

แหล่งที่มาและการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ในป่าชายเลนเมืองใหม่ บริเวณปากคลองห้วยตะมุ
จังหวัดชลบุรี

วรรณะภักดิ์ อยู่ไทย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ วรธนะภักดิ์ อยู่ไทย ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร. ธนอมศักดิ์ บุญภักดี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูตา บุญภักดี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. กาญจนา หрімเพ็ง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณฑล แก่นมณี)

.....กรรมการ

(ดร. ธนอมศักดิ์ บุญภักดี)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูตา บุญภักดี)

.....กรรมการ

(ดร. กาญจนา หрімเพ็ง)

.....กรรมการ

(ดร. สลิล ชันโรจน์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 15 เดือน สิงหาคม พ.ศ 2561

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านพิษวิทยาและอนามัยสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา

2555

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ถนอมศักดิ์ บุญภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาหลักที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนช่วยเหลือไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา และคอยให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกายและแรงใจในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตานันท์ บุญภักดี และ ดร.กาญจนา หิรัญเพ็ญ อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในส่วนของคุณสมบัติที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านพิษวิทยาและอนามัยสิ่งแวดล้อมที่ได้มอบทุนการทำวิจัยในครั้งนี้ และผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์รัตน์ คำรงโรจน์วัฒนา อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา รองศาสตราจารย์ ดร.นงนุช ตั้งเกริก โอปาร และ ดร.ภัทรารุช ไทยพิชิตบูรพา อาจารย์ประจำภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความกรุณาช่วยจำแนกชนิดของตัวอย่างสิ่งมีชีวิต และผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง และให้ข้อมูลคุณภาพน้ำของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี และผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นางสาวน้ำทิพย์ บุญขวาง นางสาวสดีใส มุขเวา นางสาวฉัตรธิดา ชามนตรี นางสาวธนวันต์ ผาดำ และนางสาวพลอยสิรินทร์ แสงมณี นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และนางสาวกุลภัสสร อุทัยนางสาวรวีวรรณ บุญญเขตต์ นางสาวสุทธิณี เกิดรอด และนางสาวยุวดี ปานคง นิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการช่วยเก็บตัวอย่างภาคสนาม

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่ให้ความรัก ความเอาใจใส่ คอยให้กำลังใจ และเป็นแรงผลักดันอย่างดีที่สุดเสมอมาให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีประโยชน์ไม่ว่าจะเป็นส่วนใดในฉบับต่อบุคคลท่านใดก็ตาม ผู้วิจัยขอขกผลบุญทั้งหมดเป็นกตัญญูคุณเวทิตาแต่ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ทำให้ผู้วิจัยมีทักษะ ความรอบรู้ ความสามารถ จนประสบความสำเร็จตราบนทุกวันนี้

วรรณะภักดิ์ อยู่ไทย

56910061: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: ไอโซโทปเสถียร/ ป่าชายเลน/ หาดโคลน/ สารอินทรีย์ /โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัด
ชลบุรี

วรรณะภักดิ์ อยู่ไทย: แหล่งที่มาและการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ในป่าชายเลนเมืองใหม่
บริเวณปากคลองห้วยละมู จังหวัดชลบุรี (SOURCES AND DISTRIBUTION OF ORGANIC
MATTER IN MUANGMAI MANGROVE, LAMU ESTUARY, CHONBURI PROVINCE)
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ถนอมศักดิ์ บุญภักดี, D.Agr.Sc., ชูตา บุญภักดี, Ph.D., กาญจนา
หริ่มเพ็ง, Ph.D. 106 หน้า. ปี พ.ศ. 2556.

ศึกษาแหล่งที่มาและการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ในป่าชายเลนเมืองใหม่ บริเวณปาก
คลองห้วยละมู จังหวัดชลบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน 2557
และเดือนสิงหาคมและเดือนธันวาคม 2559 โดยทำการศึกษาในพื้นที่ป่าชายเลน 12 สถานี พื้นที่หาด
โคลน 11 สถานี และบริเวณปากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ 1 สถานี จากผลการศึกษา
พบว่า ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในใบไม้, ดินตะกอน, อินทรีย์แขวนลอย,
ปูแสม *S. haematocheir* ในป่าชายเลน และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ อยู่ที่ $-30.60 \pm 1.16\%$,
 $-24.21 \pm 0.79\%$, -27.05% , $-25.66 \pm 2.32\%$ และ -27.91% ตามลำดับ ส่วนปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่
 $7.20 \pm 1.83\%$, $4.40 \pm 2.24\%$, 4.08% , $8.68 \pm 1.34\%$ และ 10.8% ตามลำดับ

โดยปริมาณไอโซโทปเสถียรในน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำไม่มีความแตกต่างกับดิน
ตะกอน และปูแสมในป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทางตรงข้าม ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของ
หอยทะเลสองฝาในพื้นที่หาดโคลนสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จึงสามารถสรุปได้ว่า น้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำมีการสะสมอยู่ใน
พื้นที่ป่าชายเลน แต่ไม่มีการสะสมอยู่ในพื้นที่หาดโคลน

56910061: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: STABLE ISOTOPE/ MANGROVE/ MUDFLAT/ ORGANIC MATTER/

CHONBURI CENTRAL WASTEWATER TREATMENT PLANT

WATTANAPAT YOUTHAI: SOURCES AND DISTRIBUTION OF ORGANIC
MATTER IN MUANGMAI MANGROVE, LAMU ESTUARY, CHONBURI PROVINCE

ADVISORY COMMITTEE: THANOMSAK BOONPHAKDEE, D.Agr.Sc., CHUTA

BOONPHAKDEE, Ph.D., KARNJANA HRIMPENG, Ph.D. 106 P. 2013

To study sources and distribution of organic matter in Muangmai mangrove, Lamu estuary, Chonburi province. Field sampling were performed in June and November 2014, August and December 2016 in mangrove (12 stations) where receives treated wastewater, adjacent mudflat (11 station) and wastewater treatment plant (1 station). Values of stable isotope of carbon in mangrove leaves, mangrove sediment, mangrove POM, mangrove crab (*Sesarma haematocheir*) and treated wastewater were $-30.60 \pm 1.16\text{‰}$, $-24.21 \pm 0.79\text{‰}$, -27.05‰ , $-25.66 \pm 2.32\text{‰}$ and -27.91‰ , respectively, and $\delta^{15}\text{N}$ values were $7.20 \pm 1.83\text{‰}$, $4.40 \pm 2.24\text{‰}$, 4.08‰ , $8.68 \pm 1.34\text{‰}$ and 10.8‰ , respectively.

The values of stable isotope in treated wastewater, mangrove sediment and mangrove crab were no significantly different ($p > 0.05$), whereas the isotopic compositions between treated wastewater, mudflat sediment and bivalves were significantly different ($p < 0.05$). Results from this study indicates that organic matter from Chonburi central wastewater treatment plant spread to mangrove but did not accumulate in an adjacent mudflat area.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ระบบนิเวศป่าชายเลน (Mangrove ecosystem).....	4
ป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี.....	7
พันธุ์ไม้ชนิดเด่นในป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี.....	7
ระบบรากพืชในป่าชายเลน.....	10
สัตว์ที่สำคัญในป่าชายเลน.....	12
โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี.....	15
ปัจจัยแวดล้อมในป่าชายเลน.....	18
สารอินทรีย์.....	19
น้ำเสีย (Wastewater).....	19
ดินตะกอน (Sediment).....	20
วัฏจักรชีวธรณีเคมีในทะเล.....	21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
สัตว์หน้าดิน (Benthos).....	24
ไอโซโทปเสถียร (stable isotopes).....	25
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	36
พื้นที่ที่ทำการศึกษา.....	36
การเก็บตัวอย่าง.....	38
การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและ.....	39
ไนโตรเจน.....	40
การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน.....	40
การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน.....	40
การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	41
4 ผลการวิจัย.....	42
ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิว.....	44
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิว.....	46
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก.....	47
ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว.....	50
ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก.....	51
ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอน.....	54
ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอน.....	58
ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในพื้นที่ป่าชายเลน.....	62
ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในพื้นที่หาดโคลน.....	65

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 อภิปรายและสรุปผล	
อภิปรายผลการวิจัย.....	67
สรุปผลการวิจัย.....	83
ข้อเสนอแนะ.....	83
บรรณานุกรม.....	84
ภาคผนวก.....	96
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	107

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 คุณภาพน้ำในป่าชายเลนเมืองใหม่ บริเวณปากคลองห้วยละมุ จังหวัดชลบุรี.....	44
ในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน 2557.....	
4-2 ค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยของปริมาณของไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนใน ใบไม้ ดินตะกอน ป่าชายเลน ดินตะกอน POM ในหาดโคลน น้ำทิ้งจากโรงปรับปรุง..	63
คุณภาพน้ำ จ.ชลบุรี และสิ่งมีชีวิตหน้าดินที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนและหาดโคลน.....	

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 สายใยอาหารในระบบนิเวศป่าชายเลน.....	6
2-2 ลักษณะทางกายภาพของใบ ดอก และผลของโกงกางใบใหญ่.....	8
2-3 ลักษณะทางกายภาพของใบ ดอก และผลของแสมขาว.....	10
2-4 ระบบรากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน.....	12
2-5 แนวท่อรวบรวมน้ำเสียของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี.....	17
2-6 ผังแสดงกระบวนการบำบัดน้ำเสีย.....	18
2-7 กระบวนการทางชีวธรณีเคมีที่เกิดขึ้นในทะเล.....	21
2-8 วัฏจักรของคาร์บอนในทะเล.....	23
2-9 วัฏจักรของไนโตรเจนในทะเล.....	24
2-10 การแยกลำดับส่วนของไอโซโทปจากน้ำทะเลสู่น้ำฝน.....	29
3-1 พื้นที่ที่ทำการศึกษา.....	37
3-2 สถานีเก็บตัวอย่างในพื้นที่ป่าชายเลน (สถานี A1-A3, B1-B4 และ C1-C5).....	37
พื้นที่หาดโคลน (สถานี D1-D5, E1-E5 และ S1) และตัวอย่างน้ำทิ้งจาก.....	
โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (สถานี S2).....	
4-1 Box plot ความเค็มในน้ำของพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายนและเดือน.....	42
พฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	
4-2 ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่.....	45
หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน (ก) และเดือนพฤศจิกายน (ข) พ.ศ.2557.....	
4-3 Box plot ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวจากพื้นที่ป่าชายเลนและเลน.....	45
และพื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายน และ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	
4-4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่.....	46
หาดโคลน ช่วง (ก) เดือนมิถุนายน และ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	
4-5 Box plot ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวจากพื้นที่ป่าชายเลนและ.....	47
พื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-6 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line A, Line B และ .. Line C ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557.....	48
4-7 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line D, Line E และ... สถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557.....	48
4-8 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line A, Line B และ... Line C ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	49
4-9 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line D, Line E และ... สถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557.....	49
4-10 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ในพื้นที่ป่าชายเลนและ... พื้นที่หาดโคลนช่วง (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	50
4-11 Box plot ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวจากพื้นที่ป่าชายเลนและ พื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	51
4-12 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line A, Line B.... และ Line C ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557.....	52
4-13 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line D, Line E.... และสถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557.....	52
4-14 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line A, Line B.... และ Line C ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	53
4-15 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line D, Line E.... และสถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	53
4-16 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ใน..... พื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลน ช่วง (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-17 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวดินจาก..... พื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	55
4-18 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station A2, B3-B4 และC3 ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557.....	56
4-19 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station D3, E2-E4 และS1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557.....	56
4-20 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station A2, B3-B4 และC3 ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	57
4-21 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station D3, E2-E4 และS1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	57
4-22 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวดิน (mg/g) ใน..... พื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนช่วง (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	58
4-23 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวดินจาก..... พื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายน และ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ.....	59
4-24 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ..... station A2, B3-B4 และC3 ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557.....	60
4-25 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g)..... ของ station D3, E2-E4 และS1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557.....	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-26 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g)..... ของ station A2, B3-B4 และ C3 ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557..	61
4-27 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g)..... ของ station D3, E2-E4 และ S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557....	61
4-28 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนใน..... ใบเสมขาว (<i>Avicennia alba</i>) จากพื้นที่ป่าชายเลนในเดือนมิถุนายนและเดือน..... พฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	62
4-29 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในอินทรีย์แขวนลอย จากพื้นที่พื้นที่หาดโคลนในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557.....	64
4-30 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนใน..... ปู (<i>Metaplex dentipes</i>) จากพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลน.....	65
5-5 สัดส่วนแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ใน (ก) ดินตะกอนป่าชายเลน, (ข) อินทรีย์แขวนลอย ในป่าชายเลน และ (ค) สารอินทรีย์ในอาหารของปูเสมป่าชายเลน (<i>S. haematocheir</i>)...	77

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง ประกอบด้วยพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์หลากหลายชนิด และป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่เชื่อมโยงระหว่างระบบนิเวศในทะเลและระบบนิเวศบนบก โดยทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้น (primary producer) สามารถผลิตอาหารและแร่ธาตุหลายชนิดที่มาจากกระบวนการร่งหล่นและย่อยสลายเศษใบไม้ ซากพืชและซากสัตว์ (Ping et al., 2012) ป่าชายเลนยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน และเป็นที่หลบภัยของสัตว์น้ำขนาดเล็ก และสัตว์หน้าดิน รวมทั้งเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญ (Ray et al., 2018) โดยสัตว์หน้าดินมีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศป่าชายเลน นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการหมุนเวียนธาตุอาหาร และสารอินทรีย์ โดยรากพืชในป่าชายเลนยังทำหน้าที่ในการดักกรองมลสาร หรือสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ จากบนบกไม่ให้เกิดการแพร่กระจายลงสู่ทะเล และระบบนิเวศใกล้เคียง (Aschenbroich et al., 2015)

เนื่องจากพื้นที่ป่าชายเลนในจังหวัดชลบุรีเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณภาพประโยชน์มากมายต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาการรุกคืบพื้นที่ป่าชายเลน โดยพื้นที่ป่าชายเลนถูกเปลี่ยนสภาพกลายเป็นชุมชนเมือง สิ่งเหล่านี้นับวันจะเป็นภัยคุกคามต่อระบบนิเวศป่าชายเลนที่รุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ป่าชายเลนตามแหล่งท่องเที่ยวที่อยู่ใกล้ชายฝั่งมีการก่อสร้างถนน โดยมีการตัดถางป่าชายเลนออกไป ซึ่งทำให้พื้นที่ป่าชายเลนบางส่วนหายไป (ฉันทวรรัตน์ ปภาวสิทธิ์ และคณะ, 2546)

อย่างไรก็ตาม การที่ป่าชายเลนทางภาคตะวันออกของประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการขยายเขตเมืองขนาดใหญ่ ทำให้ป่าชายเลนในหลายพื้นที่เป็นที่รองรับของเสียจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี ซึ่งรองรับน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี แม้ว่าจะเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วแต่ยังมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้ระบบนิเวศป่าชายเลนเกิดความเสื่อมโทรม และอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีกลายเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved inorganic nitrogen : DIN) ส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันได้ (Heikoop et al., 2000 ; Alquezar et al., 2013) นอกจากนี้สารอินทรีย์จากน้ำทิ้งอาจจะสะสมในป่าชายเลน และในสิ่งมีชีวิตทั้งในและนอกระบบนิเวศป่าชายเลนได้เช่นกัน

การติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศชายฝั่งนั้น สามารถกระทำได้โดยใช้เทคนิคไอโซโทปเสถียร (stable isotope) ของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) (Benstead, March, Fry, Ewel, & Pringle, 2006 ; Kohzu, et al., 2008 ; Ranjan, Routh, Ramanathan, & Klump, 2011 ; Bao et al., 2013 ; Aschenbroich et al., 2015) เนื่องจากไอโซโทปเสถียรสามารถตรวจสอบการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ที่มีแหล่งกำเนิดต่างกัน (Bouillon, Raman, Dauby, & Dehairs, 2002 ; Wang, Gu, Ewe, Wang, & Li, 2015) โดยเฉพาะการตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในป่าชายเลน (Dittmar, Lara, & Kattner, 2001 ; Bouillon, Connolly, & Lee, 2008 ; Kristensen & Mangion, 2010 ; Boonphakdee & Sichan, 2013 ; Pawar, 2013) ซึ่งปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในตัวอย่างน้ำ ดินตะกอน อินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM) และสิ่งมีชีวิตในบริเวณที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมของมนุษย์จะแตกต่างกันไปจากพื้นที่อื่น ๆ ที่ไม่ได้รับน้ำทิ้ง (Costanzo, Odonohue, Dennison, Loneragan, & Thomas, 2001 ; Schlacher, Liddell, Gaston, & Hoenlinger, 2005 ; Pawar, 2013)

การศึกษาครั้งนี้จึงได้นำไอโซโทปเสถียร (stable isotope) ของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) มาใช้ในการบ่งชี้แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอน อินทรีย์แขวนลอย และสิ่งมีชีวิตบริเวณปากคลองห้วยละมู ป่าชายเลนเมืองใหม่ ตำบลเสม็ด อำเภอเมือง ที่ได้รับน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี ซึ่งจะสามารถทำให้เข้าใจถึงแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศป่าชายเลนเมืองใหม่ได้อย่างชัดเจน และทำให้สามารถอธิบายถึงบทบาทความสัมพันธ์ของแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในป่าชายเลนที่มีต่อสิ่งมีชีวิตได้ และสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการกับสารอินทรีย์ได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดความสมดุลต่อระบบนิเวศป่าชายเลนต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อระบุแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอน อินทรีย์แขวนลอย และสัตว์หน้าดินบริเวณปากคลองห้วยละมู ป่าชายเลนเมืองใหม่ ตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
2. เพื่อระบุการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ในดินตะกอนที่ได้รับน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี

สมมติฐานของการวิจัย

1. สารอินทรีย์ในดินตะกอน อินทรีย์แขวนลอยและสัตว์หน้าดิน บริเวณปากคลองห้วยละมู ป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี มีที่มาจากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี
2. สารอินทรีย์ที่แพร่กระจายในดินตะกอน อินทรีย์แขวนลอย และสัตว์หน้าดินบริเวณปากคลองห้วยละมู ป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี มีที่มาแปรผันตามสถานที่ และฤดูกาล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถทราบถึงรูปแบบการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ที่มาจากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำเมื่อลงสู่ระบบนิเวศป่าชายเลนและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร
2. สามารถนำข้อมูลการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ในป่าชายเลนมาใช้ในการประเมินและการจัดการสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศป่าชายเลนเพื่อให้เกิดความสมดุลต่อไป
3. สามารถบ่งชี้และประเมินผลกระทบจากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีต่อระบบนิเวศป่าชายเลนเมืองใหม่ และระบบนิเวศใกล้เคียง
4. สามารถทราบถึงการใช้ประโยชน์ของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศป่าชายเลนได้

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์ไนโตรเจน ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในตัวอย่างสัตว์หน้าดิน อินทรีย์แขวนลอย (POM) พืชและดินตะกอน บริเวณปากคลองห้วยละมู ป่าชายเลนเมืองใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 24 สถานี แบ่งเป็น 2 ฤดูกาล โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อการศึกษาเบื้องต้นในช่วงฤดูแล้ง (เดือนมิถุนายน) และฤดูฝน (เดือนพฤศจิกายน) พ.ศ. 2557 และทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ และสัตว์หน้าดินในป่าชายเลนในเดือนสิงหาคมและธันวาคม พ.ศ. 2559

โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งในพื้นที่ป่าชายเลน และพื้นที่หาดโคลน ทำการเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดิน เช่น ปูแสม ปูก้ามดาบ หอยนางรม หอยแมลงภู่ หอยแครง เป็นต้น, อินทรีย์แขวนลอย, พืชชนิดเด่น ได้แก่ แสมขาว (*Avicennia alba*) และ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*), ดินตะกอนที่ระดับผิว และดินตะกอนตามความลึก 5 ระดับ ได้แก่ 0 – 2, 2 – 4, 4 – 6, 6 – 8 และ 8 – 10 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดส่งวิเคราะห์หาปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจน โดยใช้เครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer ที่มหาวิทยาลัยคอร์เนลล์ สหรัฐอเมริกา และนำข้อมูลมาทดสอบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละพื้นที่ (ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลน) และฤดูกาล (ฤดูแล้ง และฤดูฝน) โดยใช้ t-test ในการทดสอบทางสถิติ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบนิเวศป่าชายเลน (Mangrove ecosystem)

ป่าชายเลน (Mangrove) เป็นป่าที่อยู่ระหว่างทะเลและแผ่นดิน ระบบนิเวศป่าชายเลน ประกอบไปด้วยพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์หลายชนิดดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันในสภาพแวดล้อมที่เป็นดินเลน น้ำกร่อย และมีน้ำทะเลท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ (Tue et al., 2012) ป่าชายเลนมีความแตกต่างอย่างมากจากป่าชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะดินในป่าชายเลนมีความอุดมสมบูรณ์สูงจากสารอาหารที่มาจากกรักเคาะตามชายฝั่ง และแหล่งน้ำลำธาร สารอินทรีย์ในบริเวณป่าชายเลน ส่วนใหญ่มาจากซากพืชซากสัตว์ แพลงก์ตอนพืช สาหร่าย และใบไม้ที่ร่วงหล่นทับถมกันเป็นจำนวนมาก (Ono et al., 2015) ในป่าชายเลนจะมีการหมุนเวียนของอินทรีย์สาร และอนินทรีย์สารอย่างค่อนข้างคงที่ และมีอิทธิพลต่อระบบนิเวศชายฝั่ง ระบบนิเวศน้ำกร่อย และแม่น้ำที่อยู่ใกล้เคียง ป่าชายเลนเป็นสังคมพืชที่อยู่ในสภาวะที่มีน้ำขึ้น-น้ำลง เมื่อน้ำขึ้นรากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจะจมอยู่ในน้ำ และจะโผล่เหนือพื้นน้ำในช่วงน้ำลง เมื่อเกิดน้ำหลาก หรือช่วงฝนตกหนัก พันธุ์ไม้ป่าชายเลนก็จะสัมผัสกับน้ำซึ่งเกือบจะเป็นน้ำจืด เนื่องจากเป็นน้ำฝนที่ถูกพัดพามาจากแผ่นดิน ระดับความเค็มของน้ำเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามระดับน้ำขึ้นน้ำลงและปริมาณน้ำจืดที่ไหลมาจากแม่น้ำลำคลอง (Ray et al., 2015) นอกจากนี้กระแสน้ำยังส่งผลกระทบต่อป่าชายเลนในด้านอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ปริมาณธาตุอาหาร และระดับออกซิเจนในน้ำและดิน ปัจจัยการขึ้น-ลงของน้ำในแต่ละวัน กระแสน้ำอาจจะไหลอย่างช้า หรือไหลอย่างรวดเร็วและรุนแรง ซึ่งทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นว่าป่าชายเลนเป็นสังคมพืชที่มีลักษณะพิเศษที่ไม่มีในป่าชนิดอื่น เป็นสังคมพืชที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับทะเล และต้องพบกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยแวดล้อมทั้งระยะสั้นและระยะยาว อย่างไรก็ตามป่าชายเลนด้านในสุดที่ติดกับแผ่นดินจะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลงน้อยมาก ทำให้เกือบไม่มีผลกระทบจากความเค็มและการขาดออกซิเจน จึงกล่าวได้ว่าป่าชายเลนเป็นสังคมพืชท่ามกลางความผันแปรของปัจจัยแวดล้อม พันธุ์ไม้ที่มีบทบาทสำคัญในป่าชายเลน คือ ไม้โกงกาง (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาดี, 2554)

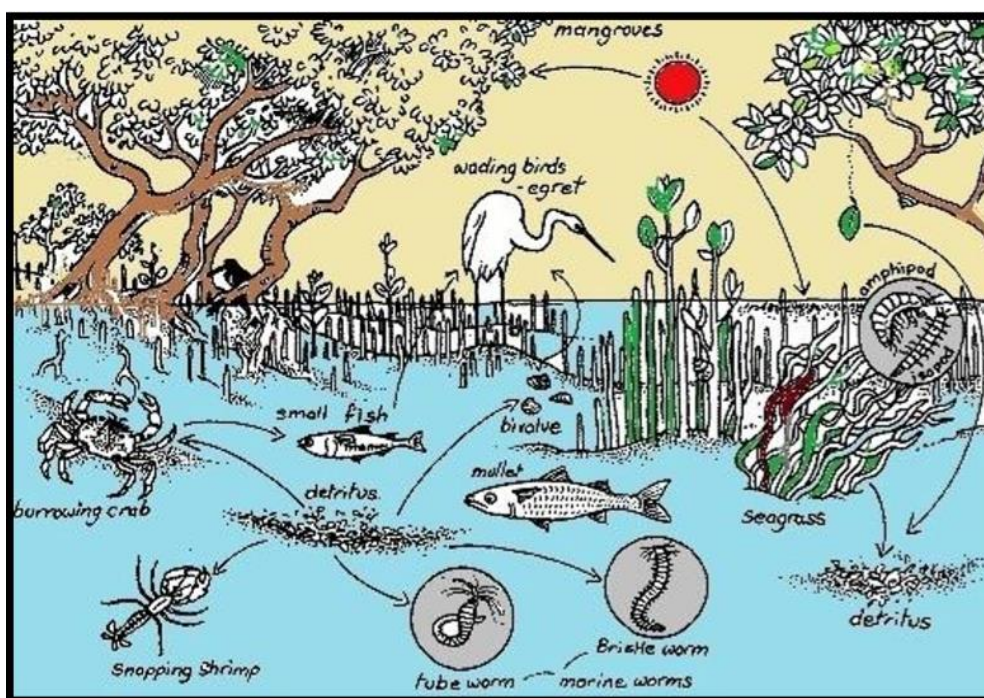
นอกจากนี้ในระบบนิเวศป่าชายเลนยังประกอบไปด้วยสิ่งที่ไม่มีชีวิต เช่น สภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ฝน และความชื้น (Aschenbroich et al., 2015) สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศป่าชายเลน ประกอบไปด้วย ผู้ผลิต (producer) ได้แก่ พืชพันธุ์ไม้ต่างๆ ในป่าชายเลนรวมไปถึง ไดอะตอม แพลงก์ตอนพืช และสาหร่าย ผู้บริโภค (consumer) ได้แก่ สัตว์หน้าดินขนาดเล็ก เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ ปู ไส้เดือนทะเล และสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ (ภาพที่ 2-1) และ ผู้ย่อยสลาย (decomposer) ซึ่งหมายถึง พวกจุลินทรีย์ทั้งหลายที่ช่วยในการทำลายหรือย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์ให้เน่าเปื่อยผุพัง จนในที่สุดจะสลายตัวเป็นสารอาหาร (Lunstrum & Chen, 2014) ซึ่งสะสมเป็นแหล่งอาหารในดินเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตต่อไป ซึ่งได้แก่ รา แบคทีเรีย ในป่าชายเลนผู้ย่อยสลายยังรวมถึง ปูและหอยบางชนิดด้วย (Kruitwagen et al., 2010)

ระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีวงจรธาตุอาหารไม่ได้หมุนเวียนอยู่แต่เฉพาะในระบบ แต่มีการนำเข้าไปในระบบ และส่งออกไปจากระบบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างจากระบบนิเวศอื่น ๆ โดยใบของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนจะร่วงหล่นลงสู่พื้นเลน และเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ หรือถูกกินโดยสัตว์ขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ได้หรือบนพื้นผิวเลน จุลินทรีย์และสัตว์ขนาดเล็กจะถูกกินโดยสัตว์ที่มีขนาดใหญ่กว่าห่วงโซ่อาหารจะดำเนินต่อไปจนถึงสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นไป โดยเฉพาะปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ปริมาณคาร์บอน และพลังงานในใบและส่วนอื่น ๆ ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนเป็นแหล่งอุปทานที่สำคัญต่อสังคมสัตว์ทั้งในระบบและพื้นที่ใกล้เคียงป่าชายเลน (ณัฐธำรัตน์ ปภาวสิทธิ์ และคณะ, 2546)

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีคุณค่ามหาศาล และมีความสำคัญต่อมนุษย์หลายรูปแบบ คุณประโยชน์ที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ ป่าชายเลนเป็นเสมือนธนาคารไม้ โดยการใช้ประโยชน์จากไม้ป่าชายเลนเพื่อการเผาถ่าน นอกจากจะใช้เผาถ่านแล้ว ยังมีการใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่นๆ เช่น ใช้เป็นไม้ฟืน ไม้เสาเข็ม ไม้ค้ำยัน ไม้ก่อสร้าง แพลลา อุปกรณ์การประมง และเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ป่าชายเลนยังทำหน้าที่ป้องกันคลื่นลมจากทะเล ในขณะที่เดียวกันป่าชายเลนยังทำหน้าที่เปรียบเสมือนโรงบำบัดน้ำเสีย ดักกรองสิ่งปฏิกูลและมลพิษต่างๆ จากบนบกไม่ให้ลงสู่ทะเล เนื่องจากพันธุ์พืชป่าชายเลนมีลักษณะพิเศษโดยเฉพาะระบบรากที่ช่วยดูดซับสิ่งปฏิกูลต่างๆ และฟอกน้ำเสียให้เป็นน้ำสะอาด และป้องกันการพังทลายของดินชายฝั่ง และป่าชายเลนยังเป็นเสมือนโรงฟอกอากาศ ที่สามารถลด

คาร์บอนไดออกไซด์ และเพิ่มปริมาณออกซิเจนในอากาศให้สดชื่น (ฉันทวรรัตน์ ปภาวสิทธิ์และคณะ, 2546)

นอกจากนั้นการที่ป่าชายเลนปรากฏอยู่ตามที่ราบชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำ แนวป่าชายเลนจะช่วยบรรเทาความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้ตะกอนดินที่พัดพามากับกระแสน้ำตกตะกอนทับถมเกิดแผ่นดินงอกขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่าป่าชายเลนช่วยเพิ่มพื้นที่ประเทศ และป่าชายเลนยังเป็นเสมือนบ้านและที่อยู่อาศัย ใช้ในการวางไข่ หาดอาหาร เป็นแหล่งอนุบาลตัวอ่อน และเป็นที่พักภัยของสัตว์น้ำหลายชนิด โดยเฉพาะสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เช่น ปูทะเล กุ้ง ปลากระบอก หอยนางรม เป็นต้น (สนิท อักษรแก้ว, 2538) และสุดท้ายป่าชายเลนเป็นเสมือนสะพานที่เชื่อมต่อระหว่างบนบกกับทะเลในการสร้างความสมดุลของระบบนิเวศชายฝั่งทะเล และเป็นทรัพยากรธรรมชาติของชายฝั่งทะเลอย่างแท้จริงที่มีความสำคัญต่อความมั่นคงทางสังคมและเศรษฐกิจของประเทศอย่างมหาศาล (ฉันทวรรัตน์ ปภาวสิทธิ์และคณะ, 2546)



ภาพที่ 2-1 สายใยอาหารในระบบนิเวศป่าชายเลน (Agarwal et al., 2017)

2.2 ป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี (ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลน เพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ, 2554)

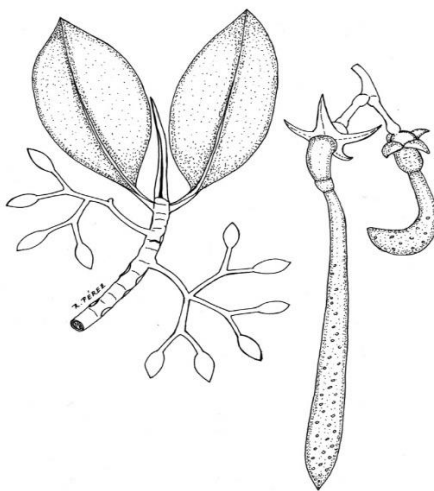
ป่าชายเลนเมืองใหม่ ตั้งอยู่ที่ หมู่ 3 ตำบลเสม็ด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี เป็นป่าชายเลนผืนใหญ่แห่งสุดท้ายของอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี มีเนื้อที่ประมาณ 300 ไร่ พบว่ามีความหลากหลายทางธรรมชาติของป่าชายเลน ไม่ว่าจะเป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนและสัตว์น้ำหลากหลายชนิด เช่น โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*), โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*), ตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis*), ตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum*), แสมดำ (*Avicennia officinalis*), แสมขาว (*Avicennia alba*), โปรงแดง (*Ceriops tagal*), โปรงขาว (*Ceriops decandra*), ลำพู (*Sonneratia caseolaris*) และพืชอีกหลายชนิด นอกจากนี้ ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและเพาะพันธุ์สัตว์น้ำอีกหลากหลายชนิด ได้แก่ กุ้งกุลาดำ กุ้งแชบ๊วย หอยนางรม หอยแครง ปูก้ามดาบ ปูแสม ปลานวลจันทร์ ปลากระพงขาว ปลากระบอก ปลาดิน และนกอีกนานาชนิด และเมื่อไม่นานมานี้พื้นที่ป่าชายเลนเมืองใหม่ ถูกบุกรุกจากการขยายพื้นที่ชุมชน และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งทำให้พื้นที่ป่าชายเลนได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์

2.3 พันธุ์ไม้ชนิดเด่นในป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี

2.3.1 โกงกางใบใหญ่

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Rhizophora mucronata* Poir. เป็นไม้ต้นขนาดใหญ่ สูงประมาณ 25 – 30 เมตร เรือนยอดรูปทรงกรวยคว่ำแล้วแผ่กว้าง รากค้ำยันสูง 2 – 7 เมตร แตกแขนงระเกะระกะไม่เป็นระเบียบ มัก โค้งลงและไม่หักศอกเป็นมุมฉากเหมือนรากค้ำยันของ โกงกางใบเล็ก บางครั้งมีรากอากาศแตกออกจากกิ่ง เปลือกหยาบสีเทาถึงดำแตกเป็นร่องตื้นๆตามยาวและขวางลักษณะคล้ายตาราง สีเหลือง เมื่อทุบเปลือกทิ้งไว้สักครู่เปลือกในจะเป็นสีเหลืองถึงส้ม มีลักษณะใบเป็นพืชใบเดี่ยว เรียงตรงข้ามสลับตั้งฉาก ออกเป็นกระจุกที่ปลายกิ่ง แผ่นใบรูปไข่กว้างถึงรูปรีกว้าง ขนาด 8-10 x 14-20 เซนติเมตร โคนใบมนหรือสอบเป็นรูปลิ้น ขอบใบเรียบ ปลายใบมนหรือแหลม มีดิ่งแหลมเล็ก แข็งสีน้ำตาล ใบแบบร่างแหขนนก มองเห็นไม่ชัดเจน เส้นกลางใบราบ สีเขียวอ่อน เส้นแขนง 9-12 คู่ มองเห็นกลางๆ ผิวใบเกลี้ยง ด้านบนสีเขียวอมเหลือง ด้านล่างสีเขียวเข้มและมีจุดสีน้ำตาลกระจายทั่วแผ่นใบ เนื้อใบบอบน้ำแกมเหนียวคล้ายแผ่นหนัง ก้านใบยาว 3-5 เซนติเมตร หูใบแคบ ปลายเรียวแหลม ประกบกันเป็นคู่ที่ปลายยอด ยาว 5-10 เซนติเมตร สีเขียวอ่อน พบน้อยที่เป็นสีชมพูอ่อนหรือแดงเรื่อ ลักษณะของ

ดอกเป็นแบบช่อกระจุกสองด้านหลายชั้น มักแตกเป็นง่าม 2-4 ชั้น ออกตามง่ามใบ ก้านช่อดอกยาว 3-7 เซนติเมตร ประกอบด้วยดอกย่อย 2-12 ดอก ก้านดอกย่อยยาว 0.4-1 เซนติเมตร ดอกตูมรูปทรงไข่ ใบประดับที่ฐานดอกเชื่อมติดกันเฉพาะโคน ปลายแยกเป็น 2 แฉก กลีบเลี้ยงโคนเชื่อมติดกันเป็นหลอดรูปถ้วยตื้นๆ ปลายแยกเป็น 4 แฉก รูปไข่ถึงรูปสามเหลี่ยม ขนาด 0.5 – 0.8 x 1.2 – 1.5 เซนติเมตร สีเหลืองอ่อน แข็ง หนา แผ่นบานแล้วโค้งลง กลีบดอก 4 กลีบ รูปใบหอก แยกกัน และหลุดร่วงเร็ว ขนาด 0.5 – 0.8 x 0.6 – 1 เซนติเมตร สีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ขอบกลีบมีขนหนาแน่น เกสรเพศผู้ 8 อัน (อยู่ในหลอดกลีบดอกและกลีบเลี้ยงอย่างละ 4 อัน) ก้านเกสรสั้นมากหรือลดรูปหายไป อับเรณูยาว 0.6 – 1 เซนติเมตร เกสรเพศเมียยาว 0.2 – 0.3 เซนติเมตร ยอดเกสรเพศเมียแยกเป็นแฉกสั้นๆ 2 แฉก ไม้เด่น รังไข่อยู่ใต้วงกลีบ ภายในแบ่งเป็น 2 ช่อง แต่ละช่องมีไข่อ่อน 2 เมล็ด ผลมีเนื้อเมล็ดเดียว รูปทรงไข่ปลายคอด ยาว 3 – 8 เซนติเมตร ผิวหยาบ ค่อนข้างขรุขระ สีน้ำตาลอมเขียว เมล็ดงอกตั้งแต่อยู่บนต้น ลำต้นใต้ใบ หรือฝัก คล้ายรูปทรงกระบอกเรียวยาว ค่อนข้างตรง ขนาด 1.5 – 2 x 40 – 70 เซนติเมตร โคนฝักเรียวแหลม ผิวเป็นมัน สีเขียว มีตุ่มขรุขระกระจายทั่วไป ใบเลี้ยงที่ยื่นออกมามีสีเขียวอ่อน ยาวประมาณ 2 – 4 เซนติเมตร (สรายุทธ บุญยะเวชชิน และรุ่งสุริยา บัวสาตี, 2554)



ภาพที่ 2-2 ลักษณะทางกายภาพของใบ ดอก และผลของโก่งกางใบใหญ่ (สรายุทธ บุญยะเวชชิน และ รุ่งสุริยา บัวสาตี, 2554)

