



ผลจากการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังต่อคุณภาพน้ำและดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง

อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

Effects of Tapioca Products Transferring on Water and Sediment Quality

Outside Sriracha Coast, Chon Buri Province

ศรัณยา รักเสรี

มหาวิทยาลัยบูรพา

2568

ผลจากการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังต่อคุณภาพน้ำและดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี



ศรัณยา รักเสรี

คุณูปนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวาริชศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2568

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

Effects of Tapioca Products Transferring on Water and Sediment Quality
Outside Sriracha Coast, Chon Buri Province



SARANYA RAKSEREE

A DISSERTATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR DOCTOR DEGREE OF PHILOSOPHY
IN AQUATIC SCIENCE
FACULTY OF SCIENCE
BURAPHA UNIVERSITY

2025

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมดุขฎีนิพนธ์และคณะกรรมการสอบดุขฎีนิพนธ์ได้พิจารณาดุขฎีนิพนธ์ของ ศรีณยา รักเสรี ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุขฎีบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมดุขฎีนิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุกุล บุรณประทีปรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชญา กันบัว)

คณะกรรมการสอบดุขฎีนิพนธ์

..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิภูษิต มั่นตะจิตร์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุกุล บุรณประทีปรัตน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชญา กันบัว)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จินตนา สและน้อย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริ่งผกา ว่างกลางกูร)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับดุขฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุขฎีบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ตันติวรานูรักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

60810050: สาขาวิชา: วาริชศาสตร์; ปร.ด. (วาริชศาสตร์)

คำสำคัญ: ผลผลิตถั่มันสำปะหลัง/ คุณภาพน้ำ/ คุณภาพดินตะกอน/ นอกชายฝั่งศรีราชา

ศรัณยา รักเสรี : ผลจากการขนถ่ายผลผลิตถั่มันสำปะหลังต่อคุณภาพน้ำและดิน

ตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง อำเภศรีราชา จังหวัดชลบุรี. (Effects of Tapioca Products

Transferring on Water and Sediment Quality Outside Sriracha Coast, Chon Buri

Province) คณะกรรมการควบคุมคุณภาพน้ำ: อนุกุล บูรณประทีปรัตน์, วิชญา กันบัว ปี พ.ศ. 2568.

การศึกษาผลจากการขนส่งแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพน้ำทะเล และดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภศรีราชา จังหวัดชลบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ขนส่งผลผลิตถั่มันสำปะหลังในอ่าวศรีราชา และเข้าใจสถานการณ์ของผลกระทบดังกล่าว โดยเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอนจำนวนรวมทั้งสิ้น 16 สถานี ในช่วงฤดูแล้ง (มีนาคม 2563) และฤดูฝน (สิงหาคม 2563) ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำในบริเวณจุดขนถ่ายผลผลิตถั่มันสำปะหลังที่ระดับความลึกใกล้พื้นทะเลปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรต และสารอินทรีย์รวมมีความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูฝนขณะที่พบไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง บ่งชี้ได้ว่ากิจกรรมการขนส่งสินค้าในบริเวณนี้ทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์สารในดินตะกอนมากขึ้น จากการทำในบริเวณนี้มีสารอินทรีย์สูงประกอบกับในช่วงฤดูฝนมีการแบ่งชั้นน้ำ ทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนบริเวณพื้นที่ท้องทะเล แม้ว่าปริมาณการขนส่งแป้งมันสำปะหลังจะใกล้เคียงกันทั้งสองฤดูกาลก็ตาม ระดับออร์โธฟอสเฟตและฟอสฟอรัสรวมในสถานีต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ไม่ชัดเจน ส่วนดัชนีคุณภาพน้ำส่วนใหญ่เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลยกเว้นออร์โธฟอสเฟตและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ สำหรับการศึกษาคุณภาพดินตะกอนได้วิเคราะห์อนุภาคของดินและปริมาณน้ำในดินตะกอน รวมทั้งได้วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวม ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ความเป็นกรด-เบสของดินตะกอน รวมทั้งสารอาหารในน้ำในดินตะกอน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรต และไนโตรเจนรวม และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนและไฮโดรเจนเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตะกอนในแต่ละสถานี ผลการวิเคราะห์พบว่าในช่วงฤดูแล้งที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังมากกว่าในฤดูฝน ดินตะกอนในสถานีเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรายแป้งปนดินเหนียว มีปริมาณสารอินทรีย์รวม ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคาร์บอนสูงกว่าฤดูฝนอย่างเห็นได้ชัด ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับสภาพที่เป็นกรดค่อนข้างมากด้วย ปริมาณสารอินทรีย์รวม และคาร์บอนในดินตะกอนมีค่าสูงทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชัง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังลงเรือสินค้า โดยสูงกว่าพื้นที่นอกจุดขนถ่ายสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการศึกษาวิจัยนี้พบว่าบริเวณพื้นที่ขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังขนาดอนุภาคของดินตะกอนโดยทั่วไปมีขนาดเล็กและ

ละเอียด มีลักษณะเป็นทรายแป้งปนดินเหนียว ทำให้การแพร่กระจายของออกซิเจนจากน้ำเข้าสู่ดิน ตะกอนเป็นไปได้อย่างช้าๆ ส่งผลให้ก๊าซ ซัลไฟด์ก่อตัวได้ง่ายบนพื้นทะเล เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้อ ต่อสิ่งมีชีวิตพื้นทะเล จากการที่ปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงสุดในช่วงฤดูแล้ง ในขณะที่ความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดในช่วงฤดูฝน สิ่งนี้อาจอธิบายได้จากที่จุลินทรีย์ใช้เวลาในการย่อยสลาย สารอินทรีย์ภายใต้สภาวะออกซิเจนต่ำ ซึ่งในที่สุดจะนำไปสู่การเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในฤดูกาลต่อมา ดังนั้นจึงควรเน้นการจัดการฝุ่นที่มีการฟุ้งกระจายขณะที่มีการขนถ่ายแอมโมเนีย สำปะหลังโดยเฉพาะในฤดูแล้ง เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลในพื้นที่



60810050: MAJOR: AQUATIC SCIENCE; Ph.D. (AQUATIC SCIENCE)

KEYWORDS: CASSAVA PRODUCTS/ WATER QUALITY/ SEDIMENT QUALITY/
OUTSIDE SRIRACHA COAST

SARANYA RAKSEREE : EFFECTS OF TAPIOCA PRODUCTS TRANSFERRING ON
WATER AND SEDIMENT QUALITY OUTSIDE SRIRACHA COAST, CHON BURI PROVINCE.

ADVISORY COMMITTEE: ANUKUL BURANAPRATHEPRAT, VICHAYA GUNBUA 2025.

This study investigated the impact of tapioca starch transportation on marine water and sediment quality in the cargo transfer area off Sriracha and Sichang Island, Chon Buri Province. The study aims to monitor the overall environment near the transporting tapioca product areas in Sriracha and comprehend this effect. Water and sediment samples were taken from 16 locations outside the Sriracha coast during the dry season (March 2020) and the rainy season (August 2020). The results showed that near-bottom waters at the loading site had high concentrations of ammonia, nitrite, nitrate, and organic matter during the rainy season, while total nitrogen and phosphorus were elevated during the dry season. This indicates that loading activities lead to the buildup of organic matter in sediments. High nutrients and hypoxia in near-bottom waters in the loading zone during the rainy season were linked to water column stratification, even though starch loading levels were similar across both seasons. Orthophosphate and total phosphate levels varied significantly between locations ($p < 0.05$) without a clear spatial trend. Most water quality parameters met seawater standards except orthophosphate and dissolved oxygen. The physical properties of the sediments were assessed in terms of mean grain size and percent water content. The analysis focused on total organic matter, hydrogen sulfide, and pH levels to assess variations in sediment chemical properties across sites. The nutrient properties of sediments were assessed by analyzing ammonia, nitrite, nitrate, and total nitrogen. The elemental components of carbohydrates mainly carbon and hydrogen were examined. Analysis revealed that silty-clayed sediments predominated in the area. During the dry season (where tapioca transport occurs more than in the rainy season), sedimentary parameters such as total organic

