเบนมีความเค็ม 28.2±5.2 ppt อุณหภูมิ 29.7±3.5 องศาเซลเซียส ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 5.9±1.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) 8.2±0.2 ค่าการนำไฟฟ้า 113±13 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ความโปร่งแสง 88±38 เซนติเมตร (กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาการจัดการทรัพยากรชายฝั่ง, 2558)

4.2 การประเมินฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเล

ปริมาณฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยในแนวหญ้าทะเลระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และไม่มีหญ้าทะเลผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ระหว่างช่วงฤดูร้อน และฤดูฝนมีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) โดยในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณฟลักซ์ของดินตะกอนที่ตกลงสู่แนวหญ้าทะเลน้อยกว่าช่วงฤดูฝนในทุกกลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งมีความแตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ โดยมีปริมาณมากที่สุดในช่วงฤดูฝนในบริเวณที่มีแนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 32.93 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และน้อยที่สุดในช่วงฤดูร้อนบริเวณที่ไม่มีหญ้าทะเลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน อาจเป็นผลมาจากการชะล้างจากแผ่นดินทำให้ในช่วงเดือนมิถุนายนซึ่งเป็นฤดูฝนมีค่าสูงกว่าเดือนมีนาคมซึ่งเป็นฤดูร้อน ทำให้ค่าที่ได้มีความแปรผันตรงกับปริมาณน้ำ ซึ่งแต่ละบริเวณของอ่าวคุ้งกระเบนมีอนุภาคดินตะกอนแตกต่างกัน (ชาคริต เรืองสอน, 2550) โดยเฉพาะในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตก ระหว่างเดือนพฤษภาคม-กันยายนของทุกปี จึงทำให้ขนาดอนุภาคดินตะกอนบริเวณอ่าวคุ้งกระเบนมีการเปลี่ยนแปลงในรอบปี และบริเวณอ่าวคุ้ง กระเบนมีคลองธรรมชาติ 8 คลอง และคลองระบายน้ำ จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 4 คลอง ไหลสู่อ่าวรวม 12 คลอง (บำรุงศักดิ์ ฉัตรอนันทเวช, 2544) ซึ่งคลองขนาดใหญ่จะมีน้ำไหลจากคลองอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการสะสมของตะกอนดินเหนียวขนาดเล็กตลอดแนวที่น้ำไหลสู่อ่าวคุ้งกระเบน สามารถสังเกตได้ชัดเจนในช่วงน้ำลงต่ำสุด (เบ็ญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล และคณะ, 2559) เช่นเดียวกับการศึกษาของอนุกูล บูรณประทีปรัตน์ และคณะ (2553) ที่พบว่า ปริมาณฟลักซ์สุทธิของตะกอนแขวนลอยที่ไหลผ่านเข้าออกปากแม่น้ำประแสร์ในฤดูแล้งฟลักซ์สุทธิมีทิศไหลออกปากแม่น้ำในปริมาณ 103.66 ตันต่อวัน ช่วงปลายฤดูแล้งมีทิศไหลเข้าปากแม่น้ำในปริมาณ 110.11 ตันต่อวัน และปลายฤดูน้ำมากมีทิศไหลออกปากแม่น้ำในปริมาณ 63.21 ตันต่อวัน เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าปริมาณ ฟลักซ์สุทธิ

ของตะกอนแขวนลอยในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งปริมาณของตะกอนแขวนลอยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อกระแสน้ำมีกำลังแรงและลดลงในช่วงที่กระแสน้ำกำลังอ่อนกำลังลงในช่วงของการตรวจวัดแต่ละครั้ง สอดคล้องตามวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลง (ดำรงค์ศักดิ์ น้อยเจริญ และคณะ, 2561)

ปริมาณฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลระหว่างช่วงฤดูร้อน และฤดูฝนมีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาล ($p < 0.05$) ยกเว้นบริเวณที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล โดยในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณฟลักซ์คาร์บอนอินทรีย์ที่ตกลงสู่แนวหญ้าทะเลมากกว่าช่วงฤดูฝนในทุกกลุ่มตัวอย่าง ยกเว้นในช่วงฤดูร้อนที่แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75 % ที่มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับฤดูฝน รวมทั้งมีความแตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ โดยมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์น้อยที่สุด คือ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 25 % มีค่าเท่ากับ 0.99 ± 0.49 % และ 53.87 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ และมากที่สุด คือ ไม่มีแนวหญ้าทะเล มีค่าเท่ากับ 3.45 ± 0.11 % และ 188.35 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ทั้งนี้ในพื้นที่อ่าวคุ้งกระเบนที่มีหญ้าทะเลสายพันธุ์ *H. pinifolia* มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในพืชมากกว่าหญ้าทะเลสายพันธุ์ *E. acoroides* โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในพืชเฉลี่ย 43.305 % และ 3.694 % อย่างไรก็ตามหญ้าทะเลสายพันธุ์ *E. acoroides* และ *H. pinifolia* สามารถเจริญเติบโตได้ทุกระยะห่างจากชายฝั่งทะเล (ปัทมา ศรีน้ำเงิน, 2561) สอดคล้องกับการศึกษาของ ฉัตรธิดา ชามนตรี และคณะ (2561) ที่พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนรวมในบริเวณพื้นที่ไม่มีหญ้าทะเลและไม่มีหญ้าทะเล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่ไม่มีหญ้าทะเลอยู่ใกล้กับชุมชน และในเดือนพฤษภาคม ดินตะกอนอาจได้รับอิทธิพลจากน้ำ ฝนที่ชะล้างสารอินทรีย์จากบนบกไหลลงสู่ดินตะกอน จึงอาจทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินตะกอนสูงกว่าในเดือนกันยายน ส่วนในพื้นที่มีหญ้าทะเลมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนรวมในดินตะกอนไม่แตกต่างกัน แต่มีลักษณะการกระจายที่คล้ายคลึงกันในทั้งสองเดือน ซึ่งบริเวณใกล้ชายฝั่งมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนรวมในดินตะกอนสูง และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนรวมลดลงตามระยะทางเมื่ออยู่ห่างชายฝั่งออกไปทะเล เนื่องจากดินบริเวณใกลช้ายฝั่งอาจได้รับสารอินทรีย์ที่มาจากบนบกสะสมอยู่ในดินตะกอน แต่บริเวณที่อยู่ห่างออกไปมีการสะสมของสารอินทรีย์จากทะเลลงสู่ดินตะกอนอย่างช้าๆ ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการของจุลินทรีย์หลังจากการตกตะกอน (จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, 2548)