2.3.2 แสมขาว

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Avicennia alba* Bl. แสมขาวจัดเป็นพันธุ์ไม้ชั้นนอกของป่าชายเลนหรือที่เรียก ไม้เบิกนำป่าชายเลน ซึ่งพบได้ทั้งในแหล่งดินเลนผสมทราย โกล่ชายทะเลที่มีน้ำท่วมขังตลอดหรือท่วมขังเป็นครั้งคราว เป็นไม้ชายเลนที่เติบโตเร็ว ลำต้นแตกกิ่งเป็นทรงพุ่มใหญ่ ทนต่อน้ำท่วมขังหรือแห้งแล้งได้ดี แสมขาวเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงใหญ่ มีลำต้นสูงประมาณ 8-20 เมตร โคนต้นไม่เป็นพูพอน ลำต้นแตกกิ่งตั้งแต่ระดับต่ำ ปลายกิ่งย้อยลง ทำให้แลดูเป็นทรงพุ่มใหญ่ ทรงพุ่มค่อนข้างกลมแน่นทึบ และกว้าง เปลือกลำต้นเรียบ มีสีเทาอมดำ และบางต้นมักเป็นสีสนิมประจากเชื้อราที่เจริญที่ผิวเปลือก ส่วนระบบรากประกอบด้วยรากหาอาหารที่อยู่ใต้ดิน และรากอากาศที่โผล่ขึ้นเหนือดิน รากอากาศมีลักษณะคล้ายแท่งดินสอ ยาวประมาณ 15-30 เซนติเมตร แทงขึ้นเหนือดินรอบ โคนต้นจำนวนมาก ใบแสมขาวออกเป็นใบเดี่ยว เรียงตรงข้ามกันบนกิ่ง มีก้านใบยาว 0.5-1 เซนติเมตร แผ่นใบรูปใบหอกแกมรี กว้างประมาณ 2-5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 5-15 เซนติเมตร โคนใบสอบแคบ ปลายใบแหลม แผ่นใบด้านบนสีเขียวเข้ม และเป็นมัน ส่วนท้องใบด้านล่างมีสีขาวอมน้ำตาล และมีขนยาวสีเทาอ่อนปกคลุม แผ่นใบมีเส้นกลางใบสีขาวชัดเจน แผ่นใบที่แห้งจะเป็นสีดำ ดอกแสมขาวออกเป็นช่อที่ปลายกิ่งบริเวณซอกใบ มีก้านช่อดอกยาวประมาณ 3-8 เซนติเมตร ก้านช่อมีขนสีน้ำตาล แตกเป็นช่อดอกย่อย 5-7 ช่อ แต่ละช่อมีก้านช่อยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร แต่ละช่อย่อยมีดอก 2-5 ดอก แต่ละดอกไม้ไม่มีก้านดอก ตัวดอกมีขนยาวนุ่มสีน้ำตาลอมเหลืองปกคลุมขนาดดอกประมาณ 0.4-0.6 เซนติเมตร ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง จำนวน 5 กลีบ ฐานกลีบเชื่อมติดกัน ปลายกลีบแยกเป็น 5 แฉก ถัดมาเป็นกลีบดอก จำนวน 4 กลีบ มีสีเหลืองถึงส้ม โคนกลีบเชื่อมติดกัน แต่ละกลีบยาวประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร โคนกลีบดอกเชื่อมติดกัน ถัดมาด้านในเป็นเกสรเพศผู้ จำนวน 4 อัน ทั้งนี้ ดอกแสมขาวจะเริ่มออกดอกประมาณเดือนมกราคม-เมษายน ผลของแสมขาวลักษณะคล้ายผลพริก กลางผลบิดโค้ง ปลายผลเรียวแหลม และโค้งเป็นจะงอย ขนาดผลกว้างประมาณ 1.5-2 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2.5-4 เซนติเมตร เปลือกผล และเนื้อผลอ่อนนุ่ม สีเหลืองอมเขียว และมีขนนุ่มสีเขียวอ่อนปกคลุม ผลอ่อนมีสีเขียว ผลสุกมีสีเหลือง เมื่อผลแก่ ผลปริแตกบริเวณด้านข้างตามแนวยาว และม้วนเป็นหลอดกลม ภายในผลมีเมล็ด 1 เมล็ด ทั้งนี้ แสมขาวจะติดผลให้เห็นในช่วงเดือนมิถุนายน-ธันวาคม (พืชเกษตรไทย, 2018)



ภาพที่ 2-3 ลักษณะทางกายภาพของใบ ดอก และผลของแสมขาว (Hutan mangrove, 2016)

2.4 ระบบรากพืชในป่าชายเลน

รากของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนมีลักษณะที่พิเศษ โดยมีการพัฒนารากอากาศที่มีลักษณะรูปร่างประหลาด มีการพัฒนากลไกให้สามารถดูดธาตุอาหาร น้ำ หายใจ ยึดและค้ำยันในดินเลนและมีปริมาณออกซิเจนต่ำ โดยทั่วไปรากของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนจะแผ่กว้างอยู่ในระดับดิน ๆ และไม่มีรากแก้ว พันธุ์ไม้เบิกนำที่อยู่ในเขตนอกสุดที่หันหน้าสู่ทะเล รากเกือบจะลอยอยู่เหนือดินเลนเหลว

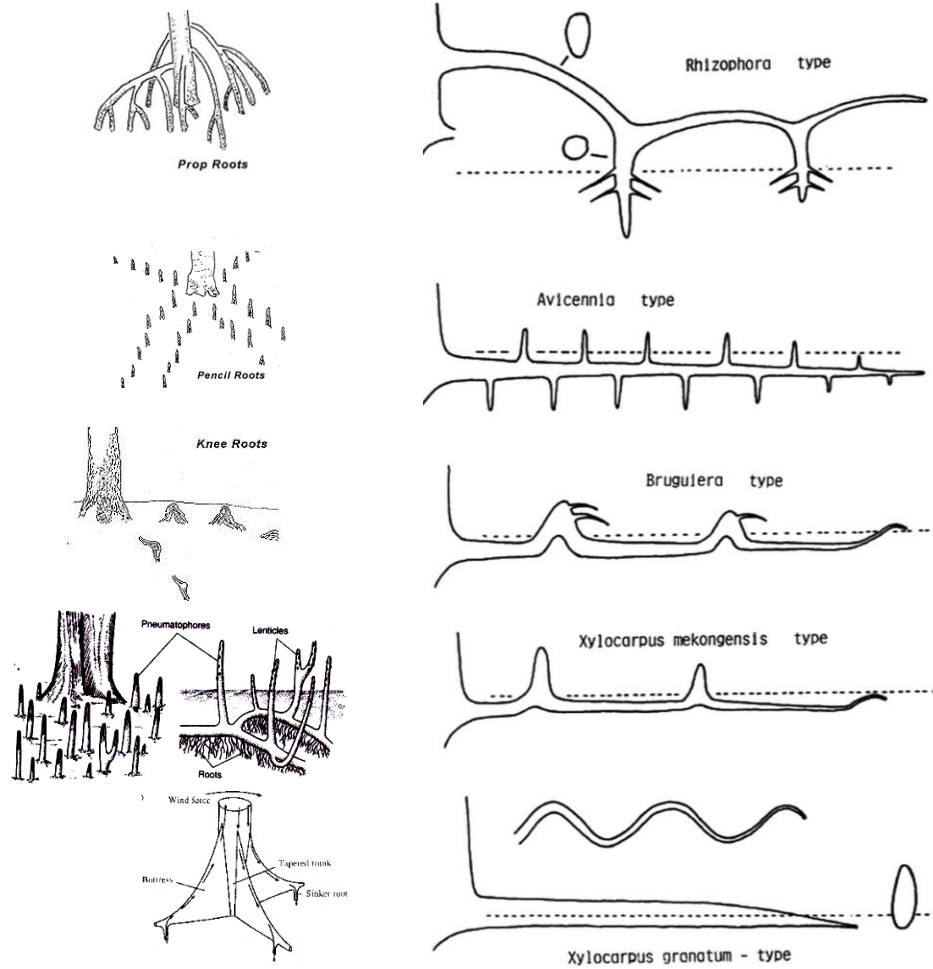
รากอากาศของไม้โกงกางมักเรียกว่ารากค้ำยัน (stilt or prop roots) ทั้งนี้มาจากลักษณะของตัวรากอากาศที่มีหน้าที่ค้ำยันลำต้น นอกเหนือไปจากการแลกเปลี่ยนก๊าซ และการสังเคราะห์แสง รากอากาศจะงอกออกจากลำต้น เมื่อสัมผัสดินราก(ที่ใช้ดูดธาตุอาหารหรือน้ำ)จะแทงตั้งฉากลงสู่ดิน รากอากาศที่สองจะแตกแขนงตรงจุดก่อนถึงดิน เมื่อรากแขนงนี้สัมผัสกับดินที่อยู่ห่างจากต้นออกไปก็จะแทงรากตั้งฉากลงสู่ดิน รากอากาศที่สามก็จะแตกแขนงออกจากรากอากาศที่สองตรงตำแหน่งก่อนถึงดิน รากอากาศของไม้โกงกางต้นข้างเคียงก็จะแตกรากในลักษณะเดียวกันและรุกล้ำเข้ามา ทำให้โกงกางสานกันจนคูดុងเหียง รากค้ำยันบางครั้งจะแตกจากกิ่งล่าง ๆ ด้วย พันธุ์ไม้ในสกุลพังกาหัวสุม (พังกาหัวสุมดอกขาว พังกาหัวสุมดอกแดง พังกาหัวสุมดอกช่อ ถั่วขาวและถั่วดำ) และสกุลโปรง (*Ceriops*) ได้แก่ โปรงแดง และ โปรงขาว ขึ้นในพื้นที่ซึ่งดินมีความแน่นมันคงกว่าดินในเขตไม้โกงกาง ระบบรากจะเป็นแขนงอยู่ใต้ดิน และโผล่ขึ้นเหนือดินเป็นรูปคล้ายหัวเข่า (knee roots) เป็นระยะ ๆ พันธุ์

ไม้สกุลแสมและสกุลลำแพนปกติจะเป็นพันธุ์ไม้ที่ขึ้นในเขตพันธุ์ไม้ค้ำานอกสุดที่มีเลนเหลว จึงมีระบบรากที่แผ่กว้าง รากแขนงจะแผ่ออกไปรอบค้ำานในระดับตื้น และแทงรากเป็นรูปกรวยเรียวเล็กกรากขึ้นเหนือพื้นดิน รากอากาศที่เป็นรูปกรวยเรียวเล็กนี้เป็นรากหายใจที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า นิวมาโตพอร์ (pneumatophores) รากรูปคล้ายหัวเข่าก็เป็นรากนิวมาโตพอร์แต่มีรูปร่างแตกต่างกัน

ประโยชน์หลักของระบบรากคือใช้ในการหายใจ เป็นทางลัดในการแลกเปลี่ยนก๊าซของระบบรากใต้ดิน บริเวณส่วนฐานของรากหายใจ (pneumatophores) ซึ่งอยู่ระหว่างผิวดินและรากแขนงเป็นชั้นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ จะมีรากฝอยจำนวนมากทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซและดูดธาตุอาหาร ในช่วงน้ำขึ้น เมื่อรากหายใจ (pneumatophores) ของพันธุ์ไม้สกุลแสมถูกน้ำท่วม ต้นไม้จะใช้ก๊าซที่เก็บไว้ในชั้นเนื้อเยื่อคล้ายฟองน้ำของรากแขนงที่เรียกว่า spongy gas filled tissue เมื่อน้ำลงและรากโผล่ขึ้นเหนือน้ำ รากก็จะดูดก๊าซโดยผ่านทางช่องอากาศ (lenticel) จำนวนมากเข้าไปในระบบทดแทนส่วนที่ถูกใช้ไป สำหรับกลุ่มพันธุ์ไม้โกงกาง รากที่อยู่ใต้ดินก็จะได้รับก๊าซอย่างสม่ำเสมอโดยผ่านทางช่องอากาศของรากค้ำาน ภายในรากของไม้โกงกางจะมีโครงสร้างคล้ายกับท่อ (column) ตามแนวตั้ง ท่อดังกล่าวจะขยายตัวใหญ่ขึ้นเมื่อรากอยู่ใต้ดินเลน อากาศจะผ่านเข้ามาในท่อโดยผ่านทางช่องอากาศ ซึ่งเป็นรูขนาดเล็กจำนวนมาก รากบริเวณใกล้ผิวดินเลนจะมีช่องอากาศมากเป็นพิเศษ รากที่อยู่ใต้ดินเลนจะมีเนื้อเยื่อสำหรับเก็บก๊าซเป็นจำนวนมาก สัดส่วนของช่องว่างในการเก็บก๊าซภายในรากโกงกาง รากที่ลอยอยู่ในอากาศไม่จำเป็นต้องนำอากาศเข้าจากภายใน จึงมีสัดส่วนของปริมาตรเก็บก๊าซต่ำ (สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาตี, 2554)

ในดินเลนมีออกซิเจนต่ำ ปริมาตรเก็บก๊าซภายในรากจะสูงถึงครึ่งหนึ่งของปริมาตรของราก ในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี เช่น ในทรายที่น้ำไม่ขัง รากโกงกางที่อยู่ในบริเวณนี้จะมีพื้นที่เก็บก๊าซอยู่ประมาณ 22-28 % (ของปริมาตร) รากที่อยู่ในน้ำที่แสงแดดส่องไม่ถึงจะมีพื้นที่เก็บก๊าซ 35-40% แต่รากในส่วนที่รับแสงจะมีปริมาตรเก็บก๊าซเหลือ 22-29% รากที่อยู่ในอากาศและรากในน้ำที่แสงแดดส่องถึงจะสังเคราะห์แสงด้วยเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ รากที่มีลักษณะเป็นครีบหรือสันของรากแขนงเรียกว่า รากพุดอน (buttress roots) ของต้นตะบูนขาว (ดังภาพที่ 2-4) และหงอนไก่ทะเลทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซของระบบรากเช่นเดียวกัน

ช่องอากาศ (lenticel) มีความสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซอย่างมาก ถ้าช่องอากาศของรากที่ลอยอยู่ในอากาศถูกอุดตันด้วยสิ่งสกปรก เช่น ถูกฉาบด้วยดินเลน ออกซิเจนภายในรากจะลดลงอย่างต่อเนื่องในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ



ภาพที่ 2-4 ระบบรากของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน (Tomlinson, 2016)

2.5 สัตว์ที่สำคัญในป่าชายเลน (สารยุทธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

การที่ป่าชายเลนเป็นพื้นที่รอยต่อระหว่างระบบนิเวศบนบกและระบบนิเวศทางทะเล ทำให้มีสัตว์จากทั้งสองระบบนิเวศเข้ามาอาศัย แต่จะมีถิ่นที่อยู่แตกต่างกัน ถิ่นที่อยู่ของสัตว์ในป่าชายเลนที่สำคัญ คือ ร่องน้ำและคลอง แอ่งน้ำกึ่งถาวร ผิวดิน ใต้ดิน ลำต้น ระบบราก และเรือนยอด

น้ำขึ้น-น้ำลงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อพฤติกรรม และกิจกรรมของสัตว์ทะเลในป่าชายเลน สัตว์ขนาดใหญ่ที่อาศัยตามผิวดินจะโผล่ขึ้นเหนือน้ำในช่วงน้ำลง มักมีเปลือกหรือกระดูกนอกร่างกาย (Exoskeleton) เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากร่างกาย ขณะที่สัตว์ขนาดเล็ก เช่น ไอโซพอด

(Isopod) แอมฟิพอด (amphipods) นิมาโทด (Nematodes) และ โพลีชีด (Polychaetes) จะหลีกเลี่ยงการสูญเสียน้ำจากร่างกายโดยอาศัยตามแอ่งน้ำและ ๆ สัตว์ในกลุ่มกุ้ง ปู และสัตว์ขนาดใหญ่ ๆ อื่น ๆ จะหลีกเลี่ยงความร้อนและความแห้งของผิวนโดยการขุดรูอยู่ รูปูไม่เพียงแต่จะให้ความชื้นแก่ปูเท่านั้น (เหงือกปูต้องเปียกอยู่ตลอดเวลา เพราะการแลกเปลี่ยนก๊าซต้องผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำ) แต่ยังใช้เป็นศูนย์กลางของการแสดงพฤติกรรมเพื่อปกป้องอาณาเขตหวงห้าม (territorial display) และพฤติกรรมที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์ ส่วนสัตว์ทะเลขนาดเล็กที่อาศัยเฉพาะใต้ดิน ปกติจะมีร่างกายที่อ่อนนุ่ม

สัตว์ในระบบนิเวศป่าชายเลนแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และกลุ่มสัตว์มีกระดูกสันหลัง กลุ่มสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังที่สำคัญ ได้แก่ กลุ่มครัสเตเชียน (กลุ่มกุ้ง ปู) กลุ่มมอลลัสก์ (กลุ่มหอย) และกลุ่มสัตว์ขนาดเล็ก ส่วนสัตว์ที่สำคัญในกลุ่มสัตว์มีกระดูกสันหลัง ได้แก่ กลุ่มปลา

2.5.1 กลุ่มครัสเตเชียน (Crustaceans)

วงศ์ Grapsidae หรือ กลุ่มปูแสม และ Ocypodidae หรือ ปูก้ามดาบ เป็นกลุ่มปูที่มีกิจกรรมในช่วงน้ำล้น แต่ในช่วงน้ำขึ้นปูจะอาศัยอยู่ในรู ส่วนวงศ์ Portunidae หรือ ปูทะเล จะมีกิจกรรมในช่วงน้ำขึ้น และจะอยู่ในรูในช่วงน้ำลง ปูถือเป็นสัตว์ที่เลือกกินแต่ของดี ๆ ที่ปากมีระยางค์ใช้เลือกเฉพาะ อินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ อาหารของปู ได้แก่ ซากพืชและซากสัตว์ รวมถึงแบคทีเรีย ไดอะตอม (diatom) และสัตว์ขนาดเล็ก ปูก้ามดาบดูเหมือนเป็นสัตว์สัญลักษณ์อย่างหนึ่งของป่าชายเลน ปูชนิดนี้ตัวผู้จะมีก้ามที่ใช้ได้เพียงก้ามเดียว ส่วนอีกก้ามจะขยายใหญ่ขึ้น ใช้ในการแสดงพฤติกรรมเพื่อปกป้องอาณาเขตหวงห้าม ปูทะเลหรือปูดำถือเป็นปูเศรษฐกิจที่สำคัญ และพบเฉพาะในป่าชายเลนเท่านั้น

ส่วนวงศ์ Penaeidae ได้แก่ กลุ่มกุ้งเศรษฐกิจ เช่น กุ้งแชบ๊วย หรือกุ้งแชบ๊วยหางแดง (*Penaeus merguensis*) กุ้งขาว (*P. indicus*) กุ้งแชบ๊วยจัดเป็นสุดยอดกุ้งและเป็นกุ้งที่อิงกับป่าชายเลน (mangrove dependent species) กุ้งเศรษฐกิจอื่น เช่น กุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) เป็นสัตว์ไม่อิงกับป่าชายเลน

ปูในวงศ์ Grapsidae โดยเฉพาะปูแสมจะกินพืชเป็นอาหาร รวมถึงสาหร่ายที่เกาะตามผิวของราก ลำต้น และกิ่ง แต่อาหารที่สำคัญ คือ ซากพืชส่วนใบ (ใบที่ร่วงจากต้นไม้) ปูแสมจะเคลื่อนย้ายซากพืชส่วนใบไปเก็บไว้ในรู หรืออาจกินซากพืชส่วนใบ หรือเศษซากใบบนพื้นเลน ซากพืชส่วนใบเป็นอาหารหลักของปูแสม จากการวิเคราะห์อาหารในช่องทางเดินอาหารส่วนหน้า (foregut, ทำหน้าที่คล้ายกระเพาะอาหาร) พบว่าอาหารส่วนใหญ่เป็นซากพืชส่วนใบ โดยมีองค์ประกอบอื่นเพียงเล็กน้อย

อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบที่เป็นส่วนน้อยอาจมีความสำคัญมาก ถ้าสามารถให้ธาตุอาหารที่ปูต้องการ (ธาตุไนโตรเจน) แต่เป็นธาตุอาหารที่พบน้อยในซากพืชส่วนใหญ่ การที่มีซากพืชส่วนใหญ่ในท่อทางเดินอาหารเป็นปริมาณมาก ไม่ได้หมายความว่า จะมีการดูดซึมไปใช้มาก อาหารที่กินอาจเป็นเพียงการผ่านท่อทางเดินอาหารไปโดยถูกดูดซึมไปใช้น้อยก็เป็นได้ การจะรู้ว่าอาหารชนิดใดถูกดูดซึมไปใช้ สามารถตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน โดยปูจะชอบกินใบที่สุสลาย (ใบไม้ที่ร่วงหล่นมากกว่า 2 วัน ขึ้นไป) มากกว่าใบที่เพิ่งร่วงจากต้น เนื่องจากปริมาณฟลาโวนอยด์ (flavonols, แทนนินเข้มข้น) ในใบลดลง ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ถูกชะล้างออกจากใบจะสัมพันธ์กับปริมาณการถูกกัดกินที่เพิ่มมากขึ้น กระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรียทำให้คุณค่าทางโภชนาการในใบเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยจะมีปริมาณไนโตรเจนสูงขึ้น นั่นคือ สัดส่วน C/N มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบความชอบของปูในการกินระหว่างใบแก่ที่เพิ่งร่วง (ใบที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือทั้งหมด) และใบที่ยังไม่ถึงเวลาร่วงตามอายุขัย (ใบสดสีเขียว) จากการทดลองพบว่าปูจะชอบกินใบแก่ที่เพิ่งร่วงหล่นมากกว่า

2.5.2 กลุ่มมอลลัสก์ (Mollusks หรือ Molluscs)

กลุ่มหอยก็คล้ายกลุ่มครัสเตเชียน ที่มีการแบ่งเป็นเขตขนานกับแนวชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม กลุ่มหอยจะแตกต่างจากกลุ่มกุ้ง และปู (ยกเว้นกลุ่มเพรียง (branales) และ isopod ที่อาศัยอยู่ตามไม้ฝุ) กลุ่มหอย นอกจากจะอาศัยอยู่ตามดินเลนแล้วยังอาศัยอยู่ตามราก และลำต้นของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ซึ่งมักจะสัมพันธ์กับระดับความสูงของน้ำขึ้นที่ขึ้นถึงหอยที่อยู่ตาม กิ่งและใบพืช ได้แก่ *Littorina scabra*, *L. carinifera* โดยกินรา และไดอะตอม (diatom) ที่ขึ้นตามกิ่ง หอยที่อาศัยตามช่วงล่างของลำต้นและรากลำต้น ได้แก่ กลุ่มหอยน้ำพริก (*Nerita* spp.) และหอยสองฝาเดินได้ (mangrove walking bivalves, *Enigmonia enimatica*) จะเคลื่อนที่ได้ที่ละน้อย ชอบเกาะอยู่ตามต้นจาก หอยเศรษฐกิจ ได้แก่ หอยแครง (*Anadara granosa*) หอยจู้บแจง (*Cerithidea obtusa*) หอยจู้กา (*Telescopium telescopium*) หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) หอยนางรม (*Saccostrea cucullata*) หอยน้ำพริก (*Nerita* spp.)

2.5.3 กลุ่มสัตว์มีกระดูกสันหลัง (Vertebrates)

กลุ่มปลา เนื่องจากปลาเป็นสัตว์ที่เคลื่อนที่ได้รวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณโดยตรงได้อย่างถูกต้อง ในป่าชายเลนมีความหลากหลายของชนิดปลาสูง ปลาที่อาศัยและมีวงจรชีวิตอยู่เฉพาะในป่าชายเลน ได้แก่ ปลาตีน (*periophthalmus* sp.) ปลากระบอกบางชนิด (วงศ์ Mugilidae เช่น *Chelon macrolepis*) ปลานู๋บางชนิด (วงศ์ Gobiidae) และปลาตาเหลือก (*Elopes machnata*) เป็นต้น ส่วนปลาเศรษฐกิจที่ใช้ชีวิตช่วงวัยอ่อนในป่าชายเลน ได้แก่ กลุ่มปลาเก๋า (*Epinephalus bleekeri*) และกลุ่มปลาเกพง (*Lutjanus* spp.) เป็นต้น

ปลาตีน เป็นปลาที่อยู่ในวงศ์ Gobiidae ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับปลาบู๊ โดยปลาตีนคืบและกระโดดบนพื้นผิวเลน โดยอาศัยครีบอกและหางที่ทำหน้าที่คล้ายขา ปลาตีนบางชนิดสามารถปีนขึ้นรากไม้ โดยการไ้ครีบอกจับกับรากไม้ ทำให้ลำตัวแนบกับรากไม้ ปลาตีนบางชนิดครีบท้องจะเชื่อมติดกัน และทำหน้าที่ในการเกาะยึด (sucker) เมื่อน้ำลงปลาตีนจะย้อนกลับลงมาที่ผืนเลน การเคลื่อนย้ายไปมาเป็นการปกป้องอาณาเขตหวงห้าม (territory) โดยพื้นที่ชายฝั่งตอนบนเป็นรูที่อยู่อาศัย ส่วนบนผืนเลนเมื่อน้ำลงเป็นพื้นที่หากิน รูของปลาตีนมีความผันแปรด้านโครงสร้าง ในบางครั้งรูจะมีการใช้ร่วมกันกับสัตว์อื่นแบบพึ่งพาอาศัยกัน ปลาตีนมีทั้งกลุ่มที่กินสัตว์เป็นอาหาร กลุ่มที่กินอินทรีย์สารในตะกอนดิน (deposit feeders) และกลุ่มที่กินทั้งพืชและสัตว์

2.6 โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี

โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำจังหวัดชลบุรี มีพื้นที่ให้บริการในการบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนครอบคลุมพื้นที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น 4 พื้นที่ ได้แก่ เทศบาลเมืองชลบุรี เทศบาลเมืองบ้านสวน เทศบาลตำบลบางทราย และเทศบาลตำบลเสม็ด รวมพื้นที่ให้บริการ 36 ตารางกิโลเมตร จากพื้นที่ชุมชนทั้งหมด 38.73 ตารางกิโลเมตร โดยมีท่อรวบรวมน้ำเสียประกอบด้วย ท่อดักน้ำเสียซึ่งมีความยาวท่อรวบรวมทั้งหมด 13,054 เมตร อาคารผิวน้ำเป็นลักษณะบ่อดักน้ำเสีย ไม่มีบ่มี มีจำนวน 41 บ่อ และสถานีสูบน้ำเสีย 2 สถานี คือ สถานีสูบน้ำเสียสังเขป (PS 1) ตั้งอยู่บริเวณคลองสังเขป สูบน้ำเสียตามแนวท่อที่รวบรวมจากพื้นที่ของเทศบาลบางทราย และสถานีสูบน้ำเสียบางปลาสร้อย (PS 2) ตั้งอยู่บริเวณคลองบางปลาสร้อย ถนนพระยาธำมาสน์ สูบน้ำเสียตามแนวท่อที่รวบรวมจากพื้นที่ของเทศบาลเมืองชลบุรี เทศบาลเมืองบ้านสวน และเทศบาลตำบลเสม็ด แนวท่อรวบรวมน้ำเสีย (ดังภาพที่ 2-5)

โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำจังหวัดชลบุรี มีพื้นที่ในการก่อสร้างรวม 10 ไร่ 2 งาน เป็นแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) แบบมีระบบกำจัดไนโตรเจน ซึ่งประกอบด้วยหน่วยบำบัดต่างๆ ได้แก่ สถานีสูบน้ำเสีย ถังตกตะกอนทราย บ่อผิวน้ำ บ่อเติมอากาศชั้นที่ 1 บ่อตกตะกอนระหว่างกลาง บ่อเติมอากาศชั้นที่ 2 Anaerobic Zone, Anoxic Zone, Oxic Zone บ่อตกตะกอนชั้นสุดท้าย (ดังภาพที่ 2-6) บ่อสัมผัสคลอรีน และเครื่องรีดตะกอน เริ่มเดินระบบเมื่อวันที่ 1 เมษายน 2544 มีความสามารถในการรองรับน้ำเสียตามทีออกแบบไว้ 22,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีปริมาณ BOD loading ประมาณ 402 กิโลกรัมต่อวัน และการกำจัดตะกอนโดยการนำไปฝังกลบที่ศูนย์กำจัดมูลฝอยของจังหวัดชลบุรี แหล่งรองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย คือ คลองห้วยละมู ซึ่งเป็นคลองขนาดเล็ก มีความกว้างประมาณ 5

เมตร ความลึกประมาณ 1-2 เมตร และไหลลงสู่ป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่
ทำการศึกษาในครั้งนี้

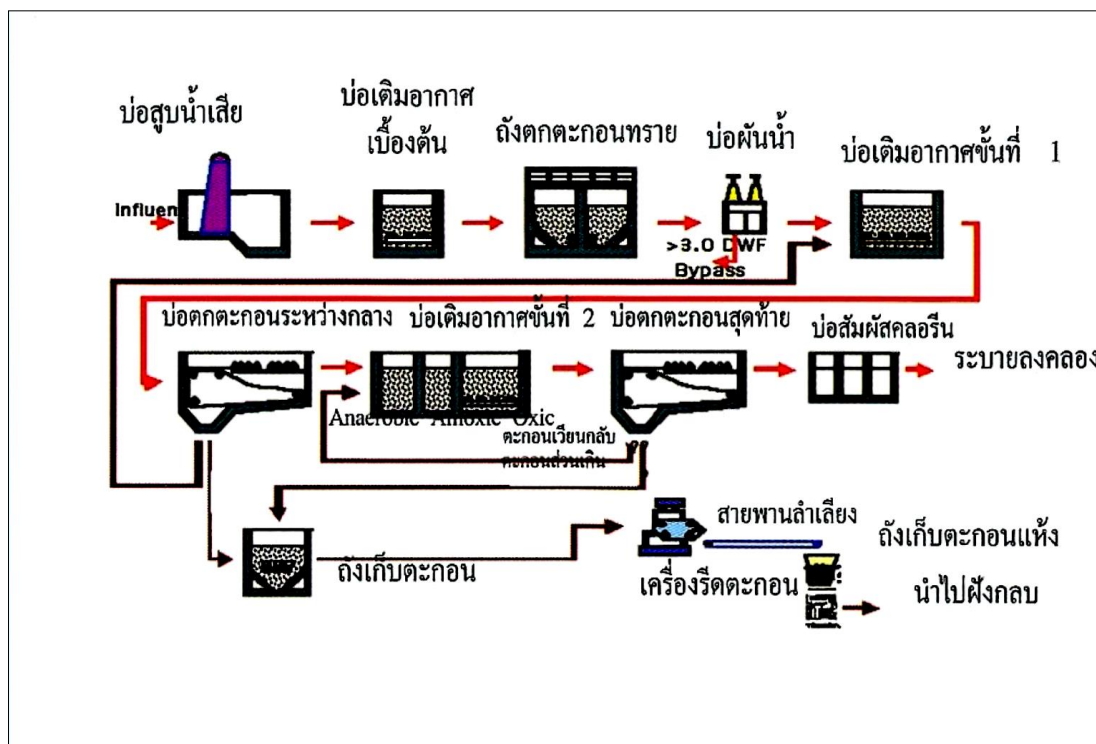
ข้อมูลโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ องค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี

ข้อมูลทั่วไป	
พื้นที่บริการของระบบบำบัด :	36 ตารางกิโลเมตร
ที่ตั้งโครงการ :	112/500 ต.เสม็ด อ.เมือง จังหวัดชลบุรี
แหล่งงบประมาณ :	มหาดไทย (มท.) ปีงบประมาณ 2554
งบประมาณ 565	ล้านบาท
สถานภาพปัจจุบัน :	เปิดดำเนินการ
ข้อมูลการรวบรวมน้ำเสีย	
- ระบบที่รวบรวมน้ำเสีย	
ขนาดของระบบรวบรวมน้ำเสียที่สามารถรับน้ำเสียได้ต่อวัน :	22,500 ลูกบาศก์เมตร
จำนวนบ่อดักน้ำเสียทั้งหมด :	41 บ่อ
บ่อดักน้ำเสีย CSO :	-
- สถานีสูบน้ำเสีย	
จำนวนสถานีสูบน้ำเสียในระบบรวบรวมน้ำเสีย :	2 แห่ง
สถานีสูบน้ำเสียในพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสีย :	1 แห่ง
ปัญหาของระบบรวบรวมน้ำเสีย :	เครื่องจักรชำรุด
ข้อมูลการบำบัดน้ำเสีย	
- การบำบัดในปัจจุบัน	
พื้นที่โรงบำบัดน้ำเสีย :	10 ไร่
ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย :	ระบบบำบัดน้ำแบบตะกอน เร่ง (Activated Sludge : AS)
ปีที่เริ่มดำเนินการ :	2544
ปริมาณน้ำเสียตามการออกแบบ :	22,500 ลูกบาศก์เมตร/วัน
ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบจริง :	10,511 ลูกบาศก์เมตร/วัน



ภาพที่ 2-5 แนวท่อรวบรวมน้ำเสียของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

แม้ปัจจุบัน โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำจะมีระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน ยังสามารถบำบัดน้ำเสียจากชุมชนโดยน้ำที่ผ่านตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนกำหนด แต่ก็พบปัญหาการเดินระบบ คือมีการปนเปื้อนของน้ำทะเลเข้าสู่เส้นท่อรวบรวมน้ำเสีย ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ขึ้นสนิมจนชำรุด ซึ่งเป็นอุปสรรคทั้งต่อการบริหารจัดการระบบบำบัดและการนำน้ำทิ้งหลังบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากน้ำทิ้งมีค่าความเค็มค่อนข้างสูง แม้ว่าจะผ่านการบำบัดแล้ว เช่นเดียวกับตะกอนจากระบบบำบัดก็ไม่สามารถนำไปทำปุ๋ยได้ ซึ่งองค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรีได้มีแผนในการจัดการปัญหาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำจังหวัดชลบุรีมีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืนต่อไป



ภาพที่ 2-6 ฝั่งแสดงกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

2.7 ปัจจัยแวดล้อมในป่าชายเลน

เนื่องจากระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศชายฝั่งที่มีความโดดเด่นเฉพาะตัว โดยสังคมพืชและสัตว์ในป่าชายเลนจะอยู่ได้อิทธิพลของน้ำจืดและน้ำทะเล ดังนั้นความหลากหลาย ความชุ่มชื้น และการกระจายของพืชและสัตว์ในป่าชายเลนจะขึ้นอยู่กับ การปรับตัวให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการผันแปรอยู่เสมอ การตรวจวัดค่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมจึงมีความจำเป็นเพื่อให้ทราบถึงสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลน ปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยแวดล้อมทางเคมีที่สำคัญในป่าชายเลน ได้แก่ ภูมิอากาศ อุณหภูมิ ความเค็ม คลื่นและกระแสน้ำ ความโปร่งแสงของน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-เบส ค่าศักย์รีดอกซ์ (Redox potential) และระดับน้ำขึ้น-น้ำลง (Souza, Arrivabene, Craig, Midwood, Thornton, Matsumoto, Elliott, Wunderlin, Monferran, & Fernandes, 2018)

2.8 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์เกิดจากสิ่งมีชีวิต และสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ รวมไปถึงเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว สารอินทรีย์จะประกอบไปด้วยคาร์บอนประมาณ 45 – 50 % รวมถึงออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ (Barros et al., 2010) สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำส่วนใหญ่ได้มาจากพืชและสัตว์ ของเสียจากสัตว์น้ำขนาดเล็ก และจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งจะมีผลทำให้จุลินทรีย์ในน้ำมีการนำสารอินทรีย์เหล่านี้ไปใช้เป็นอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำจะต้องใช้ออกซิเจนละลายน้ำเป็นตัวช่วย ดังนั้นแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูงก็จะทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดการเน่าเสีย (Yang et al., 2014; Chen & Hur, 2015) สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำมีทั้งที่ละลายน้ำได้ (soluble organic matter : SOM) และเป็นสารอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM) สารอินทรีย์หลายชนิดจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้กับสารแขวนลอยและตะกอนในน้ำ สารอินทรีย์บางชนิดมีความสามารถดูดซับอยู่บนสารแขวนลอยแล้วตกตะกอน (Akamatsu et al., 2009) เช่น สารอินทรีย์ในดินตะกอนที่ถูกดูดซับบนสารแขวนลอยสามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการทางชีวภาพและทางเคมีในอัตราเร็วที่แตกต่างกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย เนื่องจากชนิดของสารอินทรีย์ที่ต่างกัน จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาในตะกอนที่ต่างกันด้วย ดังนั้นชนิดและความแข็งแรงของการดูดซับจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบเชิงซ้อน โดยระหว่างดินเหนียวกับอิวมัส พบว่าชนิดของดินตะกอนที่มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ได้ดี คือ ดินเหนียว (clays) สารอินทรีย์พวกอิวมัส (humus) หรือสารอิวมิก (humic substances) (พูลสุข โปธิรักขิต-ปรัชญานุสรณ์, 2553)

2.9 น้ำเสีย (wastewater)

“น้ำเสีย” หมายถึง น้ำ ที่มีสารใด ๆ หรือสิ่งปฏิกูลที่ไม่พึงปรารถนาเจือปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ (Smith et al., 1999) สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ น้ำมัน ไขมันผงซักฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็นและเชื้อโรคต่าง ๆ สำหรับประเภทของน้ำเสียสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ (Herteman et al., 2011) ดังนี้

2.9.1 น้ำเสียจากบ้านเรือน น้ำเสียจากบ้านเรือนเกิดจากกิจกรรมการใช้ต่าง ๆ ของผู้ที่พักอาศัยภายในบ้านเรือน เช่น การอาบน้ำชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย การประกอบอาหาร การล้างภาชนะ การซักล้าง เป็นต้น ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำเสีย ปริมาณ และลักษณะน้ำเสียที่แตกต่างกันตามกิจกรรมต่าง ๆ (Chen et al., 2015)

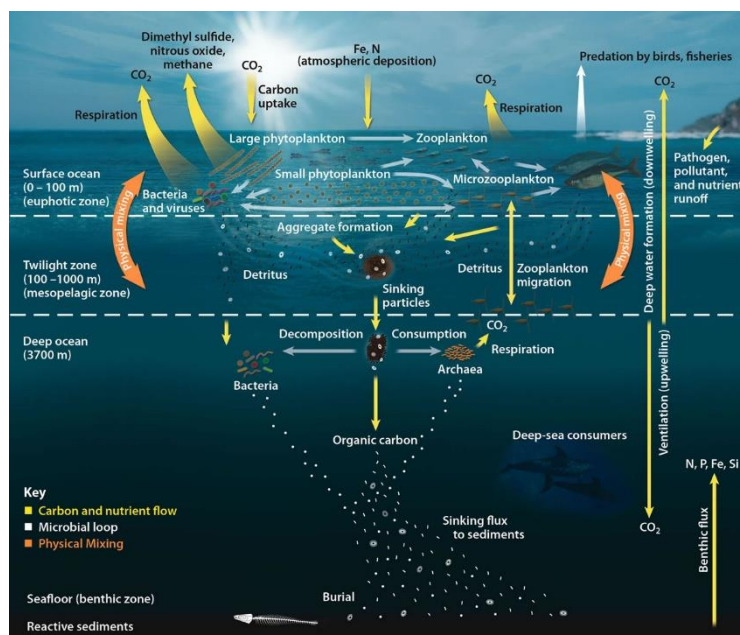
2.9.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงาน อุตสาหกรรมรวมทั้งน้ำหล่อเย็นที่มีความร้อนสูงและน้ำเสียจากห้องน้ำ ห้องส้วมของคณงาน แต่สิ่งสกปรกในน้ำเสียเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารเคมีที่เป็นพิษและพวกโลหะหนักต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีความเข้มข้นสูงอีกด้วย (Bouillon et al., 2003)

2.10 ดินตะกอน (sediment)

ดินตะกอน หรือ sediments หมายถึง อนุภาคที่มาจากการรวมตัวกันของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์กับเศษซากที่มาจากการการเน่าเปื่อยทับถมจากสิ่งมีชีวิต และมาจากการพังทลายของดินหรือการที่หินหรือพื้นดินบริเวณใกล้แหล่งน้ำถูกกัดเซาะ รวมถึงโครงสร้างที่เป็นของแข็งของสิ่งมีชีวิตที่ถูกพัดพามาหรือเกิดขึ้นภายในแหล่งน้ำ และมีการตกตะกอนทับถมลงบนพื้นที่ท้องน้ำ เช่น บริเวณพื้นทะเล พื้นทะเลสาบ พื้นของแม่น้ำ และน้ำตก เป็นต้น (Vilhena et al., 2010) ดินตะกอนที่มีขนาดเล็กมาก เช่น ดินตะกอนที่เกิดจากการทับถมของซากแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) และแพลงก์ตอนสัตว์ (zooplankton) อินทรีย์วัตถุที่เน่าเปื่อยผุพัง (detritus) หรือตะกอนที่เกิดจากการกัดเซาะดินเหนียว และดินตะกอนยังเป็นแหล่งอาหาร ที่อยู่อาศัย แหล่งสืบพันธุ์ และที่หลบภัยของสัตว์ทะเลหน้าดิน (benthos) และดินตะกอนยังเป็นทีเกาะยึดและเป็นแหล่งธาตุอาหารของป่าชายเลน (Ibharim et al., 2015) พรรณไม้น้ำ สาหร่าย และหอยน้ำทะเล (จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, 2548)