matter, hydrogen sulfide, and carbon were found to be significantly higher than in the rainy season ($p < 0.05$). The amount of water in the sediment in the rainy season was in the range of 32.37-78.03%, which was significantly different from that in the dry season ($p < 0.05$). The concentrations of ammonia, nitrite, and total nitrogen in the water in the sediment in the rainy season were significantly different from the dry season ($p < 0.05$). Total organic matter and carbon values in sediment were notably concentrated in the northeast region (where tapioca product loading onto ships was commonplace) was significantly higher ($p < 0.05$) than those in distant locations. From the results of this research, it was found that in the area where tapioca starch was transported, the particle size of the sediment was generally small and fine, with the characteristics of sand mixed with mud, which allowed the slow diffusion of oxygen from water into the sediment. As a result, sulfide gas could easily form on the seabed, creating an unfavorable environment for marine life. The study found that the total amount of organic matter was highest during the dry season, while the concentration of hydrogen sulfide was highest during the rainy season. This may be explained by the time that microorganisms spent decomposing organic matter under low oxygen conditions, which eventually increased the hydrogen sulfide concentration in the following season. Therefore, it is necessary to focus on managing dust that is dispersed during the transportation of tapioca starch, especially during the dry season, to reduce the impact on the marine environment in this area.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักที่ ประสทธิประสาทวิชาความรู้รวมทั้งแนวคิด ตลอดจนคอยให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกายและแรงใจในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษญา กันบัว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.วิภูษิต มัณฑะจิตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประसार อินทเจริญ ที่กรุณาให้ คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจ ใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จินตนา สและน้อย ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบ พร้อมแนะนำ แก้ไข และตรวจทานดุขงุณิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริ่งผกา ว่างกลางกูร ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการ สอบ พร้อมแนะนำข้อแก้ไขต่างๆ และตรวจทานแก้ไขดุขงุณิพนธ์นี้ จนทำให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้ความรัก ความห่วงใย ให้ความช่วยเหลือ ตลอดเป็นกำลังใจในการทำดุขงุณิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี รวมทั้งมิตรสหายที่คอยให้ กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้ข้าพเจ้าทำดุขงุณิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นด้วยดี รวมถึงเป็นผู้ช่วยในการเก็บ ข้อมูลและรวบรวมข้อมูลในการศึกษาเป็นอย่างดี

สุดท้ายหากดุขงุณิพนธ์ฉบับนี้มีประโยชน์ไม่ว่าจะเป็นส่วนใดในฉบับที่มีต่อบุคคลท่านใด ข้าพเจ้าขอยกประโยชน์ทั้งหมดเป็นกตัญญูกตเวทิตาแต่ บุพการี คณาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ ทำให้ข้าพเจ้ามีทักษะ ความรู้ ความสามารถ จนประสบความสำเร็จตราบจนทุกวันนี้

ศรัณยา รักเสรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา.....	3
1.5 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ข้อมูลพื้นฐานของน้ำมันสำปะหลัง.....	5
2.2 ความสำคัญของน้ำมันสำปะหลัง.....	6
2.3 ลักษณะทั่วไป และลักษณะเด่นของน้ำมันสำปะหลัง.....	7
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์.....	8
2.5 การส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำมันสำปะหลัง.....	11
2.6 การขนส่งสินค้า และผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทางทะเล.....	14
2.7 ผลกระทบจากการขนส่งมันสำปะหลังต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล.....	17
2.8 ผลกระทบของสารอินทรีย์ต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล.....	24

2.9 ขนาดของดินตะกอน.....	27
2.10 กระแสน้ำและการไหลเวียนของน้ำ.....	28
2.11 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์และการประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเล.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	32
3.1 พื้นที่ทำการศึกษา.....	32
3.2 วิธีการศึกษา.....	35
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	40
4.1 คุณภาพน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี.....	40
4.2 คุณภาพดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี.....	62
4.3 ลักษณะของลมบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	74
4.4 กระแสน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	75
4.5 ลักษณะการแพร่กระจายของตัวติดตามบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	76
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล.....	78
5.1 อภิปรายผล.....	78
5.2 สรุปผล.....	83
บรรณานุกรม.....	85
ภาคผนวก.....	97
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	98
ภาคผนวก ข.....	108
- ภาพแสดงรูปแบบเส้นชั้นความสูง (Contour line) คุณภาพน้ำบริเวณนอกชายฝั่งศรีราชา.....	108
- กราฟคุณภาพน้ำบริเวณนอกชายฝั่งศรีราชา.....	108
ภาคผนวก ค ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	117
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	127



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังสด และแห้ง.....	9
ตารางที่ 2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน	10
ตารางที่ 3 รายละเอียดของสินค้ามันสำปะหลังจำแนกตามลักษณะการส่งออก	12
ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำทะเลบริเวณเกาะสีชังถึงศรีราชาในเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2549.....	19
ตารางที่ 6 สรุปปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน บริเวณที่มีและไม่มีการขนส่งทางทะเล ระหว่างเกาะสีชัง-ศรีราชา-แหลมฉบัง พ.ศ. 2534-2553.....	22
ตารางที่ 7 สรุปปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดิน (mg/g) บริเวณที่มีและไม่มีการขนส่งทางทะเลระหว่างเกาะสีชัง- ศรีราชา-แหลมฉบัง พ.ศ. 2534-2553.....	23
ตารางที่ 8 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่/ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง.....	32
ตารางที่ 9 ดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการศึกษาและวิธีการวิเคราะห์.....	35
ตารางที่ 10 ดัชนีคุณภาพดินตะกอนที่ทำการศึกษา.....	36

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 Cassava Production and Consumption in Major Producing Countries.....	5
ภาพที่ 2 World Cassava Exporters & Thai Cassava Export Market by Type (2017).....	7
ภาพที่ 3 โครงสร้างของอะไมโลส	11
ภาพที่ 4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	11
ภาพที่ 5 Thai Cassava Sector Structure	13
ภาพที่ 6 Thai Exports of Cassava Products (By Volume)	13
ภาพที่ 7 Supply chain of exported tapioca chip products to	14
ภาพที่ 8 Transportation Network of Tapioca Chip from the river	15
ภาพที่ 9 Tapioca Production Plant in Thailand (circle dot); Riverport along Chao Phraya River (star mark); Srichang Harbor Port (square shape).....	15
ภาพที่ 10 ปริมาณการขนส่งแป้งมันสำปะหลังบริเวณท่าทอดสมอเรือเกาะสีชัง พ.ศ. 2563.....	16
ภาพที่ 11 การขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี.....	18
ภาพที่ 12 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมแจกแจงประเภทเนื้อดิน.....	28
ภาพที่ 13 การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ซ้าย) และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ขวา).....	29
ภาพที่ 14 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอน นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี	32
ภาพที่ 15 ตัวแปรต้น และตัวแปรตามในการศึกษา	34
ภาพที่ 16 แผนการวิจัย	34
ภาพที่ 17 ปริมาณรวมการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังบริเวณอ่าวศรีราชาจำแนกเป็นรายเดือน ปี พ.ศ. 2563 (สำนักงานท่าเรือแหลมฉบัง, 2567).....	40
ภาพที่ 18 พื้นที่ศึกษาและสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี	41

ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	42
ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงความเค็มเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึกบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	43
ภาพที่ 21 การกระจายตัวในแนวตั้งของอุณหภูมิในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b).....	44
ภาพที่ 22 การกระจายตัวในแนวตั้งของความเค็มในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b).....	45
ภาพที่ 23 การกระจายตัวในแนวตั้งของความเป็นกรด-เบส ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)	46
ภาพที่ 24 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b).....	47
ภาพที่ 25 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b).....	48
ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	49
ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรท์เชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	49
ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	50
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอโรพอสเฟตในเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	51
ภาพที่ 30 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณแอมโมเนีย ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)	52
ภาพที่ 31 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณไนโตรท์ ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) ฤดูฝน (b).....	53

ภาพที่ 32 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณไนเตรท ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)	54
ภาพที่ 33 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณออร์โธสเฟต ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่ง มันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b).....	55
ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนรวมเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	56
ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสรวมเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	57
ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับ ความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	58
ภาพที่ 37 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำ บริเวณที่มีการขนถ่าย แ่งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)	59
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ เชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	60
ภาพที่ 39 การกระจายตัวในแนวตั้งของคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังนอก ชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b).....	61
ภาพที่ 40 อนุภาคดินตะกอนบริเวณพื้นที่ขนส่งสินค้านอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	62
ภาพที่ 41 ปริมาณน้ำในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ขนส่งสินค้านอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	63
ภาพที่ 42 การกระจายเชิงพื้นที่ของอนุภาคดินตะกอนแบบทรายแ่งปนโคลนบริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	64
ภาพที่ 43 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	64
ภาพที่ 44 ปริมาณสารอินทรีย์รวม (a) ความเป็นกรด-เบส (b) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (c) ในดิน ตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา.....	65
ภาพที่ 45 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	66
ภาพที่ 46 การกระจายเชิงพื้นที่ของความเป็นกรด-เบสในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	66