4.3 แหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลด้วยการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน

ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ในฟลักซ์ของดินตะกอนที่อยู่ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% แนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และไม่มีหญ้าทะเลโดยในบริเวณพื้นที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล มีปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับแนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และในแนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% ที่ไม่แตกต่างกันระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน แต่มีความแตกต่างกันระหว่างแนวหญ้าทั้ง 3 แบบ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) มีปริมาณสูงสุดช่วงฤดูร้อนในบริเวณที่ไม่มีหญ้าทะเลมี

ค่าเท่ากับ -20.13 ± 0.33 ‰ และมีปริมาณต่ำสุดช่วงฤดูฝนในแนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% - 24.43 ± 0.07 ‰ ตามลำดับ และทุกสถานีอยู่ในช่วง -25.2 ‰ ถึง -19.7 ‰ ซึ่งธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างทางอินทรีย์ของพืช พืชได้รับคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางปากใบ และเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นหลัก และผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยประจุอินทรีย์ในดินเป็นบางส่วน ขบวนการย่อยสลายของซากพืชและสัตว์เป็นส่วนช่วยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศ เพื่อที่พืชจะนำมาใช้ได้ใหม่อย่างเพียงพออยู่เสมอ ปริมาณมากกว่า 90% ของน้ำหนักแห้งของพืชประกอบไปด้วยสารประกอบคาร์บอน ซึ่งส่วนมากจะอยู่ในรูปของเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน และแป้ง ซึ่งเมื่อพืชตายลง จึงเกิดการทับถมและย่อยสลายลงสู่ดินในบริเวณนั้น โดยสารประกอบคาร์บอนก็จะเกิดการสะสมอยู่ในดินบริเวณเช่นกัน จึงกล่าวได้ว่าดินกับพืชมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (ปัทมา ศรีน้ำเงิน, 2561)

ผลการศึกษาปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ในพื้นที่ไม่มีหญ้าทะเลและพื้นที่มีหญ้าทะเลปกคลุม > 75% และ < 25% พบว่า ในพื้นที่ที่มีแนวหญ้าทะเล 0% ในฤดูร้อนมีค่าไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนมีค่าอยู่ระหว่าง -24.3 ‰ ถึง -25.2 ‰ พื้นที่มีหญ้าทะเลปกคลุม < 25% มีค่าอยู่ระหว่าง -22.7 ‰ ถึง -23.3 ‰ และพื้นที่มีหญ้าทะเลปกคลุม > 75% มีค่าอยู่ระหว่าง -19.7 ‰ ถึง -20.6 ‰ สอดคล้องกับการศึกษาของ Maksymowska et al. (2000) ที่พบว่าพื้นที่ห่างฝั่งมีค่าไอโซโทปของคาร์บอนในอินทรีย์แขวนลอยในน้ำอยู่ในช่วง -22 ‰ ถึง -23 ‰ ส่วนพื้นที่ใกล้ฝั่งกว่าจะได้รับอิทธิพลจากน้ำทิ้งแหล่งชุมชน มีค่า $\delta^{13}C$ อยู่ในช่วง -23 ‰ ถึง -26 ‰ การศึกษาครั้งนี้จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าสารอินทรีย์ในดินตะกอนของพื้นที่ไม่มีหญ้าทะเลและพื้นที่มีหญ้าทะเลมีแหล่งที่มาจากสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเลและจากหญ้าทะเลเป็นหลัก ที่ถูกย่อยสลายและทับถมอยู่ในดินตะกอน (Kaiser et al., 2014) และการกระจายของปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) พบว่ามีปริมาณต่ำบริเวณใกล้ชายฝั่งและมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะทางเมื่ออยู่ห่างชายฝั่งออกไปทะเล สอดคล้องกับจากการศึกษาของ Kuramoto and Minagawa (2001) พบว่า ดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลของเกาะมุก และเกาะลิบง ในจังหวัดตรัง มีแหล่งที่มาของสารอินทรีย์มาจากหญ้าทะเลเป็นส่วนใหญ่และจากการศึกษาของ Quak et al. (2016) พบว่า สารอินทรีย์ในตะกอนบริเวณทุ่งหญ้าทะเลบนเกาะยาวใหญ่มีสัดส่วนแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่มาจากทะเล และสอดคล้องกับการศึกษของ Thimdee et al. (2003) ได้ศึกษาแหล่งที่มาและการเคลื่อนย้ายของอินทรีย์สารในอ่าวคุ้งกระเบน ด้วยการจำแนกตาม $\delta^{13}C$ และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) โดยมีการระบุแหล่งข้อมูลสำคัญ 5 แหล่ง (ป่าโกงกาง หญ้าทะเล สาหร่าย แพลงก์ตอนและอาหารกุ้ง) ที่มีส่วนทำให้อินทรียวัตถุลงสู่น้ำ และในดินตะกอน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่า $\delta^{13}C$ และ (C/N) ของใบโกงกาง ($\delta^{13}C$ มีค่า - 29 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 40 - 105), หญ้าทะเล ($\delta^{13}C$ มีค่า - 11 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 19) และสาหร่าย ($\delta^{13}C$ มีค่า - 16 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 18) ในขณะที่แพลงก์ตอน ($\delta^{13}C$ มีค่า - 21 ‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 5 - 6) และอาหารกุ้ง ($\delta^{13}C$ มีค่า - 23‰, มีสัดส่วน C/N เท่ากับ 7) มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้