2.11 วัฏจักรชีวธรณีเคมีในทะเล

สารอินทรีย์ในระบบนิเวศชายฝั่งจะก่อกำเนิดและถูกหมุนเวียนเป็นวัฏจักร โดยมีการหมุนเวียนได้ใน 3 รูปแบบ คือ วัฏจักรในดิน (Sedimentary cycling) วัฏจักรในน้ำ (Hydrological cycling) และวัฏจักรในอากาศ (Gaseous cycling) เชื่อมโยงเข้าด้วยกันจนเกิดเป็นวัฏจักรชีวธรณีเคมี (Biogeochemical cycles) (ภาพที่ 2-7) ส่งผลให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศทั้งปัจจัยทางกายภาพที่เกื้อหนุนระบบนิเวศก็จะรักษาระดับและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในปริมาณที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต วัฏจักรของสารอินทรีย์เปรียบเสมือนกลไกที่เชื่อมโยงสสารและพลังงานจากธรรมชาติสู่สิ่งมีชีวิต วัฏจักรของสารอินทรีย์เปรียบเสมือนกลไกที่เชื่อมโยงสสารและพลังงานจากธรรมชาติสู่สิ่งมีชีวิต และปล่อยให้สิ่งมีชีวิตจัดการถ่ายทอดพลังงานในรูปแบบของการกินต่อกันเป็นทอด ๆ หลังจากนั้น วัฏจักรของสสารก็จะนำสิ่งที่เหลือท้ายสุดจากการกินกลับคืนสู่ธรรมชาติ โดยกระบวนการและปฏิกิริยาในรูปแบบต่าง ๆ ต่อไป วัฏจักรของสสารที่มีความสำคัญต่อความสมดุลของระบบนิเวศ ได้แก่ วัฏจักรของคาร์บอน วัฏจักรของไนโตรเจน และวัฏจักรของฟอสฟอรัส เป็นต้น (Lin & Fong, 2008)

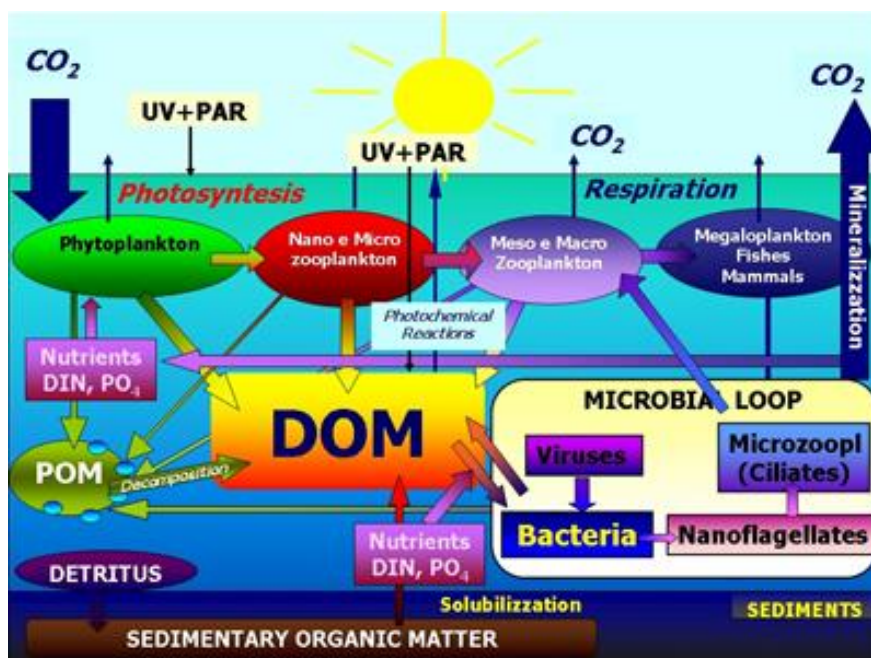


ภาพที่ 2-7 กระบวนการทางชีวธรณีเคมีที่เกิดขึ้นในทะเล (Office of Biological and

Environmental Research of the U.S. Department of Energy Office of Science, 2008)

2.11.1 วัฏจักรของคาร์บอนในทะเล

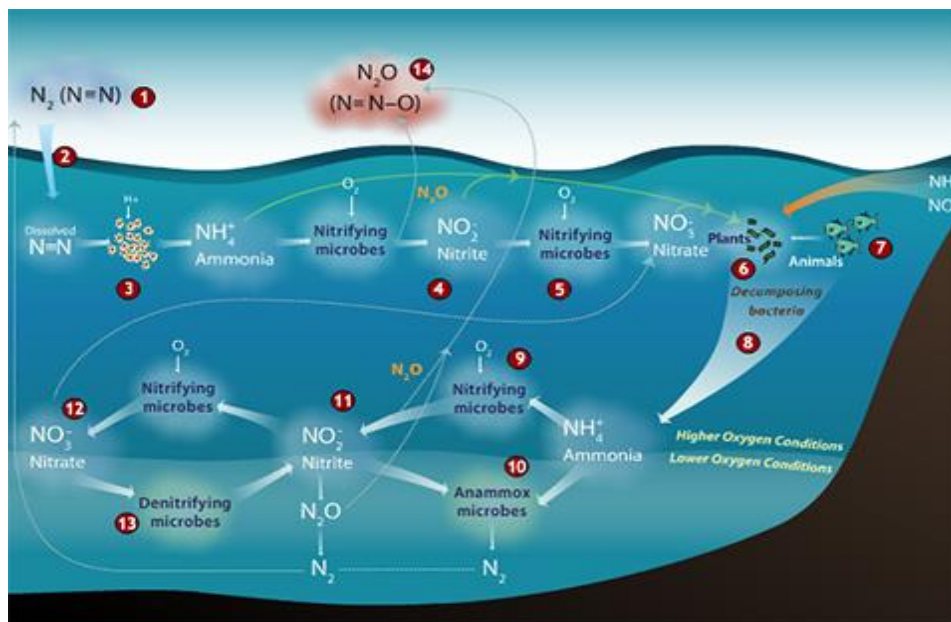
วัฏจักรของคาร์บอน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปของคาร์บอนในสถานะต่าง ๆ ที่หมุนเวียนเป็นองค์ประกอบในอากาศ สารอาหาร น้ำ สัตว์ และพืช ด้วยกระบวนการทางเคมี และการย่อยสลายของจุลินทรีย์จากระบบหนึ่งไปสู่ระบบหนึ่ง คาร์บอนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศ และสิ่งมีชีวิตบนโลก (Giarrizzo, et al., 2011) จัดเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ทั้งสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว และสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ คาร์บอนที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอน ทั้งก๊าซ ของแข็ง ของเหลว ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงรูปตามแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดิน หิน น้ำ บรรยากาศ และสิ่งมีชีวิต วัฏจักรคาร์บอนมีการหมุนเวียนของคาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก (Anderson et al., 2010) เริ่มตั้งแต่มีสถานะก๊าซในชั้นบรรยากาศ การละลายในน้ำ และน้ำฝน การตรึงและเปลี่ยนรูปในพืช และสัตว์ การหมุนเวียนของคาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ เริ่มจากพืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์ (Bates, 2001) คาร์บอนจากบรรยากาศจึงเคลื่อนย้ายเข้าสู่พืช เกิดขึ้นได้ทั้งบนบกและในน้ำ ในการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชจะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี บางส่วนถูกใช้ไป บางส่วนถูกเก็บสะสมในรูปคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหาร คาร์บอนเหล่านี้จะกลับสู่บรรยากาศโดยการหายใจ และการย่อยสลายหลังจากสิ่งมีชีวิตตายลงไป การย่อยสลายนี้อาจจะได้ (Friis et al., 2005) คาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซมีเทนกลับคืนสู่บรรยากาศ เป็นต้น โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสามารถละลายได้ในน้ำทะเล ปริมาณการละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ และอุณหภูมิของน้ำ นอกจากนั้นการหายใจของพืชน้ำ และสัตว์น้ำมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเช่นกัน บางส่วนจะละลายน้ำ และบางส่วนจะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ วัฏจักรคาร์บอนในน้ำทะเลเป็นแหล่งสำรองคาร์บอนแหล่งใหญ่ที่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่าในบรรยากาศ ถึง 50 เท่า ดังนั้นแหล่งของคาร์บอนในน้ำทะเลจึงเป็นตัวควบคุมปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศทั้งหมดที่มีการแลกเปลี่ยนกันอยู่เสมอ (ภาพที่ 2-8) นอกจากนี้แหล่งน้ำยังได้รับคาร์บอนจากบรรยากาศในรูปของน้ำฝนที่ละลายคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศในรูปของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) (Bouillon et al., 2008)



ภาพที่ 2-8 วัฏจักรของคาร์บอนในทะเล (Southern European Seas, 2010)

2.11.2 วัฏจักรของไนโตรเจนในทะเล

ปริมาณไนโตรเจนในบรรยากาศมีสูงถึงร้อยละ 78 ของอากาศทั้งหมด สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะไม่สามารถนำ N₂ ในบรรยากาศไปใช้ได้โดยตรง แต่จะใช้ได้เมื่ออยู่ในสภาพสารประกอบ เช่น แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ดังนั้นแหล่งสะสมที่แท้จริงของไนโตรเจนจึงอยู่ในสภาพสารอินทรีย์ เช่น ยูเรีย โปรตีน กรดนิวคลีอิก ธาตุไนโตรเจนในบรรยากาศจึงจำเป็นต้องถูกเปลี่ยนรูปให้อยู่ในสภาพที่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะใช้ได้ (Vinagre et al., 2012) ซึ่งเกิดโดยกระบวนการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) นอกจากนี้ ในวัฏจักรของไนโตรเจนยังมีกระบวนการที่สำคัญ อีก 3 กระบวนการ คือ ammonification, nitrification และ denitrification กระบวนการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) เป็นการเปลี่ยนแก๊สไนโตรเจนจากอากาศให้อยู่ในสภาพของแอมโมเนียหรือไนเตรตซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ (ภาพที่ 2-9)



ภาพที่ 2-9 วัฏจักรของไนโตรเจนในทะเล (Buchwald, 2008)

2.12 สัตว์หน้าดิน (Benthos)

สัตว์ทะเลหน้าดิน (marine benthos) หมายถึง สัตว์ทั้งที่มีกระดูกสันหลังและไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นท้องทะเล โดยบางชนิดอาศัยอยู่บนพื้นดิน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ประเภทที่เกาะติดอยู่บนพื้นดิน (sessile organism) ประเภทที่เคลื่อนที่อิสระบนพื้นดิน (motile organism) และประเภทที่ฝังตัวอยู่ในดิน (burrowing in sediment) (Kruitwagen et al., 2010) และการแบ่งกลุ่มของสัตว์ทะเลหน้าดินออกตามลักษณะการกินอาหาร ซึ่งจะสัมพันธ์กับลักษณะพื้นที่ที่สัตว์ทะเลหน้าดินอาศัยอยู่ ได้แก่

2.12.1 สัตว์หน้าดินที่กินพืชเป็นอาหาร (Herbivores) ได้แก่ หอยฝาเดียวและหอยเม่น สัตว์ทะเลหน้าดินประเภทนี้จะมีฟันสำหรับแทะสาหร่าย หรือพืชขนาดเล็กที่เกาะตามพื้นหิน (Oakes et al., 2010)

2.12.2 สัตว์หน้าดินที่กินสัตว์เป็นอาหาร (Carnivores) ได้แก่ หอยฝาเดียวบางชนิด เช่น หอยกระแจะหรือหอยมะระที่ชอบเจาะไชกินหอยนางรมและเพรียงเป็นอาหาร ปลาฉลามหลายชนิดชอบกินหอยสองฝาและปูทะเล (Faye et al., 2011)

2.12.3 สัตว์หน้าดินที่กรองอาหารจากมวลน้ำ (Filter feeders) สัตว์ทะเลหน้าดินประเภทนี้มีอวัยวะสำหรับกรองแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์จากมวลน้ำ อวัยวะที่ใช้กรองอาหารอาจเป็นหนวด รางค์ส่วนปากหรือส่วนเหงือก ตัวอย่างสัตว์กลุ่มนี้ได้แก่ หอยนางรม หอยแมลงภู่ หอยกะพง และจักจั่นทะเล (Kon et al., 2015)

2.12.4 สัตว์หน้าดินที่กินอินทรีย์สารเป็นอาหาร สัตว์หน้าดินประเภทนี้แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีก คือสัตว์หน้าดินที่ดำรงชีพโดยการกินซากพืชซากสัตว์ (Scavengers) เท่านั้นเช่น แมลงสาบทะเล ปูก้ามดาบเป็นประเภทที่กัดกินซากพืชซากสัตว์หรือกินแบคทีเรียและจุลชีพบนอินทรีย์สาร (Detritus feeders) ปลิงทะเลจะกินอินทรีย์สารที่อยู่ในดินเป็นอาหาร (Deposit feeders) โดยอาจกินกรวดทรายเข้าไปในตัว และมีกระบวนการย่อยและดูดซึมเฉพาะอินทรีย์สารไว้ และถ่ายกรวดทรายออกมาในรูปของอุจจาระ (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2554)

สิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญในระบบนิเวศป่าชายเลน ได้แก่ ปลาชนิดต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลน ปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและพบมาก ได้แก่ ปลานวลจันทร์ทะเล ปลาตีน และปลากะพงขาว ชนิดและความชุกชุมของปลาจะมีความแตกต่างกันตามฤดูกาลวางไข่ กระแสน้ำ ระดับความเข้มข้นของน้ำทะเล อุณหภูมิ ชนิดและจำนวนของสิ่งมีชีวิตที่กินปลา ปลาในป่าชายเลนสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ใหญ่ ๆ คือ ปลาที่อาศัยอยู่เป็นประจำ ปลาที่อาศัยอยู่ชั่วคราว ปลาที่มากับกระแสน้ำ และปลาที่พบในบางฤดูกาล (Bishop & Chapman, 2004) กุ้งในป่าชายเลนหรือกุ้งที่อาศัยอยู่ในน้ำกร่อยมี 15 ชนิด กุ้งที่มีความสำคัญและมีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูง คือ กุ้งกุลาดำ และกุ้งแชบ๊วย นอกจากนี้ยังมีกุ้งบางชนิดที่ว่ายน้ำจากบริเวณน้ำจืดไปวางไข่บริเวณน้ำกร่อยอีก และที่สำคัญ ได้แก่ กุ้งก้ามกราม และกุ้งน้ำจืด เป็นต้น (Fujioka et al., 2007) หอยที่พบในป่าชายเลนที่สำคัญ ได้แก่ หอยสองฝา เช่น หอยนางรม หอยแครง และหอยจอบ ซึ่งอาจจะฝังตัวอยู่ในดินหรือเกาะตามดิน ราก กิ่งและใบของไม้ป่าชายเลน นอกจากนี้ยังมีหอยเจาะซึ่งพบมากตามซากต้นไม้ที่หักพังด้วย หอยฝาเดียว ได้แก่ หอยจิ้งก (Viswanathan & Raffi, 2010) และปูที่พบบริเวณป่าชายเลนมีอยู่ประมาณ 30 ชนิด โดยชนิดที่สำคัญ คือ ปูแสม และปูก้ามดาบ ซึ่งปูทั้ง 2 ชนิด นี้มีสีสันต่าง ๆ สวยงาม (Geist et al., 2012)

2.13 ไอโซโทปเสถียร (Stable isotopes)

ไอโซโทป คือ อะตอมของธาตุนั้นเหมือนกัน ซึ่งมีจำนวนโปรตอนและจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน การที่มีจำนวนนิวตรอนต่างกันในแต่ละไอโซโทป หมายถึง การมี

ประจักษ์ที่เท่ากัน แต่มีมวลต่างกัน (Li & Ye, 2014) ตัวเลขด้านบนซ้ายของสัญลักษณ์ธาตุ แสดงผลรวมของจำนวนโปรตอนกับจำนวนนิวตรอนของไอโซโทป ตัวอย่างเช่น ดิวเทอเรียม (deuterium) ซึ่งเป็นไอโซโทปของไฮโดรเจน เขียนแทนด้วย D หรือ ^2H มีหนึ่งโปรตอนกับหนึ่งนิวตรอน มีมวลประมาณ 2 เท่าของโปรเทียม (protium, ^1H) ขณะที่ทริเทียม (tritium, ^3H) มีสองนิวตรอน และมีมวลประมาณ 3 เท่าของโปรเทียม ส่วนไอโซโทปของออกซิเจน มี 8 อิเล็กตรอนกับ 8 โปรตอน โดยออกซิเจน-18 (^{18}O) มีนิวตรอนมากกว่า ออกซิเจน-16 (^{16}O) 2 นิวตรอน (Kubo et al., 2015)

ไอโซโทปเสถียร หมายถึง ไอโซโทปของธาตุที่ไม่มีการสลายอีกต่อไป ซึ่งธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาตินั้น โดยปกติแล้วจะมีส่วนประกอบของไอโซโทปเสถียรของธาตุที่มีมวลน้อย เช่น ไฮโดรเจน (H), คาร์บอน (C), ไนโตรเจน (N), ออกซิเจน (O) และซัลเฟอร์ (S) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ไอโซโทปเสถียรของธาตุเดียวกันที่มีมวลเบากว่ามักจะพบในธรรมชาติมากกว่า ไอโซโทปที่มีมวลหนักกว่า (ดังตารางที่ 3-2) (Zachleder et al., 2018) ซึ่งสัดส่วนระหว่างไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบาที่จะนำไปใช้ในการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม (Dubois et al., 2014) โดยไอโซโทปเสถียรที่นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ คือ ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$)

ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) สามารถนำมาใช้ในการบ่งชี้แหล่งที่มาของอินทรีย์คาร์บอนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งคาร์บอนจัดว่าเป็นธาตุหลักที่มีอยู่ในระบบนิเวศสิ่งแวดล้อมทั้งในพืชและสิ่งมีชีวิต โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในพืชจะต่ำกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในชั้นบรรยากาศ เนื่องจากกระบวนการทางกายภาพและเกิดเอนไซม์ในพืช ทำให้ปริมาณไอโซโทปเบาในพืชมีมากกว่าไอโซโทปหนัก และได้นำไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนมาศึกษาในพืช โดยพบว่า ปริมาณไอโซโทปเสถียรในพืช C_3 ต่ำกว่าในพืช C_4 เนื่องจากพืช C_3 มีกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเพียง 1 ครั้ง และได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนจำนวน 3 อะตอม ขณะที่พืช C_4 มีการตรึง CO_2 จำนวน 2 ครั้ง และได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนจำนวน 4 อะตอม (Lajtha & Michener, 1994)

ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) นำมาใช้ในการบ่งชี้แหล่งที่มาของไนโตรเจนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การนำเทคนิคไอโซโทปเสถียรมาใช้ในการตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศแหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากน้ำทิ้งที่เกิดจากมนุษย์ ทำการศึกษาโดย Duan et al. (2014) พบว่า แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในแม่น้ำ San Jacinto มาจากน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

สัดส่วนไอโซโทปเสถียรในสิ่งมีชีวิตขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการดำรงชีวิต โดยเฉพาะการกินอาหาร (Franca et al., 2011) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการอื่นๆอีกมากมาย เช่น กระบวนการย่อยสลาย กระบวนการหายใจ เป็นต้น แต่ทั้งนี้อาจพบไอโซโทปเสถียรที่แตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และอาหารที่กิน (Tue et al., 2012) องค์ประกอบของไอโซโทปเสถียรในธาตุที่มีมวลน้อย เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยทั่วไปจะรายงานด้วยค่าของเดลตา (delta, δ) ซึ่งเป็นค่าของส่วนในพันส่วน ใช้สัญลักษณ์ ‰ โดยเปรียบเทียบกับปริมาณที่มากกว่า (enrichment) หรือน้อยกว่า (depletion) ค่าในสารมาตรฐาน สัญลักษณ์ ‰ หรือเรียกว่า per mil (นรินทร์ บุญदानนท์, 2553) โดยคำนวณได้จาก

$$\delta X (\text{‰}) = [(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3$$

โดย X คือ ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน (^{13}C) หรือไนโตรเจน (^{15}N)

R คือ ปริมาณสัดส่วนของไอโซโทปเสถียร ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ หรือ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)

เมื่อ R เป็นอัตราส่วนของไอโซโทปหนัก (Heavy) (^{13}C) กับไอโซโทปเบา (light) (^{12}C) ในอัตราส่วนของตัวอย่าง (R_{sample}) กับอัตราส่วนของสารมาตรฐาน (R_{standard}) สำหรับปริมาณไอโซโทปเสถียร (δ) ที่เป็นบวก หมายความว่า ในตัวอย่างพบปริมาณไอโซโทปหนักมากกว่าสารมาตรฐาน ส่วนปริมาณไอโซโทปเสถียร (δ) ที่มีค่าติดลบ หมายความว่า ในตัวอย่างมีปริมาณไอโซโทปหนักน้อยกว่าสารมาตรฐาน โดยสัดส่วนไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) จะเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานคาร์บอนของฟอสซิลในชั้นหินใต้ทะเลลึกที่มีอายุเก่าแก่ (Vienna Pee Dee Belemnite; VPDB) และสัดส่วนไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) จะเปรียบเทียบกับก๊าซไนโตรเจนในชั้นบรรยากาศ (N_2) เช่น ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในใบของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนจะมีค่าอยู่ที่ -24‰ ถึง -30‰ ขณะที่พีชน้ำในทะเล เช่น สาหร่ายขนาดใหญ่ หรือ หญ้าทะเลจะมีปริมาณสูงกว่า (ค่าติดลบน้อยกว่า) (Dubois et al., 2014)

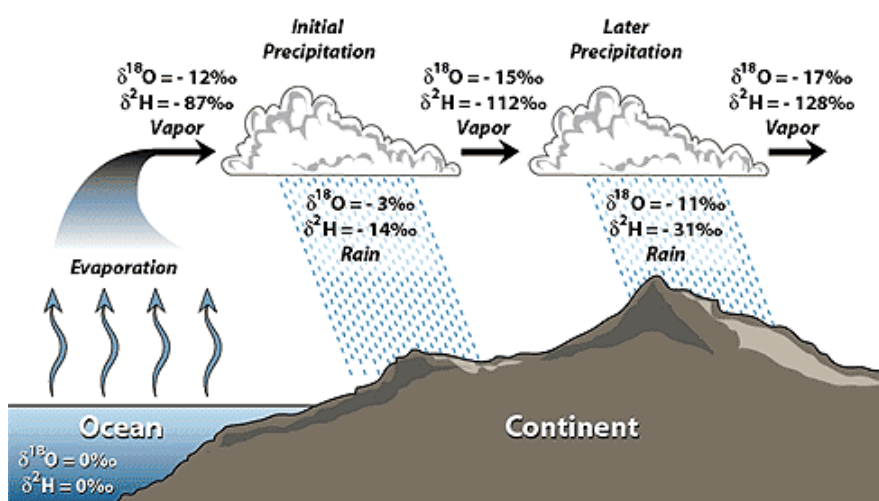
ตารางที่ 3-2 แสดงสัดส่วนของไอโซโทปเสถียรของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในธรรมชาติ
(Zachleder et al., 2018)

Z	Name	Symbol	Mass of atom,	Abundance (%)
1	Hydrogen	¹ H	1.007825	99.9885
	Deuterium	² H	2.014102	0.0115
6	Carbon	¹² C	12.00000	98.93
		¹³ C	13.003355	1.07
7	Nitrogen	¹⁴ N	14.003074	99.632
		¹⁵ N	15.00109	0.368
8	Oxygen	¹⁶ O	15.994915	99.757
		¹⁷ O	16.999132	0.038
		¹⁸ O	17.999160	0.205
12	Magnesium	²⁴ Mg	23.981538	78.99
		²⁵ Mg	24.985042	10.00
		²⁶ Mg	25.98293	11.01
16	Sulfur	³² S	31.972071	94.93
		³³ S	32.971458	0.76
		³⁴ S	33.967867	4.29
		³⁶ S	35.967081	0.02
34	Selenium	⁷⁴ Se	73.922477	0.89
		⁷⁶ Se	75.919214	9.37
		⁷⁷ Se	76.919915	7.63
		⁷⁸ Se	77.910310	23.77
		⁸⁰ Se	79.916522	49.61
		⁸² Se	81.916700	8.73

การแยกลำดับส่วนของไอโซโทป (Isotope fractionation)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของธาตุหนักกับธาตุเบาจากกระบวนการทางเคมี เช่น การระเหย (evaporation) หรือกระบวนการควบแน่น (condensation) (ดังภาพที่ 2-10) จะเห็นว่าในมหาสมุทรมีการกำหนดปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ให้เท่ากับ 0‰ เมื่อเกิดกระบวนการระเหยกลายเป็นไอน้ำทำให้ปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ เปลี่ยนเป็น -12‰ และ -87‰ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปที่เบากว่ามีค่าน้อยกว่าพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปที่หนักกว่า ทำให้ในไอน้ำประกอบไปด้วยไอโซโทปเบาเป็นหลัก ส่งผลให้สัดส่วนของไอโซโทปเสถียรมีค่าน้อยกว่า 1 และเมื่อนำมาคำนวณสัดส่วนของไอโซโทปเสถียร จะได้ค่า δ ติดลบ

หลังจากนั้นเมื่อมีการพัดไอน้ำที่ระเหยจากทะเลขึ้นมาสู่แผ่นดินและเกิดการควบแน่นกลายเป็นฝน จะเห็นว่าภายในน้ำฝนมีปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ อยู่ที่ -3‰ และ -14‰ ตามลำดับ เนื่องจากพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปที่หนักกว่ามีค่าน้อยกว่าพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปที่เบากว่า ทำให้ในน้ำฝนประกอบด้วยไอโซโทปหนักเป็นหลัก ดังนั้นค่า δ ที่คำนวณออกมาจึงมีค่าติดลบมากกว่าของไอน้ำ ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบในไอน้ำ หลังจากการควบแน่นส่งผลให้มีไอโซโทปเบามากขึ้น ดังนั้น δ จึงมีค่าติดลบมากขึ้น (ดังภาพที่ 2-10)



ภาพที่ 2-10 การแยกลำดับส่วนของไอโซโทปจากน้ำทะเลสู่น้ำฝน (Sustainability of semi-Arid

Hydrology and Riparian Area, 2005)

สารมาตรฐานไอโซโทปเสถียร

การใช้สารมาตรฐานไอโซโทปเสถียรหลายชนิด สำหรับการวิเคราะห์และรายงานองค์ประกอบของไอโซโทป โดยการกำหนดให้สารมาตรฐานมีองค์ประกอบของไอโซโทปเป็น 0% การรายงานสัดส่วนของไอโซโทปเสถียรของออกซิเจนกับไฮโดรเจน โดยทั่วไปจะเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน SMOW (Standard Mean Ocean Water) หรือสารมาตรฐาน VSMOW (Vienna-SMOW) การรายงานสัดส่วนไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน จะเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน PDB (Pee Dee Belemnite) หรือสารมาตรฐาน VPDB (Vienna PDB) สัดส่วนไอโซโทปเสถียรของออกซิเจนในสารประกอบคาร์บอนเนต ใช้เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน PDB หรือ VPDB เช่นกัน การรายงานสัดส่วนไอโซโทปเสถียรของซัลเฟอร์กับไนโตรเจน ใช้การเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน CDT (Canon Diablo Troilite) และสารมาตรฐาน AIR (สำหรับตัวอย่างอากาศ) (Sampaio et al., 2010)

ปัจจุบันไม่มีการใช้สารมาตรฐาน SMOW และ PDB แต่ใช้สารมาตรฐาน VSMOW และ VPDB ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศหรือ IAEA (International Atomic Energy Agency) สำหรับการปรับเทียบค่าของเซลล์ในหน่วย permil ขณะที่ห้องปฏิบัติการบางแห่ง อาจจะใช้วิเคราะห์สารประกอบจากร่างกาย หรือสารประกอบที่มีสัดส่วนไอโซโทปเสถียรที่มีปริมาณสูง โดยรายงานเป็นร้อยละ หรือ ppm แทนที่จะแสดงสัดส่วนเป็น per mil (นรินทร์ บุญदानนท์, 2553)

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไอโซโทปเสถียรมาใช้ในการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศทางทะเล ได้แก่ การติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์บริเวณชายฝั่งเขตร้อนของบราซิล ทำการศึกษาโดย Dittmar et al. (2001) พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์บริเวณชายฝั่งนั้น ส่วนใหญ่มาจากเศษซากพืชซากสัตว์ในป่าชายเลนที่อยู่ใกล้เคียงกับชายฝั่ง เนื่องจากปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในสารอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM) และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic matter :DOM)บริเวณชายฝั่งใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสารอินทรีย์แขวนลอย และสารอินทรีย์ละลายน้ำในป่าชายเลน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา ของ Gonnee et al. (2004) พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนมาจากป่าชายเลนประมาณ 30-80 % ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่สำคัญ และมีแหล่งที่มาจากแหล่งหญ้าทะเล 0-20 % และมีการส่งสารอินทรีย์ออกสู่ระบบนิเวศชายฝั่งเพื่อรักษาความสมดุลในระบบนิเวศป่าชายเลน แสดงให้เห็นถึงผลการศึกษาที่ตรงข้ามกับ

การศึกษาของ Ranjan et al. (2011) โดยได้นำไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจนมาใช้ในการระบุแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณป่าชายเลน Pichavaram ประเทศอินเดีย โดยพบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนส่วนใหญ่มาจากพืชบกที่ขึ้นอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำในป่าชายเลน เนื่องจากปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ของพืชบก

นอกจากนั้นยังมีการนำไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนมาใช้ในการติดตามแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในบริเวณระบบนิเวศปากแม่น้ำ โดย Andrews et al. (1998) ได้นำไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมาใช้ในการระบุแหล่งที่มาและการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำบริเวณปากแม่น้ำ อ่าวฮันท์ ทำเรื่องรังสัดัน พบว่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM) บริเวณปากแม่น้ำใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในอินทรีย์แขวนลอยในอ่าวฮันท์ สามารถบ่งชี้ได้ว่าแหล่งที่มาของ POM บริเวณปากแม่น้ำนั้นส่วนใหญ่มาจากอ่าวฮันท์ ซึ่งมีความขัดแย้งกับการศึกษาปริมาณและการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์โดยนำไอโซโทปเสถียรมาใช้เพื่อติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของคาร์บอนและไนโตรเจนบริเวณปากแม่น้ำในอ่าว Babitonga ประเทศบราซิล ของ Barros et al. (2010) พบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำผิวน้ำแปรอยู่ในช่วง -1.8% ถึง -7.4% ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในน้ำเสียจากชุมชน และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของอินทรีย์คาร์บอนแขวนลอยอยู่ในช่วง -26.2% ถึง -23.9% และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในมหาสมุทรแอตแลนติกอยู่ในช่วง -23 ถึง -22% และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในอินทรีย์ในโตรเจนแขวนลอยใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ จากบนบก จากปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ของสารอินทรีย์ที่มีความแตกต่างกันสามารถระบุได้ว่า แหล่งที่มาของอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำและอินทรีย์คาร์บอนแขวนลอยในอ่าว Babitonga มาจากน้ำเสียจากชุมชนที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด และมาจากทะเล ตามลำดับ และแหล่งที่มาของอินทรีย์ในโตรเจนแขวนลอยส่วนใหญ่มาจากบนบก

นอกจากนั้นการนำไอโซโทปเสถียรมาใช้ในการติดตามแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในบริเวณระบบนิเวศชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยการนำไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) มาใช้ในการบ่งชี้แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสาหร่ายขนาดใหญ่บริเวณชายฝั่งประเทศสเปน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเขตชุมชน ทำการศึกษาโดย Viana and Bode (2013) พบว่าปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในตัวอย่างน้ำ และสาหร่ายขนาดใหญ่มีปริมาณสูงกว่าปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ที่พบในบริเวณชายฝั่ง และปริมาณ

$\delta^{15}\text{N}$ ในตัวอย่างน้ำมีความสอดคล้องกับปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายขนาดใหญ่ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในน้ำเสียที่เกิดจากชุมชน ดังนั้นจึงสามารถบ่งชี้ได้ว่า แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสาหร่ายขนาดใหญ่บริเวณชายฝั่ง ส่วนใหญ่จากน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในเขตชุมชน ทำให้พบปริมาณไนโตรเจนสูงเกินกว่าที่พบในธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับการนำไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) มาใช้ในการติดตามตรวจสอบสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำทะเลที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์บริเวณชายฝั่งเม็กซิโก ของ Sanchez et al. (2013) โดยพบว่า ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในน้ำทะเลในเขตพื้นที่ที่ได้รับการพัฒนา คือ เขตเมืองขนาดใหญ่ และเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก มีปริมาณสูงกว่าในพื้นที่ที่ไม่ได้มีการพัฒนา เนื่องจากพื้นที่ที่มีการพัฒนาได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ ทำให้พบปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ สูงกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้รับการพัฒนา และแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ของแหล่งน้ำทะเลได้รับมาจากกิจกรรมของมนุษย์ในเขตเมืองซึ่งนั่นคือพื้นที่ที่ได้รับการพัฒนาแล้ว

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลกระทบของน้ำเสียจากชุมชนต่อกลุ่มของปูและสัตว์จำพวกหอยในแถบเส้นศูนย์สูตร และ ป่าเขตร้อนของทางตะวันออกของแอฟริกาโดย Cannicci et al. (2009) พบว่า ปริมาณสิ่งมีชีวิตจำนวนมากที่อาศัยอยู่บริเวณที่ถูกล้อมรอบไปด้วยชุมชน และสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นๆ นั้นได้รับผลกระทบจากน้ำเสียที่เกิดจากชุมชน และพืชในป่าชายเลนมีการดูดซับมลพิษที่เกิดจากน้ำเสียด้วยเช่นกัน เนื่องปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในไตรทของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะอยู่ในช่วง -2.0 ถึง 9.0 ‰ ซึ่งมีปริมาณสูงมาก และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในไนเตรทที่เกิดจากของเสียจากมนุษย์และสิ่งมีชีวิตจะอยู่ในช่วง 10 ถึง 22 ‰ โดยทั่วไป ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของไนเตรทจะมีปริมาณมากกว่า 10 ‰ ในตัวอย่างของสิ่งปลูกุล ในขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์จะอยู่ในช่วง 6 ถึง 10 ‰ (ขึ้นอยู่กับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และแอมโมเนียที่อยู่ในช่วงการบำบัดน้ำเสีย) (Dolence et al., 2005; Lin et al., 2008) ขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำในน้ำเสียจะอยู่ในช่วง -1.1 ถึง 7.2 ‰ ส่วนปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของน้ำในมหาสมุทรจะมีปริมาณต่ำกว่า 3 ‰ (Lin et al., 2008)

การติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของไนโตรเจนในแหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์โดยใช้ไอโซโทปเสถียร ของ Kaushal et al. (2011) พบว่า เมื่อใช้ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในการติดตามแหล่งที่มาของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ ได้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในไนเตรทในแหล่งน้ำมีปริมาณสูงซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในไนเตรทของน้ำเสียจากกิจกรรมของมนุษย์ จึงสามารถระบุได้ว่า แหล่งที่มาของไนโตรเจนที่สำคัญมาจากแหล่งน้ำเสียในชุมชน ซึ่งเป็น

ต้นเหตุทำให้พบปริมาณไนโตรเจนสูงในบริเวณดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์บริเวณชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบของน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งโดยใช้เทคนิคไอโซโทปเสถียร โดยทำการศึกษาในชายฝั่งประเทศเม็กซิโกของ Grijalva et al. (2011) พบว่าปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในตัวอย่างน้ำสูงกว่าปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในบริเวณชายฝั่ง และมีปริมาณสารอาหารสูงสะสมอยู่ในดินตะกอน พืช และสัตว์ที่อยู่บริเวณชายฝั่ง สามารถบ่งชี้ได้ว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์มาจากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง ซึ่งเป็นผลทำให้โครงสร้างของสายใยอาหารของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงและทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศชายฝั่ง

และการใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และ ไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในการตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิต อย่างเช่น การศึกษาโดยนำไอโซโทปเสถียรมาใช้ระบุแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ และปลาในระบบนิเวศป่าชายเลนและบริเวณใกล้เคียง ของ Kruitwagen et al. (2010) ซึ่งสารอินทรีย์ในป่าชายเลนจะถูกใช้ประโยชน์โดยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ และปลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน จากการศึกษา พบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในตัวอย่างปลาใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ทั้งในป่าชายเลนและหาดโคลนซึ่งเป็นบริเวณที่ติดกับป่าชายเลน และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทที่เกาะติดกับที่ใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในหาดโคลน และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทที่เคลื่อนที่ตลอดเวลาใกล้เคียงกับป่าชายเลน ดังนั้นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ของปลามาจากทั้งป่าชายเลนและหาดโคลน เนื่องจากในช่วงชีวิตแรกของปลาอาจจะเข้าไปหากินในบริเวณป่าชายเลน และต่อมาเมื่อปลาเจริญเติบโตจึงเปลี่ยนไปหากินในบริเวณหาดโคลน และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ประเภทที่เกาะติดกับที่ และประเภทที่เคลื่อนที่ตลอดเวลาได้รับสารอินทรีย์มาจากหาดโคลน และป่าชายเลน ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาการนำไอโซโทปเสถียรมาใช้ในการติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของอาหารของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ในระบบนิเวศป่าชายเลน ประเทศเวียดนาม ของ Tue et al. (2012) ซึ่งพบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ในช่วง -26.8 ถึง -14.5 ‰ และ 1.3 ถึง 12.1‰ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีปริมาณที่แตกต่างกัน ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ที่มีปริมาณแตกต่างกันนั้นจะสามารถระบุได้ว่า สัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังมีแหล่งที่มาของอาหารที่แตกต่างกัน เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีที่อยู่อาศัยและลักษณะการกินที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ยังมีการนำไอโซโทปเสถียรมาใช้ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงในห่วงโซ่อาหารที่มีความสัมพันธ์กับสารอินทรีย์จากปากแม่น้ำ โดย Franca et al. (2011) ซึ่งพบว่า การเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์จากปากแม่น้ำทั้ง 2 แห่งในประเทศโปรตุเกสที่เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารโดยมีสัตว์ทะเลหน้าดิน (Benthic) เป็นปัจจัยหลักในการนำพา และสายพันธุ์ของปลาที่อาศัยอยู่ในปากแม่น้ำที่แตกต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ลำดับการกินในห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน และการศึกษาการใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในการจำแนกใบไม้ที่ปูแสมในป่าชายเลนกินเป็นอาหาร ของ Kristensen et al. (2010) พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของปูแสม *N.versicolor* ใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ที่ร่วงหล่นอยู่ในป่าชายเลน ดังนั้นจึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าอาหารหลักของปูแสม ได้แก่ ใบไม้ในป่าชายเลน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไอโซโทปเสถียรมาใช้ในการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศทางทะเลในประเทศไทยนั้นยังมีไม่มากนัก โดย Boonphakdee et al. (2008) ได้นำเทคนิคไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และสัดส่วนของ C/N มาใช้ในการระบุแหล่งที่มาของสารอินทรีย์บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง โดยพบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์นั้น ส่วนใหญ่ได้รับมาจากกิจกรรมของมนุษย์ทะเลและพีชบก เนื่องจากบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงถูกล้อมรอบไปด้วยเขตเมืองขนาดใหญ่ จึงทำให้พื้นที่ดังกล่าวได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำในช่วงฤดูฝนใกล้เคียงกับพีชบก และในช่วงฤดูแล้งพบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนที่มาจากทะเลและเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ต่อมา Boonkhwang and Boonphakdee (2013) ได้ทำการบ่งชี้แหล่งที่มาของอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM) บริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยใช้เทคนิคไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจน พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์แขวนลอย ส่วนใหญ่มาจากทะเล และ Onpankoon et al. (2013) ได้ทำการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากพื้นที่เดียวกันสามารถระบุได้ว่า แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนนั้นส่วนใหญ่มาจากแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) ในทะเลด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ Boonphakdee and Sichan (2013) ได้ทำการติดตามแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในหอยทะเลสองฝาที่เลี้ยงใกล้กับบริเวณป่าชายเลน โดยใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจน พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในหอยทะเลสองฝาทั้งสองชนิด คือ หอยนางรม และหอยแครงได้รับมาจากสาหร่ายหน้าดินในป่าชายเลน และดินตะกอนในพื้นที่เลี้ยงหอย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในป่าชายเลนถูกสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้ไม่สามารถเป็นแหล่งอาหารหลักของหอยทะเลสองฝาที่อยู่ในพื้นที่เลี้ยงหอยได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอน อินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM) สิ่งมีชีวิต น้ำและพืชในป่าชายเลนเมืองใหม่ ตำบลเสม็ด อ.เมือง จังหวัด ชลบุรี (13° 21'N, 100° 56'E) ซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 300 ไร่ ถัดจากพื้นที่ป่าชายเลนออกไปในทะเลจะเป็นพื้นที่หาดโคลนซึ่งพื้นที่ดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงหอยทะเลสองฝา ได้แก่ หอยนางรม หอยแมลงภู่ หอยแครง และหอยกะพง