ภาพที่ 47 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	67
ภาพที่ 48 ปริมาณสารอาหารในน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	68
ภาพที่ 49 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณแอมโมเนียในน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	69
ภาพที่ 50 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณไนโตรเจนในน้ำในดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	69
ภาพที่ 51 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณไนเตรทในน้ำในดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	70
ภาพที่ 52 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำในดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	70
ภาพที่ 53 องค์ประกอบของแร่ธาตุในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา (a) คาร์บอน (b) ไฮโดรเจน (c) ไนโตรเจน และ (d) กำมะถัน	72
ภาพที่ 54 การกระจายเชิงพื้นที่ของคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	73
ภาพที่ 55 การกระจายเชิงพื้นที่ของไฮโดรเจนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	73
ภาพที่ 56 การกระจายเชิงพื้นที่ของไนโตรเจนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	74
ภาพที่ 57 การกระจายเชิงพื้นที่ของกำมะถันในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา	74
ภาพที่ 58 ลมเฉลี่ยรายเดือนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในเดือนมีนาคม (ฤดูแล้ง) (a) และ เดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) (b).....	75
ภาพที่ 59 กระแสน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในเดือนมีนาคม (ฤดูแล้ง) (a) และ เดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) (b).....	76
ภาพที่ 60 การแพร่กระจายของตัวติดตามต้นกำเนิดจากจุดชนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่ง อำเภอศรีราชา	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารของมนุษย์ และสัตว์ รวมทั้งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลังงาน และใช้ในภาคอุตสาหกรรมแปรรูปต่างๆ ในปัจจุบันมันสำปะหลังถูกจัดอยู่ในอันดับที่ 5 ของพืชที่มนุษย์โลกนำมาบริโภค รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง สำหรับตลาดส่งออกมันสำปะหลังของประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในปี พ.ศ. 2563 ประมาณ 6,946,428,371 ล้านบาท จากพื้นที่เพาะปลูกทั้งสิ้นประมาณ 9 ล้านไร่ คิดเป็นมูลค่าการส่งออกเท่ากับ 82,345,716,337 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) โดยเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่สำคัญเส้นทางหนึ่งคือการขนส่งทางน้ำ ซึ่งการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทางน้ำจะนิยมใช้ขนส่งมันสำปะหลังเส้น และมันสำปะหลังอัดเม็ดในลักษณะสินค้าเทกอง (Bulk) ด้วยเรือโปะะไปตามแม่น้ำแล้วขนถ่ายขึ้นเรือเดินสมุทรที่ทำทอดสมอเรือบริเวณเกาะสีชังเพื่อส่งออกไปยังประเทศปลายทางต่อไป

เขตท่าเรือศรีราชาและเกาะสีชังตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกซึ่งเป็นชายฝั่งที่มีปริมาณการขนส่งทางทะเลสูงเป็นอันดับ 1 ของประเทศ สินค้าที่มีการขนถ่ายทางทะเลบริเวณเกาะสีชังจำแนกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สินค้าประเภทเทกอง (Bulk) ซึ่งมีทั้งสินค้าส่งออกพวกปูนซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ในรูปแป้งมัน มันเส้น และมันอัดเม็ด และสินค้านำเข้าพวกถ่านหิน ปุ๋ยเคมี ถั่วเหลือง และโซดาแอสสำหรับสินค้าประเภทที่สองได้แก่ สินค้าบรรจุหีบห่อ (Bag) ที่ใช้แรงงานขนถ่ายได้แก่ สินค้าประเภทน้ำตาล ข้าวสาร ข้าวโพด และแป้งมัน โดยปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังที่ทำทอดสมอเรือเกาะสีชังในปี พ.ศ. 2563 อยู่ในช่วง 71,456.046-328,106.692 ตัน และมีการขนส่งแป้งมันสำปะหลังมากที่สุดในเดือนเมษายน (สำนักงานท่าเรือแหลมฉบัง, เอกสาร, 27 สิงหาคม 2567)

จากการที่มีการขนถ่ายสินค้าทางการเกษตร เช่นการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง ปูนซีเมนต์ ถ่านหิน ข้าวสาร น้ำตาล บริเวณเกาะสีชัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นจำนวนมาก และต่อเนื่องเป็นเวลานาน ซึ่งที่ผ่านมาได้สร้างปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล สิ่งมีชีวิตใน

ทะเล ประชาชน และแหล่งท่องเที่ยว โดยสาเหตุสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นมาจากการขนถ่ายสินค้าส่วนใหญ่ใช้แกรบ (Grab) จับสินค้าจากระวางเรือโป๊ะ ยกขึ้นบนเรือบรรทุกสินค้าต่างประเทศ หรือจับสินค้าจากระวางเรือบรรทุกสินค้าต่างประเทศลงระวางเรือโป๊ะ แต่แกรบปล่อยสินค้าสูงกว่าขอบระวางเรือเกิน 2 เมตร ก่อนที่จะถึงขอบระวางเรือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการทำงานให้รวดเร็วขึ้น โดยไม่คำนึงถึงมลพิษทางอากาศ และผลกระทบที่จะเกิดต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล เมื่อมีการสะสมฝุ่นผงของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในสิ่งแวดล้อมทางทะเลแล้วจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จำพวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลง จนกระทั่งได้เป็นแร่ธาตุและสารอาหารในรูปแบบต่างๆ เช่น คาร์บอน แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต ที่เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์หมุนเวียนในระบบนิเวศ สารอินทรีย์ในทะเลมีความสำคัญมาก และมีอิทธิพลควบคุมการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารในทะเล โดยการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทะเลและดินตะกอนจะมีการผันแปรตามฤดูกาลและสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นๆ ด้วย (จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, 2548; Tam and Wong, 1998) นอกจากนี้พบว่าในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์จะต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายน้ำ หรือในดินตะกอนเป็นตัวช่วย หากมีปริมาณของสารอินทรีย์สูงย่อมส่งผลให้เกิดภาวะออกซิเจนต่ำ เกิดความไม่สมดุลของปริมาณแร่ธาตุในทะเล มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลได้ อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนจากกิจกรรมการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังซึ่งปล่อยสารอินทรีย์ลงทะเล ยังไม่มีการศึกษาในแง่มุมนี้โดยละเอียด จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีสมมุติฐานการวิจัยว่า ฝุ่นผงที่เกิดจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ได้แก่ มันเส้น มันอัดเม็ด หรือแป้งมันสำปะหลัง ที่ขนถ่ายสู่เรือสินค้า ซึ่งเริ่มกิจกรรมตั้งแต่เรือที่มาขนถ่ายทอดสมอเรือในบริเวณจุดขนถ่าย ขณะทำการขนถ่าย และหลังจากขนถ่ายเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยเฉพาะกิจกรรมการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังของเรือสินค้าจะมีการฟุ้งกระจายของแป้งมันสำปะหลังทำให้มีเศษฝุ่นแป้งฟุ้งกระจายจำนวนมาก ย่อมเกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณอ่าวศรีราชาได้

การศึกษาวินิจฉัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นต่อคุณภาพน้ำทะเล และดินตะกอนในบริเวณที่มีกิจกรรมการขนส่งแป้งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ในเชิงฤดูกาลและพื้นที่ ซึ่งผลจากการศึกษาวินิจฉัยจะเป็นข้อมูลสำหรับการจัดการมลพิษที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการขนส่งสินค้าในบริเวณนี้ และนำไปสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมทางทะเลอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทะเล และดินตะกอน ในเชิงฤดูกาลบริเวณพื้นที่ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

2. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทะเล และดินตะกอน เชิงพื้นที่บริเวณพื้นที่ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

3. เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของมวลสารจากการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง บริเวณพื้นที่ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. มีการสะสมสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในน้ำและดินตะกอน บริเวณพื้นที่ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง มากกว่าพื้นที่ภายนอกจุดขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

2. ปริมาณสารอินทรีย์ ในน้ำทะเลและดินตะกอน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอน บริเวณพื้นที่ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับการศึกษา

1. สามารถประเมินผลกระทบเบื้องต้นจากกิจกรรมการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังต่อคุณภาพน้ำและดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

2. สามารถนำข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอนที่ได้จากการวิเคราะห์ ไปทำนายการเคลื่อนตัวของมวลสาร บริเวณพื้นที่ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ในแต่ละฤดูกาล

3. เป็นโมเดลของการเคลื่อนตัวของมวลสารชนิดอื่นๆ ในสิ่งแวดล้อม

4. เป็นข้อมูลพื้นฐานให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรวมทั้งชุมชน นำมาใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์และรักษาสิ่งแวดล้อมทางทะเลอย่างยั่งยืนต่อไป