พบว่าฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ที่นำมาวัดค่าไอโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ในแนวหญ้าทะเลทั้ง 3 แบบ ในช่วงฤดูร้อน พื้นที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล มีค่า $\delta^{13}C$ ที่แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดที่มาจากบ่อเลี้ยงกุ้งและเศษซากของไม้โกงกาง ในแนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% พบว่ามีแหล่งที่มาจากบ่อเลี้ยงกุ้งเป็นหลัก ส่วนในแนวหญ้าทะเลปกคลุม > 75% พบว่ามีที่มาจากการทับถมจากเศษซากของแพลงก์ตอนและหญ้าทะเล ในช่วงฤดูฝน พบว่าในบริเวณที่ไม่มีแนวหญ้าทะเล ค่า $\delta^{13}C$ แสดงให้เห็นถึงแหล่งที่มาจากบ่อเลี้ยงกุ้งและเศษซากของไม้โกงกาง ส่วนบริเวณที่มีแนวหญ้าทะเลปกคลุม < 25% และ > 75% มี $\delta^{13}C$ ที่แสดงถึงแหล่งที่มาจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ไม่แสดงให้เห็นถึงแหล่งที่มาจากการทับถมของซากแพลงก์ตอนและหญ้าทะเลในช่วงเวลานี้

4.4 สรุปผลการศึกษา

จาการศึกษาฟลักซ์และแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรีใน ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในปี พ.ศ. 2563 สรุปได้ว่า

1. ฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน มีค่าอยู่ระหว่าง 70.06 – 188.35 mg/m^2/day โดยฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในบริเวณที่ไม่มีหญ้าทะเลปกคลุมมีปริมาณมากกว่าในบริเวณที่มีหญ้าทะเลปกคลุม และฟลักซ์ของคาร์บอนอินทรีย์ในฤดูร้อนมีปริมาณมากกว่าในฤดูฝน ในบริเวณที่ไม่มีหญ้าทะเลปกคลุม และบริเวณที่มีหญ้าทะเลปกคลุม < 25% ส่วนในบริเวณที่มีหญ้าทะเลปกคลุม > 75% ฟลักซ์ของสารอินทรีย์ในสองฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกัน

2. จากการวิเคราะห์ค่าไอโทปเสถียรของคาร์บอนอินทรีย์ ($\delta^{13}C$) จากตัวอย่างตะกอนในตัวดักตะกอนในแนวหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน พบค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -24.43 ± 0.07 ‰ และ -20.13 ± 0.45 ‰ โดยพบว่าแหล่งของตะกอนที่พบมีที่มาจากเศษซากของไม้โกงกาง บ่อเลี้ยงกุ้ง เศษซากแพลงก์ตอน และหญ้าทะเล ที่มีความแตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรธรณี. (2555). *ธรณีวิทยากายภาพพื้นทะเลอ่าวไทยตอนบน*. รายงานวิชาการ เลขที่ สทธ. 9/2555, ส่วนธรณีวิทยาทางทะเล, สำนักเทคโนโลยีธรณี. 89 หน้า.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2555). *รายงานการสำรวจและประเมินสถานภาพและศักยภาพทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง : ปะการังและหญ้าทะเล ปี 2555*. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. 123 หน้า.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556). *รายงานการสำรวจและประเมินสถานภาพและศักยภาพทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง : ปะการังและหญ้าทะเล ปี 2556*. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. 122 หน้า.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2557). *รายงานการสำรวจและประเมินสถานภาพและศักยภาพทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง : ปะการังและหญ้าทะเล ปี 2557*. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. 120 หน้า.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2558). *รายงานการสำรวจและประเมินสถานภาพและศักยภาพทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง : ปะการังและหญ้าทะเล ปี 2558*. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. 158 หน้า.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2561). *ข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง จังหวัดจันทบุรี*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 134 หน้า.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, สุจินต์ ดีแท้ และ วิทยา ศรีมโนภาษ. (2534). *อนุกรมวิธานและนิเวศวิทยาของหญ้าทะเลในประเทศไทย*. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

จิตติมา อายุตตะกะ. 2538. *ประชาคมหญ้าทะเล*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 184 หน้า.