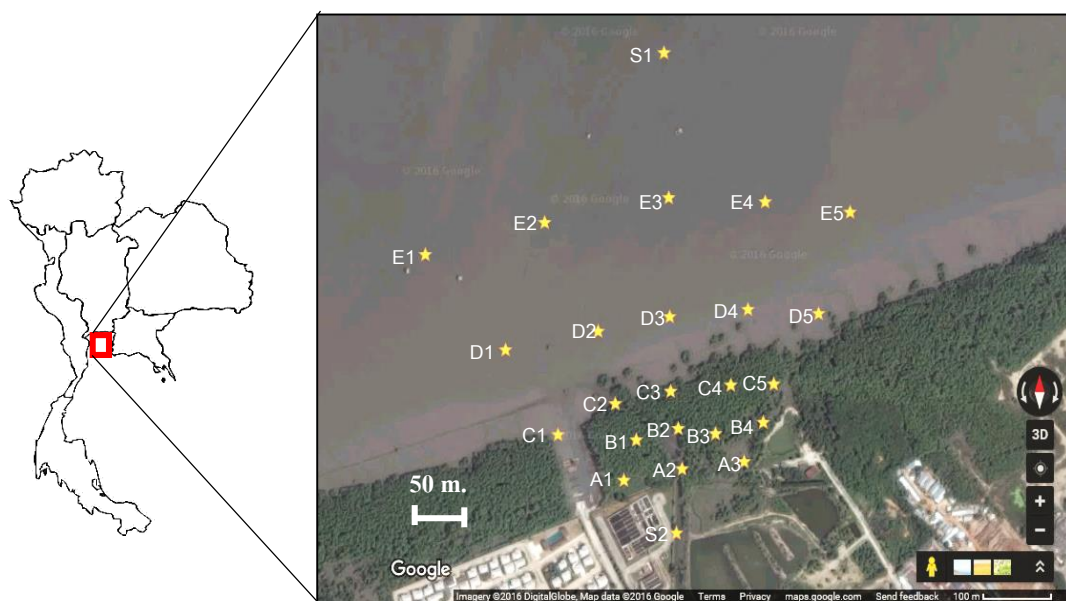
ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 24 สถานี โดยแบ่งเป็นพื้นที่ป่าชายเลน 12 สถานี ได้แก่ Line A (สถานี A1 – A3), Line B (สถานี B1 – B4) และ Line C (สถานี C1 – C5) โดยแต่ละ Line ห่างกันประมาณ 50 เมตร ซึ่ง Line A จะอยู่ห่างจากฝั่งประมาณ 5 เมตร และในพื้นที่หาดโคลน (มีการเพาะเลี้ยงหอยทะเลสองฝาทางเศรษฐกิจ) 11 สถานี ได้แก่ Line D (สถานี D1-D5) และ Line E (สถานี E1-E5) และสถานี S1 ซึ่งกำหนดให้ Line D ห่างจาก Line E ประมาณ 100 เมตร และ Line E ห่างจากสถานี S1 ประมาณ 150 เมตร และสถานี S2 คือ บริเวณปากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี ซึ่งอยู่ห่างจากป่าชายเลนประมาณ 50 เมตร (ดังภาพที่ 3-1 และ 3-2) ทำการศึกษานำร่องโดยทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอน สัตว์หน้าดิน พืช และน้ำในช่วงระหว่างวันที่ 8-9 มิถุนายน พ.ศ. 2557 และ วันที่ 6-7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557 และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ และสัตว์หน้าดินในพื้นที่ป่าชายเลนในวันที่ 22 สิงหาคม 2559 และวันที่ 24 ธันวาคม 2559

3.2 การตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่หาดโคลนของป่าชายเลนเมืองใหม่ บริเวณปากคลองห้วยละมู จังหวัดชลบุรี โดยใช้เครื่องมือ YSI 6600 ตรวจวัดความเค็ม อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าการนำไฟฟ้า และตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter



ภาพที่ 3-1 พื้นที่ที่ทำการศึกษา (●)



ภาพที่ 3-2 สถานีเก็บตัวอย่างในพื้นที่ป่าชายเลน (สถานี A1-A3, B1-B4 และ C1-C5)
พื้นที่หาดโคลน (สถานี D1-D5, E1-E5 และ S1) และตัวอย่างน้ำที่จกจากโรงปรับปรุง
คุณภาพน้ำ (สถานี S2)

*หมายเหตุ สถานี D1, D3, D5, E1 และ S1 อยู่ใกล้กับแปลงเพาะเลี้ยงหอย

3.3 การเก็บตัวอย่าง

3.3.1 การเก็บตัวอย่างดินตะกอน

3.3.1.1 การเก็บตัวอย่างดินตะกอนตามความลึก

ทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกในป่าชายเลน และในพื้นที่หาดโคลนทุกสถานีในช่วงน้ำลงต่ำสุดโดยใช้ Core sampler และตัดดินจากด้านบนของ Core sampler จำนวน 5 ชั้น ตามระดับความลึก ได้แก่ 0-2, 2-4, 4-6, 6-8 และ 8-10 เซนติเมตร ตามลำดับ ตามวิธีของ Boonphakdee & Sichan, 2013 นำตัวอย่างดินตะกอนแต่ละระดับชั้นแยกใส่ถุงซิปล็อค โดยทำการเก็บตัวอย่างสถานีละ 3 ซ้ำ และนำตัวอย่างมาแช่เย็นก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.3.1.2 การเก็บตัวอย่างดินตะกอนที่ระดับผิวดิน และสิ่งมีชีวิตหน้าดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอนที่ระดับผิวในป่าชายเลนในช่วงน้ำลงต่ำสุด โดยการวาง Quadrat ขนาด 50 x 50 เซนติเมตร และตักผิวหน้าดินตะกอนที่ความลึกประมาณ 15 เซนติเมตรใส่ลงไปในถุงซิปล็อค และเก็บตัวอย่างดินตะกอนในพื้นที่หาดโคลนโดยใช้ Grab sampler ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร จากนั้นนำดินตะกอนใส่ลงไปในถุงซิปล็อค โดยทำการเก็บตัวอย่างสถานีละ 3 ซ้ำ โดยแบ่งดินตะกอน 1 ส่วนไปร่อนผ่านตะแกรงร่อน (sieves) 4 ขนาด ได้แก่ 5, 2, 1 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ เพื่อแยกสิ่งมีชีวิตออกจากดินตะกอน ตามวิธีของ Boonphakdee & Sichan, 2013 หลังจากนั้นนำตัวอย่างสิ่งมีชีวิตหน้าดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงใส่ลงไปในขวด Polyethylene

3.3.2 การเก็บตัวอย่างหอยสองฝา

ทำการเก็บตัวอย่างหอยทะเลสองฝา ได้แก่ หอยแครง หอยนางรม หอยแมลงภู่ หอยกะพง และหอยตลับลายจากพื้นที่เลี้ยงหอยที่อยู่ในพื้นที่หาดโคลน จากนั้นนำตัวอย่างสิ่งมีชีวิตมาแช่เย็นก่อนที่จะนำไปแยกชนิดและทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.3.3 การเก็บตัวอย่างปลา

ทำการเก็บตัวอย่างปลาในพื้นที่หาดโคลนโดยใช้การวางตาข่ายดักปลาขนาดตา 1 x 1 เซนติเมตร ตามวิธีของ Claudino et al., 2015 หลังจากนั้นนำตัวอย่างปลาบรรจุลงในถุงซิปล็อค และนำตัวอย่างปลามาแช่เย็นในถังน้ำแข็งทันทีเพื่อรักษาเนื้อเยื่อของตัวอย่างปลาไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการขนส่งก่อนที่จะนำไปแยกชนิดและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.3.4 การเก็บตัวอย่างอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM)

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล โดยใช้เรือในช่วงน้ำตาย โดยเทียบจากตารางน้ำขึ้นน้ำลงของกรมอุทกศาสตร์ โดยการจ้วงเก็บจากเรือด้วยเกลลอนขนาด 5 ลิตร เก็บตัวอย่างน้ำทะเลสถานีละ 3

ซ้ำในทุกสถานีในพื้นที่หาคโคลน ต่อมานำตัวอย่างน้ำไปแช่เย็นในถังน้ำแข็งในระหว่างการขนส่ง เพื่อรักษาคุณภาพน้ำก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.3.5 การเก็บตัวอย่างใบไม้และสาหร่ายหน้าดิน

ทำการเก็บตัวอย่างใบไม้จากต้นไม้ในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน โดยเก็บใบไม้ป่าชายเลน จากต้น และนำมาใส่ในถุงซิปล็อค และทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายหน้าดิน โดยใช้พลั่วตักสาหร่าย ผิวดิน ตามวิธีของ Sharaki et al., 2014 หลังจากนั้นนำไปแช่เย็นในถังน้ำแข็งในระหว่างการขนส่ง เพื่อรักษาคุณภาพน้ำก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างดินตะกอน

นำตัวอย่างดินตะกอนที่เก็บมาจากภาคสนามทั้งดินตะกอนตามความลึก และดินตะกอน ที่ระดับผิวดินใส่ในภาชนะที่ทนความร้อนสูงนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เลือกละเอียดหอยที่ปนอยู่ในดินตะกอนทิ้ง หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินตะกอนมาบด ให้ละเอียดด้วยโกร่ง (mortar) และทำการ Decarbonate ในตัวอย่างดินตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก และนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการล้างกรดออกด้วยน้ำ กลั่นจากนั้นนำตัวอย่างดินตะกอนไปอบเพื่อให้ตัวอย่างแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามวิธี ของ Bouillon et al., 2002 และนำตัวอย่างดินบรรจุลงใน Tin capsule เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ อินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์ไนโตรเจน ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน

3.4.2 การเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต

นำตัวอย่างสิ่งมีชีวิต ได้แก่ ใส้เดือนทะเล หอย ปู และปลามาทำความสะอาดโดยใช้ น้ำ กลั่นและนำสิ่งมีชีวิตแต่ละประเภทมาแยกชนิด ในส่วนของตัวอย่างหอย และปูนำมาแกะเปลือก ออก และนำส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อออกมา หลังจากนั้นทำการตัดเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต และนำไปทำให้ แห้งด้วยความเย็นโดยใช้เครื่อง Freeze dryer และนำตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่แห้งแล้วมาบดให้ละเอียด ด้วยโกร่ง และนำมาสกัดไขมัน โดยเติมสารละลายที่มีส่วนผสมของคลอโรฟอร์ม และเมทานอล ใน สัดส่วน 2:1 จนกระทั่งปราศจากไขมัน ตามวิธีของ Bouillon et al. (2002) แล้วนำตัวอย่างที่ผ่านการ สกัดไขมันมาทำให้แห้งด้วยเครื่อง Freeze dryer อีกครั้ง และจึงนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักให้ได้ ประมาณ 1-2 มิลลิกรัมบรรจุลงใน Tin capsule เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์ ไนโตรเจน ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน โดยใช้เครื่อง EA-IRMS

3.4.3 การเตรียมตัวอย่างอินทรีย์แขวนลอย

โดยการนำตัวอย่างน้ำทะเลที่เก็บมาจากภาคสนามปริมาตร 50 มิลลิลิตรมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman GF/F และนำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองน้ำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้วไปทำการ decarbonate ด้วยกรดไฮโดรคลอริก จากนั้นนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสอีกครั้ง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามวิธีของ Boonphakdee & Sichan (2013) และนำกระดาษกรองมาบรรจุลง Tin capsule เพื่อวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์ไนโตรเจน ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน

3.4.4 การเตรียมตัวอย่างใบไม้และสาหร่ายหน้าดิน

นำตัวอย่างใบไม้ป่าชายเลนและตัวอย่างสาหร่ายหน้าดินมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง ตามวิธีของ Boonphakdee and Sichan (2013)

3.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน

การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวมด้วยวิธี Ignition loss หรือ การเผา โดยการนำภาชนะที่ทนความร้อนสูง (Crucible) มาเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำภาชนะมาใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator) และนำตัวอย่างดินตะกอนน้ำหนักประมาณ 2-3 มิลลิกรัมใส่ Crucible นำมาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นและนำมาชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารอินทรีย์รวมโดยใช้สูตรของ จารูมาศ เมฆสัมพันธ์ (2548) ดังสมการ $TOM = (Sed_{ign}/Sed_{ini}) \times 1000$ โดย TOM คือ ปริมาณอินทรีย์รวม (มิลลิกรัมต่อกรัม), Sed_{ini} คือ น้ำหนักแห้งของดินตะกอนก่อนนำไปเผา (กรัม) และ Sed_{ign} คือ น้ำหนักแห้งที่หายไปของดินตะกอนหลังจากการเผา (กรัม)

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน

นำตัวอย่างดินตะกอน สิ่งมีชีวิต น้ำ พืชและอินทรีย์แขวนลอย ที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนส่งไปวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจนด้วยเครื่อง Elemental Analysis - Isotope Ratio Mass Spectrometer ที่มหาวิทยาลัยคอร์เนล สหรัฐอเมริกา ซึ่งมีสัดส่วนของคาร์บอนคือ $^{13}C/^{12}C$ และสัดส่วนของไนโตรเจนคือ $^{15}N/^{14}N$ มีหน่วยเป็น permil (‰) ทำการวิเคราะห์ปริมาณ $\delta^{13}C$ โดยใช้สารมาตรฐาน Vienna Pee Dee

Belemnite (VPDB) และวิเคราะห์ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ โดยใช้ไนโตรเจนจากชั้นบรรยากาศ สามารถนำมาคำนวณได้ดังสมการ (Alquezar et al., 2013)

$$\delta X (\%) = [(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3$$

โดย X คือ ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน (^{13}C) หรือไนโตรเจน (^{15}N)

R คือ ปริมาณสัดส่วนของไอโซโทปเสถียร ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ หรือ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)

และกำหนดให้ใบไม้ป่าชายเลน สำหรับหน้าดิน และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ เป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนป่าชายเลน และทำการประเมินอาหาร (estimated food sources) ของปูแสม *S. haematocheir* ในป่าชายเลน โดยกำหนดให้ใบไม้ป่าชายเลน ดินตะกอนป่าชายเลน และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่สำคัญ และนำมาคำนวณหาสัดส่วนของสารอินทรีย์โดยใช้ simple three sources mixing model (Boonphakdee et al., 2008) ดังสมการ

$$\delta^{13}\text{C}_s = f_1\delta^{13}\text{C}_1 + f_2\delta^{13}\text{C}_2 + f_3\delta^{13}\text{C}_3$$

$$\delta^{15}\text{N}_s = f_1\delta^{15}\text{N}_1 + f_2\delta^{15}\text{N}_2 + f_3\delta^{15}\text{N}_3$$

$$f_1 + f_2 + f_3 = 1$$

เมื่อ f_1, f_2 และ f_3 แทน ปริมาณของคาร์บอนและไนโตรเจนในตัวอย่างที่มาจาก แหล่งที่มา แหล่งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

C_1, C_2 และ C_3 แทน ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนของแหล่งที่มาทั้ง 3 แหล่ง ตามลำดับ

N_1, N_2 และ N_3 แทน ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนของแหล่งที่มาทั้ง 3 แหล่ง ตามลำดับ

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดสอบความแตกต่างของสารอินทรีย์รวม อินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์ไนโตรเจน ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในแต่ละพื้นที่ (ป่าชายเลนและหาดโคลน) และช่วงเวลา (เดือนมิถุนายน (ฤดูแล้ง) และเดือนพฤศจิกายน (ฤดูฝน)) โดยใช้วิธีทดสอบแบบ t-test เป็นตัวทดสอบทางสถิติ

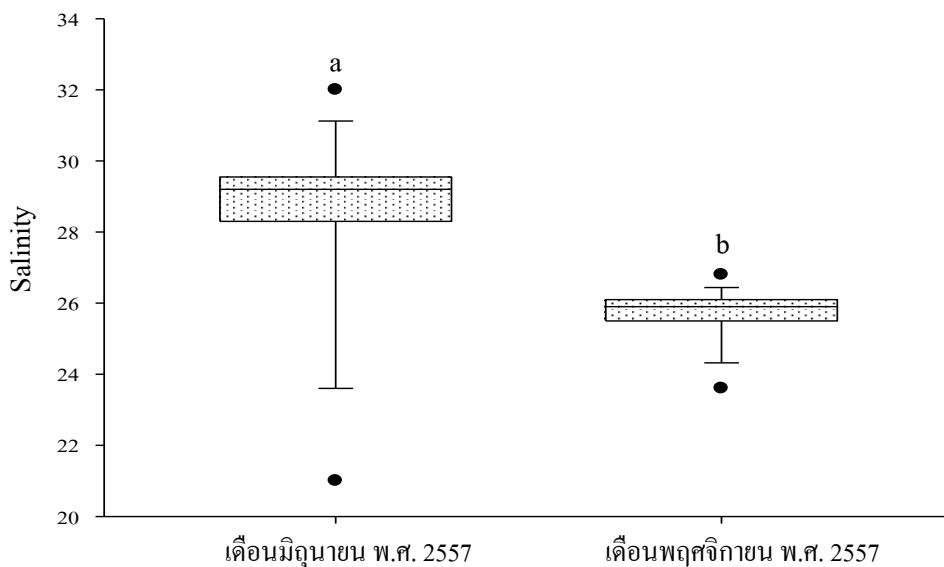
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 คุณภาพน้ำ

4.1.1 ความเค็ม

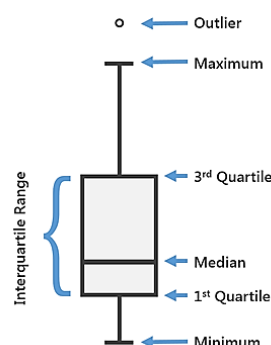
ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 ความเค็มของน้ำในพื้นที่หาดโคลนอยู่ในช่วง 21 – 32 และความเค็มเฉลี่ยอยู่ที่ 28.61 ± 2.52 โดยความเค็มสูงสุดอยู่ที่สถานี E4 และต่ำสุดอยู่ที่สถานี E2 ในพื้นที่หาดโคลน ขณะที่ความเค็มในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 อยู่ในช่วง 23.6 – 26.8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.64 ± 0.81 ความเค็มสูงสุดอยู่ที่ 26.8 และต่ำสุดอยู่ที่ 23.6 ของสถานี E3 ในพื้นที่หาดโคลน โดยในช่วงเดือนมิถุนายน ความเค็มเฉลี่ยสูงกว่าในเดือนพฤศจิกายนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังภาพ 4-1) บ่งชี้ว่ามีความแตกต่างของฤดูกาล โดยเดือนมิถุนายน เป็นตัวแทนของฤดูแล้ง และเดือนพฤศจิกายน เป็นตัวแทนของฤดูฝน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่จังหวัดชลบุรี ในปี พ.ศ. 2557 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2558)



ภาพที่ 4-1 Box plot ความเค็มในน้ำของพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

หมายเหตุ สัญลักษณ์ของ Box plot



4.1.2 ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในเดือนมิถุนายน 2557 พบว่าอยู่ในช่วง 7.12 – 8.54 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.68 ± 0.40 ความเป็นกรด-ด่างสูงสุดอยู่ที่สถานี D3 และต่ำสุดอยู่ที่สถานี D5 ในเดือนพฤศจิกายน 2557 พบว่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.92 – 7.72 เฉลี่ยอยู่ที่ 7.44 ± 0.26 ความเป็นกรด-ด่างสูงสุดอยู่ที่สถานี E4 จากผลการศึกษาพบว่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในพื้นที่ทำการศึกษา ระหว่างเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.1.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen: DO)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในเดือนมิถุนายน 2557 อยู่ในช่วง 4.86 – 10.48 mg/L เฉลี่ยอยู่ที่ 7.17 ± 1.63 mg/L ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงสุดอยู่ในสถานี E1 และต่ำสุดอยู่ในสถานี S1 ขณะที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในเดือนพฤศจิกายน 2557 อยู่ในช่วง 3.04 – 7.73 mg/L มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ± 1.60 mg/L โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงสุดอยู่ในสถานี E5 และต่ำสุดอยู่ที่สถานี E4 จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในเดือนมิถุนายนสูงกว่าเดือนพฤศจิกายนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Alquezar et al.(2013)

4.1.4 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ในช่วงเดือนมิถุนายน 2557 ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าในน้ำอยู่ในช่วง 10.37 – 53.90 ms/cm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.51 ± 15.25 ms/cm โดยค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่สถานี D1 และต่ำสุดอยู่ที่สถานี E4 ขณะที่ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าในเดือนพฤศจิกายน 2557 อยู่ในช่วง 40.83 – 47.52 ms/cm เฉลี่ยอยู่ที่ 45.26 ± 2.27 ms/cm และค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่สถานี C3 ในพื้นที่ป่าชายเลน และต่ำสุดอยู่ในพื้นที่หาดโคลน ที่สถานี D3

4.1.5 อุณหภูมิ

ความผันแปรของอุณหภูมิในน้ำช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 อยู่ในที่ 31.7 – 34.9 °C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.1±0.92 °C โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่สถานี E1 และต่ำสุดอยู่ที่สถานี S1 และในเดือนพฤศจิกายน 2557 พบว่า อุณหภูมิในน้ำอยู่ในช่วง 30.4 – 33.6 °C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.18±0.88 °C อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่สถานี D1 และต่ำสุดอยู่ที่สถานี S1 เช่นเดียวกับเดือนมิถุนายน 2557 (ดังตารางที่ 4-1)

ตารางที่ 4-1 คุณภาพน้ำในป่าชายเลนเมืองใหม่ บริเวณปากคลองห้วยละมู จังหวัดชลบุรี ในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน 2557

พารามิเตอร์	n	เดือนมิถุนายน	n	เดือนพฤศจิกายน
		2557		2557
ความเค็ม	13	28.61±2.52	15	25.64±0.81
ความเป็นกรด-ด่าง	13	7.68±0.40	16	7.44±0.26
ปริมาณออกซิเจน	13	7.17±1.63	13	4.67±1.60
ละลายน้ำ	13		14	
ค่านำไฟฟ้า		44.51±15.25		45.26±2.27
อุณหภูมิ	13	33.1±0.92	14	32.18±0.88

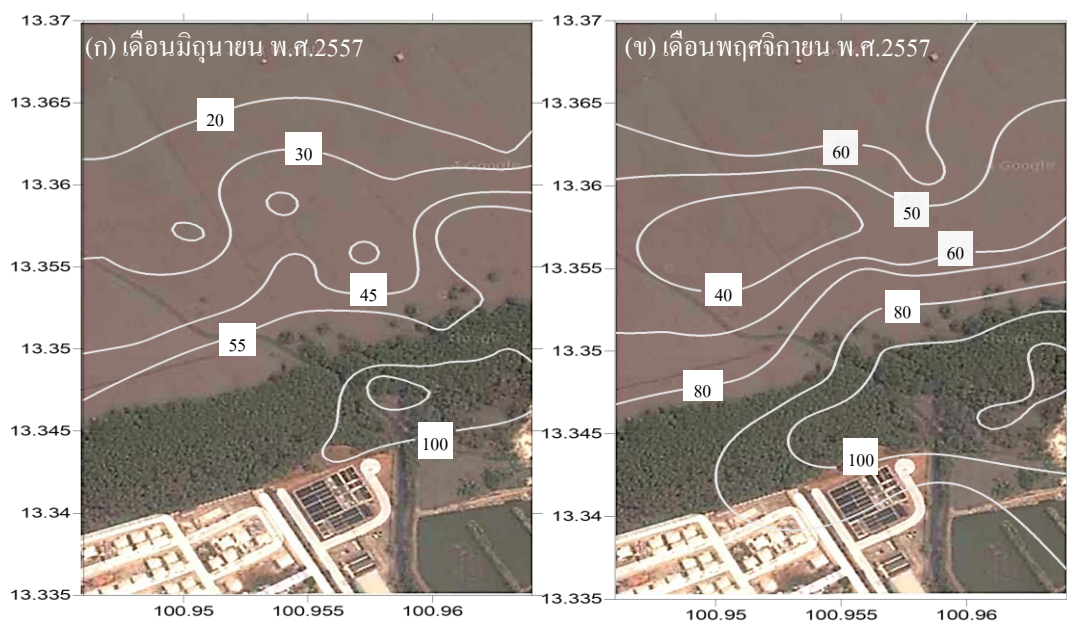
*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2 ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิว

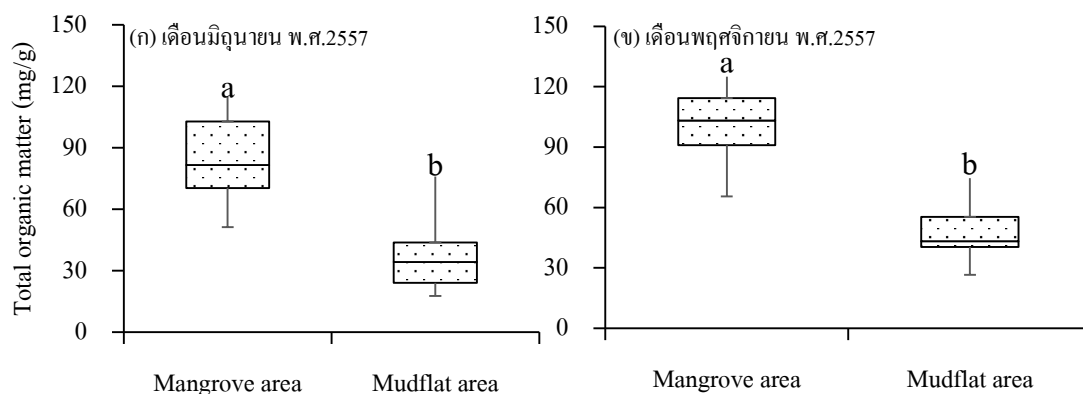
ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวในเดือนมิถุนายน 2557 ในพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ที่ 51.25 – 115.03 mg/g มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.93±20.46 mg/g และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่หาดโคลนอยู่ที่ 17.65-75.89 mg/g มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.58±16.65 mg/g

ส่วนเดือนพฤศจิกายน 2557 ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ในช่วง 65.50 – 125 mg/g เฉลี่ยอยู่ที่ 99.12±20.86 mg/g ขณะที่ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่หาดโคลนอยู่ที่ 26.55 – 74.56 mg/g เฉลี่ยอยู่ที่ 48.23±15.04 mg/g โดยปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวสูงสุดอยู่ที่สถานี B2 ในพื้นที่ป่าชายเลน และต่ำสุดอยู่ที่สถานี E2 ในพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-2) แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมใน

ดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลนสูงกว่าในพื้นที่หาดโคลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน และปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะทางห่างออกไปจากฝั่ง (ดังภาพที่ 4-3)



ภาพที่ 4-2 ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนช่วง (ก) เดือนมิถุนายน และ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

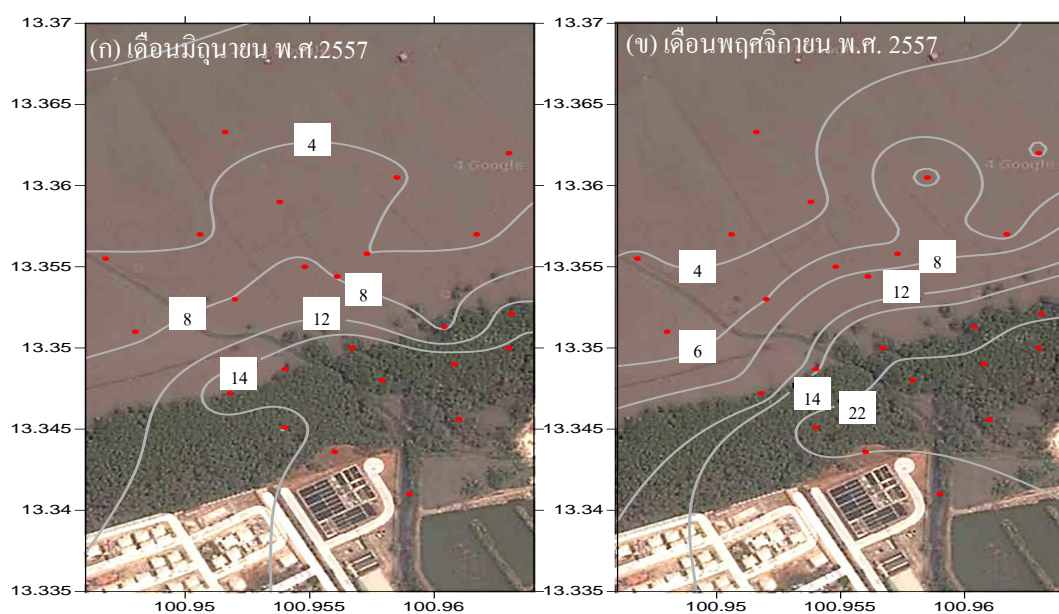


ภาพที่ 4-3 Box plot ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวจากพื้นที่ป่าชายเลนและเลน และพื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายน และ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิว

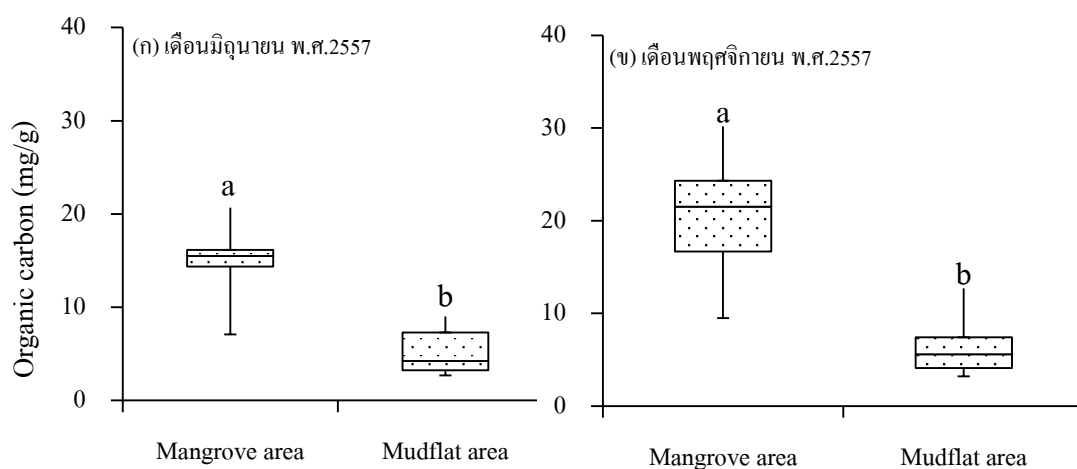
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวของทุกสถานีอยู่ในช่วง 2.7 - 20.7 mg/g มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.92 ± 5.76 mg/g ขณะที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในพื้นที่ป่าชายเลนเฉลี่ยอยู่ที่ 14.85 ± 3.36 mg/g ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในพื้นที่หาดโคลนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.99 ± 2.23 mg/g โดยมีปริมาณสูงสุดอยู่ที่สถานี B2 ที่อยู่บริเวณใกล้ร่องน้ำของคลองห้วยละมู และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำสุดอยู่ที่สถานี E5 ในพื้นที่หาดโคลน แสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังทะเล (ดังภาพที่ 4-4) และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลนสูงกว่าในพื้นที่หาดโคลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังภาพที่ 4-5)



ภาพที่ 4-4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลน ช่วง (ก) เดือนมิถุนายน และ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

ขณะที่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวของทุกสถานีอยู่ในช่วง 3.2 – 30.2 mg/g เฉลี่ยอยู่ที่ 13.73 ± 9.02 mg/g โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ในช่วง 9.5-30. mg/g มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.88 ± 6.26 mg/g ส่วนในพื้นที่หาดโคลน พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 3.2 – 12.7 mg/g และเฉลี่ยอยู่ที่ 5.93 ± 2.80 mg/g

ซึ่งปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงสุดอยู่ที่สถานี B4 ในพื้นที่ป่าชายเลน และต่ำสุดอยู่ที่สถานี E2 ในพื้นที่หาดโคลน แสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลนสูงกว่าในพื้นที่หาดโคลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวของเดือนมิถุนายนและพฤศจิกายนมีแนวโน้มลดลงจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-4)



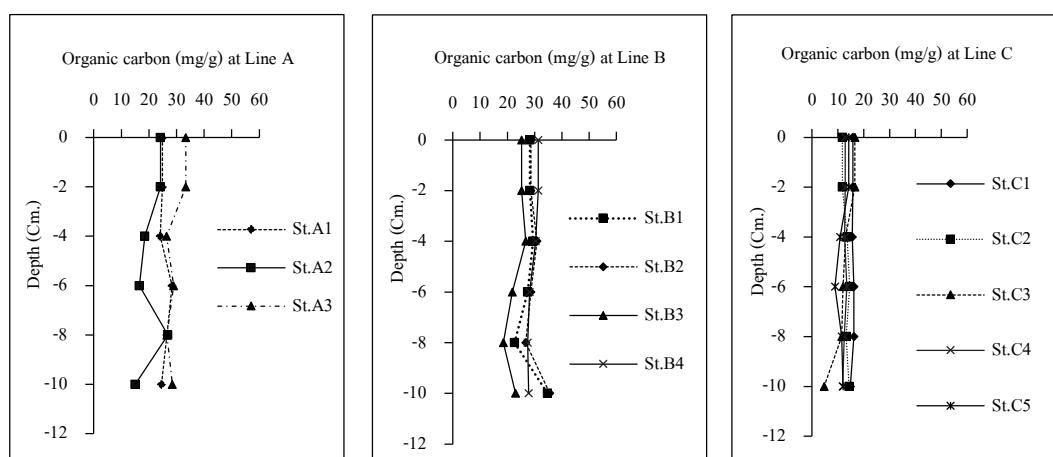
ภาพที่ 4-5 Box plot ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวจากพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

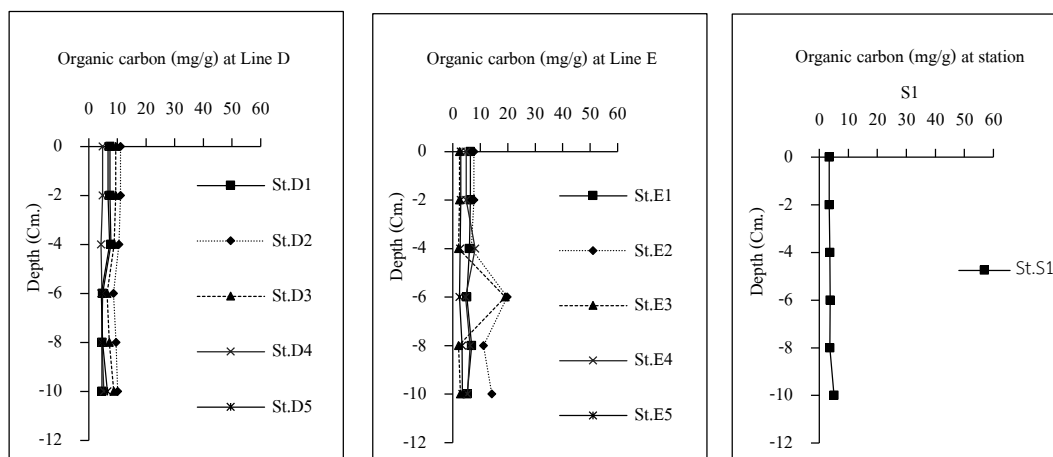
4.4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก

การสะสมของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก 0 – 10 เซนติเมตรของพื้นที่ป่าชายเลนในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนของ Line A (สถานี A1-A3) มีรูปแบบการสะสมลดลงและเพิ่มขึ้นที่ไม่แน่นอนเมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับความลึก 0-2 เซนติเมตร และที่ระดับความลึก 8-10 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ระดับความลึก 4-6 และ 6-8 เซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการลดลงและเพิ่มขึ้นแบบไม่คงที่ ขณะที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนของ Line B (สถานี B1-B4) และ Line C (สถานี C1-C5) มีรูปแบบการสะสมที่ค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-6)

ขณะที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินตะกอนของพื้นที่หาดโคลนใน Line E (สถานี E1-E5) มีการสะสมที่ลดลงและเพิ่มขึ้นที่ไม่แน่นอนที่ระดับความลึกของดินตะกอน (4-6 และ 6-8 เซนติเมตร) ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนใน Line D (สถานี D1-D5), และสถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน มีรูปแบบการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนที่ค่อนข้างคงที่เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ดังภาพ 4-7)

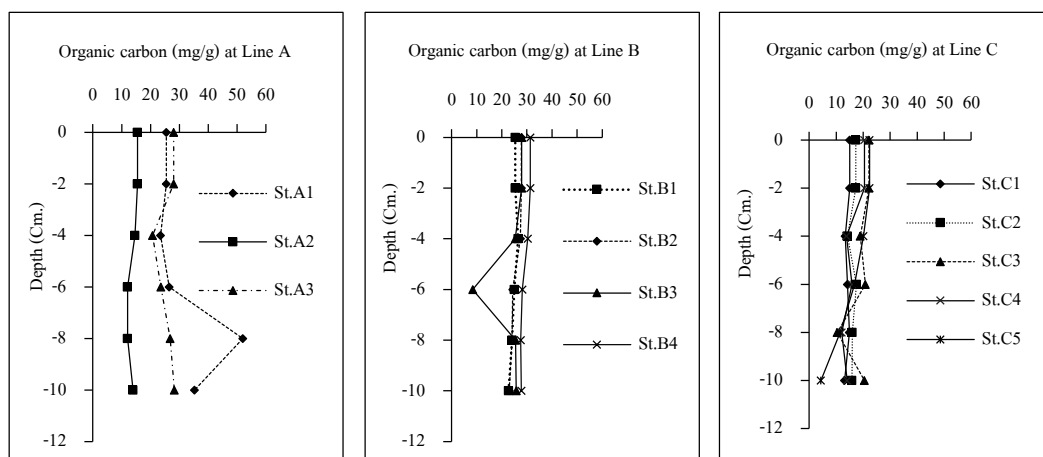


ภาพที่ 4-6 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line A, Line B และ Line C ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557

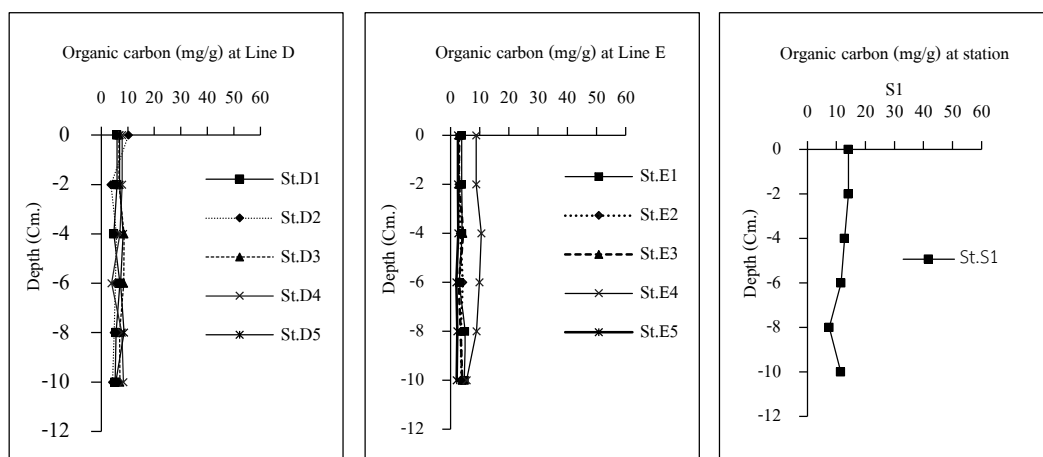


ภาพที่ 4-7 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line D, Line E และ สถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557

ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึกในพื้นที่ป่าชายเลนของ Line A, Line B และ Line C มีรูปแบบการสะสมของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงและเพิ่มขึ้นไม่คงที่เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความลึก 4-10 เซนติเมตร มีการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนไม่คงที่ (ดังภาพที่ 4-8) ในทางตรงข้าม ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนของ Line D, E และสถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน มีรูปแบบการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนค่อนข้างคงที่เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-9)



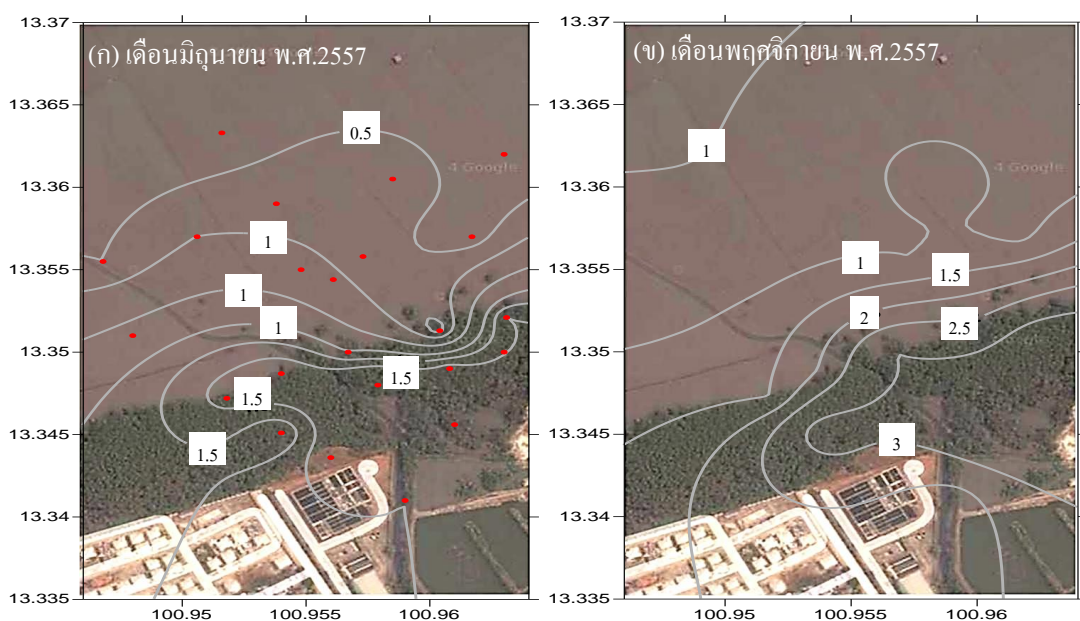
ภาพที่ 4-8 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line A, Line B และ Line C ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557



ภาพที่ 4-9 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line D, Line E และ สถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557

4.5 ปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว

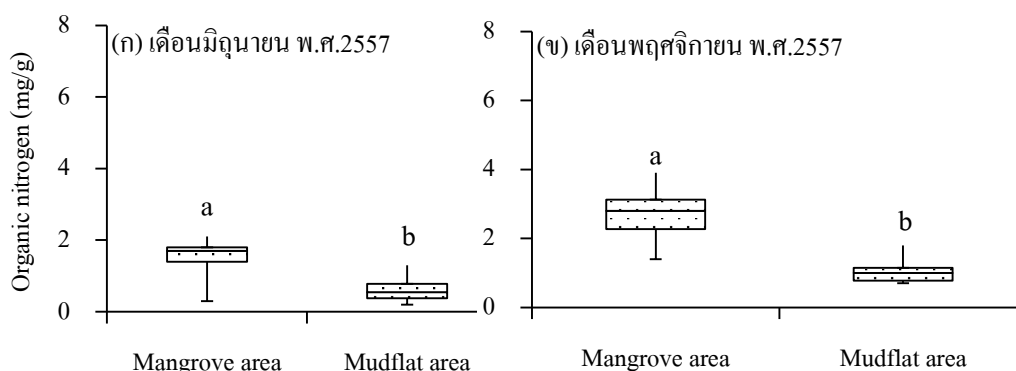
จากผลการศึกษาการกระจายของปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว เดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 ของทุกสถานีอยู่ในช่วง $0.2 - 2.1$ mg/g มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.04 ± 0.63 mg/g โดยปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ในช่วงระหว่าง $0.3 - 2.1$ mg/g เฉลี่ยอยู่ที่ 4.99 ± 0.48 mg/g ขณะที่ปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่หาดโคลนอยู่ในช่วง $0.2 - 1$ mg/g เฉลี่ยอยู่ที่ 0.5 ± 0.27 mg/g โดยปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวสูงสุดอยู่ที่สถานี B2 บริเวณใกล้ร่องน้ำคลองห้วยละมู และปริมาณต่ำสุดอยู่ที่สถานี E5 ในพื้นที่หาดโคลน แสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลนสูงกว่าในพื้นที่หาดโคลนซึ่งเป็นพื้นที่ห่างฝั่ง และปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-10)



ภาพที่ 4-10 ปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนช่วง (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

จากผลการศึกษาการกระจายของอินทรีย์ในโตรเจนในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 พบว่าปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในทุกสถานีอยู่ในช่วง $0.7 - 3.9$ mg/g มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.9 ± 1.04 mg/g ส่วนปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ในช่วง $1.4 - 3.9$ mg/g เฉลี่ยอยู่ที่ 2.72 ± 0.74 mg/g ขณะที่ในพื้นที่หาดโคลนมีปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนอยู่ในช่วง $0.7 - 1.8$ mg/g เฉลี่ยรวมอยู่ที่

1.01±0.33 mg/g โดยปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนสูงสุดพบในสถานี B4 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลน และต่ำสุดอยู่ในสถานี E2, E3 และ E5 ในพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-10) แสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในพื้นที่ป่าชายเลนในเดือนพฤศจิกายนสูงกว่าในพื้นที่หาดโคลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังภาพที่ 4-11) และปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน

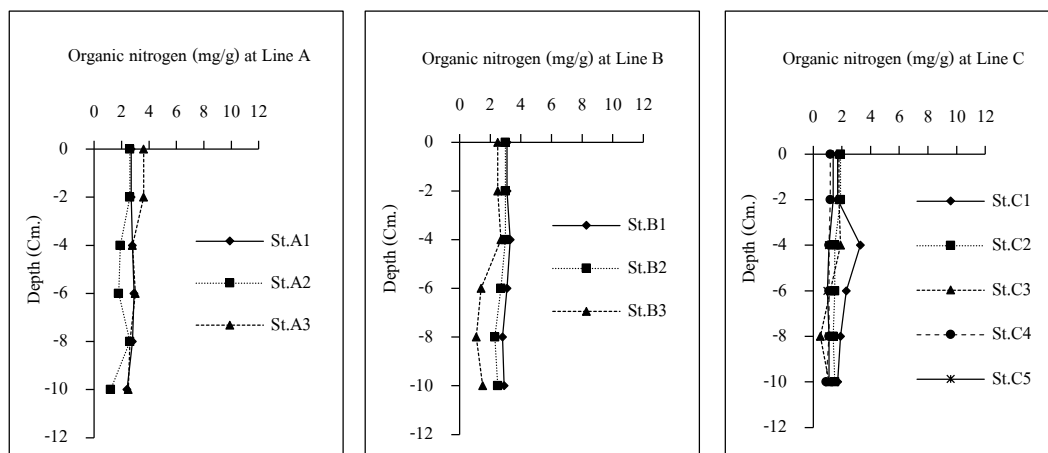


ภาพที่ 4-11 Box plot ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวจากพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

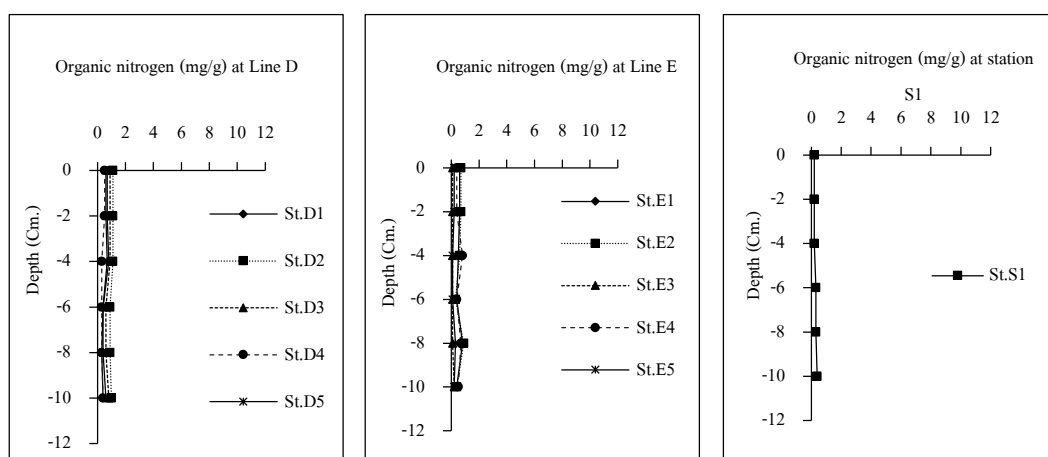
*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.6 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก

จากการศึกษาการสะสมของปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (0 – 10 เซนติเมตร) ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 ในพื้นที่ป่าชายเลน พบว่าปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนของ Line A (สถานี A1-A3), Line B (สถานี B1-B4) และ Line C (สถานี C1-C5) มีแนวโน้มลดลงเมื่อความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-12) ขณะที่ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนของ Line D (สถานี D1-D5), Line E (สถานี E1-E5), และสถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลนมีการสะสมปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในแนวตั้งแบบคงที่ โดยปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในแต่ละระดับชั้นของดินตะกอนมีปริมาณที่ค่อนข้างเท่ากันเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-13)

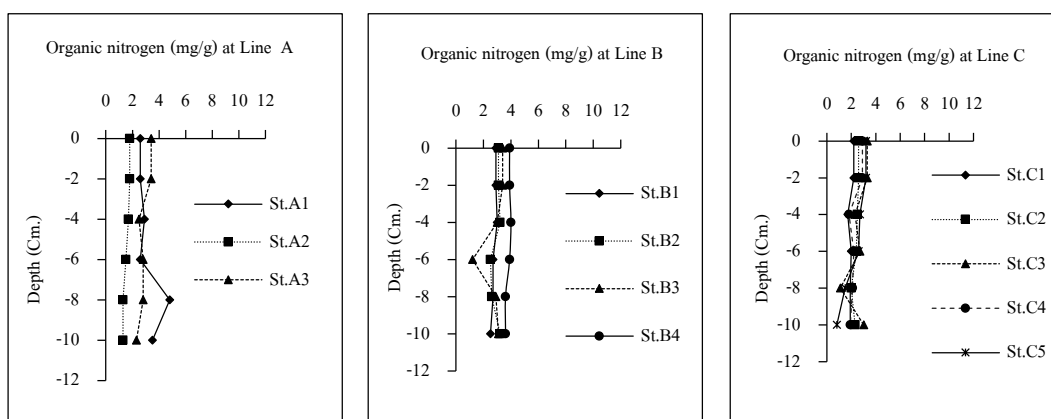


ภาพที่ 4-12 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line A, Line B และ Line C ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557

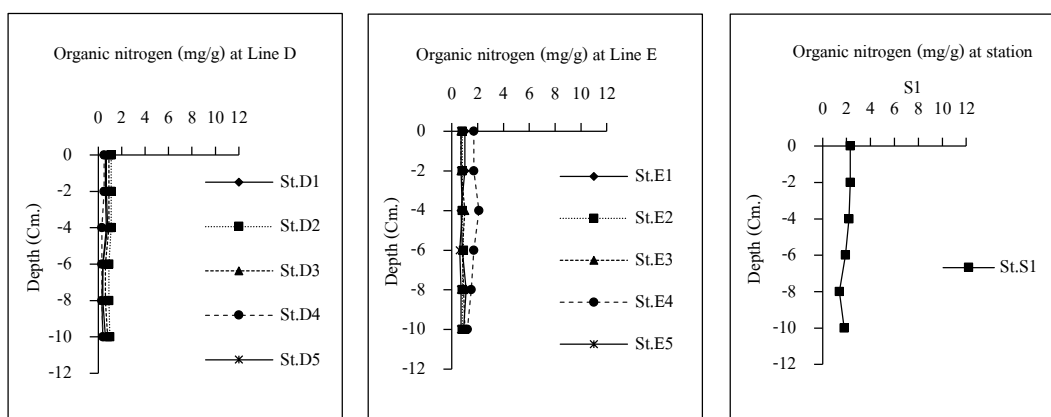


ภาพที่ 4-13 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line D, Line E และ สถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557

การสะสมปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึกในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 ของ Line A (สถานี A1-A3), Line B (สถานี B1-B4) และ Line C (สถานี C1-C5) ในพื้นที่ป่าชายเลนที่ระดับความลึกของดิน 0 – 10 เซนติเมตร พบว่า ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนมีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นไม่แน่นอนเมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-14) ขณะที่ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนของ Line D (สถานี D1-D5), Line E (สถานี E1-E5) และสถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลนมีการสะสมของอินทรีย์ไนโตรเจนในแนวตั้งแบบคงที่ตามระดับความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่ระดับความลึก 0-2 เซนติเมตร และระดับความลึก 8-10 เซนติเมตร มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (ดังภาพที่ 4-15)



ภาพที่ 4-14 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line A, Line B และ Line C ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

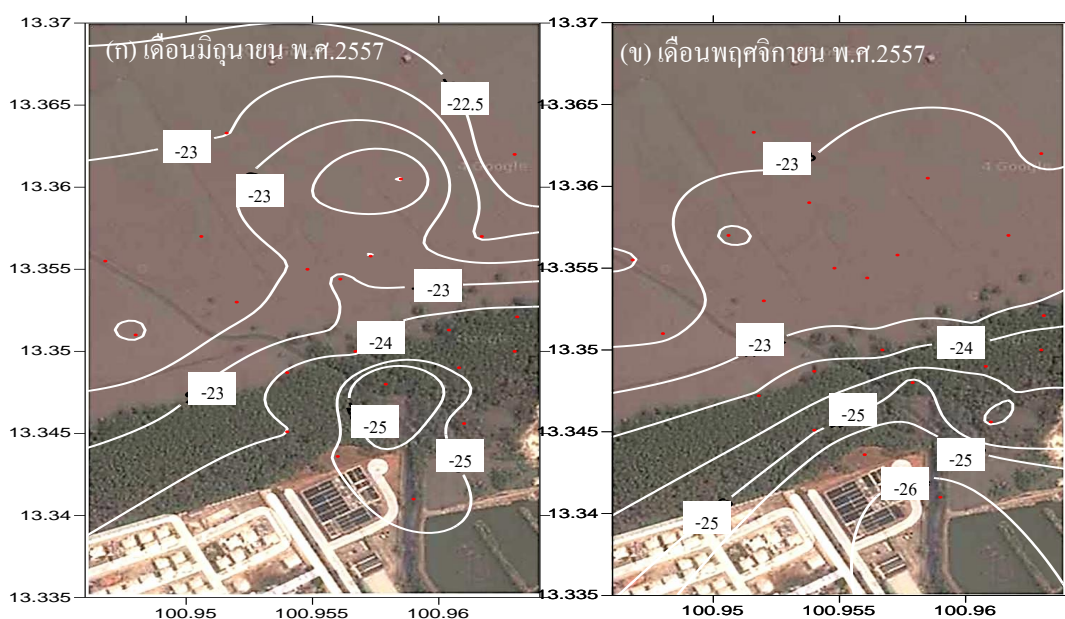


ภาพที่ 4-15 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ Line D, Line E และ สถานี S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

4.7 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอน

4.7.1 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิว

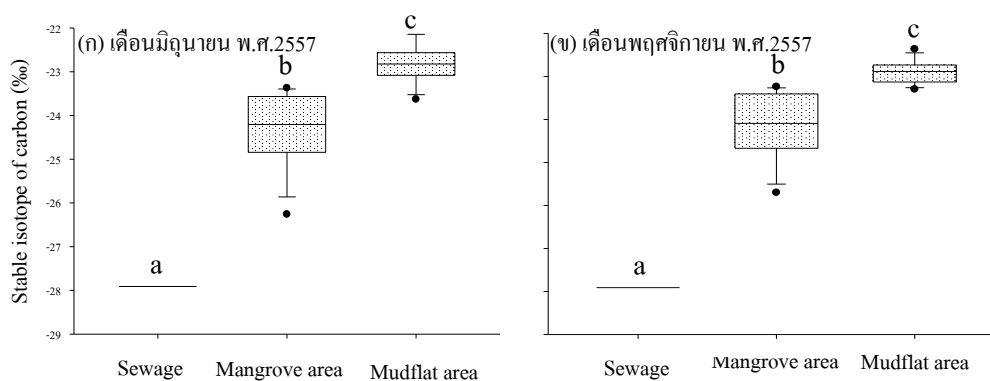
ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) ในดินตะกอนที่ระดับผิวของเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 ทุกสถานีอยู่ที่ -26.26% ถึง -21.97% มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-23.56 \pm 1.00\%$ โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนของพื้นที่ป่าชายเลน อยู่ในช่วง -26.26% ถึง -23.37% เฉลี่ยอยู่ที่ $-24.29 \pm 0.85\%$ ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในพื้นที่หาดโคลนอยู่ในช่วง -23.63% ถึง -21.97% เฉลี่ยอยู่ที่ $-22.82 \pm 0.42\%$ ซึ่งปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนสูงสุดอยู่ที่สถานี E5 ในพื้นที่หาดโคลน และต่ำสุดอยู่ที่สถานี B2 ในพื้นที่ป่าชายเลน แสดงให้เห็นว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนที่ระดับผิวมีการเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-16)



ภาพที่ 4-16 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลน ช่วง (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557

ขณะที่ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ในทุกสถานีอยู่ที่ -25.70% ถึง -22.36% มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-23.52 \pm 0.84\%$ ส่วนปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ในช่วง -25.70% ถึง -23.24% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

-24.13±0.76‰ ขณะที่ในพื้นที่หาดโคลน ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ อยู่ที่ -23.30‰ ถึง -22.36‰ และเฉลี่ยอยู่ที่ -22.91±0.27‰ ซึ่งปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนสูงสุดอยู่ที่สถานี E1 ของพื้นที่หาดโคลน และต่ำสุดอยู่ที่สถานี A2 ของพื้นที่ป่าชายเลน อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-16) โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในพื้นที่หาดโคลนสูงกว่าพื้นที่ป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ดังภาพ 4-17)



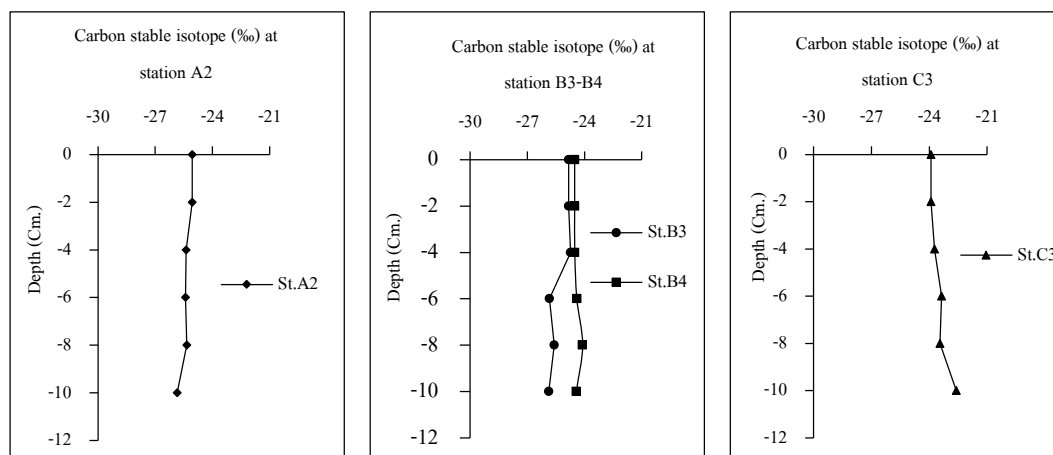
ภาพที่ 4-17 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวจากพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

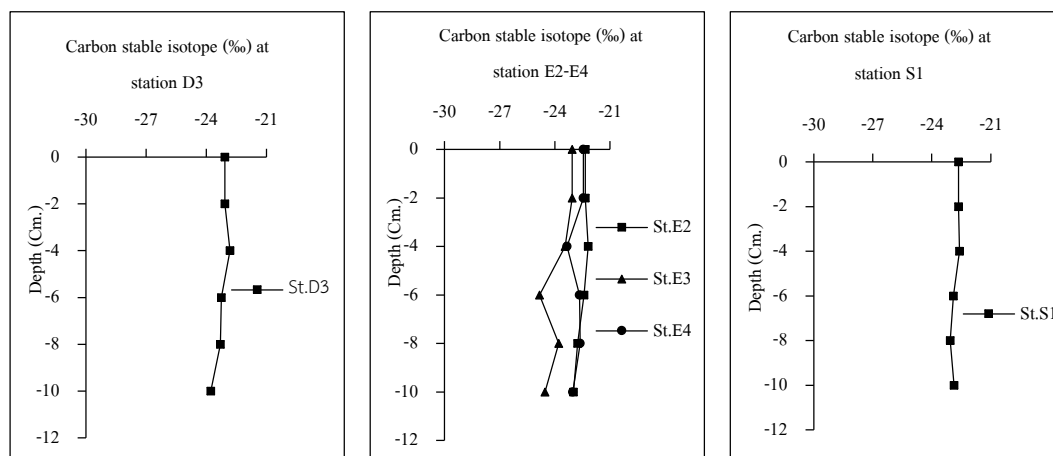
4.7.2 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก

จากผลการศึกษาปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก 5 ระดับ ได้แก่ 0-2, 2-4, 4-6, 6-8 และ 8-10 เซนติเมตร ตามลำดับ ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 พบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนตามความลึกของสถานี A2, B3-B4 มีแนวโน้มลดลงเมื่อความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของดินตะกอนที่สถานี C3 ในพื้นที่ป่าชายเลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-18) ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$

ในดินตะกอนของสถานี D3, E2-E3 และ S1 ในพื้นที่หาดโคลนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-19)

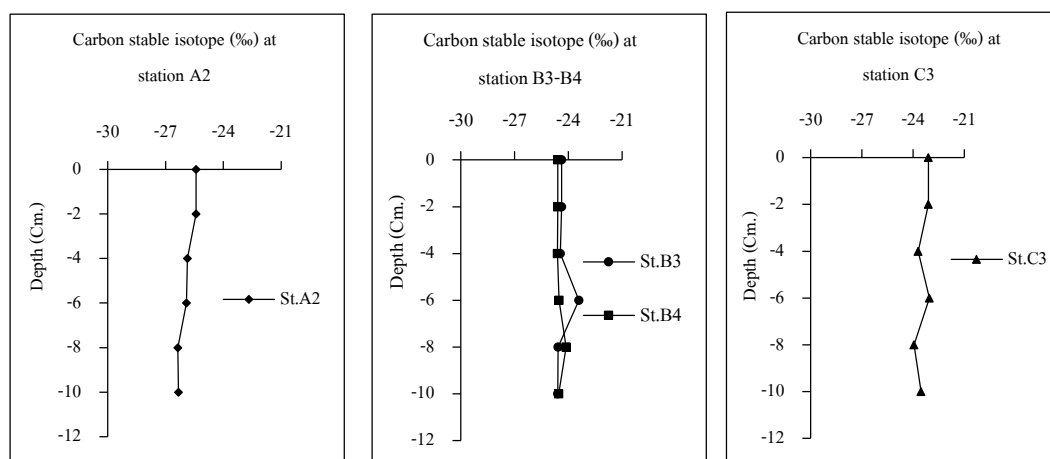


ภาพที่ 4-18 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station A2, B3-B4 และ C3 ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557

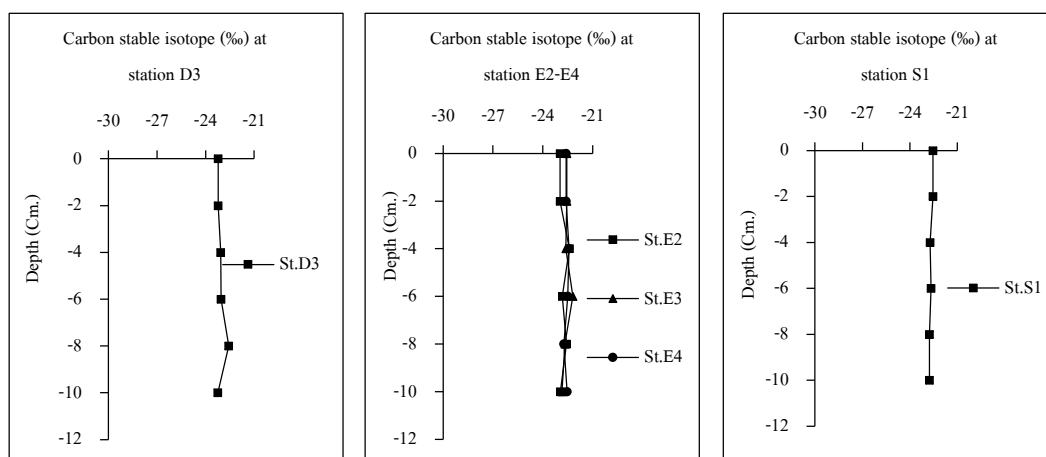


ภาพที่ 4-19 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station D3, E2-E4 และ S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557

ขณะที่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 พบว่า ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดิน ตะกอนตามความลึกที่สถานี A2, B3-B4 และ C3 ในพื้นที่ป่าชายเลนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนของสถานี D3, E2-E4 และ S1 โดย ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนที่ระดับความลึก 0-2 เซนติเมตรสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนที่ระดับความลึก 8-10 เซนติเมตร (ดังภาพที่ 4-20, 4-21)



ภาพที่ 4-20 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station A2, B3-B4 และ C3 ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

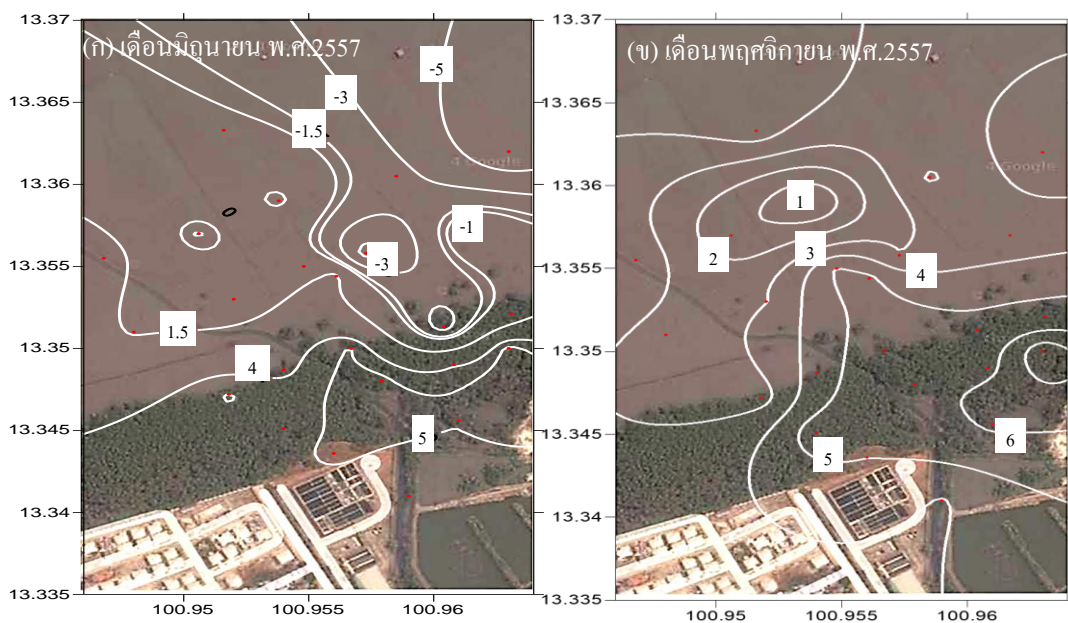


ภาพที่ 4-21 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station D3, E2-E4 และ S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

4.8 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอน

4.8.1 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว

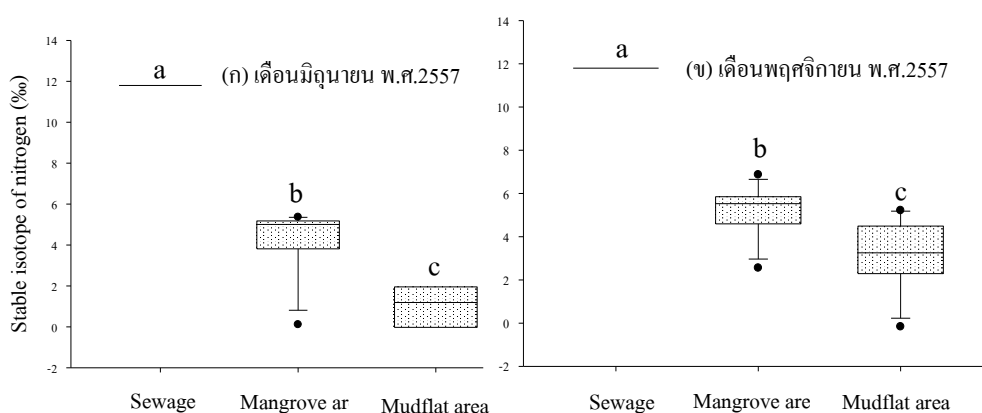
จากผลการศึกษาในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 พบว่า ปริมาณ ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวทุกสถานีอยู่ในช่วง -6.87 ถึง 5.36 % เฉลี่ยอยู่ที่ 1.43 ± 3.60 % โดยปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ในช่วง -3.97 ถึง 5.36 % มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.58 ± 2.78 % ขณะที่พื้นที่หาดโคลน ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนอยู่ในช่วงระหว่าง -6.87 ถึง 2.51 % เฉลี่ยรวมอยู่ที่ -0.72 ± 3.05 % ซึ่งปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนสูงสุดอยู่ที่สถานี B4 ในพื้นที่ป่าชายเลน และต่ำสุดอยู่ที่สถานี E5 ในพื้นที่หาดโคลน จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-22)



ภาพที่ 4-22 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว (mg/g) ในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนช่วง (ก) เดือนมิถุนายนและ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 พบว่าปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวของทุกสถานีอยู่ในช่วง -0.17 ถึง 6.87 % มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.20 ± 1.71 % โดยปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนของพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ในช่วง 2.55 – 6.87 % เฉลี่ยอยู่ที่ 5.22 ± 1.13 % และใน

พื้นที่หาดโคลน ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนอยู่ในช่วง -0.17 ถึง 5.22% เฉลี่ยอยู่ที่ $3.18 \pm 1.59\%$ ซึ่ง ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนสูงสุดอยู่ที่สถานี B4 ในพื้นที่ป่าชายเลน และต่ำสุดอยู่ที่สถานี E3 ใน พื้นที่หาดโคลน (ดั่งภาพที่ 4-22) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ ป่าชายเลนสูงกว่าในพื้นที่หาดโคลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดั่งภาพที่ 4-23) ทั้งเดือน มิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงตาม ระยะทางจากพื้นที่ป่าชายเลน ไปยังพื้นที่หาดโคลน



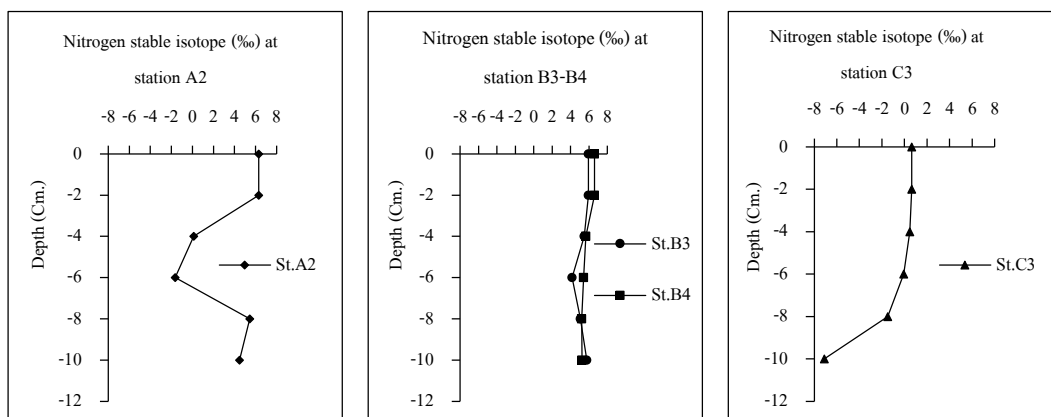
ภาพที่ 4-23 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวจาก พื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนใน (ก) เดือนมิถุนายน และ (ข) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

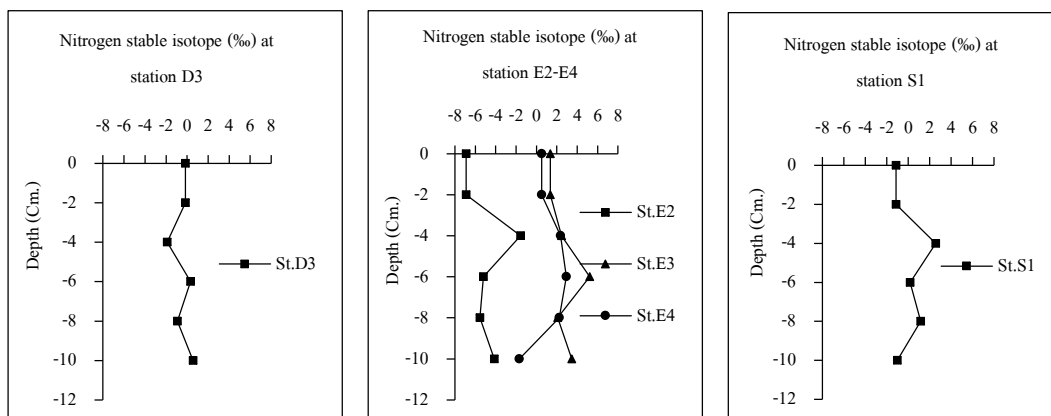
4.8.2 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในดินตะกอนตามความลึก

ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 พบว่า ปริมาณ ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดิน ตะกอนตามความลึก 5 ระดับ ได้แก่ 0-2, 2-4, 4-6, 6-8 และ 8-10 เซนติเมตร ตามลำดับ ในสถานี A2 ในพื้นที่ป่าชายเลนมีการเพิ่มขึ้นและลดลงไม่คงที่เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น ขณะที่ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนของสถานี B3-B4 และ C3 มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกของดิน

ตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-24) ในทางตรงข้าม ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนที่สถานี D3, E2-E4 และ S1 ในพื้นที่หาดโคลนมีรูปแบบการเพิ่มขึ้นและลดลงไม่คงที่เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-25)



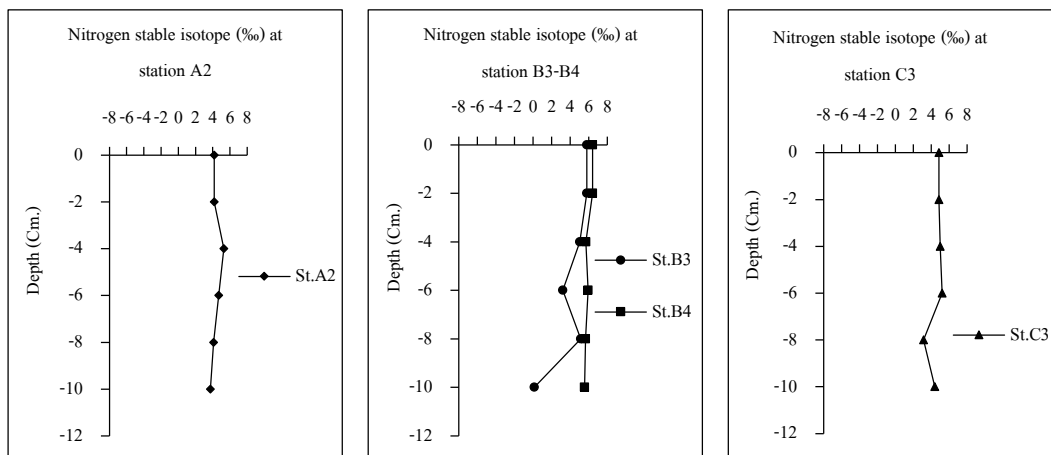
ภาพที่ 4-24 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station A2, B3-B4 และ C3 ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557



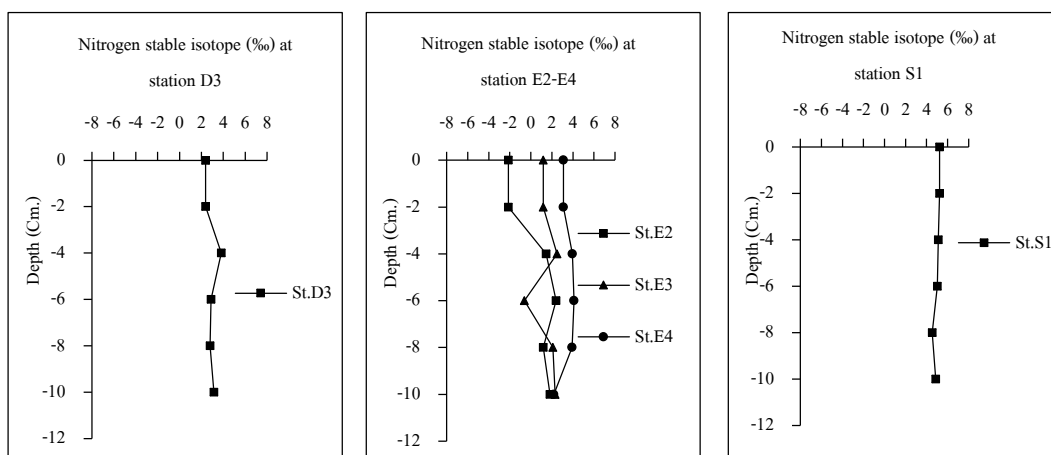
ภาพที่ 4-25 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station D3, E2-E4 และ S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557

เดือนพฤศจิกายน 2557 พบว่า ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก 5 ระดับ ได้แก่ 0-2, 2-4, 4-6, 6-8 และ 8-10 เซนติเมตรที่สถานี A2, B3-B4 และ C3 ในพื้นที่ป่าชายเลนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-26) ขณะที่

สถานี D3, E2-E4 และ S1 ในพื้นที่หาดโคลนมีรูปแบบการลดลงและเพิ่มขึ้นที่ไม่แน่นอนในแนวดิ่ง เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-27)



ภาพที่ 4-26 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station A2, B3-B4 และ C3 ในพื้นที่ป่าชายเลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557



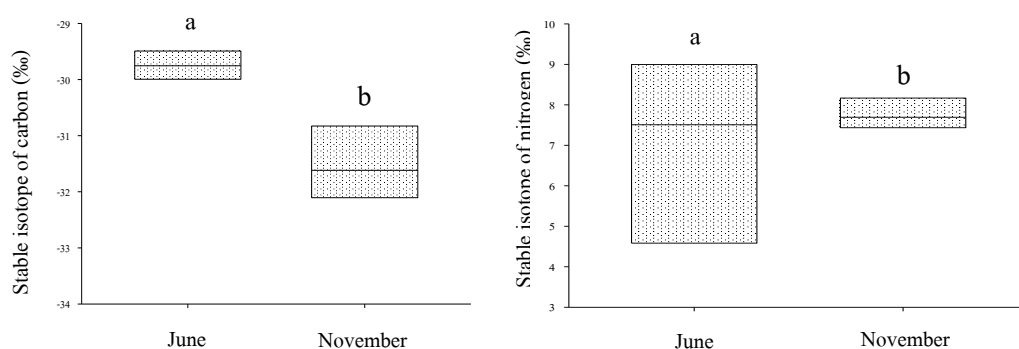
ภาพที่ 4-27 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึก (mg/g) ของ station D3, E2-E4 และ S1 ในพื้นที่หาดโคลน ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