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาวิจัยอยู่ในบริเวณพื้นที่ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยทำการสำรวจ และเก็บตัวอย่างในพื้นที่ทั้งหมด 2 ครั้งในรอบปี คือ ในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างวันที่ 20-22 มีนาคม พ.ศ. 2563 และช่วงฤดูฝน ระหว่างวันที่ 1-3 สิงหาคม พ.ศ. 2563 กำหนดจุดเก็บตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ศึกษาจำนวนรวมทั้งสิ้น 16 สถานี

การเก็บข้อมูลเริ่มจากเก็บตัวอย่างน้ำทะเล และดินตะกอน เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำทะเล และดินตะกอน ในพื้นที่ศึกษา

น้ำทะเล นำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-เบส สารแขวนลอยในน้ำ แอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ออโรฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม คลอโรฟิลล์-เอ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และ สารอินทรีย์รวม

ดินตะกอน นำไปวิเคราะห์อนุภาคของดินตะกอน ปริมาณน้ำในดินตะกอน ความเป็นกรด-เบส แอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม สารอินทรีย์รวม ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน ธาตุไนโตรเจน และธาตุกำมะถัน

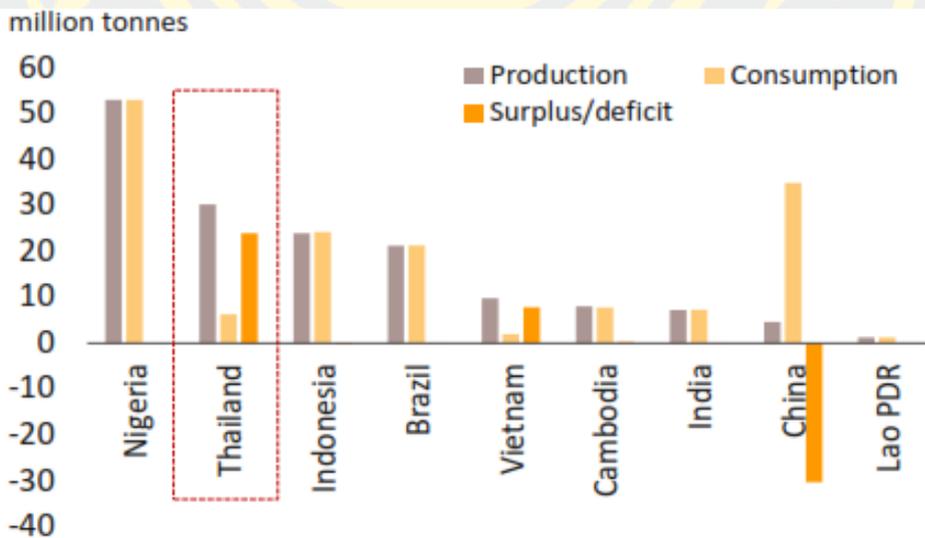


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลพื้นฐานของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งที่มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Manihot esculenta* Crantz มีชื่อสามัญเรียกหลายชื่อตามภาษาต่างๆ ที่ได้ยืมกันมากได้แก่ Cassava หรือ Tapioca แต่โดยทั่วไปคำว่า Tapioca มักจะใช้แทนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากมันสำปะหลังในภาษาสเปน โดยประเทศแถบอเมริกาใต้ และอเมริกากลางเรียกว่า Yuca ในภาษาโปรตุเกสโดยประเทศบราซิลเรียกว่า Mandioca และในภาษาฝรั่งเศสโดยประเทศในทวีปแอฟริกาที่ใช้ภาษาฝรั่งเศสเป็นภาษาพูดเรียกว่า Maniac (เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, 2532) มันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อน (Lowland tropics) เป็นพืชดั้งเดิมของชาวพื้นเมืองในเขตร้อนของทวีปอเมริกาตั้งแต่อเมริกากลาง คือตอนใต้ของประเทศเม็กซิโกลงไปถึงประเทศบราซิล ต่อมามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกในทวีปเอเชียระหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 17-18 โดยชาวโปรตุเกส ดัชท์ และสเปน และได้ขยายการปลูกไปยังประเทศต่างๆ ในทวีปเอเชีย ปัจจุบันมีประเทศที่ปลูกมันสำปะหลังมาก 5 อันดับแรกของโลก คือ ไนจีเรีย (20%) ไทย (11%) บราซิล (7%) อินโดนีเซีย (7%) และกาน่า (6%) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 Cassava Production and Consumption in Major Producing Countries

ที่มา : องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations ; FAO) ดัดแปลงโดย ส่วนงานวิจัยธนาคารกรุงศรีอยุธยา (2018)

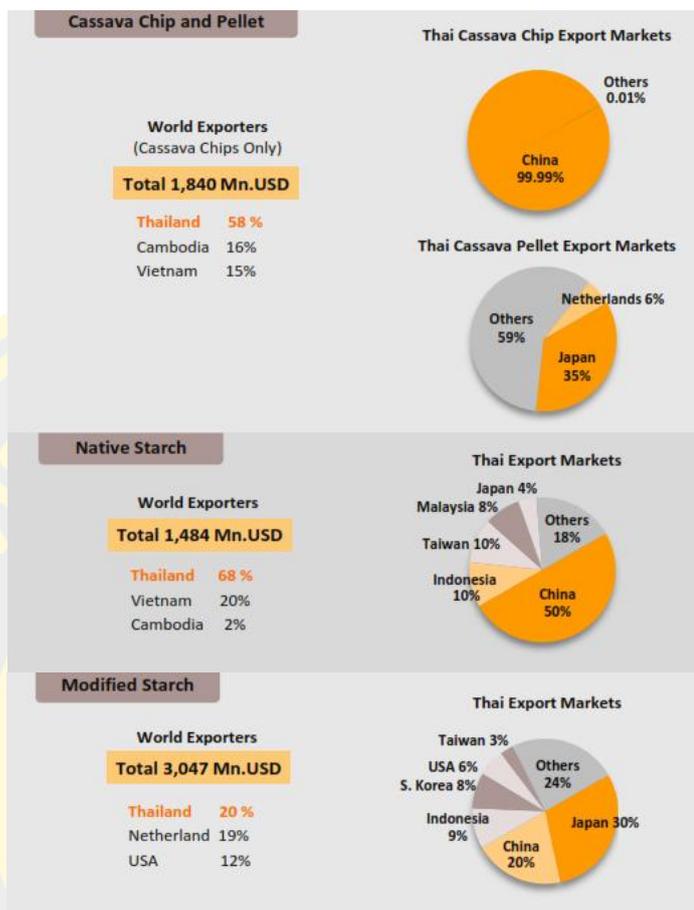
สำหรับการเพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยนั้นไม่มีหลักฐานปรากฏแน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังมาสู่ประเทศไทยเมื่อไร คาดว่าได้มีการนำมันสำปะหลังจากประเทศมาเลเซียเข้ามาปลูกในระยะเดียวกันกับการเข้าสู่ศรีลังกา และฟิลิปปินส์คือประมาณ พ.ศ.2329 - 2383 (दनัย ศุภอาหาร, 2537)

2.2 ความสำคัญของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชอาหารที่สำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพดข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อนโดยเฉพาะประเทศต่าง ๆ ในทวีปแอฟริกา และทวีปอเมริกาใต้ในทวีปเอเชีย ประเทศอินโดนีเซียและอินเดียมีการบริโภคมันสำปะหลังกันเป็นจำนวนมาก ปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละปีร้อยละ 60 ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ ร้อยละ 27.5 ใช้ทำเป็นอาหารสัตว์ และร้อยละ 12.5 ใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น การผลิตพลังงานทางเลือก

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทำรายได้ให้เกษตรกรไทยมากเป็นอันดับที่ 3 ในกลุ่มผลิตผลทางการเกษตรรองจากยางพาราและข้าว มูลค่าของผลผลิตที่เกษตรกรขายได้โดยมีมูลค่าการส่งออกในปี 2563 เท่ากับ 82,345,716,337 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563)