ฉัตรธิดา ชามนตรี, ถนอมศักดิ์ บุญภักดี, พงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา. (2561). *ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนของสารอินทรีย์ในแหล่งหญ้าทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลเทศบาลเมืองสัตหีบ จังหวัดชลบุรี*. รายงานการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่6. มหาวิทยาลัยบูรพา 18- 20 มิถุนายน 2561 หน้า 226-234.

ชัชรี สุพันธุ์วณิช. (2538). *ประชาคมสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กบนใบหญ้าทะเลชนิด E. acoroides (Linnaeus f.) Royle บริเวณแหลมหยงหลำ อุทยานแห่งชาติหาดเจ้าไหม จังหวัดตรัง*. วิทยานิพพนธ์ปริญญาโท. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 121 หน้า.

ชัชรี สุพันธุ์วณิช. (2548). *เอกสารประกอบการสอน วิชาหญ้าทะเล.* สาขาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัชรี แก้วสุรลิขิต. (2549). สัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาหญ้าทะเล. เอกสารคำสอนวิชาสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาหญ้าทะเล (252523), คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ชาคริต เรืองสอน. (2550). *การศึกษาคุณภาพน้ำ และดินตะกอนที่เหมาะสมต่อความอุดมสมบูรณ์ของหญ้าทะเลในประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดำรงค์ศักดิ์ น้อยเจริญ, ศิริรัตน์ สมเชื้อ, สุดารัตน์ นิลรัตน์, สุรศักดิ์ สีชุม, ภูสิต ห่อเพชร และเจนจิรา แก้วรัตน์. (2561). ฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยและสารอาหารอนินทรีย์ละลายน้ำบริเวณปากคลองปากพยิง ในฤดูน้ำมาก ในเดือนกันยายน 2558. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2561. 158-169.

นิคม ละอองศิริวงศ์ และ สุกัญดา ไมตรีแก้ว. (2550). *วิธีวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง*. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. 233 หน้า.

บำรุงศักดิ์ ฉัตรอนันทเวช. (2544). *นิเวศวิทยาของไส้เดือนทะเลที่สัมพันธ์กับภาวะสารอินทรีย์ปริมาณสูงในอ่าวคุ้งกระเบน ประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เบ็ญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล, ภูวดล จันทร์แสง และชลี ไพบูลย์กิจกุล. (2559). การกระจายของหญ้าคาทะเลที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 44 ฉบับที่ 1*. 201-211.

ปัทมา ศรีฎ้าเงิน, เพชรดา ปินใจ, สุมิตร คุณเจตน์ และ สนธชิยั จันทร์เปรม. (2559). การสะสมคาร์บอนของหญ้าทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษาเขตศูนย์การศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี.*วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ ปีที่ 3*, M04, 29-35.

พิสิฐ แป้นหอม. (2557). *ความหลากหลายทางชีวภาพและการรับรู้ข้อมูลการอนุรักษ์หญ้าทะเลบริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี*. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 141 หน้า.

วรุฒ คงสงด้วง, ศักดิ์ชัย กรรมารางกูร, นิติ พัฒนบุญสง, จิตติมา อายุตตะกะ และนภาขวัญ แหวนเพชร. (2560). ปริมาณการปกคลุมและการกระจายของหญ้าทะเล บริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55: สาขาพืช, สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทยศาสตร์, สาขาประมง, สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์*. กรุงเทพฯ. หน้า 753-760.

สมบัติ ภู่วชิรานนท์, กาญจนา อดุลยานุโกศล, ภูธร แซ่หลิ่ม, อดิศร เจริญวัฒนาพร, ชัยมงคล แย้มอรุณพัฒนา และ จันทร์เพ็ญ วุฒิวรวงศ์. (2549). หญ้าทะเลในน่านน้ำไทย. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สุมาลี สุขตานนท์, วชิราภรณ์ จันทร์โพธิ์พาศ, อัมพร จิตรานุเคราะห์, สุนันทา เจริญปัญญา, วันชัย มีชาติยิ่ง, ชยันติ ไกรกาญจน์, สรวิศ นฤปิติ และสุจิตรา บัวแช่ม. (2552). *การศึกษาประเมินสถานภาพการ*

ใช้ท่าเรือไทย: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (The Assessment of the Usage of Thai Port). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 507 หน้า.

สุวลักษณ์ นาทีกาณจนลาภ. (2533). *กลุ่มสิ่งมีชีวิตในแหล่งหญ้าทะเล บริเวณเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี*. วิทยานิพพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์. (2546). การจัดการหญ้าทะเล. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.

สุวลักษณ์ สาธุมนัสพันธุ์, สมบัติ ภู่วชิรานนท์ และ ชัชรี แก้วสุรลิขิต. (2548). ชนิดและการแพร่กระจายของหญ้าทะเลบริเวณอ่าวไทย. *รายงานสถานการณ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เล่มที่ 3-1 หญ้าทะเล*. มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตศาลายา คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. 169 หน้า.

สุภาพร องสารา, ถนอมพงศ์ บัวบรรจง, ณรงค์ สอเหรบ, อรุณ นุ้ยไฉน และจตุรงค์ แย้มศิริ. (2559). *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 5*. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. กรุงเทพฯ. หน้า 371-379.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2560). *สรุปสาระสำคัญจากการประชุม COP ครั้งที่ 23 ระหว่างวันที่ 6 - 17 พฤศจิกายน 2560*. เข้าถึงได้จาก http://www.eppo.go.th/index.php /th/plan policy/climatechange/unitednation/cop.