4.9 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในพื้นที่ป่าชายเลน

4.9.1 ใบไม้และสาหร่ายหน้าดิน

ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของใบแสมขาว (*A. alba*) ในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน 2557 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-29.73 \pm 0.31\%$ และ $-31.34 \pm 1.10\%$ ตามลำดับ โดยปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $6.99 \pm 2.39\%$ และ $7.38 \pm 1.36\%$ ตามลำดับ ส่วนปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในโกงกางใบใหญ่ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $-30.78 \pm 0.89\%$, $7.44 \pm 0.45\%$ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4-2) ดังนั้นจึงสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบแสมขาวที่เก็บในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 สูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในใบแสมขาวของเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 มีช่วงที่แคบกว่าเดือนมิถุนายน 2557 อย่างเห็นได้ชัดเจน (ดังภาพ 4-28)

ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินของสถานี A2 ในพื้นที่ป่าชายเลน เท่ากับ -21.89% และ 1.93% ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินบริเวณปากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสียเท่ากับ -24.53% และ 9.75% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินที่อยู่ใกล้กับบริเวณปากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำมีปริมาณสูงกว่าปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินที่อยู่ในพื้นที่ป่าชายเลน



ภาพที่ 4-28 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนใน

ใบแสมขาว (*Avicennia alba*) จากพื้นที่ป่าชายเลนในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.9.2 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในอินทรีย์แขวนลอย

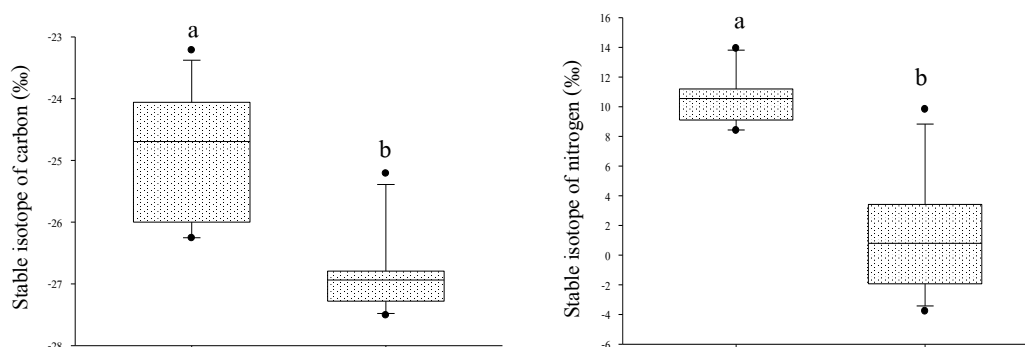
ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในอินทรีย์แขวนลอยจากพื้นที่ป่าชายเลนในเดือน มิถุนายน อยู่ที่ -27.05% และ 4.08% ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4-2)

ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยของปริมาณของไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในใบไม้ ดิน ตะกอน ป่าชายเลน ดินตะกอน POM ในหาดโคลน น้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จ.ชลบุรี และ สิ่งมีชีวิตหน้าดินที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนและหาดโคลน

ตัวอย่าง	ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ (‰)
	(ค่าพิสัย) ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	(ค่าพิสัย) ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ใบเสมขาว (<i>Avicennia alba</i>)	(-32.88‰ ถึง -29.23‰) -30.60±1.16‰	(3.73‰ – 9.46‰) 7.20±1.83‰
โกงกางใบใหญ่ (<i>Rhizophora mucronata</i>)	(-31.41‰ ถึง -30.15‰) -30.78±0.89‰	(7.12‰ – 7.75‰) 7.44±0.45‰
ดินตะกอนป่าชายเลน	(-26.26‰ ถึง -23.24‰) -24.21±0.79‰	(-3.97‰ ถึง 6.87‰) 4.40±2.24‰
ดินตะกอนในพื้นที่หาดโคลน	(-23.63‰ ถึง -21.97‰) -22.87±0.34‰	(3.04‰ – 7.73‰) 4.67±1.60‰
อินทรีย์แขวนลอยในป่าชายเลน	-27.05‰	4.08‰
อินทรีย์แขวนลอยในหาดโคลน	-25.88±1.27‰	5.98±5.46‰
น้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จ.ชลบุรี	(ไม่มีค่าพิสัย) -27.91‰	(ไม่มีค่าพิสัย) 11.8‰ [*]
สาหร่ายหน้าดินบริเวณปากท่อปล่อยน้ำ ทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสีย	(ไม่มีค่าพิสัย) 24.53‰	(ไม่มีค่าพิสัย) 9.75‰
สาหร่ายหน้าดินในพื้นที่ป่าชายเลน	(ไม่มีค่าพิสัย) -21.89‰	(ไม่มีค่าพิสัย) 1.93‰
ปูแสม <i>S. haematocheir</i>	(-27.61‰ ถึง -23.09‰) -25.66±2.32‰	(7.42‰ – 10.47‰) 8.68±1.34‰
ปูแสมชนิด <i>M. dentipes</i>	(-19.82‰ ถึง -17.85‰) -18.82±0.90‰	(9.49‰ – 11.43‰) 10.43±0.67‰
ครัสเตเชียน (<i>Ctenopseudes sapensis</i>)	(-20.26‰ ถึง -20.16‰) -20.21±0.08‰	(9.23‰ – 9.67‰) 9.45±0.31‰

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

ตัวอย่าง (ต่อ)	ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ (‰) (ค่าพิสัย) ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ (‰) (ค่าพิสัย) ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ไส้เดือนทะเลสกุล Nereididae	(-24.22‰ ถึง -23.92‰) 24.07±0.21‰	(10.16‰ – 10.77‰) 10.47±0.43‰
หอยสองฝา		
หอยแครง (<i>Anadara granosa</i>)	(-19.09‰ ถึง -18.08‰) -18.50±0.36‰	(10.28‰ – 11.81‰) 11.14±0.62‰
หอยกะพง (<i>Arcuatula senhousia</i>)	(-24.04‰ ถึง -19.31‰) -20.98±1.34‰	(7.09‰ – 10.13‰) 8.31±1.05‰
หอยนางรม (<i>Saccostrea commercialis</i>)	(-19.62‰ ถึง -19.44‰) -19.52±0.09‰	(9.30‰ – 10.71‰) 10.01±0.70‰
หอยแมลงภู่ (<i>Perna viridis</i>)	(18.08‰ ถึง -17.73‰) -17.87±0.18‰	(11.08‰ – 11.59‰) 11.27±0.28‰
หอยคลับลาย (<i>Meretrix lousoria</i>)	(-20.71‰ ถึง -20.34‰) -20.49±0.19‰	(9.93‰ – 10.45‰) 10.26±0.28‰

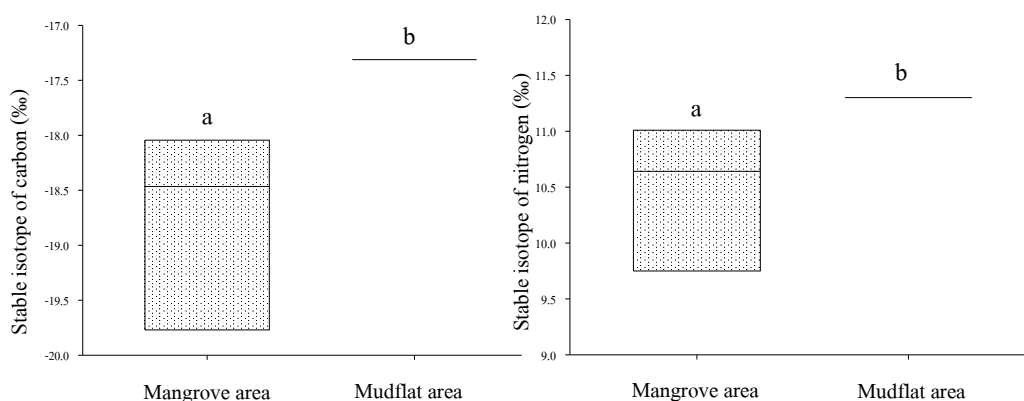


ภาพที่ 4-29 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในอินทรีย์แขวนลอย
จากพื้นที่พื้นที่หาดโคลนในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.9.3 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต

จากการศึกษาปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลน พบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ของปูแสม *S. haematocheir* อยู่ที่ $-25.66 \pm 2.32\%$ และ $8.68 \pm 1.34\%$ ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในปูแสม *M. dentipes* มีค่าเท่ากับ $-18.82 \pm 0.90\%$ และ $10.43 \pm 0.67\%$ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในปูแสม (*M. dentipes*) ในหาดโคลนที่มีค่าเท่ากับ $-17.31 \pm 0.23\%$ และ $11.30 \pm 0.47\%$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปูในพื้นที่ป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังภาพที่ 4-30) และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในไส้เดือนทะเล สกุล Nereididae อยู่ที่ $24.07 \pm 0.21\%$ และ $10.47 \pm 0.43\%$ ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ของไส้เดือนทะเล *P. ehlersi* ในพื้นที่หาดโคลนอยู่ที่ $-21.44 \pm 0.75\%$ และ $10.85 \pm 0.98\%$ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4-2)



ภาพที่ 4-30 Box plot ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในปู

(*Metaplex dentipes*) จากพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลน

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.10 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในพื้นที่หาดโคลน

4.10.1 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในอินทรีย์แขวนลอย

ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในอินทรีย์แขวนลอยจากพื้นที่หาดโคลนในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 อยู่ที่ $-24.94 \pm 1.01\%$ และ $10.48 \pm 1.82\%$ ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในอินทรีย์แขวนลอยในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 มีค่าเท่ากับ $-26.82 \pm 0.65\%$ และ $1.47 \pm 3.82\%$ ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2557 สูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในอินทรีย์แขวนลอยของเดือนพฤศจิกายนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังภาพที่ 4-29)

4.10.2 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ของหอยทะเลสองฝาในพื้นที่หาดโคลน

ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในหอยกะพง (*Arcuatula senhousia*), หอยแครง (*Anadara granosa*), หอยนางรม (*Saccostrea commercialis*), หอยตลับลาย (*Meretrix lousoria*) และ หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) ในพื้นที่หาดโคลน มีค่าเท่ากับ $-20.98 \pm 1.34\%$, $18.50 \pm 0.36\%$, $-19.52 \pm 0.09\%$, $-20.49 \pm 0.19\%$ และ $-17.87 \pm 0.18\%$ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4-2) ขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ $8.31 \pm 1.05\%$, $11.14 \pm 0.62\%$, $10.01 \pm 0.70\%$, $10.26 \pm 0.28\%$ และ $11.27 \pm 0.28\%$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน

อย่างไรก็ตาม ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในปลากระบอกของสถานี D1 ในพื้นที่หาดโคลนมีค่าเท่ากับ $-15.44 \pm 1.33\%$ และ $14.28 \pm 1.01\%$ ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4-30) ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในครัสเตเชียน (*Ctenapseudes sapensis*) อยู่ที่ $-20.21 \pm 0.08\%$ และ $9.45 \pm 0.31\%$ ตามลำดับ

บทที่ 5

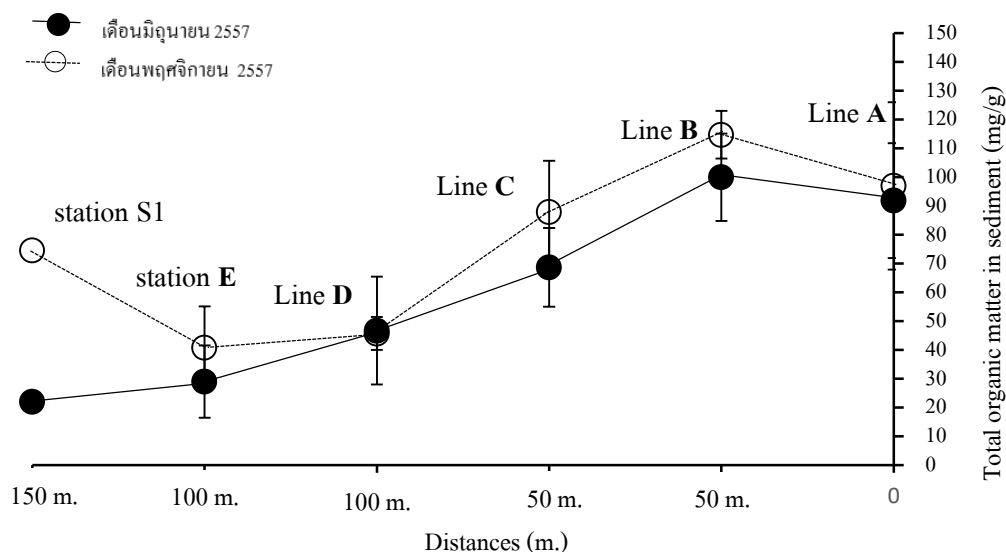
อภิปรายและสรุปผล

5.1 ปริมาณสารอินทรีย์รวม อินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลน

จากผลการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิว พบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน ซึ่งในพื้นที่ป่าชายเลน โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้กับจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ และแนวคลองห้วยละมูที่ได้น้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ เช่น สถานี B2 ใน Line B จะพบปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงที่สุด (ดังภาพที่ 4-2 และภาพที่ 5-1) ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวได้รับสารอินทรีย์มาจากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำร่วมกับสารอินทรีย์ในป่าชายเลนเองด้วย อีกทั้งดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลนที่มีลักษณะเป็นดินเลนมีอนุภาคขนาดเล็กมาก จะทำหน้าที่ในการดูดซับสารอินทรีย์ที่มาจากบนบกได้เป็นอย่างดี จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในพื้นที่ป่าชายเลนสูงกว่าบริเวณอื่น ทั้งนี้ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Li et al. (2018) ที่พบว่าขนาดอนุภาคของดินตะกอนมีผลต่อการสะสมของสารอินทรีย์ โดยทำการศึกษาในพื้นที่ป่าชายเลนที่อยู่ติดกับแนวปะการัง โดยพื้นที่ดังกล่าวถูกล้อมรอบไปด้วยเขตชุมชนเมือง ทำให้ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ เมื่อสารอินทรีย์ลงสู่พื้นที่ป่าชายเลน ดินตะกอนในป่าชายเลนจะทำหน้าที่ในการดักจับสารอินทรีย์เอาไว้เพื่อไม่ให้แพร่กระจายเข้าสู่แนวปะการัง ทั้งนี้พื้นที่ป่าชายเลนเมืองใหม่เป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของพืชพรรณไม้ประมาณ 247 ต้น/ไร่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)

ระบบรากพืชในป่าชายเลนจะทำหน้าที่ในการดักจับอินทรีย์แขวนลอยให้ตกตะกอนอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลนได้ดีกว่าพื้นที่อื่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Castro et al. (2018) ที่พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดินตะกอนป่าชายเลนสูงกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากได้รับอิทธิพลมาจากน้ำทิ้งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม และอัสนี มีแก้ว (2554) ได้กล่าวไว้ว่ามีการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งล้อมรอบไปด้วยพื้นที่ป่าชายเลน พบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่พบในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนมีปริมาณสูงสุดในบริเวณปากแม่น้ำ เนื่องจากบริเวณปากแม่น้ำเป็นบริเวณที่รองรับการถ่ายเทมวลสารที่เกิดจากกิจกรรมทั้งทาง

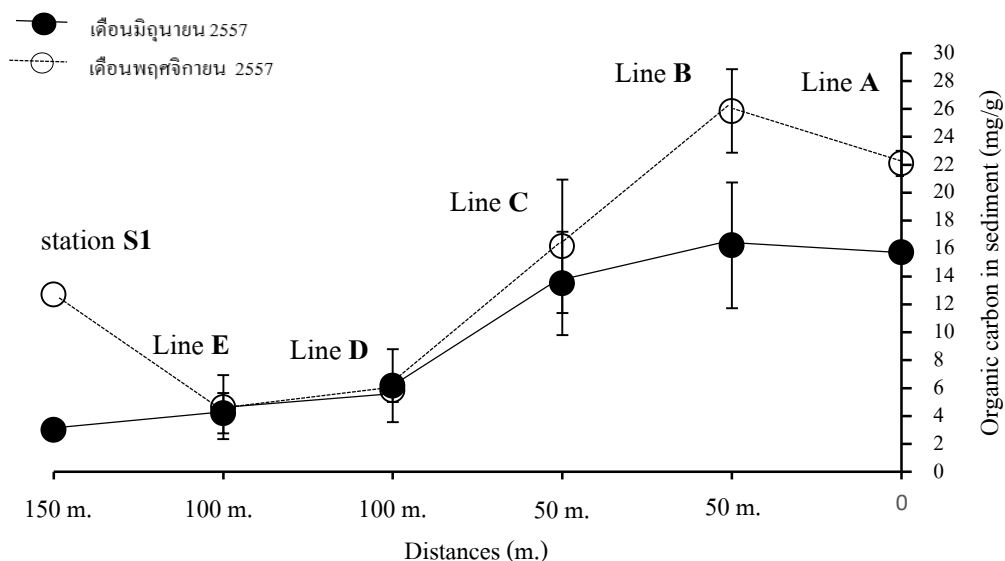
ธรรมชาติ และกิจกรรมที่เกิดจากมนุษย์ ส่งผลให้ในบริเวณปากแม่น้ำพบปริมาณสารอินทรีย์รวมในดิน ตะกอนที่สะสมอยู่ในปริมาณสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ



ภาพที่ 5-1 ปริมาณสารอินทรีย์รวมของดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลน Line A (สถานี A1- A3), Line B (สถานี B1- B4), Line C (สถานี C1 – C5) และพื้นที่หาดโคลน Line D (D1 – D5), Line E (สถานี E1 – E5) และสถานี S1 ในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน 2557

ผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลน พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีแนวโน้มลดลงจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-4) โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนของ (Line A (สถานี A1-A3), Line B (สถานี B1-B4) และ Line C (สถานี C1-C5)) สูงกว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในพื้นที่หาดโคลน (Line D (สถานี D1-D5) และ Line E (สถานี E1-E5)) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิว (ดังภาพที่ 5-1) และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในเดือนมิถุนายน (ฤดูแล้ง) ต่ำกว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในเดือนพฤศจิกายน (ฤดูฝน) 2557 (ดังภาพที่ 5-2) ต่างจากการศึกษาของ Kida et al.(2017) ซึ่งพบว่าเมื่อความเค็มในดินตะกอนสูงขึ้น สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของคาร์บอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มและตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำ ในทางตรงข้าม เมื่อความเค็มในดินลดลง อินทรีย์คาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินตะกอนจะถูกปลดปล่อยออกสู่มวลน้ำแล้วเปลี่ยนรูปเป็นอินทรีย์แขวนลอย โดยอินทรีย์คาร์บอนที่

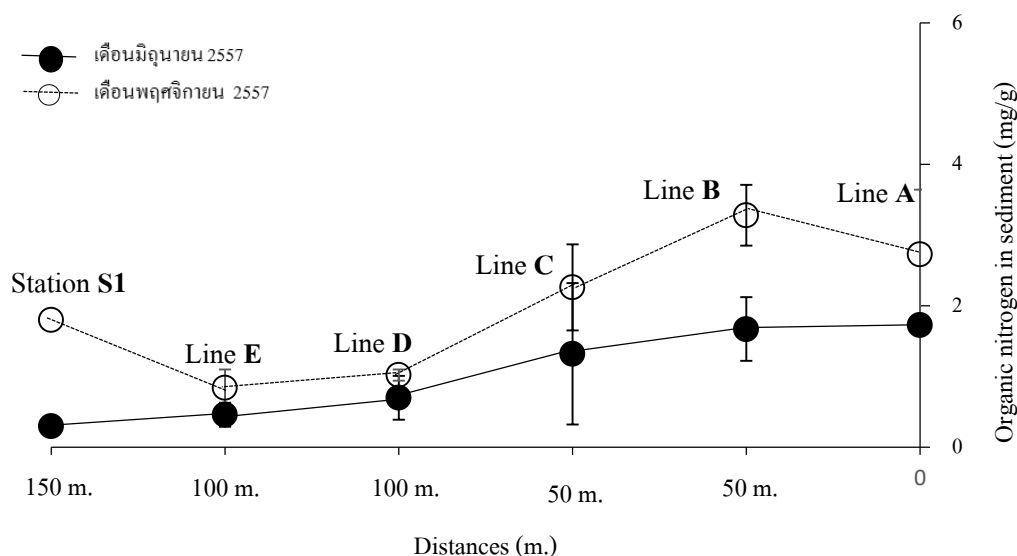
อยู่บนพื้นผิวดินตะกอนจะถูกสัตว์หน้าดินที่กินอินทรีย์สารบนผิวดินนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนอินทรีย์สารที่อยู่ในรูปอินทรีย์แขวนลอยจะถูก uptake โดยสัตว์ที่กรองกินสารอินทรีย์ในมวลน้ำ



ภาพที่ 5-2 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลน Line A (สถานี A1- A3), Line B (สถานี B1- B4), Line C (สถานี C1 – C5) และพื้นที่หาดโคลน Line D (D1 – D5), Line E (สถานี E1 – E5) และสถานี S1 ในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน 2557

และผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว พบว่าปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน โดยสถานี S1 มีปริมาณสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ในพื้นที่หาดโคลน เนื่องจากที่สถานี S1 เป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแหล่งเพาะเลี้ยงหอยที่มีความหนาแน่นสูง จึงทำให้พบปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในพื้นที่ดังกล่าวสูงกว่าบริเวณอื่น (ดังภาพที่ 5-3) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์รวม และอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิว (ดังภาพที่ 5-1 และภาพที่ 5-2) อีกทั้งปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนของเดือนพฤศจิกายน 2557 สูงกว่าปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนของดินตะกอนในเดือนมิถุนายน 2557 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Liu et al. (2006) พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ของดินตะกอนในเดือนกรกฎาคม (ฤดูฝน) สูงกว่าเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูแล้ง) เนื่องจากในช่วงฤดูฝนการไหลบ่าของน้ำจะเป็นตัวนำพาสารอินทรีย์แขวนลอยเข้ามาตกตะกอนสะสมอยู่ในดินตะกอนมากกว่าฤดูแล้ง อย่างไรก็ตาม

ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนใน Line D และ Line E มีปริมาณต่ำกว่าสถานี S1 เนื่องด้วยพื้นที่ใน Line D และ Line E ไม่มีความหนาแน่นของการเพาะเลี้ยงหอยทะเลสองฝา



ภาพที่ 5-3 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนของดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลน Line A (สถานี A1-A3), Line B (สถานี B1-B4), Line C (สถานี C1-C5) และพื้นที่หาดโคลน Line D (สถานี D1-D5), Line E (สถานี E1-E5) และสถานี S1 ในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557

5.2 ปริมาณสารอินทรีย์รวม อินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่หาดโคลน

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวบริเวณหาดโคลนมีปริมาณต่ำกว่าในพื้นที่ป่าชายเลนทั้งในช่วงเดือนมิถุนายนและพฤศจิกายน 2557 (ดังภาพที่ 5-1) เนื่องจากพื้นที่หาดโคลนอยู่ห่างจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ ทำให้สารอินทรีย์ที่มาจากบนบกไม่มีการเข้าไปสะสมอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวได้ และพื้นที่หาดโคลนเป็นพื้นที่โล่งกว้าง ไม่มีพืชหรือหญ้าทะเลที่เป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ให้กับดินตะกอนได้ จึงทำให้พื้นที่ป่าชายเลนมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าในพื้นที่หาดโคลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับกับการศึกษาของ Tue et al. (2018)

ผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่หาดโคลน พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงจากป่าชายเลนไปยังบริเวณหาดโคลน (ดังภาพที่ 5-2) ขณะที่สถานี S1 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่า Line D และ Line E ในพื้นที่หาดโคลนในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิว (ดังภาพที่ 5-1) เนื่องจากสถานี S1 เป็นบริเวณที่ถูกล้อมรอบไปด้วยแหล่งเพาะเลี้ยงหอยทะเลสองฝา ได้แก่ หอยแครง หอยนางรม และหอยแมลงภู่ ที่มีความหนาแน่นสูง จึงทำให้บริเวณดังกล่าวมีการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในปริมาณที่สูงกว่าบริเวณอื่นในพื้นที่หาดโคลนช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เศรษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และคณะ (2546) โดยทำการศึกษาศักยภาพของพื้นที่เลี้ยงหอยบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดตราด ซึ่งพบว่าบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงหอยอย่างหนาแน่น จะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ชั้นผิวดินมากตลอดทั้งปี โดยมีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวดินสูงถึง 229.07 mg/g และมีปริมาณซัลไฟต์รวม 0.280 mg/g ในทางตรงข้ามบริเวณที่มีการเลี้ยงหอยไม่หนาแน่นมากอย่างเช่น Line D และ Line E โดยมีการเลี้ยงหอยใกล้กับร่องน้ำ มีลักษณะการหมุนเวียนของน้ำดี ทำให้ธาตุอาหารและสารอินทรีย์รวมเกิดการหมุนเวียนตลอดเวลา จึงทำให้ปริมาณธาตุอาหารมีการสะสมไม่มากในพื้นที่ดังกล่าว

อย่างไรก็ตาม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในพื้นที่หาดโคลนในช่วงเดือนมิถุนายนสูงกว่าเดือนพฤศจิกายนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังตารางที่ 4-1) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนของเดือนพฤศจิกายนที่พบว่าสูงกว่าเดือนมิถุนายน (ดังภาพที่ 5-1) โดยการที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนสูง แบคทีเรียจะมีการนำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ จากนั้นทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mattone & Sheaves (2017) ที่อธิบายว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะถูกสิ่งมีชีวิตนำไปใช้ประโยชน์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้นการแปรผันของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ ระดับน้ำขึ้นน้ำลง และปริมาณความเข้มแสงที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช โดยในเวลากลางวันปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะลดลงเนื่องจากสัตว์น้ำนำไปใช้ในการหายใจ แต่ในเวลากลางวันเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น พืชน้ำจะทำการสังเคราะห์แสงทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้น

และผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิว พบว่า ปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินตะกอนที่ระดับผิวมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 5-3) โดยในพื้นที่หาดโคลน (Line D และ Line E) มีปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนต่ำกว่าพื้นที่ป่าชายเลน (Line A, Line B และ Line C) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ดังภาพที่ 4-11)

5.3 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึกในพื้นที่ป่าชายเลน

การสะสมปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก (0-10 เซนติเมตร) ในพื้นที่ป่าชายเลนทั้งในช่วงเดือนมิถุนายน (ฤดูแล้ง) และเดือนพฤศจิกายน (ฤดูฝน) มีรูปแบบการสะสมแบบไม่คงที่เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในเดือนพฤศจิกายนมีความแปรผันสูงกว่าในเดือนมิถุนายน เนื่องจากพื้นที่ป่าชายเลนเป็นพื้นที่ที่มีการสะสมของสารอินทรีย์จากพืชที่ร่วงหล่น และได้รับอิทธิพลจากสารอินทรีย์ที่มาจากบนบก โดยในเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงฤดูฝนจึงทำให้น้ำฝนชะสารอินทรีย์จากบนบกไหลลงสู่พื้นที่ป่าชายเลน ทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินตะกอนในแต่ละระดับชั้นในพื้นที่ป่าชายเลน (ดังภาพที่ 4-6 และ 4-8) สูงกว่าในพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-7 และ 4-9) ทั้งในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน จะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์ที่อยู่ในป่าชายเลนและที่มาจากบนบกถูกสะสมอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลน แต่ไม่ได้สะสมอยู่ในพื้นที่หาดโคลน ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Hien et al. (2018) โดยพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในพื้นที่ป่าชายเลนมีการสะสมอยู่ทั้งในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่ที่ไม่มีพืชปกคลุม และปริมาณสารอินทรีย์จากป่าชายเลนมีปริมาณสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ โดยระดับน้ำขึ้นน้ำลงเป็นตัวนำพาสารอินทรีย์เข้าไปสะสมอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว เช่นเดียวกับการศึกษาของ Etemadi et al.(n.d.) ที่พบว่าการสะสมของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึกขึ้นอยู่กับระดับน้ำขึ้นน้ำลงซึ่งเป็นตัวนำพาสารอินทรีย์เข้ามาสะสมในดินตะกอน และขัดแย้งกับการศึกษาของ Chen et al.(2018) พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนที่ระดับความลึกต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการทับถมของสารอินทรีย์และอายุของป่าชายเลนเป็นปัจจัยในการสะสมของสารอินทรีย์ในดินตะกอน

และการสะสมของปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึกในช่วงเดือนมิถุนายน และพฤศจิกายน 2557 ในพื้นที่ป่าชายเลน (Line A, Line B และ Line C) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-12) โดยปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงที่ระดับความลึก 4-10 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับความลึกของดินที่อยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน (จากรูมาศ เมฆสัมพันธ์, 2548) จึงทำให้เกิดกระบวนการ denitrification ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนไนไตรท์และไนเตรทให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการออกซิเจน โดยกลุ่มแบคทีเรียจะทำหน้าที่ reduce สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนทั้งที่อยู่ในรูปของไนไตรท์และไนเตรทให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน และปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Castro et al. (2018) โดยพบว่าปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนมีปริมาณสูง

เนื่องจากได้รับสารอินทรีย์จากน้ำเสีย และมีการสะสมอยู่ในระดับผิวของดินตะกอน และปริมาณสารอินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น ซึ่งระดับดินตะกอนที่มีความลึกเพิ่มขึ้นจะได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของแบคทีเรียในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน และทำให้เกิดกระบวนการ denitrification

5.4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึกในพื้นที่หาดโคลน

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนตามความลึก ในพื้นที่หาดโคลนมีแนวโน้มการสะสมคงที่เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-9) เนื่องจากพื้นที่หาดโคลนอยู่ถัดจากป่าชายเลนและอยู่ห่างจากฝั่งออกไป ทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลของสารอินทรีย์ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ และพื้นที่หาดโคลนเป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินตะกอนตามความลึกบริเวณหาดโคลนส่วนใหญ่มาจากเศษซากของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่เพาะเลี้ยงและสัตว์หน้าดินอื่นๆที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว เช่นเดียวกับการศึกษาของ Boonphakdee & Sichan (2013)

และการสะสมปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอนตามความลึกในพื้นที่หาดโคลน (Line D, Line E และสถานี S1) (ดังภาพที่ 4-12, 4-13, 4-14 และ 4-15) นั้นต่ำกว่าในพื้นที่ป่าชายเลน เนื่องจากพื้นที่หาดโคลนอยู่ห่างจากฝั่ง จึงไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งต่างจากการศึกษาของ ชนากานต์ สุขอุดม และคณะ (2558) พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์ในพื้นที่เลี้ยงหอยที่อยู่ห่างฝั่งมีการสะสมของสารอินทรีย์สูงกว่าบริเวณใกล้ฝั่ง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของกระแสคลื่นและระดับน้ำขึ้นน้ำลง รวมถึงการขนส่งทางน้ำของชาวประมงในบริเวณที่มีการเลี้ยงหอย การเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการประมง และการคราดดินบริเวณแปลงเลี้ยงหอย

5.5 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$)

5.5.1 แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณป่าชายเลน

จากผลการศึกษาปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลนเมืองใหม่ พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลนทั้งเดือนมิถุนายนและพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 (ดังภาพที่ 4-16 และ 4-22) โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนป่าชายเลนใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน สาหร่ายหน้าดินในป่าชายเลน และ

น้ำที่มาจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ดังภาพที่ 4-28) แสดงให้เห็นว่า แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนป่าชายเลนมาจากใบไม้ในป่าชายเลน สาหร่ายหน้าดินในป่าชายเลน และน้ำที่มาจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ ขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนป่าชายเลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ป่าชายเลนไปยังพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 4-22) โดยปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนป่าชายเลนใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในใบไม้ป่าชายเลน สาหร่ายหน้าดิน และแพลงก์ตอนพืชในป่าชายเลน แสดงให้เห็นว่าดินตะกอนป่าชายเลนได้รับสารอินทรีย์มาจากใบไม้ป่าชายเลน สาหร่ายหน้าดิน และน้ำที่มาจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ดังภาพที่ 5-4) และเกิดการสะสมอยู่ในดินตะกอนป่าชายเลน ในทำนองเดียวกับการศึกษาของ Xiong, Liao, & Wang (2018)

ดังนั้นจึงนำปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ของสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากพื้นที่ป่าชายเลนมาคำนวณหาสัดส่วนของสารอินทรีย์โดยใช้ simple three mixing model (Phillips et al., 2014) พบว่าสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากพื้นที่ป่าชายเลนมีสัดส่วนของที่มาจากใบไม้ป่าชายเลน 61.3% สาหร่ายหน้าดินในพื้นที่ป่าชายเลน 29.1% และน้ำที่มาจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ 9.6% (ดังภาพที่ 5-5 (ก)) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ray et al. (2015) และ Lopes et al. (2009) เมื่อนำปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนป่าชายเลนมาเปรียบเทียบกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนป่าชายเลนใกล้เคียงกับใบไม้ในป่าชายเลน เนื่องจากจุลินทรีย์และสัตว์หน้าดินมีการย่อยสลายใบไม้ และเกิดการสะสมอยู่บนผิวดินในป่าชายเลน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Nordhaus et al. (2017) พบว่าเศษใบไม้ป่าชายเลน *Avicennia alba* และ *Sonneratia caseolaris* ถูกแบคทีเรียย่อยสลายและสะสมเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ให้กับป่าชายเลน และยังเป็นอาหารให้กับสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนอีกด้วย และสอดคล้องกับการศึกษาของ Shahraki et al. (2014) โดยพบว่าดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณอ่าวเปอร์เซียได้รับสารอินทรีย์มาจากพืชหน้าดินขนาดเล็ก โดยพืชหน้าดินขนาดเล็กยังทำหน้าที่ในการให้สารอินทรีย์แก่พืชขนาดใหญ่ และสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนอีกด้วยเช่นกัน และการศึกษาของ Liu et al. (2006) พบว่าดินตะกอนจากปากแม่น้ำแยงซี ประเทศจีนได้รับสารอินทรีย์มาจากบนบกและแพลงก์ตอนพืชในทะเล เนื่องจากบริเวณปากแม่น้ำได้รับอิทธิพลมาจากทั้งแผ่นดินและทะเล

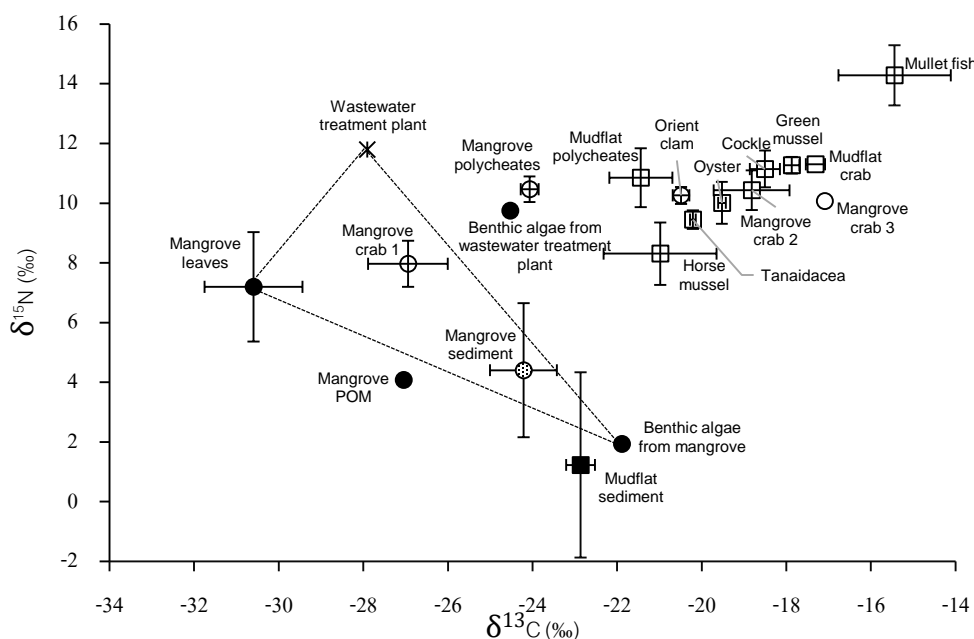
ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนตามความลึกในพื้นที่ป่าชายเลนมีแนวโน้มการสะสมค่อนข้างจะคงที่ตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนแต่ละระดับชั้นมีปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ค่อนข้างต่ำ ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน ขณะที่ที่สถานี C3 ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ในพื้นที่ป่าชายเลนและอยู่ใกล้กับพื้นที่หาดโคลน พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับความลึกของดิน

ตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-18) ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนของพื้นที่หาดโคลน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในพื้นที่ป่าชายเลนมีการสะสมของสารอินทรีย์ในดินตะกอนที่มาจากใบไม้ในป่าชายเลน ขณะที่สถานี C3 ในพื้นที่ป่าชายเลนซึ่งอยู่ติดกับหาดโคลนได้รับสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งมาจากพื้นที่หาดโคลน

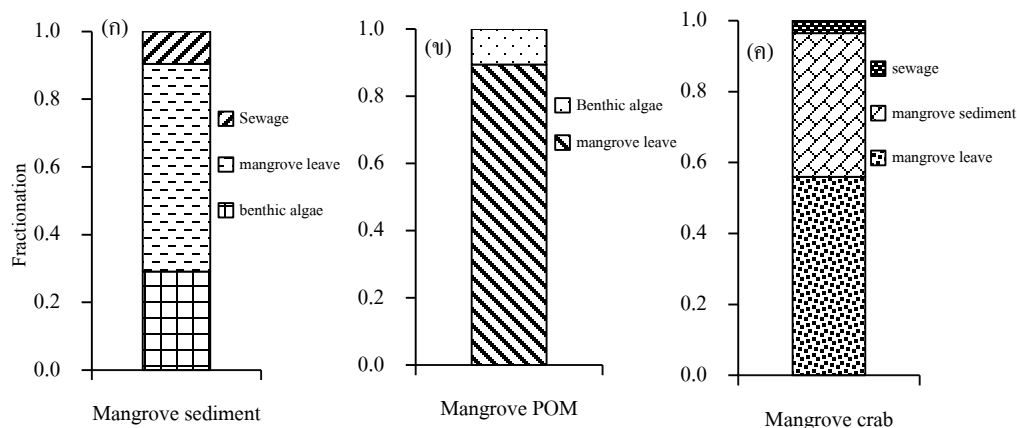
5.5.2 แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณหาดโคลน

การที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของดินตะกอนในพื้นที่หาดโคลนสูงกว่าในพื้นที่ป่าชายเลน (ดังภาพที่ 4-16) เนื่องจากในพื้นที่หาดโคลนมีแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น แปลงเพาะเลี้ยงหอยนางรม และหอยแครงทางเศรษฐกิจ ดังนั้นดินตะกอนในพื้นที่หาดโคลนจึงได้รับสารอินทรีย์มาจากแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเศษซากสิ่งมีชีวิตที่ตายและสะสมอยู่ในดินตะกอนในพื้นที่หาดโคลน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Boonphakdee and Sichan (2013) พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณหาดโคลนที่มีการเพาะเลี้ยงหอยส่วนหนึ่งมาจากเศษซากของหอยที่เกิดการตายในพื้นที่เพาะเลี้ยงและสะสมทับถมอยู่ในดินตะกอน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Gondwe et al. (2012) ที่พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนที่อยู่บริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ของทะเลสาบมาลาวิมาจากเศษซากและสิ่งปฏิกูลของสัตว์น้ำที่ทำการเพาะเลี้ยงอยู่ในบริเวณนั้น