ประเทศไทยสามารถผลิตมันสำปะหลังได้มากเป็นอันดับ 2 ของโลก (ผลิตได้ร้อยละ 11 ของผลผลิตทั่วโลก) รองจากไนจีเรีย (ผลิตได้ร้อยละ 20 ของผลผลิตทั่วโลก) บราซิล(ผลิตได้ร้อยละ 7 ของผลผลิตทั่วโลก) และอินโดนีเซีย(ผลิตได้ร้อยละ 7 ของผลผลิตทั่วโลก) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) หัวมันสำปะหลังสดที่ผลิตได้ (ประมาณ 26-27 ล้านตันต่อปี) จะถูกนำไปใช้แปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง (แป้งดิบและแป้งแปรรูป) ประมาณร้อยละ 55 ส่วนที่เหลือจะนำไปผลิตเป็นมันเส้นและมันอัดเม็ดประมาณร้อยละ 45 และมีการนำไปใช้ผลิตเป็นเอทานอลเพียงเล็กน้อย (ประมาณไม่เกินร้อยละ 1) และเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากเป็นอันดับหนึ่งของโลกโดยมีส่วนแบ่งการตลาดมากกว่าร้อยละ 70 ในตลาดโลก แป้งมันสำปะหลังที่ผลิตขึ้นจะใช้บริโภคในประเทศเพียงประมาณร้อยละ 25 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 75 จะถูกส่งออกไปขายยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ตลาดที่สำคัญของแป้งมันสำปะหลังไทยคือ จีน ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย ไต้หวัน มาเลเซีย เนเธอร์แลนด์ สิงคโปร์ และฮ่องกง สำหรับมันเส้นและมันอัดเม็ดจะใช้บริโภคในประเทศประมาณร้อยละ 20 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 80 จะถูกส่งออกโดยมีตลาดที่สำคัญคือจีน (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2561) และแป้งมันสำปะหลังส่งไปขายในประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน จีน อินโดนีเซีย ในขณะที่แป้งมันสำปะหลัง ทำรายได้จากการส่งออกมากที่สุด รองลงมาคือ มันสำปะหลังเส้น และมันสำปะหลังอัดเม็ด (Chuasuwana, 2018) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 World Cassava Exporters & Thai Cassava Export Market by Type (2017)
ที่มา : กระทรวงพาณิชย์ (Ministry of Commerce ; MOC) ดัดแปลงโดย Chuasuwan (2018)

2.3 ลักษณะทั่วไป และลักษณะเด่นของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีลำต้นลักษณะคล้ายข้อเพราะจากก้านใบซึ่งแก่ร่วงหล่นไป สีของลำต้นบริเวณใกล้ยอดจะมีสีเขียวส่วนที่ต่ำลงจะมีสีแตกต่างกันไปตามลักษณะพันธุ์เช่นสีเงิน สีเหลือง สีน้ำตาล ใบมีก้าน ใบยาวติดกับลำต้น แผ่นใบเว้าเป็นแฉกมี 3-9 แฉก มันสำปะหลังมีดอกตัวผู้ และดอกตัวเมีย อยู่ในช่อเดียวกันแต่อยู่แยกคนละดอก ดอกตัวผู้มีขนาดเล็กอยู่บริเวณส่วนปลาย ของช่อดอก ส่วนดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าอยู่บริเวณส่วนโคนของช่อดอก ดอกตัวเมียจะบานก่อนดอกตัวผู้ประมาณอาทิตย์ การผสมเกสรจึงเป็นการผสมข้ามระหว่างต้นหลังจากปลูกลงแล้วประมาณ 2 เดือน รากจะเริ่มสะสมแป้งและมีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุเรียกว่า หัว จำนวนหัว รูปร่าง ขนาด และน้ำหนักแตกต่างกันไปตามพันธุ์ พันธุ์พื้นเมืองที่ใช้ปลูกในประเทศไทยเมื่ออายุประมาณ 1 ปี ยาวประมาณ 27.43.3 เซนติเมตรและกว้างประมาณ 4.6 -7.8 เซนติเมตร ใต้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ดี และมันสำปะหลังมี

อายุมากกว่า 1 ปีบางพันธุ์อาจให้หัวหน้าหลายสิบกิโลกรัม ส่วนต่าง ๆ ของมัน สำปะหลังมีกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษต่อมนุษย์ และสัตว์ประกอบอยู่ด้วย ส่วนใบและเปลือกมีสารนี้มากกว่าเนื้อสดและพันธุ์ต่างๆ ก็มีปริมาณสารนี้แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเวลาจะใช้เป็นอาหารควรใช้พันธุ์ห่านาที่เพราะมีกรดไฮโดรไซยานิกต่ำกว่า และก่อนจะบริโภคควรจะนำมันสำปะหลังมาปอกเปลือกหั่นหั่น เคี้ยว ย่าง ปิ้ง ต้มปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกจะลดลงจนถึงปริมาณซึ่งร่างกายมนุษย์สามารถเปลี่ยนกรดไฮโดรไซยานิกนี้เป็นสารอื่นที่ไม่เป็นอันตรายได้ หัวมันสำปะหลังสดส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำ 60-80 เปอร์เซ็นต์ แป้ง 20-40 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีนไม่ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ (ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์) ดังนั้น หัวมันสำปะหลังจึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานต่อร่างกายมนุษย์และสัตว์ที่ดี (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มขนาดเล็กและมีอายุอยู่ได้หลายปีเมื่ออายุประมาณ 2 เดือน รากจะค่อยๆ สะสมแป้งทำให้รากมีขนาดโตขึ้นเรียกว่าหัว โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวหัวพืชนี้เมื่ออายุได้ประมาณ 1 ปี ระยะเวลาที่ต้นมันสำปะหลังจะมีความสูงประมาณ 2-3 เมตร มันสำปะหลังเป็นพืชหนึ่งที่มีคุณสมบัติปลูกง่ายมีความต้องการในตลาดสูงมีราคาดีและมีปัญหาเรื่อง โรคและแมลงศัตรูน้อยและยังมีลักษณะเด่นอีกหลายอย่าง คือสามารถขึ้นได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ใช้ปลูกพืชไร่ชนิดอื่นไม่ได้ผล แต่ก็ยังสามารถปลูกมันสำปะหลังได้ นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี หลังจากมันสำปะหลังตั้งหัวแล้วแม้จะไม่ฝนตกติดต่อกันระยะยาวนานเป็นเดือนมัน สำปะหลังก็ไม่ตายแต่ต้นจะทิ้งใบและหยุดการเจริญเติบโตได้ฝนก็จะลำเลียงแป้งจากหัวมา สร้างยอดและใบเจริญเติบโตต่อไป เกษตรกรจะเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุประมาณ 6-12 เดือนหรือนานกว่านี้ ยิ่งทิ้งไว้นาน ๆ ผลผลิตก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นเมื่อราคาไม่ดีหรือไม่มีแรงงานจะขุดหัวก็รื้อต่อไปได้ไม่เหมือนพืชไร่ชนิดอื่น ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้เกษตรกรนิยมปลูกมันสำปะหลังกันอย่างแพร่หลาย

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์

หัวมันสำปะหลังเป็นส่วนของรากที่โตขึ้นสำหรับสะสมแป้ง หัวมันสำปะหลังสดมีน้ำอยู่ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ และส่วนประกอบส่วนใหญ่คือแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นหัวมันสำปะหลังจึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานในอาหารของคนและสัตว์ แต่มีปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยมากไม่เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งของโปรตีนและไขมัน การนำหัวมันสำปะหลังไปใช้หมักจะทำให้แห้งเพื่อลดความชื้นลงเสียก่อนเช่นมันเส้น มันอัดเม็ดหรือสกัดเฉพาะส่วนของแป้งออกจากหัวมันสำปะหลัง ส่วนประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังสด มันสำปะหลังแห้ง และแป้งมันสำปะหลัง (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่าเมื่อทำให้หัวมันสำปะหลังแห้งมีความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์จะมีคาร์โบไฮเดรต 70 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 2.63 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 0.51 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังสด และแห้ง

ส่วนประกอบ	หัวมันสด	หัวมันแห้ง
ความชื้น (%)	63.25	10.63
คาร์โบไฮเดรต (%)	29.73	70.63
โปรตีน (%)	1.18	2.63
ไขมัน (%)	0.08	0.51
เถ้า (%)	0.85	2.20
เยื่อใย (%)	0.99	1.73
โปตัสเซียม (mg/kg)	0.26	0.43
ฟอสฟอรัส (mg/kg)	0.04	0.08
กรดไฮโดรไซยานิค (ppm)	173	100

ผลิตภัณฑ์สำคัญจากมันสำปะหลังชนิดหนึ่ง คือ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นแป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ลักษณะของแป้งจะมีสีขาว เนื้อเนียน ลื่นเป็นมัน เมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำไฟอ่อนปานกลาง แป้งจะละลายง่าย สุกง่าย แป้งเหนียว ทึดภาชนะ หนืดขึ้นเรื่อยๆ ไม่มีการรวมตัวเป็นก้อน เหนียวเป็นใยติดกันหมด เนื้อแป้งใสเป็นเงา พอเย็นแล้วจะติดกันเป็นก้อนเหนียวทึดภาชนะ โดยปกติแล้วหัวมันสำปะหลังสดจะมีแป้งเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20 แป้งมันสำปะหลังที่สกัดจากหัวมันสำปะหลัง และไม่มีการเปลี่ยนแปลง รูปจะเรียกว่า แป้งดิบ (Tapioca starch, Native starch)