อนุกูล บูรณประทีปรัตน์, พรนันท์ คุณธร, ประสาร อินทเจริญ และ สุธิดา กาญจน์อติเรกลาภ. (2553). ฟลักซ์ของตะกอนแขวนลอยบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ จังหวัดระยอง พ.ศ. 2553. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 18 (2556) 2: 232-245.

UNEP. (2548). รายงานสถาการณ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เล่มที่ 3-1 หญ้าทะเล. *UNEP GEF Project on Reversing Environmental Degradation Trands in the South China Sea and the Gulf of Thailand*. 169 หน้า ไคลฟ์ วิลคินสัน, เดวิด ชูเตอร์, เจเรมี โกลด์เบริ์ก และเชิดศักดิ์ วีระพัฒน์. 2548. สถานภาพแนวปะการังปี พ.ศ. 2548 ในประเทศที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติคลื่นยักษ์สึนามิ. Australian Institute of Marine Science. กรุงเทพฯ.

Andreae, M. O. & Gelencser, A. (2006). Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 3131-3148.

Aryuthaka, C., Sungthong, S. & Awaiwanont, K. (1992). Seagrass community in KhungKraben Bay, Chanthaburi, East Thailand. *In* Proceedings of seminar on fisheries1992. Bangkok: *Department of Fisheries*, 369-378.

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A.C. & Silliman, B.R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81, 169-193.

Baylor, E.R. & Sutcliffe Jr., W.H. (1963). Dissolved organic matter in seawater as a source of particulate food. *Limnology and Oceanography*. 8, 369-371.

Berner, R. A. (2004). *The Phanerozoic Carbon Cycle: CO_2 and O_2*. Oxford University Press, Oxford, 150 p.

Bond, T.C., Doherty, S. J., Fahey, D.W., Forster, P.M., Berntsen, T., DeAngelo, B.J., Flanner, M.G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P.K., Sarofim, M.C., Schultz, M.G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., Bellouin, N., Guttikunda, S.K., Hopke, P.K., Jacobson, M.Z., Kaiser, J.W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J.P., Shindell, D., Storelvmo, T., Warren, S.G., & Zender, C.S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380-5552.

Burden, A., Garbutt, R., Evans, C., Jones, D. & Cooper, D. (2013). Carbon sequestration and biogeochemical cycling in a saltmarsh subject to coastal managed realignment. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 120, 12-20.

Butler, J.H. & Montzka, S. A. (2018). *The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)*. NOAA Earth System Research Laboratory, R/GMD, 325 Broadway, Boulder, CO 80305-3328.

Cardoso, P., Pardal, M., Lillebo, A., Ferreira, S., Raffaelli, D. & Marques, J. (2004). Dynamic changes in seagrass assemblages under eutrophication and implications for recovery. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 302, 233-248.

Cholathat, R. (2013). *Mapping the Impact of CO_2 Sequestration Using NDVI Time-series from Multi-sensor Optical Satellite Data. Doctoral dissertation*. Department of Surveying and Spatial Information Systems. Faculty of Engineering. University of New South Wales.

Crooks, S., Herr, D., Tamelander, J., Laffoley, D. & Vandever, J. (2011). Mitigating Climate Change through Restoration and Management of Coastal Wetlands and Near-shore Marine Ecosystems: Challenges and Opportunities. *Environment Department*, World Bank, Washington, DC.

Dahl, M., Deyanova, D., Lyimo, L. D., Näslund, J., Samuelsson, G., Mtolera, M. S., Björk, M. & Gullström, M. (2016). Effects of shading and simulated grazing on carbon

sequestration in a tropical seagrass meadow. *Journal of Ecology*, 10.1111/1365-2745.12564.

Davy, A., Figueroa, E. & Bakker, J. (2009). Human modification European salt marshes. In: B.R. Silliman, T. Grosholz and M.D. Bertness (eds). *Human Impacts on Salt Marshes: A Global Perspective*. University of California Press, Berkeley, California, USA.

den Hartog, C. (1970). *The seagrasses of the world*. North-Holland, Amsterdam. 275 p.

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

Duarte, C.M., Losada, I.M., Hendriks, I.E., Mazarrasa, I. & Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 3, 961-968.

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

English, S., Wilkinson C. & Baker, V. (1997). *Survey manual for tropical marine resources*. 2nd Edition. Australian Institute of Marine Science.

Farquhar, G. D., Ehleringer, J. R. & Hubick, K. T. (1989). Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40, 503-537.

Feng Y., Ramanathan, V. & Kotamarthi, V.R. (2013). Brown carbon: A significant atmospheric absorber of solar radiation?. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 8607-8621.

Fernandez, C.,Vanina, P., Charles, F. B., Monique, J., Lila, F., Angela, C. & D. Mouillot. (2006). Effect of an exceptional rainfall event on the sea urchin (Paracentrotus lividus) stock and seagrass distribution in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuarine*, 68, 259-270.

Flanner, M. G., Flanner, C. S., Zender, J. & Randerson, T. (2007). Present-day climate forcing and response from black carbon in snow, *Journal Geophysical Research: Atmospheres*, 112, p. D1120.

Fortes M. D. (1990). *Seagrass: a resource unknown in the ASEAN region*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila.

Fortes, M. D. (1995). *Seagrasses of East Asia: Environmental and Management Perspectives. RCU/EAS Technical Report Series No. 6*. United Nations Environment Programme, Bangkok.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M.A., Apostolaki, E.T., Kendrick, G.A., Krause-Jensen, D., McGlathery K.J. & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5, 505-509.