ส่วนปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนในพื้นที่หาดโคลนสูงกว่าในพื้นที่ป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนบริเวณหาดโคลนแตกต่างจากพืชในป่าชายเลน และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ดังภาพที่ 4-23) ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่า ดินตะกอนในพื้นที่หาดโคลนไม่ได้รับสารอินทรีย์มาจากใบไม้ป่าชายเลน และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ดังภาพที่ 5-3) เนื่องจากพื้นที่หาดโคลนอยู่ห่างจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำประมาณ 500 เมตร จึงทำให้สารอินทรีย์จากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำไม่สามารถแพร่กระจายเข้าสู่พื้นที่หาดโคลนได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Liu et al. (2006) โดยพบว่าบริเวณปากแม่น้ำแยงซีไม่ได้รับผลกระทบของน้ำเสีย เนื่องจากจุดปล่อยน้ำเสียอยู่ห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 10 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่หาดโคลนของเดือนมิถุนายนมีค่าติดลบ (ดังภาพที่ 4-22) เกิดการรบกวนจากกิจกรรมของแบคทีเรียในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน



ภาพที่ 5-4 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนใน(Mangrove leaves; ใบไม้ป่าชายเลน), (Mangrove sediment; ดินตะกอนในป่าชายเลน), (Mangrove POM; อินทรีย์แขวนลอยในป่าชายเลน), (Benthic algae from mangrove; สาหร่ายหน้าดินในป่าชายเลน), (Mangrove polychaetes; ไส้เดือนทะเลในป่าชายเลน FAM. Nereidae), (Mangrove crab 1; ปูแสมในป่าชายเลน *S. haematocheir*), (Mangrove crab 2; ปูแสมในป่าชายเลน *M. dentipes*), (Mangrove crab 3; ปูก้ามดาบในป่าชายเลน *Uca* sp.), (Mudflat sediment; ดินตะกอนในหาดโคลน), (Mudflat polychaetes; ไส้เดือนทะเลในหาดโคลน *P. ehlersi*), (Horse mussel; หอยกะพง), (Orient clam; หอยตลับลาย), (Oyster; หอยนางรม), (Cockle; หอยแครง), (Green mussel; หอยแมลงภู่), (Mudflat crab; ปูในหาดโคลน *M. dentipes*), (Mullet fish; ปลากระบอก), (Wastewater treatment plant; น้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ), (Benthic algae from wastewater treatment plant; สาหร่ายหน้าดินบริเวณปากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ)



ภาพที่ 5-5 สัดส่วนแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ใน (ก) ดินตะกอนป่าชายเลน, (ข) อินทรีย์แขวนลอยในป่าชายเลน และ (ค) สารอินทรีย์ในอาหารของปูแสมป่าชายเลน (*S. haematocheir*)

ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนตามความลึกในพื้นที่หาดโคลนมีการสะสมค่อนข้างคงที่เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-19, 4-21) โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในพื้นที่หาดโคลนสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนบริเวณป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณหาดโคลนไม่ได้มาจากแหล่งเดียวกับพื้นที่ป่าชายเลน

และผลการศึกษาปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนตามความลึกของพื้นที่หาดโคลน พบว่าที่สถานี D3 และ S1 มีการสะสมค่อนข้างคงที่เมื่อระดับความลึกของดินตะกอนเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 4-18, 4-20) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวอยู่ห่างจากบก และไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ในทางตรงข้ามที่สถานี E2-E4 ในช่วงเดือนมิถุนายน ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในดินตะกอนมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวอยู่ใกล้กับแปลงเพาะเลี้ยงหอย ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนในดินตะกอนอยู่ในสภาวะ anoxic โดยแบคทีเรียที่อยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนมีการนำไนโตรเจนไปใช้ในกระบวนการเปลี่ยนไนไตรท์และไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจน จึงทำให้ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในชั้นดินลดลง (Gonneea et al., 2004)

5.5.3 อินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM)

จากผลการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ใน POM โดยวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน พบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในอินทรีย์แขวนลอยของพื้นที่ป่าชายเลนใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในใบไม้และสาหร่ายหน้าดินบริเวณป่าชายเลน ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่า อินทรีย์แขวนลอยในพื้นที่ป่าชายเลนได้รับสารอินทรีย์มาจากใบไม้และสาหร่ายหน้าดินในป่าชายเลน ดังนั้นจึงนำปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ของสารอินทรีย์ในอินทรีย์แขวนลอยจากพื้นที่ป่าชายเลนมาคำนวณหาสัดส่วนโดยใช้ simple two mixing model พบว่า สารอินทรีย์ใน POM จากพื้นที่ป่าชายเลน ได้แก่ ใบไม้ป่าชายเลน 89.5 % และสาหร่ายหน้าดินในป่าชายเลน 10.5 % (ดังภาพที่ 5-4 (ข)) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vihena et al. (n.d.) โดยทำการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในปากแม่น้ำทั้งสองแห่งของชายฝั่งทางตอนเหนือของบราซิล พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในอินทรีย์แขวนลอยมาจากพืชที่อยู่ในบริเวณปากแม่น้ำ และอินทรีย์แขวนลอยยังเป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ให้กับดินตะกอนในพื้นที่ดังกล่าวอีกด้วย ในทำนองเดียวกัน Ramaswamy et al. (2008) ได้ทำการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในอินทรีย์แขวนลอยบริเวณแม่น้ำอริวัตทางตอนเหนือของทะเลอันดามัน พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของอินทรีย์แขวนลอยในแม่น้ำใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของแพลงก์ตอนพืชในน้ำจืดและสารอินทรีย์ที่มาจากบนบก และ Aschenbroich et al. (2015) ได้ทำการศึกษาการแปรผันของช่วงเวลาและพื้นที่ที่มีผลต่อองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณป่าชายเลนที่ได้รับสารอินทรีย์มาจากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง พบว่า สารอินทรีย์แขวนลอยจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งมีการแพร่กระจาย และตกตะกอนสะสมอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลนจากอิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลงในรอบวัน

5.5.4 แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตบริเวณป่าชายเลน

จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของปูแสม *S. haematocheir* ในป่าชายเลนใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน ในปูแสมใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในใบไม้ป่าชายเลน (ดังภาพที่ 5-4) แสดงให้เห็นว่า ปูแสม *S. haematocheir* ได้รับสารอินทรีย์มาจากใบไม้ป่าชายเลน ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปูแสมชนิด *M. dentipes* แตกต่างจากปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน แสดงให้เห็นว่า แหล่งที่มาในอาหารของปูแสมชนิด *M. dentipes* ไม่ได้รับมาจากใบไม้ในป่าชายเลน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kruitwagen et al. (2010) ได้ทำการศึกษาแหล่งที่มาของอินทรีย์คาร์บอนในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ และปลาที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศป่าชายเลนและหาดโคลนแทนซาเนีย พบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปูแสม *S. haematocheir* ใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชาย

เลน มากกว่าปูชนิด *S. leptosome* ซึ่งปูชนิดนี้ได้รับสารอินทรีย์มาจากสาหร่ายหน้าดินขนาดเล็ก แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในอาหารของปูแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกัน

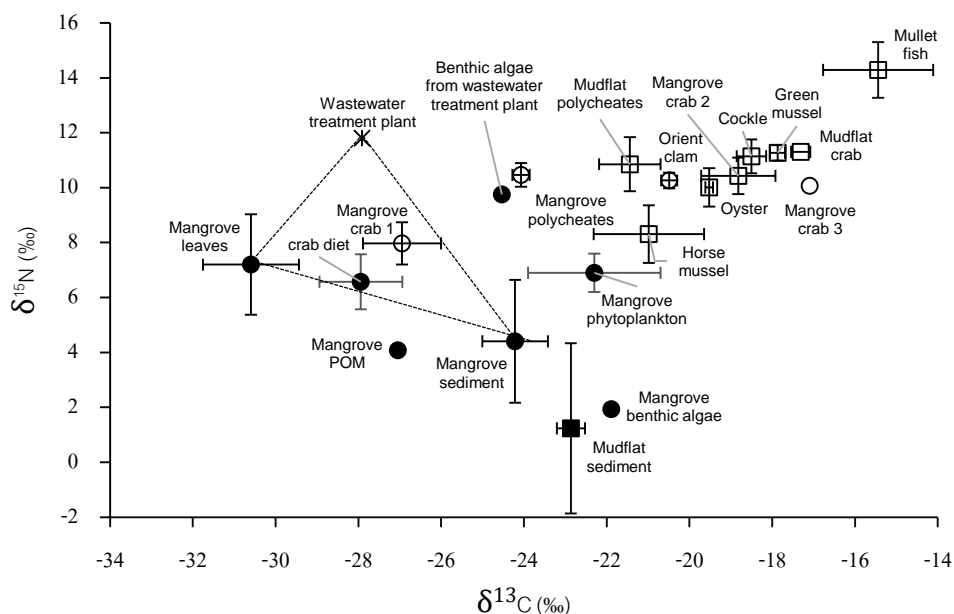
ส่วนปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินที่อยู่ใกล้กับบริเวณปากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำมีปริมาณสูง เนื่องจากสาหร่ายหน้าดินได้รับสารอินทรีย์จากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kruitwagen et al. (2010) ซึ่งทำการศึกษาในสาหร่ายสีเขียวและสีน้ำตาล และการศึกษาของ Viana and Bode (2013) ทำการศึกษาโดยใช้สาหร่ายขนาดใหญ่ *F. vesiculosus* และ *A. nodosum* ที่อยู่ใกล้กับแหล่งชุมชนเป็นตัวอย่างซึ่งผลกระทบของน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ พบว่าสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้งสองชนิดนี้ได้รับสารอินทรีย์มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ขณะที่สาหร่ายขนาดใหญ่ที่อยู่ห่างจากชายฝั่งได้รับสารอินทรีย์มาจากทะเล

จากผลการศึกษาปริมาณ ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจนในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ป่าชายเลน พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปูแสม *M. dentipes* ที่อยู่ในพื้นที่ป่าชายเลนสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปูแสม *S. haematocheir* ที่อยู่ในป่าชายเลน ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่า แหล่งที่มาของอาหารในปูแสมทั้งสองชนิดนี้ไม่ได้มาจากแหล่งเดียวกัน (ดังภาพที่ 5-5) โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปูแสม *S. haematocheir* ใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน ดินตะกอนจากป่าชายเลน และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จ.ชลบุรี เนื่องจากได้ทำการประเมินสารอินทรีย์ที่อยู่ในอาหาร (Estimate food sources) ของปูแสม *S. haematocheir* พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ อยู่ที่ $\sim -27.94\%$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ $\sim -5.47\%$ แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาในอาหารของปูแสม *S. haematocheir* ได้รับมาจากใบไม้ป่าชายเลน ดินตะกอนจากป่าชายเลน และน้ำเสียจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ เมื่อนำปริมาณสารอินทรีย์ในอาหารของปูแสมมาคำนวณหาสัดส่วน โดยใช้ simple three sources mixing model พบว่า สารอินทรีย์ในอาหารของปูแสม ได้แก่ ใบไม้ป่าชายเลน 56.0%, ดินตะกอนป่าชายเลน 40.5% และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ 3.5% (ดังภาพที่ 5-5) ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่าสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำมีการแพร่กระจายเข้าสู่พื้นที่ป่าชายเลน โดยสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนนำไปใช้ประโยชน์ นั่นคือ ปูแสม *S. haematocheir* (ดังภาพที่ 5-6) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ นลินี ทองแถม และสมบัติ ภู่วชิรานนท์ (2550) ที่ทำการศึกษาบทบาทของปูแสม *N. versicolor* ต่อระบบนิเวศป่าชายเลนบ้านบางโรง จังหวัดภูเก็ต โดยพบว่าอาหารของปูแสม คือ โกงกางใบเล็ก ซึ่งปูแสมมีพฤติกรรมกินแบบเลือกกินอาหาร จากการศึกษาพบว่าปูแสมมีบทบาทต่อป่าชายเลนในแง่ของการเป็นผู้เก็บกักสารอินทรีย์ในรูปของใบไม้และมวลชีวภาพของปูแทนที่จะถูกพัดพาออกสู่ทะเลในช่วงน้ำ

ขึ้น รวมทั้งช่วยในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้รัฐของปุ๋ยแอสมาช่วยให้อัตราการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างดินกับอากาศเกิดขึ้นได้ดีซึ่งมีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ รวมทั้งมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมในการเป็น microhabitats ของสัตว์อื่น ๆ เช่น ปูก้ามดาบ กุ้งคืดขัน และตัวอ่อนของปุ๋ยแอสมา เป็นต้น และ Gimate et al. (2017) ได้ทำการศึกษารายขนาดใหญ่ *Ulva* บริเวณอ่าวแคลิฟอร์เนีย ที่ถูกล้อมรอบไปด้วยเขตชุมชนเมือง โดยใช้ mixing model คำนวณหาสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่อยู่สาหร่ายขนาดใหญ่ ซึ่งกำหนดให้ น้ำเสีย, น้ำทะเล, ผลิตภัณฑ์จากประมง และ advection water เป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสาหร่ายขนาดใหญ่ พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสาหร่ายขนาดใหญ่มาจากน้ำเสียเป็นส่วนใหญ่ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Cannicci et al. (2009) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำเสียชุมชนที่มีผลต่อกลุ่มประชากรของหอยและปูที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนทางตะวันออกเฉียงของแอฟริกา พบว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากชุมชนถูกล้อมประชากรของปูที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนนำไปใช้ประโยชน์

5.5.5 แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตบริเวณหาดโคลน

ผลการศึกษา พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบแอสมาขาวในป่าชายเลน (*Avicennia alba*) อยู่ที่ $-30.60 \pm 1.16\%$ ซึ่งแตกต่างกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในหอยทะเลสองฝาที่อยู่ในพื้นที่หาดโคลน (ดังภาพที่ 5-4) ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่า หอยสองฝาในพื้นที่หาดโคลนไม่ได้รับสารอินทรีย์จากใบไม้ในป่าชายเลน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Boonphakdee & Sichan (2013) ได้ทำการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในหอยทะเลสองฝาที่เลี้ยงใกล้กับบริเวณป่าชายเลน พบว่า หอยทะเลสองฝาที่เลี้ยงใกล้กับป่าชายเลนนั้นไม่ได้รับสารอินทรีย์จากใบไม้ในป่าชายเลน เนื่องจากใบไม้ในป่าชายเลนอาจจะถูกสัตว์หน้าดิน เช่น ปูแอสมา ปูก้ามดาบ และปลาตีน ที่อยู่ในป่าชายเลนนำไปใช้ประโยชน์ จนทำให้สารอินทรีย์ในใบไม้ป่าชายเลนไม่เหลือพอที่จะเอื้อประโยชน์ให้กับหอยสองฝาในพื้นที่เลี้ยงหอยในลักษณะการถ่ายทอดพลังงานได้ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Kon et al. (2015) ได้ทำการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่อยู่ในพื้นที่หาดโคลน พบว่า แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในอาหารของสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ในพื้นที่หาดโคลนไม่ได้รับมาจากป่าชายเลน แต่ได้รับมาจากทะเลและแม่น้ำ



ภาพที่ 5-6 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนใน (Mangrove leaves; ใบไม้ป่าชายเลน), (Mangrove sediment; ดินตะกอนในป่าชายเลน), (Mangrove POM; อินทรีย์แขวนลอยในป่าชายเลน), (Benthic algae from mangrove; สาหร่ายหน้าดินในป่าชายเลน), (Mangrove polycheates; ไส้เดือนทะเลในป่าชายเลน FAM. Nereidae), (Mangrove crab 1; ปูแสมในป่าชายเลน *S. haematocheir*), (Mangrove crab 2; ปูแสมในป่าชายเลน *M. dentipes*), (Mangrove crab 3; ปูก้ามดาบในป่าชายเลน *Uca* sp.), (crab diet; สารอินทรีย์ในอาหารของปูแสมในป่าชายเลน *S. haematocheir*), (Mudflat sediment; ดินตะกอนในหาดโคลน), (Mudflat polycheates; ไส้เดือนทะเลในหาดโคลน *P. ehlersi*), (Horse mussel; หอยกะพง), (Orient clam; หอยตลับลาย), (Oyster; หอยนางรม), (Cockle; หอยแครง), (Green mussel; หอยแมลงภู่), (Mudflat crab; ปูในหาดโคลน *M. dentipes*), (Mullet fish; ปลากระบอก), (Wastewater treatment plant; น้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ), (Benthic algae from wastewater treatment plant; สาหร่ายหน้าดินบริเวณปากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ)

และจากผลการศึกษาคาร์บอนที่มาจากสิ่งมีชีวิตในพื้นที่หาดโคลน พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในหอยทะเลสองฝา ได้แก่ หอยกะพง (*Arcuatula senhousia*), หอยนางรม (*Saccostrea commercialis*), หอยแครง (*Anadara granosa*), หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) และหอยตลับลาย (*Meretrix lousoria*) มีปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ สูงกว่าสารอินทรีย์ที่มาจากป่าชายเลนและสารอินทรีย์ในน้ำที่จากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (-27.91‰) แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในหอยทะเลสองฝาที่อยู่ในพื้นที่หาดโคลนไม่ได้รับสารอินทรีย์มาจากป่าชายเลน และน้ำที่จากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ดังภาพที่ 5- 5) ในทางตรงข้าม ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในหอยทะเลสองฝาใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนจากพื้นที่หาดโคลน (-22.87±0.34‰) แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากพื้นที่หาดโคลนเป็นแหล่งอาหารของหอยทะเลสองฝา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Boonphakdee and Sichan (2013) พบว่าแหล่งที่มาของอาหารในหอยทะเลสองฝาที่เลี้ยงใกล้กับป่าชายเลน ได้แก่ สาหร่ายหน้าดิน, benthic diatom และสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากพื้นที่เลี้ยงหอย ในขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปลากระบอก (*Mugil curema*) อยู่ที่ -15.44±1.33‰ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ 14.28±1.01‰ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มหอยทะเลสองฝาและอินทรีย์สารในป่าชายเลน แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาในอาหารของปลากระบอกไม่ได้มาจากป่าชายเลน และไม่ได้รับสารอินทรีย์มาจากแหล่งเดียวกับกลุ่มหอยทะเลสองฝา เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kruitwagen et al. (2010) พบว่าปลากระบอก (*Mugil sp.1*) ไม่ได้มีการใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์ในป่าชายเลน ในทางตรงข้าม ปลาตีน (*Periophthalmus argentilineatus*) และปูแสม (*Sesarma*) ได้รับสารอินทรีย์มาจากใบไม้ในป่าชายเลน และขัดแย้งกับการศึกษาของ Robinson et al. (2016) โดยทำการศึกษาผลกระทบของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 3 ของโรงบำบัดน้ำเสียที่มีผลกระทบต่อปลา darter (*Etheostoma blennioides* และ *E. caeruleum*) และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน จากการศึกษาพบว่าปลา darter และไอโซพอด ที่อาศัยอยู่ใกล้กับบริเวณที่ปล่อยน้ำทิ้งได้รับสารอินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสีย โดยทำการวิเคราะห์ภายในกระเพาะอาหารของปลา darter พบว่าไอโซพอด (*Caecidotea intermedius*) อยู่ในกระเพาะอาหารของปลา darter ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ไอโซพอดที่ได้รับสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งของโรงบำบัดน้ำเสียเป็นอาหารของปลา darter และทำให้ปลา darter ได้รับอินทรีย์สารจากโรงบำบัดน้ำเสียไปด้วย

5.5 สรุปผลการศึกษา

1. สัดส่วนแหล่งที่มาสารอินทรีย์ของดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลนมาจากใบไม้ในป่าชายเลน 61.3% น้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ 9.6% และสาหร่ายหน้าดิน 29.1% ขณะที่สัดส่วนแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในอินทรีย์แขวนลอยของพื้นที่ป่าชายเลนมาจากใบไม้ป่าชายเลน 89.5% และสาหร่ายหน้าดิน 10.5% และจากผลการศึกษาสัดส่วนของสารอินทรีย์ในอาหารของปูแสม (*S. haematocheir*) ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลนมาจากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ 3.5%, ใบไม้ป่าชายเลน 56% และดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลน 40.5%

2. สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำมีการสะสมอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลน ในทางตรงกันข้าม กลุ่มหอยทะเลสองฝาที่อยู่ในพื้นที่หาดโคลนไม่ได้รับสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ แต่ได้รับสารอินทรีย์จากพื้นที่เลี้ยงหอย

3. ป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรีมีบทบาทสำคัญในการรองรับของเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือ เป็นพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ปล่อยลงสู่คลองห้วยละมู เข้าสู่ป่าชายเลน โดยป่าชายเลนเป็น buffer zone หรือ พื้นที่กันชน ทำหน้าที่ในการดูดซับสารอินทรีย์ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์

4. ดังนั้นพื้นที่ป่าชายเลนจึงเป็นพื้นที่ที่มีบทบาทสำคัญในการกรองสารพิษที่มาจากบนบก ไม่ให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศใกล้เคียง และความเป็นอยู่ของมนุษย์ เพื่อรักษาความสมดุลระหว่างระบบนิเวศบนบกและระบบนิเวศในทะเล

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มการเก็บตัวอย่างที่มาจากบนบก เช่น พืชบก ดินตะกอนจากบนบก เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างในพื้นที่ป่าชายเลน และพื้นที่หาดโคลน
2. ควรเพิ่มจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่หาดโคลนที่อยู่ห่างออกไปในทะเล
3. ควรเพิ่มเติมการเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ป่าชายเลนและพื้นที่หาดโคลนเพื่อให้ความหลากหลายชนิด

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). *โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี*. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/pczs/pczDetail.cfm?id=1
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2558). *สรุปลักษณะอากาศรายวัน*. เข้าถึงได้จาก <https://www.tmd.go.th/climate/climate.php>
- จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. (2548). *ดินตะกอน*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาชีววิทยาทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนากานต์ สุขอุดม, เมธี แก้วเนิน, อีสริยา วุฒิสินธุ์, Takashi Yoshikawa, Yuki Okamoto, Kazuya Watanabe, Satoshi Ishikawa และจินตนา สและน้อย. (2558). ปริมาณสารอินทรีย์และค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนในพื้นที่เลี้ยงหอยแครงบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *แก่นเกษตร*, 434(2), 265-276.
- เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, จันทรา ศรีสมวงศ์ และจารุมาศ เมฆสัมพันธ์. (2546). ศักยภาพของพื้นที่เลี้ยงหอยบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรีและจังหวัดตราด. ใน *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาประมง* (หน้า 220-228). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฉันทราศรี ปภาวสิทธิ์. (2546). *คู่มือวิธีการประเมินแบบรวดเร็วเพื่อการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพื้นที่ชายฝั่งทะเล : ระบบนิเวศป่าชายเลน*. กรุงเทพฯ : หน่วยปฏิบัติการนิเวศวิทยาทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นรินทร์ บุญदानนท์. (2553). ไอโซโทปเสถียรในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 14(3), 11-16.
- พลสุข โปธิรักจิต-ปรัชญานุสรณ์. (2553). *เคมีสิ่งแวดล้อม*. นนทบุรี : เอน์ค ดิสทริบิวชั่น.
- พีชเกษตรไทย. (2561). *แสมขาว*. เข้าถึงได้จาก <http://puechkaset.com/แสมขาว/>
- สนิท อักษรแก้ว. (2538). *ป่าชายเลนนิเวศวิทยาและการจัดการ*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สราวุธ บุญยะเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาตี. (2554). *ป่าชายเลน นิเวศวิทยาและพรรณไม้*. กรุงเทพฯ : มูลนิธิกระต่ายในดวงจันทร์.

- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ป.). *โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ
องค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี*. เข้าถึงได้จาก
http://mews.onep.go.th/wwt_detail.aspx?id=W00074
- ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลน เพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดชลบุรี. (2554). *ที่เที่ยว
ไทย*. เข้าถึงได้จาก [http://www.teeteawthai.com/ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลน-
เพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ-จังหวัดชลบุรี](http://www.teeteawthai.com/ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลน-
เพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ-จังหวัดชลบุรี)
- อัสนี มีแก้ว. (2554). *ปริมาณสารอินทรีย์ และธาตุอาหารในดินตะกอนป่าชายเลน พื้นที่ภาคตะวันออก
ของประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม,
คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Akamatsu, Y., Ikeda, S., & Toda, Y. (2009). Transport of nutrients and organic matter in
mangrove swamp. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82, 233-242.
- Alquezar, R., Glendenning, L., & Costanzo, S. (2013). The use of the brown macroalgae, *Sargassum
flavicans*, as a potential bioindicator of industrial nutrient enrichment. *Marine pollution
bulletin*, 77, 140-146.
- Anderson, L.G., Tanhua, T., Bjork, G., Hjalmarsen, S., Jones, E.P., Jutterstrom, S.,
Rudels, B., Swift, J.H., & Wahlstrom, I. (2010). Arctic ocean shelf-basin interaction : An
active continental shelf CO₂ pump and its impact on the degree of calcium carbonate
solubility. *Deep sea research I*, 57, 869-879.
- Andrews, J.E., Greenaway, A.M., & Dennis, P.F. (1998). Combined carbon isotope and
C/N Ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, Tropical
estuary : Hunts bay, Kingston harbor, Jamaica. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46,
743-756.
- Bates, N.R., Best, M.H.P., Neely, K., Garley, R., Dickson, A.G., & Johnson, R.J. (2012). Detecting
anthropogenic carbon dioxide uptake and ocean acidification in the North Atlantic Ocean.
Biogeosciences, 9, 2509-2522.

- Bao, H., Wu, Y., Unger, D., Du, J., Herbeck, L.S., & Zhang, J. (2013). Impact of the conversion of mangroves into aquaculture ponds on the sedimentary organic matter composition in a tidal flat estuary (Hainan island, China). *Continental Shelf Research*, 57, 82-91.
- Barros, G.V., Martinelli, L.A., Novais, T.M.O., Ometto, J.P.H.B., & Zuppi, G.M. (2010). *Science of the Total Environment*, 408, 2226-2232.
- Benstead, J.P., March, J.G., Fry, B., Ewel, K.C., & Pringle, C.M. (2006). Testing isosource : stable isotope analysis of a tropical fishery with diverse organic matter sources. *Ecology*, 87(2), 326-333.
- Bishop, M.J., & Chapman, M.G. (2004). Managerial decisions as experiment : an opportunity to determine the ecological impact of boat-generated waves on macrobenthic in fauna. *Estuarine, coastal and shelf science*, 61, 613-622.
- Boonkhwang, N., & Boonphakdee, T. (2013). Variations of chemical and isotopic compositions of particulate organic matter in the inner gulf of Thailand. In *The Second EnvironmentAsia International Conference on "Human Vulnerability and Global Environmental Change"* (pp. 449-460). Chonburi: Thai Society of Higher Education Institutes on Environment.
- Boonphakdee, T., Kasai, A., Fujiwara, T., Sawangwong, P., & Cheevaporn, V. (2008). Combined stable carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in the Bangpakong river estuary, Thailand. *EnvironmentAsia*, 1, 28-36.
- Boonphakdee, T., & Sihan, P. (2013). Is mangrove source of organic matter for cultured bivalves in an Adjacent Mudflat? a multiple stable isotope study. In *The Second EnvironmentAsia International Conference on "Human Vulnerability and Global Environmental Change"* (pp.545-552). Chonburi: Thai Society of Higher Education Institutes on Environment.
- Bouillon, S., Raman, A.V., Dauby, P., & Dehairs, F. (2002). Carbon and nitrogen stable isotope ratios of subtidal benthic invertebrates in an estuarine mangrove ecosystem (Andhra Pradesh, India). *Estuarine, Coastal and Shelf science*, 54, 901-913.
- Bouillon, S., Guebas, F.D., Rao, A.V.V.S., Koedam, N., & Dehairs, F. (2003). Sources of organic carbon in mangrove sediments : variability and possible ecological implications. *Hydrobiologia*, 495, 33-39.

- Bouillon, S., Connolly, R.M., & Lee, S.Y. (2008). Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems : Recent insights from stable isotope studies. *Journal of sea research*, 59, 44-58.
- Buchwald, C. (2008, January). Tracking Nitrogen ' s Elusive Trail in the Ocean. *OCEANUS magazine*, 47(1).
- Cannicci, S., Bartolini, F., Guebas, F.D., Fratini, S., Litulo, C., Macia, A., Mrabu, E.J., Lopes, G.P., & Paula, J. (2009). Effects of urban wastewater on crab and mollusk assemblages in equatorial and subtropical mangrove of east Africa. *Estuarine, Coastal and shelf science*, 84, 305-317.
- Cardiff university. (n.d.). *Ocean carbon cycling since the middle Miocene: Testing the metabolic Hypothesis*. Retrieved from <https://www.cardiff.ac.uk/research/explore/find-a-project/view/ocean-carbon-cycling-since-the-middle-miocene>
- Chen, M., & Hur, J. (2015). Pre-treatments, characteristics, and biogeochemical dynamics of dissolved organic matter in sediments: A review. *Water Research*, 79, 10-25.
- Costanzo, S.D., Odonohue, M.J., Dennison, W.C., Loneragan, N.R., & Thomas, M. (2001). A new approach for detecting and mapping sewage impacts. *Marine Pollution Belletin*, 42, 149-156.
- Claudino, M.C., Pessanha, A.L.M., Araujo, F.G., & Gracia, A.M. (2015). Trophic connectivity and basal food sources sustaining tropical aquatic consumers along a mangrove to ocean gradient. *Estuarine, Coastal and shelf science*, 167, 45-55.
- Dittmar, T., Lara, R.J., & Kattner, G. (2001). River or mangrove ? Tracing major organic matter sources in tropical Brazilian coastal waters. *Marine chemistry*, 73, 253-271.
- Dolence, T., Vokal, B., & Dolence, M. (2005). Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in *Anemonia sulcata* as a possible indicator of human sewage impacts on marine coastal ecosystems: a case study of Pirovac Bay and the Murter sea (Central Adriatic). *Croatica Chemica Acta*, 78(4), 593-600.

- Duan, S., Amon, R.M.W., & Brinkmeyer, R.L. (2014). Tracing sources of organic matter in adjacent urban streams having different degrees of channel modification. *Science of the Total Environment*, 485-486, 252-262.
- Dubois, S., Blanchet, H., Garcia, A., Masse, M., Galois, R., Gremare, A., Charlier, K., Guillou, G., Richard, P., & Savoye, N. (2014). Tropical resource use by microzoobenthic primary consumers within a semi-enclosed coastal ecosystem : stable isotope and fatty acid assessment. *Journal of sea research*, 88, 87-99.
- Etemadi, H., Smoak, M.J., & Sander, C.J. (in press). Forest migration and carbon sources to Iranian mangrove soils. *Journal of Arid Environment*.
- Faye, D., Morais, L.T.D., Raffray, J., Sadio, O., & Thiaw, O.T. (2011). Structure and seasonal variability of fish food webs in an estuarine tropical marine protected area (Senegal) : Evidence from stable isotope analysis. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, 92, 607-617.
- Franca, S., Vasconcelos, R.P., Tanner, S., Maguas, C., & Costa, M.J. (2011). Assessing food web dynamics and relative importance of organic matter sources for fish species in two Portuguese estuaries : A stable isotope approach. *Marine environmental research*, 72, 204-215.
- Friis, K., Kortzinger, A., Patsch, J., & Wallace, D.W.R. (2005). On the temporal increase of anthropogenic CO₂ in the subpolar North Atlantic. *Deep sea research I*, 52, 681-698.
- Fujioka, Y., Shimoda, T., & Srithong, C. (2007). Diversity and community structure of macrobenthic fauna in shrimp aquaculture ponds of the gulf of Thailand. *JARQ*, 41(2), 163-172.
- Geist, S.J., Nordhaus, I., & Hinrichs, S. (2012). Occurrence of species rich crab fauna in a human impacted mangrove forest questions the application of community analysis as an environmental assessment tool. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 69-80.
- Giarrizzo, T., Schwamborn, R., & Paul, U.S. (2011). Utilization of carbon sources in a northern Brazilian mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95, 447-457.

- Grijalva, L.S., Carrillo, S.S., Angeler, D.G., Andres, R.S., & Cobelas, M.A. (2011). Effects of shrimp-farm effluents on the food web structure in subtropical coastal lagoons. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 402, 65-74.
- Gonneea, E.M., Paytan, A., & Silveira, A.H. (2004). Tracing organic matter sources and carbon burial in mangrove sediments over the past 160 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61, 211-227.
- Gonfiantini, R., Wassenaar, L.I., Araguas, L.A., & Aggarwal, P.K. (2018). A unified Craig-Gordon isotope model of stable hydrogen and oxygen isotope fractionation during fresh or saltwater evaporation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 235, 224-236.
- Gondwe, M.J., Guildford, S.J., & Hecky, R.E. (2012). Tracing the flux of aquaculture-derived organic wastes in the southeast arm of lake Malawi using carbon and nitrogen stable isotopes. *Aquaculture*, 350-353, 8-18.
- Heikoop, J.M., Risk, M.J., Lazier, A.V., Edinger, E.N., Jompa, J., Limmon, G.V., Dunn, J.J., Browne, D.R., & Schwarcz, H.P. (2000). Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in reef corals. *Marine pollution bulletin*, 40(7), 628-636.
- Herteman, M., Fromard, F., & Lambs, L. (2011). Effects of pretreated domestic wastewater supplies on leaf pigment content, photosynthesis rate and growth of mangrove trees: A field study from Mayotte Island, SW Indian Ocean. *Ecological Engineering*, 37, 1283– 1291.
- Hien, H.T., Marchand, C., Aime, J., Nhon, D.H., Hong, P.N., Tung, N.X., & Cuc, T.K. (2018). Belowground carbon sequestration in a mature planted mangroves(Northern Viet Nam). *Forest Ecology and Management*, 407, 191-199.
- Ibharim, N.A., Mustapha, M.A., Lihan, T., & Mazlan, A.G. (2015). Mapping mangrove changes in the Matang Mangrove Forest using multi temporal satellite imageries. *Ocean & Coastal Management*, 114, 64-76.
- Kaushal, S.S., Groffman, P.M., Band, L.E., Elliott, E.M., Shields, C.A., & Kendal, C. (2011). Tracing nonpoint source nitrogen pollution in human impacted watersheds. *Environmental science technology*, 45, 8225-8232.

- Kida, M., Tomotsune, M., Iimura, Y., Kinjo, K., Ohtsuka, T., & Fujitake, N. (2017). High salinity leads to accumulation of soil organic carbon in mangrove soil. *Chemosphere*, *177*, 51-55.
- Kohzu, A., Miyajima, T., Tajasu, I., Yoshimisu, C., Hyodo, F., Matsui, K., Nakano, T., Wada, E., Fujita, N., & Nagata, T. (2008). Use of stable nitrogen isotope signature of riparian macrophytes as an indicator of anthropogenic N inputs to river ecosystems. *Environmental science technology*, *42*, 7837-7841.
- Kon, K., Tongnunui, P., & Kurokura, H. (2015). Do allochthonous inputs represent an important food source for benthic macrofaunal communities in tropical estuarine mudflats?. *Food Webs*, *2*, 10-17.
- Kristensen, D.K., Kristensen, E., & Mangion, P. (2010). Food partitioning of leaf-eating mangrove crabs (Sesarinae) : Experimental and stable isotope (^{13}C and ^{15}N) evidence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *87*, 583-590.
- Kruitwagen, G., Nagelkerken, I., Lugendo, B.R., Mgaya, Y.D., & Bonga, S.E.W. (2010). Importance of different carbon sources for macroinvertebrates and fishes of an interlinked mangrove-mudflat ecosystem (Tanzania). *Estuarine, Coastal and shelf science*, *88*, 464-472.
- Kubo, M.O., Yamada, E., Fujita, M., & Oshiro, I. (2015). Paleocological reconstruction of Late Pleistocene deer from the Ryukyu Islands, Japan : Combined evidence of mesowear and stable isotope analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *435*, 159-166.
- Lajtha, K., & Michener, R.B. (1994). *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. United Kingdom, America, Australia : Blackwell Scientific Publications.
- Li, T., & Ye, Y. (2014). Dynamics of decomposition and nutrient release of leaf litter in *Kandelia obovata* mangrove forests with different ages in Jiulongjiang Estuary, China. *Ecological Engineering*, *73*, 454-460.

- Li, D., Xu, Y., Li, Y., Wang, J., Yin, X., Ye, X., Wang, A., & Wang, L. (2018). Sedimentary records of human activity and natural environmental evolution in sensitive ecosystems: A case study of a coral nature reserve in Dongshan Bay and a mangrove forest nature reserve in Zhangjiang River estuary, Southeast China. *Organic Geochemistry*, *121*, 22-35.
- Lin, D.T., & Fong, P. (2008). Macroalgal bioindicators (growth, tissue N, $\delta^{15}\text{N}$) detect nutrient enrichment from shrimp farm effluent entering Opunohu Bay, Moorea, French Polynesia. *Marine Pollution Bulletin*, *56*, 245-249.
- Liu, M., Hou, L.J., Xu, S.Y., Ou, D.N., Yang, Y., Yu, J., & Wang, Q. (2006). Organic carbon and nitrogen stable isotopes in the intertidal sediments from the Yangtze estuary, China. *Marine pollution bulletin*, *52*, 1625-1633.
- Lopes, G.P., Bouillon, S., Mangion, P., Macia, A., & Paula, J. (2009). Population structure, density and food sources of *Terebralia palustris* (Potamididae: Gastropoda) in a low intertidal *Avicennia marina* mangrove stand (Inhaca, Island, Mozambique). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *84*, 318-325.
- Lunstrum, A., & Chen, L. (2014). Soil carbon stocks and accumulation in young mangrove forests. *Soil Biology & Biochemistry*, *75*, 223-232.
- Mattone, C., & Sheaves, M. (2017). Patterns, drivers and implications of dissolved oxygen dynamics in tropical mangrove forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *197*, 205-213.
- Nordhaus, I., Salewski, T., & Jennerjahn, T. (2017). Interspecific variations in mangrove leaf litter decomposition are related to labile nitrogenous compounds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *192*, 137-148.
- Oakes, J.M., Connolly, R.M., & Revill, A.T. (2010). Isotope enrichment in mangrove forests separates microphytobenthos and detritus as carbon sources for animals. *Limnology and Oceanography*, *55*(1), 393-402.
- Ono, K., Hiradate, S., Morita, S., Hiradate, M., Hirata, Y., Fujimoto, K., Tabuchi, R., & Lihpai, S. (2015). Assessing the carbon compositions and sources of Mangrove peat in a tropical mangrove forest on Pohnpei island, Federated States. *Geoderma*, *245-246*, 11-20.

- Onpankoon, S., Boonphakdee, T., Laoharajanaphand, S., & Chantarachot, W. (2013). Stable carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in sediment in the Inner Gulf of Thailand. In *Conference 14th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress* (pp. 844-845). n.p.
- Pawar, P.R. (2013). Monitoring of impact of anthropogenic inputs on water quality of mangrove ecosystem of Uran, Navi Mumbai, West coast of India. *Marine pollution bulletin*, 75, 291-300.
- Phillips, D.L., Inger, R., Bearhop, S., Jackson, A.L., Moore, J.W., Parnell, A.C., Semmens, B.X., & Ward, E.J. (2014). Best practices for use of stable isotope mixing models in food web studies. *Can. J. Zool*, 92, 823-835.
- Ping, J.P., De, S.C., Hai, A., Jun, W., & Dong, H.W. (2012). Estimating change in sedimentary organic carbon content during mangrove restoration in Southern China using carbon isotopic measurements. *Pedosphere*, 22(1), 58-66.
- Ramaswamy, V., Gaye, B., Shirodkar, P.V., Rao, P.S., Chivas, A.R., Wheeler, D., & Thwin, S. (2008). Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopic signatures in Sediments from the Ayeyarwady (Irrawaddy) continental shelf, northern Andaman sea. *Marine Chemistry*, 111, 137-150.
- Ranjan, R.K., Routh, J., Ramanathan, A.L., & Klump, J.V. (2011). Elemental and stable isotope records of organic matter input and its fate in the Pichavaram mangrove-estuarine sediments (Tamil Nadu, India). *Marine chemistry*, 126, 163-173.
- Ray, R., & Weigt, M. (2018). Seasonal and habitat-wise variations of creek water particulate and dissolved organic carbon in arid mangrove (the Persian Gulf). *Continental Shelf Research*, 165, 60-70.
- Rodriguez, E.C., Luna, I.L., & Hernandez, J.P. (2018). Biochemistry of mangrove sediments in the Swamp of Mallorquin Colombia. *Regional studies in Marine Science*, 17, 38-46.