แป้งดิบ คือ แป้งที่สกัดเอาเยื่อใยออกแล้วนำไปใช้เป็นอาหารมนุษย์ อาหารทารก และเป็นเครื่องปรุงอาหารหลายชนิด ใช้ทำเบียร์ ทำวุ้นเส้น และใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นตัวทำให้สารติดแน่น คงรูปร่าง ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมชกักรีด อุตสาหกรรมทำกระดาษ แป้งเปียก แอลกอฮอล์ อะซิโตน ยา กลูโคส และแป้งแปรรูป โดยสามารถแบ่งตามลักษณะการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

- แป้งดิบ หรือแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native starch) คือ แป้งที่เกิดจากการนำหัวมันสำปะหลังไปผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต้น คือ กระบวนการโมเพื่อให้น้ำแป้ง กระบวนการแยกน้ำและ อบแห้งและตีให้แตกตัวเป็นแป้งจนกระทั่งได้ผลผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบ ถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิต กรดอินทรีย์ สาชู สารให้ความหวาน ตลอดจนการนำไปแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังแปรรูปต่อไป

- แป้งมันสำปะหลังแปรรูป (Modify starch) คือ แป้งที่เกิดจากการนำแป้งมันสำปะหลังดิบไปผ่านกระบวนการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางโมเลกุลเพื่อให้มีคุณสมบัติเฉพาะ เหมาะ

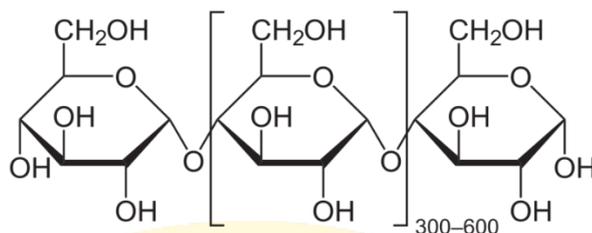
กับการใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นตัวช่วยเพิ่มความกรอบในการผลิตอาหารขบเคี้ยว ในอุตสาหกรรมยาใช้เป็นตัวเจือจางในประเภทแคปซูลและยาเม็ด และใช้เป็นสารให้ความหวาน เช่น การผลิตผงชูรส กลูโคสและฟรักโทส ส่วนในอุตสาหกรรมกระดาษ ใช้แป้งมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มความเหนียว ความหนาและขัดมันหน้ากระดาษและอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้แป้งมันสำปะหลังชุบเส้นด้าย เพื่อให้ด้ายลื่นเรียบ และยืดหยุ่นมากขึ้น ปัจจุบันยังมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยนำแป้งมันสำปะหลังมาผลิตวัตถุดิบในการผลิตจาน ชาม และบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ทดแทนพลาสติก ซึ่งบรรจุภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยปกติการผลิตแป้งมันสำปะหลังแปรรูปใช้อัตราส่วนแป้งดิบ 1 กิโลกรัมต่อแป้งแปรรูป 0.93 กิโลกรัม

แป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ มีหน่วยพื้นฐานเป็น anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี anomeric carbon ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ

ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดของโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 3 และอะไมโลเพคติน ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมาย ทั้งแสดงในภาพที่ 4 นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสแต่เล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า "Intermediate material" แต่พบในปริมาณไม่มากนัก อะไมโลส และอะไมโลเพคติน มีสมบัติที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

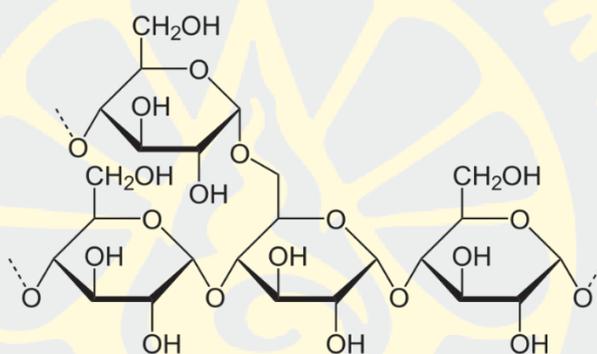
ตารางที่ 2 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -1,4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะ α -1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง



ภาพที่ 3 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : สุทธิณี สีสังข์ (2563)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน

ที่มา : สุทธิณี สีสังข์ (2563)

2.5 การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

ประเทศไทยส่งออกมันสำปะหลังหลากหลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูปกลุ่มสินค้า เช่น หัวมันสำปะหลังสด มันสำปะหลังเส้น มันสำปะหลังอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ทั้งนี้ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในปี พ.ศ. 2563 (ม.ค.-พ.ค.) มีมูลค่าการส่งออก 37,628.08 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2564 มีมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเท่ากับ 51,345.46 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี 2563 คิดเป็นร้อยละ 36.46 โดยตลาดส่งออกสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน เกาหลีใต้ และสหรัฐอเมริกา (ชัยวัช โสวเจริญสุข, 2563) แสดงรายละเอียดของสินค้าน้ำมันสำปะหลังจำแนกตามลักษณะการส่งออก ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดของสินค้ามันสำปะหลังจำแนกตามลักษณะการส่งออก

กลุ่มสินค้า	สินค้า
มันสำปะหลังเส้นและอัดเม็ด	มันสำปะหลังเส้น
	มันสำปะหลังอัดเม็ด
แป้งมันสำปะหลัง	แป้งมันสำปะหลัง
	แป้งหยาบทำจากมันสำปะหลัง
	สตาร์ชทำจากมันสำปะหลัง
	เด็กตรินและโมดิไฟด์สตาร์ชอื่น ๆ
ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังอื่นๆ	หัวมันสำปะหลัง
	สาकुทำจากมันสำปะหลัง
	เศษมันสำปะหลัง

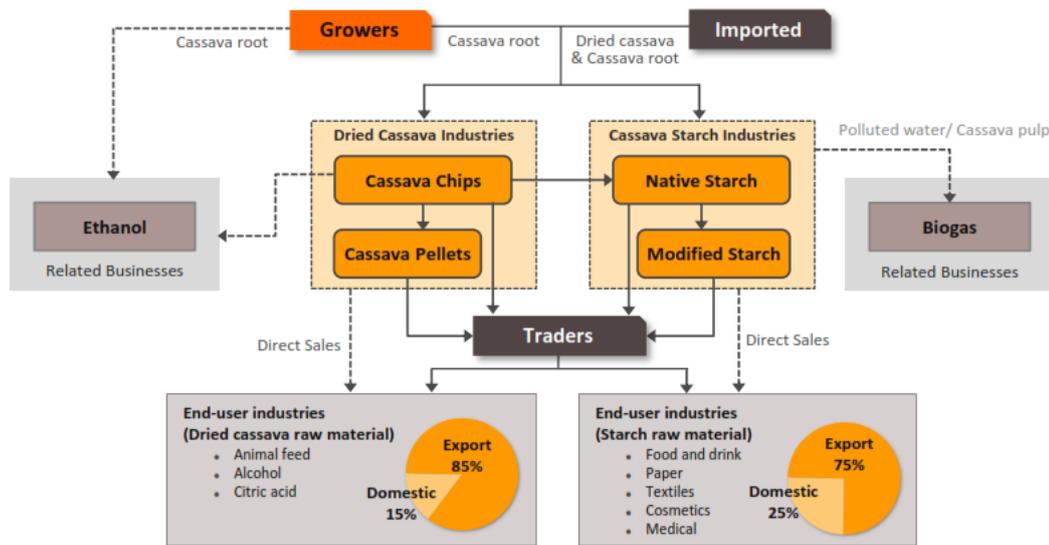
ที่มา : ดัดแปลงจาก กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ (2563) และกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ (2564)

จากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง กรมศุลกากรได้จัดกลุ่มมันสำปะหลังตามลักษณะการส่งออก Harmonized System และจากรายงานตัวชี้วัดเศรษฐกิจการเกษตรของสำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2552 ได้แบ่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังตามลักษณะการส่งออก เป็น 4 ประเภท คือ

1. แป้งมันสำปะหลัง
2. มันสำปะหลังทำฝอยเป็นชิ้นฝอย
3. มันสำปะหลังอัดเม็ด
4. มันสำปะหลังอื่น ๆ และผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลจากกระทรวงพาณิชย์ (2561) อ้างถึงใน Chuasuwan (2018) ได้จำแนกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังในประเทศไทย ออกเป็น 2 ประเภท (ภาพที่ 5) ตามคุณลักษณะดังนี้