Frankignoulle, M & Gattuso J. P. (1993). Air-sea CO2 exchange in coastal ecosystems. *In*: Wollast R, Mackenzie FT, Chau L, Eds. *Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change*. Berlin: Springer. p 233–48.

Green, E.P. & Short, F.T. (2003). *World Atlas of Seagrasses*. Univsity of California Press. 324 p.

Handford, M. E. B., Abanades, J. C., Anthony, E. J., Blunt,M. J., Brandani, S., Dowell, N. M., Fernandez, J. R., Ferrari, M. C., Gross, R., Hallett, J. P., Haszeldine, R. S., Heptonstall, P., Lyngfelt, A., Makuch, Z., Mangano, E., R. Porter,T. J., Pourkashanian, M., Rochelle, G. T., Shah, l. N., Yaoa, J. G. & Fennell, P. S. (2014). Carbon capture and storage update. *Energy and Environmental Science*, 7, 130–189.

Hemminga, M. A. & Mateo, M. A. (1996). Stable carbon isotopes in seagrasses: Variability in ratios and use in ecological studies. *Marine Ecology Pregress Series*, 140, 285-289.

Hemminga, M.A. & Duarte, M. (2000). *Seagrass ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. 298 p.

Hillman, K., Walker, D.I., Larkum, A.W.D. & A.J. McComb. 1989. Productivity and nutrient limitation. *In*: Larkum, A. W. D., McComb, A. J., Shepherd, S. A. (Eds.). *Biology of Seagrasses*. Elsevier, Amsterdam, 635–685.

Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Jamsranjav, B., Fukuda, M. & Troxler, T. (2014). *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. IPCC, Switzerland.

Hoefs, J. (2009). *Stable Isotope Geochemistry*. Sixth ed. Germany: Springer.

Holli, R. (2011). *The Carbon Cycle*. Earth Observatory. NASA. Retrieved 5 April 2018.

Houghton, R. A. & Hackler, J. L. (2000). Changes in terrestrial carbon storage in the United States, the roles of agriculture and forestry. *Global Ecology and Biogeography*, 9, 125-144.

Hopkinson, C. S., Cai, W. J. & Hu, X. (2012). Carbon sequestration in wetland dominated coastal systems -a global sink of rapidly diminishing magnitude. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4, 1–9.

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M. & Pidgeon E. (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, Arlington, Virginia, USA, 184 p.

Howard JL, Perez A, Lopes CC, Fourqurean JW (2016) Fertilization Changes Seagrass Community Structure but not Blue Carbon Storage: Results from a 30-Year Field Experiment. *Estuaries and Coasts*, 1-13.

IPCC. (2001). *Climate change 2001: The scientific basis. contribution of working group I to the third assess-ment report of the intergovernmental panel on climate change*. New York, Cambridge University Press.

IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis*. U. K, Cambridge University Press.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group 1 to The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change*, eds Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, M., Tignor, S. K., Allen, J. & Boschung, J. editors. Cambridge; New York, NY: Cambridge University Press, 1535.

Jeong, M. L., Gillis, J. M. & Hwang, J. Y. (2003) Carbon dioxide mitigation by microalgal photosynthesis. *Bulletin of Korean Chemical Society* ,24, 1763-1766.

Kaewsuralikhit, C. *(2011). Seagrasses* in Thailand. In H. Ogawa, B. Japar Sidik & Z. Muta Harah (eds.). *Seagrasses: Resource Status and Trends in Indonesia, Japan, Malaysia, Thailand and Vietnam*. JSPS-AORI, Tokyo. 38-47.

Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Holmer, M., Marbɩ, N. & Middelburg, J. J. (2010). Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Globle Biogeochemistry*, 24: 1–8. (GB4026).

Kamimura, Y., Kasai, A. & Shoji, J. (2011). Production and prey source of juvenile black rockfish Sebastes cheni in a seagrass and macroalgal bed in the Seto Inland Sea, Japan: estimation of the economic value. *Aquatic Ecology*, 45, 367–376.

Kuo, J. & McComb, A. J. (1989). Chapter 2: Seagrasses taxonomy, structure and development. *In*: A.W.D.Larkum, A.J.McComb and S.A. Shepherd, (eds). *Biology of Seagrasses*. Elsevier, Amsterdam. 6-73.

Kuo, J. & C. den Hartog. (2001). Seagrass Taxonomy and Identification Key, 31-58. *In* Short, F.T. and R.G. Coles, eds. *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Science, London.

Laffoley, D. & Grimsditch, G. (2009). *The Management of Natural Coastal Carbon Sinks*. IUCN, Gland, Switzerland. 53 p.

Lee, K. S., Park, S. R. & Kim, Y. K. (2007). Effect of irradiance, temperature and nutrients on growth dynamics of seagrass: A review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350 (1-2), 144-175.

Lepoint, G., Dauby, P. & Gobert, S. (2004). Applications of C and N stable isotopes to ecological and environmental studies in seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 887-891.

Lewis, N. S. & Nocera, D. G. (2006). Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 103, 15729-15735.

Lewmanomont, K. & Ogawa, H. (1995). Common seaweeds and seagrasses of Thailand Faculty of Fisheries, Kasetsart University.

Lewmanomont, K., S. Deetae & Srimanobhas, V. (1996). Seagrasses of Thailand. *In* Kuo, J., Philips, R.C., Walker, D.I. & Kirkman, H. (eds). *Seagrass Biology*, Proceeding of an international workshop. Australia.