- Roth, F., Lessa, G.C., Wild, C., Kikuchi, R.K.P., & Naumann, M.S. (2016). Impacts of a high-Discharge submarine sewage outfall on water quality in the coastal zone of Salvador (Bahia, Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 106, 43-48.
- Sampaio, L., Freitas, R., Maguas, C., Rodrigues, A., & Quintino, V. (2010). Coastal sediments under the influence of multiple organic enrichment sources : An evaluation using carbon and nitrogen stable isotopes. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 272-282.
- Sanchez, A., Hernandez, M.C.O., Saenz, A.T., & Garcia, S.A. (2013). Stable nitrogen isotopes in the turtle grass *Thalassia testudinum* from the Mexican Caribbean : Implications of anthropogenic development. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135, 86-93.
- Schlacher, T.A., Liddell, B., Gaston, T.F., & Hoenlinger, M.S. (2005). Fish track wastewater pollution to estuaries. *Oecologia*, 144, 570-584.
- Shahraki, M., Fry, B., & Rixen, T. (2014). Microphytobenthos sustain fish food webs in intertidal arid habitats : A comparison between mangrove-lined and un-vegetated creeks in the Persian gulf. *Estuarine, coastal and shelf science*, 149, 203-212.
- Souza, I.C., Arrivabene, H.P., Craig, C.A., Midwood, A.J., Thornton, B., Matsumoto, S.T., Elliott, M., Wunderlin, D.A., Monferran, M.V., & Fernandes, M.N. (2018). Interrogating pollution sources in a mangrove food web using multiple stable isotopes. *Science of the Total Environment*, 640-641, 501-511.
- Teichberg, M., Fox, S.E., Olsen, Y.S., Valiela, I., Martinetto, P., Iribarnes, O., Muto, E.Y., Petti, M.A.V., Corbisier, T.N., Jimenez, M.S., Osuna, F.P., Castro, P., Freitas, H., Zitelli, A., Cardinaletti, M., & Tagliapietrass. (2010). Eutrophication and macroalgae blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. *Global change biology*, 16, 2624-2637.
- Tomlinson, P.B. (2016). *The Botany of Mangroves*. Massachusetts : Harvard University.
- Tue, N.T., Hamaoka, H., Sogabe, A., Quy, T.D., Nhuan, M.T., & Omori, K. (2012). Food sources of macro-invertebrates in an important mangrove ecosystem of Vietnam determined by dual stable isotope signatures. *Journal of sea research*, 72, 14-21.

- Tue, N.T., Nguyen, P.T., Quan, D.M., Dung, L.V., Quy, T.D., Nhuan, M.T., & Thai, N.D. (2018). Sedimentary composition and organic carbon sources in mangrove forests along the coast of northeast Vietnam. *Regional Studies in Marine Science*, 17, 87-94.
- Viana, I.G., & Bode, A. (2013). Stable nitrogen isotopes in coastal macroalgae : Geographic and anthropogenic variability. *Science of the Total Environment*, 443, 887-895.
- Vihena, M.D.P.S.P., Costa, M.L.D., & Berredo, J.S. (2010). Continental and marine contributions to formation of mangrove sediments in an Eastern Amazonian mudplain: The case of the Marapanim Estuary. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 427-438.
- Viswanathan, C., & Raffi, S.M. (2010). The natural diet of of the mud crab *Scylla olivacea* (Herbst, 1896) in Pichavaram mangroves, India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22, 698-705.
- Vinagre, C., Salgado, J.P., Mendonca, V., Cabral, H., & Costa, M.J. (2012). Isotopes reveal fluctuation in trophic levels of estuarine organisms, in space and time. *Journal of Sea Research*, 72, 49-54.
- Wang, J., Gu, B., Ewe, S.M.L., Wang, Y., & Li, Y. (2015). Stable isotope compositions of aquatic flora as indicators of wetland eutrophications. *Ecological Engineering*, 83, 13-18.
- Xiong, Y., Liao, B., & Wang, F. (2018). Mangrove vegetation enhances soil carbon storage primarily through *in situ* inputs rather than increasing allochthonous sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 378-385.
- Yang, J., Gao, J., Liu, B., & Zhang, W. (2014). Sediment deposits and organic carbon sequestration along mangrove coasts of the Leizhou Peninsula, southern China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 136, 3-10.
- Zachleder, V., Vitova, M., Hlavova, M., Moudrikova, S., Mojzes, P., Heumann, H., Becher, J.R., & Bisova, K. (2018). Stable isotope compounds – production, detection, and application, *Biotechnology Advances*, 36, 784-797.

ภาคผนวก

ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนของสารอินทรีย์ในป่าชายเลนที่ได้รับน้ำทิ้ง จากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี

Stable of carbon and nitrogen isotope of organic matter in mangrove receiving effluent from
Chonburi wastewater treatment plant

วรรณระภา อยุธยา¹, ถนอมศักดิ์ บุญภักดี^{1,2,*}, นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร², พงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา³
และ ภัทรารุช ไทยพิชิตบุรพา²

Wattanapat Youthal¹, Thanomsak Boonphakdee^{1,2,*}, Nongnud Tangkrock-olan²,
Pongrat Dumrongrodwattana³ and Patrawut Thaipichitburapa²

¹โครงการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

³ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในป่าชายเลนเมืองใหม่ ที่รองรับน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี โดยใช้เทคนิคไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 24 สถานี แบ่งเป็นพื้นที่ป่าชายเลน 12 สถานี และพื้นที่หาดโคลน 12 สถานี ในช่วงเดือนมิถุนายน (ฤดูแล้ง) และเดือนพฤศจิกายน (ฤดูฝน) 2557 พบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบเสมชขาว, ดินตะกอนป่าชายเลน, ปูเสมชป่าชายเลน (*Sesarma haematocheir*) และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ อยู่ที่ $-30.60 \pm 1.16\%$, $-24.21 \pm 0.79\%$, $-25.66 \pm 2.32\%$ และ -27.82% ตามลำดับ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ $7.20 \pm 1.83\%$, $4.40 \pm 2.24\%$, $8.68 \pm 1.34\%$ และ 15.00% ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในน้ำทิ้งแตกต่างกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนและหอยทะเลสองฝาในหาดโคลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำมีการแพร่กระจายเข้าสู่พื้นที่ป่าชายเลน แต่ไม่มีการสะสมในพื้นที่หาดโคลน

คำสำคัญ : ป่าชายเลน, น้ำทิ้ง, โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี, ไอโซโทปเสถียร

Abstract

This research aims to trace organic matter sources in mangrove receiving effluents from Chonburi wastewater treatment plant were investigated by using stable isotope of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) techniques. There are 24 stations. Field sampling were performed in June (dry season) and November (wet season) 2014 in mangrove area (12 stations) and adjacent mudflat (12 stations). Values of stable isotope of carbon in mangrove leaves, mangrove sediment, mangrove crab (*Sesarma haematocheir*) and treated wastewater were $-30.60 \pm 1.16\%$, $-24.21 \pm 0.79\%$, $-25.66 \pm 2.32\%$ and -27.82% , respectively, and $\delta^{15}\text{N}$ values were $7.20 \pm 1.83\%$, $4.40 \pm 2.24\%$, $8.68 \pm 1.34\%$ and 15.00% , respectively. The values of $\delta^{13}\text{C}$ in

mangrove leaves, mangrove sediment, mangrove crabs and treated wastewater were no significantly different ($p>0.05$), whereas the isotopic compositions between treated wastewater, mudflat sediment and bivalves were significantly different ($p<0.05$). Results from this study indicates that organic matter from Chonburi central wastewater treatment plant spread to mangrove but did not accumulate in an adjacent mudflat area.

Keywords : Mangrove, Effluent, Chonburi central wastewater treatment plant, Stable isotope

*Corresponding author. E-mail : nuiosk@yahoo.com

บทนำ

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง ประกอบด้วยพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์หลากหลายชนิด และยังเป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์และแร่ธาตุหลายชนิดที่มาจากการร่วงหล่นและย่อยสลายของซากพืชและซากสัตว์ที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลน (Ping *et al.*, 2012) รากพืชในป่าชายเลนจะทำหน้าที่ดักจับและกกรองมลสารต่าง ๆ จากบนบกไม่ให้แพร่กระจายลงสู่ทะเล (Aschenbroich *et al.*, 2015) อย่างไรก็ตาม การที่ป่าชายเลนทางภาคตะวันออกของประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการขยายเขตเมืองขนาดใหญ่ ทำให้ป่าชายเลนเป็นที่รองรับของเสียจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี ซึ่งรองรับน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำจังหวัดชลบุรี แม้ว่าจะเป็นการบำบัดแล้วแต่ยังมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ อาจส่งผลทำให้ระบบนิเวศป่าชายเลนเกิดความเสื่อมโทรม และอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีกลายเป็นอนินทรีย์ในโตรเจนละลายน้ำ (Dissolved inorganic nitrogen : DIN) ส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันขึ้นได้ (Heikoop *et al.*, 2000; Alquezar *et al.*, 2013) นอกจากนี้สารอินทรีย์จากน้ำทิ้งอาจจะสะสมในป่าชายเลน และในสิ่งมีชีวิตทั้งในและนอกระบบนิเวศป่าชายเลนได้เช่นกัน

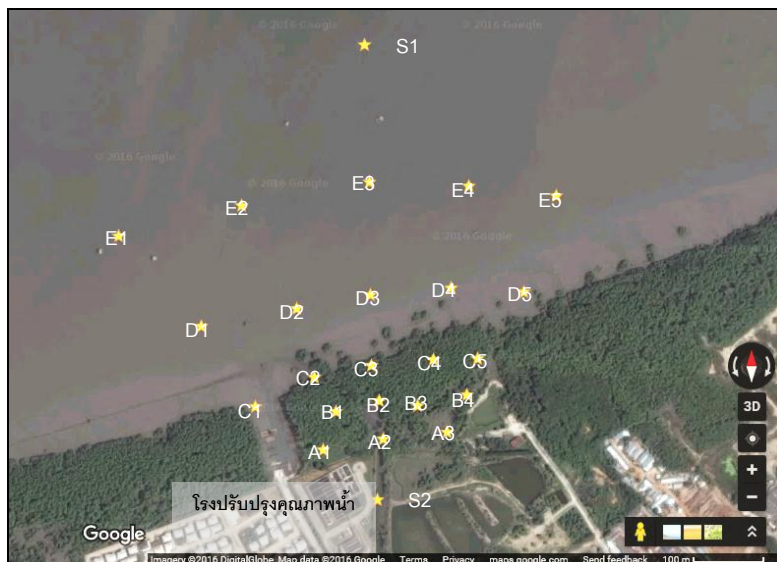
การศึกษาดังนี้จึงได้นำเทคนิคไอโซโทปเสถียร (stable isotope) ของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) มาใช้ในการตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศชายฝั่งที่อาจจะได้รับสารอินทรีย์มาจากกิจกรรมของมนุษย์ (Benstead *et al.*, 2006; Kohzu *et al.*, 2008; Ranjan *et al.*, 2011; Bao *et al.*, 2013; Barros *et al.*, 2010) โดยหากพบว่ามีปริมาณไอโซโทปเสถียรในสิ่งมีชีวิตมีส่วนใกล้เคียงกับปริมาณไอโซโทปเสถียรในน้ำเสีย แสดงว่าสิ่งมีชีวิตดังกล่าวได้รับสารอินทรีย์มาจากน้ำเสีย (Cannicci *et al.*, 2009; Dittmar *et al.*, 2001; Bouillon *et al.*, 2008; Kristensen *et al.*, 2010; Boonphakdee & Sichan, 2013) ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบของน้ำเสียจากกิจกรรมของมนุษย์จะมีปริมาณแตกต่างไปจากพื้นที่อื่น ๆ โดยการอ้างอิงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากน้ำเสีย (Costanzo *et al.*, 2001; Schlacher *et al.*, 2005; Pawar, 2013) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อบ่งชี้แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในระบบนิเวศป่าชายเลนเมืองใหม่ที่รับน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี และสามารถทำให้เข้าใจถึงผลกระทบของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียที่มีต่อระบบนิเวศทางทะเล ซึ่งจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดการกับสารอินทรีย์ได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดความสมดุลต่อระบบนิเวศป่าชายเลนต่อไปในอนาคต

วิธีการ

1. พื้นที่ทำการศึกษ

ทำการศึกษแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในดินตะกอน สารอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM) สิ่งมีชีวิต และพืชในป่าชายเลนเมืองใหม่ ตำบลเสม็ด อ.เมือง จังหวัดชลบุรี (13° 21'N, 100°56'E) มีเนื้อที่ประมาณ 300 ไร่ มีพันธุ์ไม้ชนิดเด่น คือ แสมขาว (*Avicennia alba*) และโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora apiculata*) (Boonphakdee & Sichan, 2013) ป่าชายเลนแห่งนี้รองรับน้ำทิ้งที่มี BOD loading ประมาณ 402 กิโลกรัมต่อวันจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี ผ่านคลองห้วยละมู ซึ่งเป็นคลองขนาดเล็กมีความกว้างประมาณ 5 เมตร ลึก 1-2 เมตร ถัดจากพื้นที่ป่าชายเลนออกไปในทะเลจะเป็นหาดโคลนซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้เลี้ยงหอยแครง และหอยนางรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของจังหวัดชลบุรี

ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 24 สถานี แบ่งเป็น พื้นที่ป่าชายเลน 12 สถานี และหาดโคลน 12 สถานี ในระหว่างวันที่ 8-9 มิถุนายน 2557 และ วันที่ 6-7 พฤศจิกายน 2557 (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่าง ป่าชายเลน (สถานี A1-A3, B1-B4 และ C1-C5 และ S2 คือ ปากท่อน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จ.ชลบุรี) พื้นที่หาดโคลน (สถานี D1-D5, E1-E5 และ S1 คือ จุดเก็บตัวอย่าง POM) และพื้นที่เลี้ยงหอยสองฝา (สถานี D1, E1 และ E5)

2. การเก็บและเตรียมตัวอย่างดินตะกอน

เก็บตัวอย่างดินตะกอนที่ระดับผิวในพื้นที่ป่าชายเลน และหาดโคลนเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไอโซโทปเสถียร โดยใช้ grab sampler ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร และเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินโดยการวาง quadrat ขนาด 50 x 50 เซนติเมตร จากนั้นตักดินใน quadrat ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร และนำตัวอย่างดินตะกอนมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากนั้นนำไปกำจัดคาร์บอนेट ด้วยกรด HCl ตามวิธีของ Boonphakdee & Sichan (2013)

3. การเก็บและเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต และพืช

ทำการเก็บตัวอย่างหอยสองฝา ได้แก่ หอยแครง (*Anadara granosa*), หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*), หอยนางรม (*Saccostrea commercialis*), หอยกะพง (*Arcuatula senhousia*) และหอยตลับ (*Meretrix lousoria*) จากพื้นที่เลี้ยงหอยในสถานี D1, E1 และ E5 (ดังภาพที่ 1) จำนวน 10 ตัวต่อชนิด และทำการเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดิน ได้แก่ ไส้เดือนทะเล (polychaete) และปู โดยการนำดินตะกอนจากข้อ 2.2 มาร่อนน้ำผ่าน sieves ขนาดตา 0.5 มิลลิเมตร เพื่อแยกสิ่งมีชีวิตออกจากดินตะกอน และเก็บตัวอย่างปลา โดยการวางตาข่ายดักปลาที่มีขนาดตา 1 x 1 เซนติเมตร ความยาว 20 เมตร สูง 50 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมาทำให้แห้งด้วยเครื่อง Freeze dryer และนำมาสกัดไขมันด้วยคลอโรฟอร์มและเมทานอล (2:1) ตามวิธีของ Boonphakdee & Sichan (2013)

ทำการเก็บตัวอย่างใบแสมขาว (*Avicennia alba*) และโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) และสาหร่ายหน้าดินที่ผิวดินตะกอนในพื้นที่ป่าชายเลน และบริเวณปากท่อปลอยน้ำทิ้ง นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C และบดให้ละเอียดด้วยโม่ ตามวิธีของ Boonphakdee & Sichan (2013)

4. การเก็บและเตรียมตัวอย่างอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter : POM)

เก็บตัวอย่างน้ำทะเลในช่วงน้ำขึ้น ใช้วิธีการจ้วงเก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร นำตัวอย่างน้ำมากรองผ่านกระดาษกรอง GF/F และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำกระดาษกรองมากำจัดคาร์บอนेट ตามวิธีการของ Boonphakdee & Sichan (2013)

5. การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน

นำตัวอย่างดินตะกอน สิ่งมีชีวิต พืช และ POM มาบรรจุลงใน tin capsule และส่งตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์หาปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer ที่มหาวิทยาลัยคอร์เนล สหรัฐอเมริกา ซึ่งมีสัดส่วนของคาร์บอน คือ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ และสัดส่วนของไนโตรเจน คือ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ มีหน่วยเป็น permil (‰) โดยนำมาคำนวณดังสมการ (Franca *et al.*, 2011)

$$\delta X (\text{‰}) = [(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3$$

โดย X คือ ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน (^{13}C) หรือไนโตรเจน (^{15}N)

R คือ ปริมาณสัดส่วนของไอโซโทปเสถียร ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ หรือ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)

หลังจากนั้นตัวอย่างทั้งหมดจะถูกคำนวณโดยใช้ simple three sources mixing model (Boonphakdee *et al.*, 2008)

$$\delta^{13}\text{C}_s = f_1 \delta^{13}\text{C}_1 + f_2 \delta^{13}\text{C}_2 + f_3 \delta^{13}\text{C}_3$$

$$\delta^{15}\text{N}_s = f_1 \delta^{15}\text{N}_1 + f_2 \delta^{15}\text{N}_2 + f_3 \delta^{15}\text{N}_3$$

$$f_1 + f_2 + f_3 = 1$$

เมื่อ f_1 , f_2 และ f_3 แทน ค่าของคาร์บอนและไนโตรเจนในตัวอย่างที่มาจาก แหล่งที่มา แหล่งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

C_1 , C_2 และ C_3 แทน ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนของแหล่งที่มาทั้ง 3 แหล่ง ตามลำดับ

N_1 , N_2 และ N_3 แทน ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนของแหล่งที่มาทั้ง 3 แหล่ง ตามลำดับ

หลังจากวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรเรียบร้อยแล้ว นำผลที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างต่าง ๆ และนำสถิติ t-test มาใช้ในการทดสอบความแตกต่างของปริมาณไอโซโทปเสถียรในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล

ผลและอภิปราย

1. ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในป่าชายเลน

จากการวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ป่าชายเลนเมืองใหม่ บริเวณปากคลองห้วยละมุ จังหวัดชลบุรี พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปูแสม (*Metaplex dentipes*) ที่อยู่ในป่าชายเลน เฉลี่ยอยู่ที่ $-18.82 \pm 0.90\%$ ซึ่งสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปูแสม (*S. haematocheir*) เฉลี่ยอยู่ที่ $-25.66 \pm 2.32\%$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ $8.68 \pm 1.34\%$ ดังภาพที่ 2 ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่า แหล่งที่มาของอาหารในปูแสมทั้งสองชนิดนี้ไม่ได้มาจากแหล่งเดียวกัน โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปูแสม (*S. haematocheir*) ใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน แสดงให้เห็นว่า ปูแสมได้รับสารอินทรีย์บางส่วนมาจากใบไม้ในป่าชายเลน เนื่องจากได้ทำการประเมินสารอินทรีย์ที่อยู่ในอาหาร (Estimate food sources) ของปูแสม (*S. haematocheir*) พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ อยู่ที่ $\sim -28\%$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ $\sim 6.60\%$ ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบไม้ป่าชายเลน ดินตะกอนป่าชายเลน และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ดังภาพที่ 3) เมื่อนำปริมาณสารอินทรีย์ในอาหารของปูแสมมาคำนวณหาสัดส่วนโดยใช้ simple three sources mixing model พบว่า สารอินทรีย์ในอาหารของปูแสมได้รับมาจากใบไม้ป่าชายเลน 57%, ดินตะกอนป่าชายเลน 41.2% และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ 1.8%

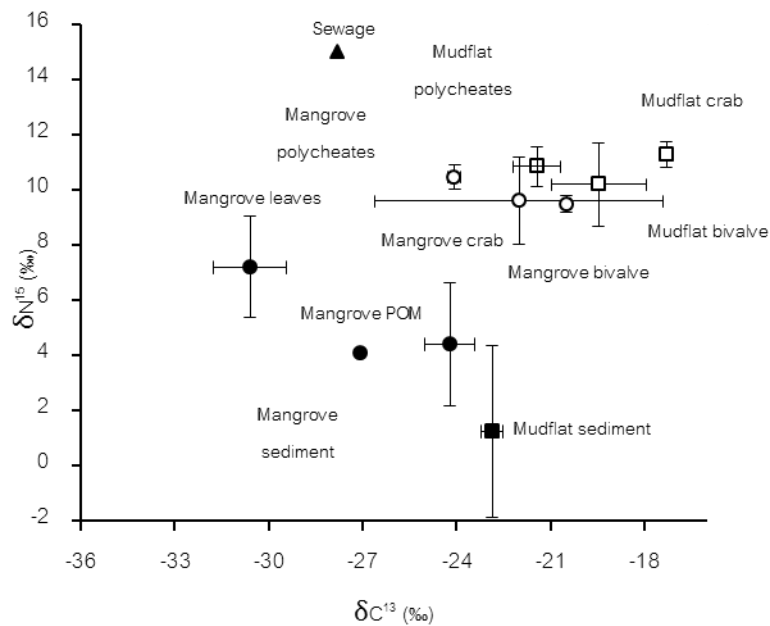
ส่วนปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนจากป่าชายเลน เฉลี่ยอยู่ที่ $-24.21 \pm 0.79\%$ และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ $4.40 \pm 2.24\%$ และน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี -27.82% และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ 15.00% (Gimate et al., 2017) (ดังภาพที่ 3) แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำมีการแพร่กระจายเข้าสู่พื้นที่ป่าชายเลน โดยสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ นั่นคือ ปูแสม (*S. haematocheir*) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cannicci et al. (2009) ได้ทำการศึกษาลักษณะของน้ำเสียชุมชนที่มีผลต่อกลุ่มประชากรของหอยและปูที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนทางตะวันออกของแอฟริกา พบว่าน้ำเสียชุมชนมีผลต่อกลุ่มประชากรของปูที่อยู่ในป่าชายเลน และจากการศึกษาของ Kruitwagen et al. (2010) พบว่ามีเพียงปูแสม (*Sesarma*) ชนิดเดียวที่มีการนำใบไม้ป่าชายเลนไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง นอกจากนั้นปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของไส้เดือนทะเล FAM. Nereididae ในป่าชายเลนอยู่ที่ $-24.07 \pm 0.21\%$ ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนป่าชายเลน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tue et al. (2012) เมื่อนำปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (-27.82%) มาเปรียบเทียบกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในไส้เดือนทะเล FAM. Nereididae พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยสามารถบ่งชี้ได้ว่าไส้เดือนทะเลไม่ได้รับผลกระทบจากน้ำทิ้ง ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Sampaio et al. (2010) ที่พบว่าไส้เดือนทะเล (*Nephtys* sp.) และ (*Pectinaria koreni*) ได้นำสารอินทรีย์จากน้ำเสียมาใช้ประโยชน์

2. ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในพื้นที่หาดโคลน

จากการบ่งชี้แหล่งที่มาของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่หาดโคลนพบว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในหอยทะเลสองฝา ได้แก่ หอยกะพง (*Arcuatula senhousia*) ($-20.98 \pm 1.34\%$), หอยนางรม (*Saccostrea commercialis*) ($-19.52 \pm 0.09\%$), หอยแครง (*Anadara granosa*) ($-18.50 \pm 0.36\%$), หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) ($-17.87 \pm 0.18\%$) และหอยตลับลาย (*Meretrix lousoria*) ($-20.49 \pm 0.19\%$) และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ เฉลี่ยอยู่ที่ $8.31 \pm 1.05\%$, $10.01 \pm 0.70\%$, $11.14 \pm 0.62\%$, $11.27 \pm 0.28\%$ และ $10.26 \pm 0.28\%$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในสารอินทรีย์ที่มาจากป่าชายเลนและ

สารอินทรีย์ในน้ำที่มาจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (-27.82‰) แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ใน หอยทะเลสองฝาที่อยู่ในพื้นที่หาดโคลนไม่ได้รับอินทรีย์สารมาจากป่าชายเลน และน้ำที่มาจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ (ดังภาพที่ 2)

ในทางตรงกันข้าม ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในหอยทะเลสองฝาใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนจากพื้นที่ หาดโคลน (-22.87±0.34‰) (ดังภาพที่ 2) แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากพื้นที่หาดโคลนเป็นแหล่ง อาหารของหอยทะเลสองฝา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Boonphakdee and Sichan (2013) พบว่าแหล่งที่มาของ อาหารในหอยทะเลสองฝาที่เลี้ยงใกล้กับป่าชายเลน ได้แก่ สาหร่ายหน้าดิน, benthic diatom และสารอินทรีย์ในดิน ตะกอนจากพื้นที่เลี้ยงหอย ในขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปลากะระบอก (*Mugil curema*) อยู่ที่ -15.44±1.33‰ และ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ 14.28±1.01‰ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มหอยทะเลสองฝา และอินทรีย์สารในป่าชายเลน แสดงให้ เห็นว่าแหล่งที่มาอาหารของปลากะระบอกไม่ได้มาจากป่าชายเลน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kruitwagen *et al.* (2010) พบว่าปลากะระบอก (*Mugil sp.1*) ไม่ได้มีการใช้ประโยชน์สารอินทรีย์จากป่าชายเลน ในทางตรงกันข้ามปลาตีน (*Periophthalmus argentilineatus*) และปูแสม (*Sesarma*) ได้รับสารอินทรีย์มาจากใบไม้ในป่าชายเลน



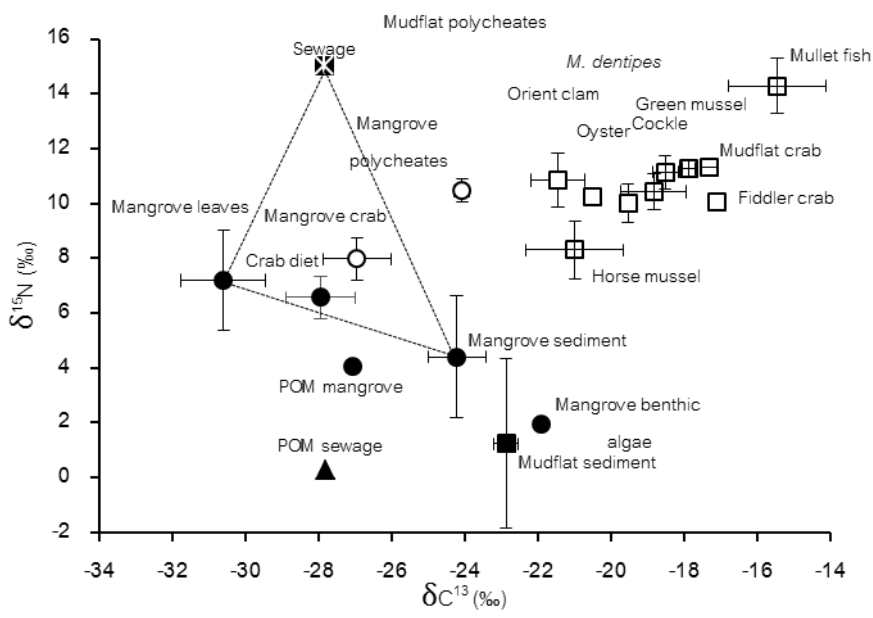
ภาพที่ 2 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในน้ำที่มาจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ กลุ่มสิ่งมีชีวิต ใบไม้ ดินตะกอน สารอินทรีย์แขวนลอย (POM) ในป่าชายเลน และหาดโคลน

3. แหล่งที่มาของสารอินทรีย์

ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในใบแสมขาว (*Avicennia alba*) อยู่ที่ -30.60±1.16‰ และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ เฉลี่ย ใบใบ โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) อยู่ที่ -30.78±0.89‰ ขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ เฉลี่ยอยู่ที่ 7.20±1.83‰ และ 7.44±0.45‰ ตามลำดับ และพบว่าปริมาณไอโซโทปเสถียรไนโตรเจนในใบไม้ในทั้งสองฤดูกาลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสาหร่ายหน้าดินในป่าชายเลนอยู่ที่ -21.89‰ เมื่อนำมา เปรียบเทียบกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในสาหร่ายหน้าดินที่ถูกเก็บมาจากปากท่อปล่อยน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ

พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสาหร่ายในพื้นที่ป่าชายเลนสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในสาหร่ายบริเวณปากท่อปล่อยน้ำทิ้งอยู่ที่ -24.53% ขณะที่ ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินบริเวณป่าชายเลน และปากท่อปล่อยน้ำทิ้ง อยู่ที่ 1.93% และ 9.75% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินจากทั้งสองบริเวณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เนื่องจากสาหร่ายหน้าดินของทั้งสองพื้นที่ได้รับสารอินทรีย์ และไนโตรเจนจากน้ำที่มีแหล่งที่มาที่ต่างกัน (Viana & Bode, 2013) นอกจากนั้น ปริมาณไอโซโทปเสถียรในดินตะกอนจากป่าชายเลน และในพื้นที่หาดโคลนทั้งฤดูฝน และฤดูแล้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนป่าชายเลนใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของพืช C_3 ในป่าชายเลน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ray *et al.* (2015) แสดงให้เห็นว่าดินตะกอนในป่าชายเลนได้รับสารอินทรีย์มาจากพืชในป่าชายเลน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kruitwagen *et al.* (2010) และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนหาดโคลนอยู่ที่ $-22.87 \pm 0.34\%$ ซึ่งสูงกว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในดินตะกอนป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากดินตะกอนในป่าชายเลนได้รับสารอินทรีย์จากเศษใบไม้ที่ร่วงหล่นทับถมกันอยู่บนผิวดินตะกอน ในขณะที่ดินตะกอนในพื้นที่หาดโคลนได้รับสารอินทรีย์มาจากหอยทะเลสองฝาที่เลี้ยงอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวเกิดการตายและฝังตัวอยู่ในหาดโคลน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Boonphakdee and Sichan (2013) ในส่วนของปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ใน POM ป่าชายเลน พบว่าอยู่ที่ -27.05% และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ที่ 4.08% ซึ่งปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ใน POM ในป่าชายเลนใกล้เคียงกับ ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ และสารอินทรีย์ในใบไม้ในป่าชายเลน แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ของ POM ในป่าชายเลนได้รับอินทรีย์สารมาจากป่าชายเลนผสมรวมกับสารอินทรีย์ที่มาจากน้ำทิ้ง โดย Ray & Shahraki (2016) พบว่า POM ในป่าชายเลนได้รับสารอินทรีย์มาจากแพลงก์ตอนพืช สาหร่ายขนาดเล็ก และใบไม้ในป่าชายเลน



ภาพที่ 3 สัดส่วนไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ ใบไม้ ดินตะกอน สาหร่ายหน้าดิน สารอินทรีย์แขวนลอย (POM) และสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในป่าชายเลน และหาดโคลน

บทสรุป

การนำเทคนิคไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) มาใช้ในการบ่งชี้แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในพื้นที่ป่าชายเลนเมืองใหม่ที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ จังหวัดชลบุรี สามารถสรุปได้ว่า สารอินทรีย์จากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำเข้าไปอยู่ในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลน ในทางตรงกันข้ามกลุ่มหอยทะเลสองฝาที่อยู่ในพื้นที่หาดโคลนไม่ได้รับสารอินทรีย์มาจากน้ำทิ้งของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ แต่ได้รับสารอินทรีย์มาจากพื้นที่เลี้ยงหอย จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นว่า ป่าชายเลนเมืองใหม่ จ.ชลบุรี มีบทบาทในการรองรับของเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ คือ เป็นพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ปล่อยลงสู่คลองห้วยละมู เข้าสู่ป่าชายเลน โดยป่าชายเลนเป็น buffer zone หรือพื้นที่กันชน ทำหน้าที่ในการดูดซับสารอินทรีย์ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์นั้นคือ น้ำทิ้ง ไม่ให้เกิดการแพร่กระจายเข้าสู่พื้นที่หาดโคลน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทางเศรษฐกิจของชาวประมง หากสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งเข้าสู่แหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์น้ำและผู้บริโภค เนื่องจากน้ำทิ้งที่มาจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำ อาจจะมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์หรือโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง ซึ่งอาจจะเกิดอันตรายต่อผู้บริโภคสัตว์น้ำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นพื้นที่ป่าชายเลนจึงเป็นพื้นที่ที่มีบทบาทสำคัญในการกรองสารพิษที่มาจากบนบกไม่ให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศใกล้เคียง และความเป็นอยู่ของมนุษย์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านพิษวิทยาและอนามัยสิ่งแวดล้อม ที่ได้มอบทุนสนับสนุนในการทำวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ได้ช่วยให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง และใช้ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- Alquezar, R., Glendenning, L. & Costanzo, S. (2013). The use of the brown macroalgae, *Sargassum flavicans*, as a potential bioindicator of industrial nutrient enrichment. *Marine pollution bulletin*, 77, 140-146.
- Aschenbroich, A., Marchand, C., Molnar, N., Deborde, J., Hubas, C., Rybarczyk, H. & Meziane, T. (2015). Spatio-temporal variations in the composition of organic matter in surface sediments of a mangrove receiving shrimp farm effluents (New Caledonia). *Science of the total environment*, 512-513, 296-307.
- Bao, H., Wu, Y., Unger, D., Du, J., Herbeck, L.S. & Zhang, J. (2013). Impact of the conversion of mangroves into aquaculture ponds on the sedimentary organic matter composition in a tidal flat estuary (Hainan island, China). *Continental shelf research*, 57, 82-91.
- Barros, G.V., Martinelli, L.A., Novais, T.M.O., Ometto, J.P.H.B., & Zuppi, G.M. (2010). Stable isotopes of bulk organic matter to trace carbon and nitrogen dynamics in an estuarine ecosystem in Babitonga Bay (Santa Catarina, Brazil). *Science of the Total Environment*, 408, 2226-2232.

- Benstead, J.P., March, J.G., Fry, B., Ewel, K.C., & Pringle, C.M. (2006). Testing isosource : stable isotope analysis of a tropical fishery with diverse organic matter sources. *Ecology*, 87(2), 326-333.
- Boonphakdee, T., Kasai, A., Fujiwara, T., Sawangwong, P., & Cheevaporn, V. (2008). Combined stable carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in the Bangpakong river estuary, Thailand. *Environment Asia*, 1, 28-36.
- Boonphakdee, T., & Sichan, P. (2013). *Is mangrove source of organic matter for cultured bivalves in an Adjacent Mudflat? a multiple stable isotope study*. In The Second EnvironmentAsia International Conference on "Human Vulnerability and Global Environmental Change" 15-17 May 2013, Chonburi. Thailand.
- Bouillon, S., Connolly, R.M., & Lee, S.Y. (2008). Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems : Recent insights from stable isotope studies. *Journal of sea research*, 59, 44-58.
- Cannicci, S., Bartolini, F., Guebas, F.D., Fratini, S., Litulo, C., Macia, A., Mrabu, E.J., Lopes, G.P. & Paula, J. (2009). Effects of urban wastewater on crab and mollusk assemblages in equatorial and subtropical mangrove of east Africa. *Estuarine, Coastal and shelf science*, 84, 305- 317.
- Costanzo, S.D., Odonohue, M.J., Dennison, W.C., Loneragan, N.R., & Thomas, M. (2001). A new approach for detecting and mapping sewage impacts. *Marine Pollution Bulletin*, 42, 149-156.
- Dittmar, T., Lara, R.J., & Kattner, G. (2001). River or mangrove ? Tracing major organic matter sources in tropical Brazilian coastal waters. *Marine chemistry*, 73, 253-271.
- Franca, S., Vasconcelos, R.P., Tanner, S., Maguas, C., & Costa, M.J. (2011). Assessing food web dynamics and relative importance of organic matter sources for fish species in two Portuguese estuaries : A stable isotope approach. *Marine environmental research*, 72, 204-215.
- Gimate, P.A., Andrade, N.E., Sanchez, A. & Valdez, C. (2017). Nitrogen isotopic characterization of macroalgae blooms from different sites within a subtropical bay in the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*, 116, 130-136.
- Heikoop, J.M., Risk, M.J., Lazier, A.V., Edinger, E.N., Jompa, J., Limmon, G.V., Dunn, J.J., Browne, D.R., & Schwarcz, H.P. (2000). Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in reef corals. *Marine pollution bulletin*, 40(7), 628-636.
- Kohzu, A., Miyajima, T., Tajasu, I., Yoshimisu, C., Hyodo, F., Matsui, K., Nakano, T., Wada, E., Fujita, N., & Nagata, T. (2008). Use of stable nitrogen isotope signature of riparian macrophytes as an indicator of anthropogenic N inputs to river ecosystems. *Environmental science technology*, 42, 7837-7841.
- Kon, K., Tongnunui, P., & Kurokura, H. (2015). Do allochthonous inputs represent an important food source for benthic macrofaunal communities in tropical estuarine mudflats?. *Food Webs*, 2, 10-17.

- Kristensen, D.K., Kristensen, E., & Mangion, P. (2010). Food partitioning of leaf-eating mangrove crabs (*Sesarma*) : Experimental and stable isotope (^{13}C and ^{15}N) evidence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, 583-590.
- Kruitwagen, G., Nagelkerken, I., Lugendo, B.R., Mgaya, Y.D., & Bonga, S.E.W. (2010). Importance of different carbon sources for macroinvertebrates and fishes of an interlinked mangrove-mudflat ecosystem (Tanzania). *Estuarine Coastal and shelf science*, 88, 464-472.
- Pawar, P.R. (2013). Monitoring of impact of anthropogenic inputs on water quality of mangrove ecosystem of Uran, Navi Mumbai, West coast of India. *Marine pollution bulletin*, 75, 291-300.
- Ping, J.P., De, S.C., Hai, A., Jun, W., & Dong, H.W. (2012). Estimating change in sedimentary organic carbon content during mangrove restoration in Southern China using carbon isotopic measurements. *Pedosphere*, 22(1), 58-66.
- Ranjan, R.K., Routh, J., Ramanathan, A.L. & Klump, J.V. (2011). Elemental and stable isotope records of organic matter input and its fate in the Pichavaram mangrove-estuarine sediments (Tamil Nadu, India). *Marine chemistry*, 126, 163-173.
- Ray, R., Rixen, T., Baum, A., Malik, A., Gleixner, G., & Jana, T.K. (2015). Distribution, sources and biogeochemistry of organic matter in a mangrove dominated estuarine system (Indian sundarbans) during the pre-monsoon. *Estuarine, coastal and shelf science*, 167, 404-413.
- Ray, R. & Shahraki, M. (2016). Multiple sources driving the organic matter dynamics in two contrasting tropical mangroves. *Science of Total Environment*, 571, 218-227.
- Sampaio, L., Rodrugues, M. A., & Quintino, V. (2010). Carbon and nitrogen stable isotopes in coastal benthic populations under multiple organic enrichment sources. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 1790-1802.
- Schlacher, T.A., Liddell, B., Gaston, T.F., & Hoenlinger, M.S. (2005). Fish track wastewater pollution to estuaries. *Oecologia*, 144, 570-584.
- Tue, N.T., Hamaoka, H., Sogabe, A., Quy, T.D., Nhuan, M.T., & Omori, K. (2012). Food sources of macroinvertebrates in an important mangrove ecosystem of Vietnam determined by dual stable isotopesignatures. *Journal of sea research*, 72, 14-21.
- Viana, I.G., & Bode, A. (2013). Stable nitrogen isotopes in coastal macroalgae : Geographic and anthropogenic variability. *Science of the Total Environment*, 443, 887-895.