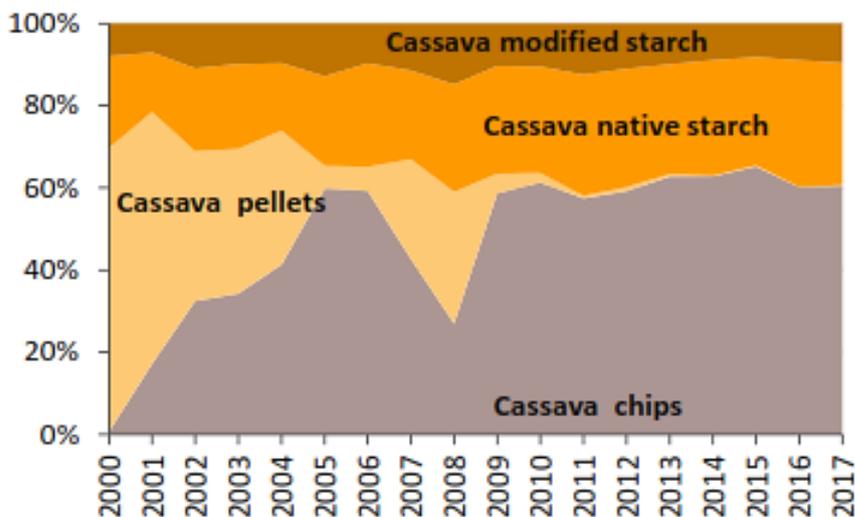
1. มันสำปะหลังอบแห้ง (Dried Cassava) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ มันสำปะหลังอัดเม็ด (Cassava pellets) และมันสำปะหลังเส้น (Cassava chips) มันสำปะหลังประเภทนี้มีผลผลิตประมาณ 8-9 ล้านตันต่อปี คิดเป็น 85% ของผลผลิตมันสำปะหลังในประเทศ
2. แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) แบ่งออกเป็น แป้งมันสำปะหลังดิบ (Native starch) และแป้งมันสำปะหลังแปรรูป (Modify starch) มันสำปะหลังประเภทนี้มีผลผลิตประมาณ 5-6 ล้านตันต่อปี โดย ¼ ของผลผลิตบริโภคภายในประเทศ ส่วน ¾ ของผลผลิตส่งขายนอกประเทศ



ภาพที่ 5 Thai Cassava Sector Structure

ที่มา : กระทรวงพาณิชย์ (Ministry of Commerce ; MOC), สถาบันอาหาร (National Food Institute ; NFI) ดัดแปลงโดย Chuasuwan (2018)

สำหรับตลาดส่งออกมันสำปะหลัง และผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ในปี 2560 ประเทศไทยได้ส่งออกมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์รวมทั้งสิ้น 9.56 ล้านตันไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก คิดเป็นมูลค่าการส่งออกรวม 72,062.30 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทั้งหมดนี้ ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการส่งออกมากที่สุด ได้แก่ มันสำปะหลังเส้นคิดเป็นร้อยละ 57 รองลงมาคือ แป้งมันสำปะหลังดิบ ร้อยละ 28 แป้งมันสำปะหลังแปรรูปคิดเป็นร้อยละ 9 และแป้งมันสำปะหลังอัดเม็ด คิดเป็นร้อยละ 1 (ภาพที่ 6)

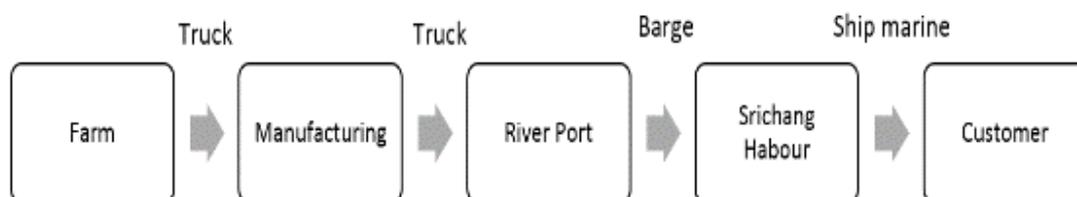


ภาพที่ 6 Thai Exports of Cassava Products (By Volume)

ที่มา : กระทรวงพาณิชย์ (Ministry of Commerce ; MOC) ดัดแปลงโดย Chuasuwan (2018)

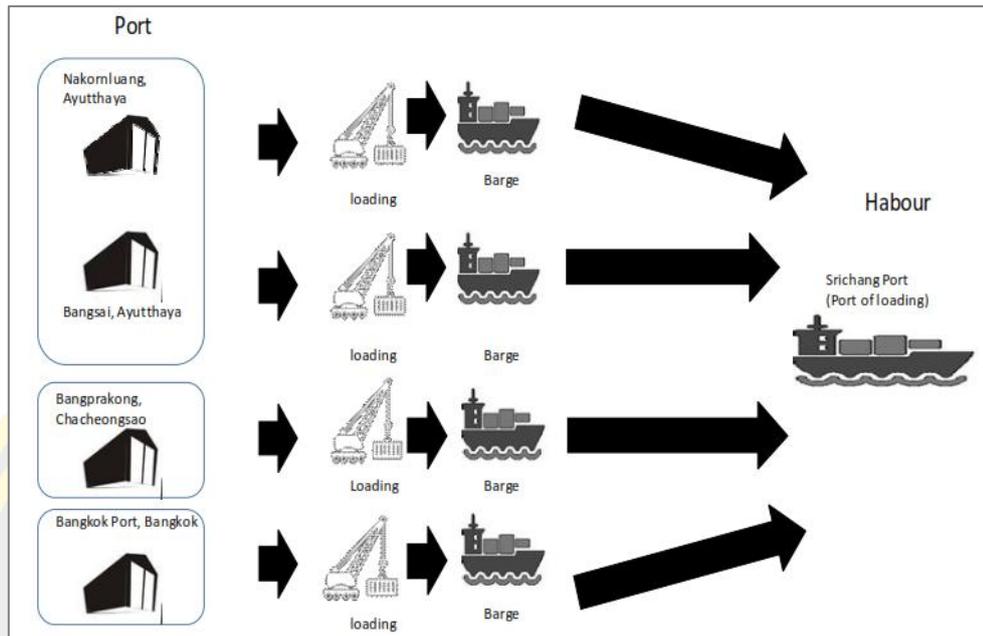
2.6 การขนส่งสินค้า และผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทางทะเล

การขนส่งสินค้าทางทะเลในปัจจุบันใช้เรือบรรทุกสินค้าที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถบรรทุกสินค้าได้ในปริมาณมาก เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งเรือบรรทุกสินค้าที่มีขนาดตั้งแต่ 20,000–120,000 ตัน ประมาณ 2,000 ลำต่อปี จะไม่สามารถเข้าจอดที่ท่าเรือได้ จึงต้องทำการขนถ่ายสินค้าในบริเวณนอกชายฝั่ง โดยใช้วิธีขนถ่ายขึ้นเรือใหญ่ในหลายรูปแบบ ส่วนใหญ่เอาเรือขนาดเล็กหรือโป๊ะมาเทียบถ่ายสินค้าไปยังเรือใหญ่อีกครั้ง โดยใช้สายพานลำเลียงขึ้นเรือใหญ่หรือใช้ปั้นจั่นตักแล้วยกขึ้นเทลงระวาง (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) ทำให้มีปัญหาการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองออกสู่บรรยากาศและตกเป็นตะกอนสะสมใต้พื้นทะเล โดยสินค้าที่มีการขนถ่ายกลางทะเล มีหลายประเภท เช่น ปูนซีเมนต์ ถ่านหิน ข้าวสาร ปุ๋ยเคมี เป็นต้น ส่วนสินค้าที่มีฝุ่นละอองฟุ้งกระจายเกิดขึ้นในขณะที่มีการขนถ่ายค่อนข้างมาก เช่น ปูนซีเมนต์ และแป้งมันสำปะหลังที่มีทั้งในรูปแบบแป้งมัน มันเส้น และมันอัดเม็ด เป็นต้น ซึ่งพบว่าพื้นที่ระหว่างอ่าวศรีราชากับเกาะสีชังเป็นพื้นที่ที่มีการขนถ่ายสินค้าระหว่างเรือเป็นจำนวนมาก มีการศึกษาวิจัยของ Timaboot et al. (2015) ที่ศึกษารูปแบบการขนส่งมันสำปะหลังเส้น ในประเทศไทยพบว่า เส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศไทย จะเริ่มจากการขนส่งหัวมันสำปะหลังสดจากพื้นที่เพาะปลูก เข้าสู่โรงงานแปรรูปโดยการคมนาคมทางบก จากนั้นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากโรงงานจะถูกขนส่งต่อทางเรือ Barge หรือ เรือโป๊ะ จากนั้นจะมีการขนถ่ายสินค้าออกนอกประเทศโดยการขนส่งทางเรือสินค้าบริเวณเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี (ภาพที่ 7 และ 8) โดยมีเส้นทางการขนส่งจากแหล่งผลิต แสดงดังภาพที่ 9