Lirman, D. & Cropper, W. P. (2003). The Influence of Salinity on Seagrass Growth, Survivorship, and Distribution within Biscayne Bay, Florida: Field, Experimental, and Modeling Studies. *Estuaries*, 26 (1), 131–141.

Liu, P., Qiu, Q. & Lu, Y. (2011). Syntrophomonadaceae-affiliated species as active butyrate-utilizing syntrophs in paddy field soil. *Applies Environment Microbiology*, 77 (11),3884–3887.

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

Macreadie, P.I., York, P.H., Sherman, C.D., Keough, M.J., Ross, D.J., Ricart, A.M. & Smith, T.M. (2014b). No detectable impact of small-scale disturbances on 'blue carbon' within seagrass beds. *Marine Biology*, 161, 2939–2944.

Macreadie, P.I., TrevathanTackett, 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. doi.org/10.1098/rspb.2015.1537.

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 CO_2. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560.

McKenzie, L. J. & Campbell S. J. (2002). *Seagrass-Watch: manual for community (citizen) monitoring of seagrass habitat*. Western Pacific Edition. QFS, NFC, Cairns.

McKenzie, L. J. (2008). *Seagrass*-Watch: Proceedings of a Workshop for Mapping and Monitoring Seagrass Habitats in North East Amhem Land, Northem Territory, 18-20 October 2008. *Seagrass*-Watch HQ Caims. 49 p.

Miller, M. W. & Sluka, R. D. (1999). Patterns of Seagrass and Sediment Nutrient Distribution Suggest Anthropogenic Enrichment in Laamu Atoll, Republic of Maldives. *Marine Pollution Bulletin*, 38 (12), 1152-1156.

Maksymowska, D., Richard, P., Piekarek-Jankowska, H., Piera, P. (2000). Chemical and isotopic composition of the organic matter sources in the gulf of Gdansk (Southern Baltic Sea). *Estuary Coast Shelf Sci*, 51: 585-598.

Moosmuller, H., Chakrabarty, R. K., Ehlers, K. M. & Arnott W. P. (2011). Absorption Angstrom coefficient, brown carbon, and aerosols: ¨ basic concepts, bulk matter, and spherical particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 1217–1225.

Morgan, M.D. & Kitting, C.L. (1984). Productivity and utilization of the seagrass Halodule wrightii and its attached epiphytes. *Limnology and Oceanography,* 29, 1066–1076.

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C.M., Valdés, L., DeYoung, C., Fonseca, L. & Grimsditch, G. (2009). *Blue Carbon: The role of healthy oceans in binding carbon. A rapid response assessment*. Arendal. United Nations Environment Programme.

Nordlund, L. M., Koch, E. W., Barbier, E. B. & Creed J. C. (2016). Seagrass Ecosystem Services and Their Variability across Genera and Geographical Regions. *PLoS ONE*, 11(10): e0163091. doi:10.1371/journal.pone.0163091.

Pachauri, R.K. & Meyer, L.A. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.

Pearson, P., Palmer, N. & Martin, R. (2000). Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years. *Nature*, 406, 695–699.

Pendleton, L., Donato, D.C., Murray, B.C., Crooks, S., Jenkins, W.A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Marbá, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Her,r D., Gordon, D. & Baldera, A. (2012). Estimating global 'blue carbon' emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS One*, 7, e43542.

Phillips, D. L. & Gregg, J. W. (2003). Source partitioning using stable isotopes: Coping with too many sources. *Oecologia*, 136, 261–269. doi:10.1007/s00442-003-1218-3.

Prathep, A. (2012). Seagrass bed as a carbon sink in Ranong biosphere reserve and Trang-Haad Chao Mai marine national park; an important role of seagrass. Available from: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA /HQ/SC/pdf/Final_report_Anchana_Prathep.pdf.

Putero, D., Landi, T.C., Cristofanelli, P., Marinoni, A., Laj, P., Duchi, R., Calzolari, F., Verza, G.P., & Bonasoni, P. (2014). Influence of open vegetation fires on black carbon and ozone variability in the southern Himalayas (NCO-P, 5079 m a.s.l.). *Environmental Pollution*, 184:597-604.

Ramanathan, V. & Carmichael, G. (2008). Global and Regional Climate Changes Due to Black Carbon. *Nature Geoscience*, 1, 221-227. http://dx.doi.org/10.1038/ngeo156.

Richmond, M. D. (2002). *A field guide to the seashores of Eastern Africa and the Western Indian Ocean Islands*. sida/ SAREC-UDSM.461.

Robert, G.W. & P.A. Penhale. (1979). Transport of carbon and excretion of dissolved organic carbon by leaves and roots/rhizomes in seagrasses and their epiphytes. *Aquatic botany*, 6, 149-158.

Roca, G., Alcoverro, T., Krause, J. D., Balsby. T. J., Katwijk, M. M., Marbà, N., Santos, R., Arthur, R., Mascaró, O. & Fernández, T. Y. (2016). Response of seagrass indicators to shifts in environmental stressors: A global review and management synthesis. *Ecological Indicators*, 63, 310-323.

Rozaimi, M., Fairoz, M., Hakimi, T. M., Hamdan N. H., Omar R., Ali, M. &Tahirin, S. A. (2017). Carbon stores from a tropical seagrass meadow in the midst of anthropogenic disturbance. *Marine Pollution Bulletin*, 119, 253–260.

Rosenzweig, C. & Parry, M. L. (1994). Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367, 133-138, doi:10.1038/367133a0.

Serrano, O., Alongi, D., Arias, A., Cherukuru, N., Connolly, R., Duarte, C., Esteban, A., Eyre, B., Ford, P. & Garcia, O. J. (2013). Carbon sequestration, stoichiometry and storage potential of Australian coastal and marine ecosystems. *Australian Marine Science Golden Jubilee Conference.* Australian Marine Science Association, 202 p.

Shindell, D., Kuylenstierna, J.C., Vignati, I. E., Dingenen, R., Amann, M., Klimont, Z., Anenberg, S. C., Muller, N. G., Janssens-Maenhout, F., Raes, J. Schwartz, G. Faluvegi, L. Pozzoli, K. Kupiainen, L. Höglund-Isaksson, L. Emberson, D. Streets, V. Ramanathan, K. Hicks, N.T.K. Oanh, G. Milly, M. Williams, V. Demkine & Fowler, D. (2012). Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. *Science*, 335, 183-189, doi:10.1126/science.1210026.

Shot, F. & Duarte, C. M. (2001). Methods for the measurement of seagrass growth and production. *In* Shot, T.F., R.C. Coles and C.A. Shot, (eds). *Global Seagrass Research Methods*, 8: 155-181.

Short, F.T., Coles, R.G. & Martini, C. P. (2001). Global seagrass distribution, pp. 5-25. *In* Short, F.T. and R.G. Coles, eds. *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Science, London.

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

Siikamäki, J., Sanchirico, J.N., Jardine, S., McLaughlin, D. & Morris, D. (2013). Blue carbon: Coastal eco- systems, their carbon storage, and potential for reducing emissions. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 55(6), 14-29.

Stankovic, M., Panyawai, J., Jansanit, K., Upanoi T. & Prathep, A. (2017). Carbon Content in Different Seagrass Species in Andaman Coast of Thailand. *Sains Malaysiana*, 46(9), 1441–1447. http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2017-4609-12.

Strickland, J. D. H. (1965). Production of organic matter in the primary stages of the marine food chain. *In*: Chemical Oceanography, J. P. Riley and G. Skirrow, ads. Vol. 1, Academic Press, London, pp. 477-610.

Supanwanid, C. & Lewmanomont, K. (2003). The seagrasses of Thailand. *In* Edmund P. Green and Frederick T. Short (eds.). *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press, Berkeley, California. 298 p.

Terrados, J., Duarte, C.M., Fortes, M.D., Borum, J., Agawin, N. S. R., Bach, S., Thampanya, U. & Nielsen, K. L. (1998). Changes in community structure and biomass of seagrass communities along gradients of situation in SE Asia. *Estuarine*, *Coastal and Shelf Science,* 46, 757-768.

Thimdee, W., Deein, G., Sangrungruang, C., Nishioka, J., & Matsunaga, K. (2003). Sources and fate of organic matter in Khung Krabaen Bay (Thailand) as traced by $\delta^{13}C$ and C/N atomic ratios and C/N atomic ratios. *Wetlands*, 23(4), 729 – 738.

Thitakamol, B., Veawab, A. & Aroonwilas, A. (2007). Environmental impacts of absorption-based CO_2 capture unit for post-combustion treatment of flue gas from coal-fired power plant. *International Journal of Greenhouse gas*. Control I, 318-342.

Thorhaug, A., Poulos, H. M., Portillo, J. L., Ku T. C. W. & Graeme P. B. (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.

Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., Heijden, D. G., Jenkins, M. & Manning, P. (2009). *The Natural Fix? The role of ecosystems in climate mitigation. A UNEP rapid response assessment*. United Nations Environment Programme, UNEPWCMC, Cambridge, UK.

Tuntiprapas, P., Shimada, S., Pongparadon, S. & Prathep, A. (2015). Is *Halophila major* (Zoll.) Miquel a big *H. ovalis* (R. Brown) J.D. Hooker? An evaluation based on age, morphology, and ITS sequence. *ScienceAsia*, 41: 79-86.

UNEP. (2011). Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers. United Nations Environment Programme/World Meteorological Organization. Retrieved from http://www. wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/ BlackCarbon_SDM.pdf.

Udy, J.W. & W. C. Dennison. (1997). Growth and Physiological responses of three seagrass species to elevated sediment nutrients in Moreton Bay, Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 217, 77-253.

Verardo, D.J., Froelich, P.N. and Mclntyre, A. (1990) Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using a Carlo Erba NA-1500 analyzer. *Deep-Sea Res*., 37, 157-165.

Wahyudi, A. J., Rahmawati, S., Prayudha, B., Iskandar, M. R. & Arfianti, Tri. (2016). Vertical carbon flux of marine snow in Enhalus acoroides-dominated seagrass meadows. *Regional Studies in Marine Science*, 5, 27–34.

Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A. Fourqurean, J. W., Heck, K. L. & Hughes, A.R. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 106, 12377–12381.

Zeng, G., Sun, S., Dong, H., Zhao, Y., Ye, Z. & Wei, L. (2016). Energy & Fuels, 2016 Effects of combustion conditions on formation characteristics of particulate matter from pulverized coal bias ignition. *American Chemical Society*, 30(10), 8691-8700.

Zieman, J. C. & Wetzel, R.G. (1980). Productivity in seagrass: methods and rates. 87-116. *In* R.C. Phillips and C.P. McRoy (eds.), *Handbook of seagrass biology: an ecosystem perspective*. Garland STPM Press, New York.