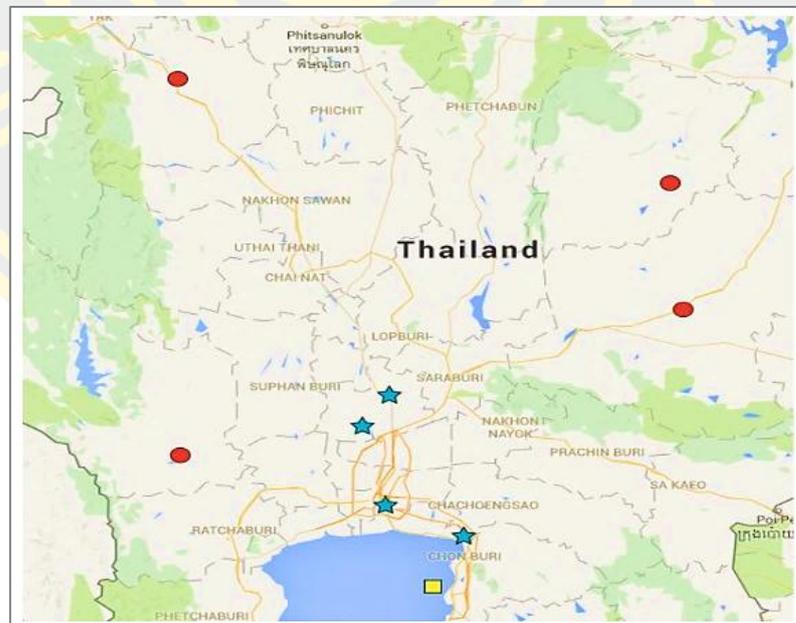


ภาพที่ 7 Supply chain of exported tapioca chip products to International market

ที่มา : Timaboot et al. (2015)



ภาพที่ 8 Transportation Network of Tapioca Chip from the river International Conference, Paris, France, 11th port to harbor port
ที่มา : Timaboot et al. (2015)



ภาพที่ 9 Tapioca Production Plant in Thailand (circle dot); Riverport along Chao Phraya River (star mark); Srichang Harbor Port (square shape)

ที่มา : Timaboot et al. (2015)

เขตท่าเรือศรีราชาและเกาะสีชังตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกซึ่งเป็นชายฝั่งที่มีปริมาณการขนส่งทางทะเลสูงเป็นอันดับ 1 ของประเทศ สินค้าที่มีการขนถ่ายทางทะเลบริเวณเกาะสีชังมี 2 ประเภท ได้แก่

1) สินค้าประเภทเทกอง (Bulk) ได้แก่

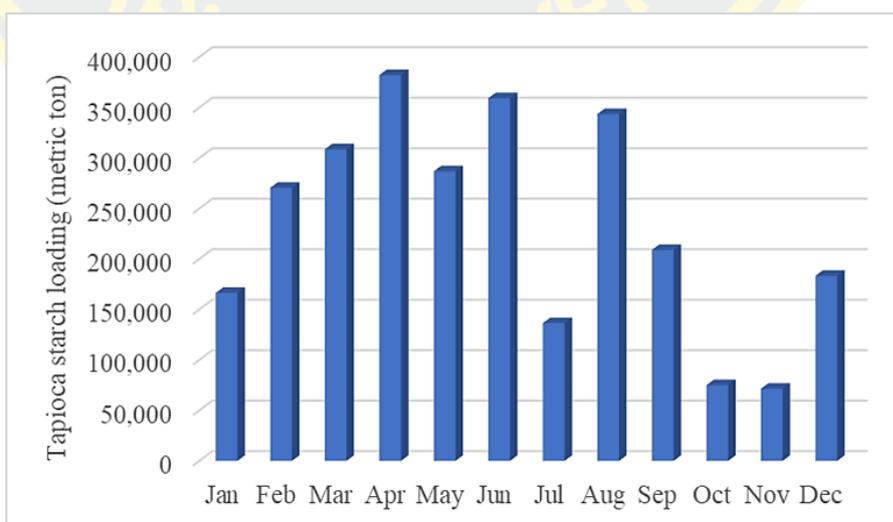
- สินค้าส่งออก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ที่มีทั้งในรูปแบบแป้งมัน มันเส้น และมันอัดเม็ด

- สินค้านำเข้า ได้แก่ ถ่านหิน ปุ๋ยเคมี ถั่วเหลือง และโซดาแอส

2) สินค้าประเภทบรรจุหีบห่อ (Bag) (ที่ใช้แรงงานขนถ่าย) ได้แก่

- สินค้าประเภทน้ำตาล ข้าวสาร ข้าวโพด และแป้งมัน

ปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังที่ทำทอดสมอเรือเกาะสีชังในปี พ.ศ. 2556-2557 อยู่ในช่วง 370,477.69-1,456,911.26 ตัน และมีการขนส่งแป้งมันสำปะหลังมากที่สุดในเดือนมกราคม (ด้านศุลกากรเกาะสีชัง, 2557 อ้างถึงโดย กรมควบคุมมลพิษ, 2557) สำหรับ ในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณการขนส่งแป้งมันสำปะหลังในเดือนมกราคมน้อยที่สุด ประมาณ 150,000 เมตริกตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม โดยมีปริมาณมากกว่า 250,000 เมตริกตัน ซึ่งพบว่าการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณสูงสุดในเดือนเมษายนประมาณ 400,000 เมตริกตัน และยังมีปริมาณการขนส่งสูงอย่างต่อเนื่องในเดือนพฤษภาคม และมีถุนายน ประมาณ 350,000 เมตริกตัน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ปริมาณการขนส่งแป้งมันสำปะหลังบริเวณท่าทอดสมอเรือเกาะสีชัง พ.ศ. 2563

ที่มา : สำนักงานท่าเรือแหลมฉบัง (2567, 27 สิงหาคม)

2.7 ผลกระทบจากการขนส่งมันสำปะหลังต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล

มีการศึกษาผลกระทบจากการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศทางทะเล บริเวณเกาะสีชัง-ศรีราชาโดย สมภพ รุ่งสุภา (2558) พบว่า การขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เช่น มันอัดเม็ดและมันเส้นบริเวณระหว่างศรีราชาถึงเกาะสีชัง ที่มีการดำเนินการมากกว่า 20 ปี ทำให้เกิดฝุ่นละอองในบริเวณขนถ่ายแล้วยังกระจายไปถึงเกาะสีชังในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และชายฝั่งศรีราชาในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลต่อปัญหาด้านสุขภาพอนามัยและสาธารณสุขต่อประชาชนทั้งในเกาะสีชัง และอำเภอศรีราชาเป็นอย่างมาก โดยในช่วงระยะ 5 ปีที่ผ่านมา พบว่ามีการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจากแพลงก์ตอนพืชหลายกลุ่มที่มีจำนวนมากมายมหาศาลในเวลาสั้นๆ น้ำทะเลบริเวณที่เกิด เปลี่ยนเป็นสีเขียว จาก *Noctiluca scintillas* หรือ สีน้ำตาลถึงน้ำตาลแดง จาก *Chaetoceros* sp หรือ *Ceratium furca* ซึ่งใน พ.ศ.2553 พบว่ามีไดโนแฟลกเจลเลตกลุ่ม *Prorocentrum* sp. เพิ่มจำนวนขึ้น ซึ่งทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลือง และปรากฏขึ้นบ่อยครั้งบริเวณเกาะสีชัง อย่างไรก็ตามผลกระทบของฝุ่นละอองจากผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังต่อคุณภาพน้ำ ตะกอนดินและสัตว์หน้าดิน มีการศึกษาน้อย มีเพียงแต่การคาดการณ์ว่า การที่มีการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นเวลานานในสถานที่เดิมย่อมมีน้ำจะมีผลต่อคุณภาพน้ำ คุณภาพตะกอนดินที่อยู่ใกล้เคียง และตะกอนดินน่าจะมีผลกระทบมากกว่าคุณภาพน้ำทะเลที่มีการไหลถ่ายเทได้ดีกว่า การขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังของเรือสินค้าจะมีการฟุ้งกระจายของแป้งมันสำปะหลังทำให้มีเศษฝุ่นแป้งฟุ้งกระจายจำนวนมาก จนบริเวณนั้นมีลักษณะเป็นหมอกควันสีขาว (ภาพที่ 11) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ได้แก่คุณภาพน้ำทะเล ตะกอนดิน แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน ตลอดจนสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อยู่ในอิทธิพลการฟุ้งกระจายของฝุ่นมันสำปะหลังดังกล่าว ทั้งบริเวณชายฝั่งศรีราชาและเกาะสีชัง



ภาพที่ 11 การขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
ที่มา : ไทยรัฐ (2560)

การศึกษาเกี่ยวกับผลของฝุ่นแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและนิเวศทางทะเล
ในบริเวณนี้ยังไม่ครอบคลุมและมีผลที่ชัดเจนเพียงพอ โดยเฉพาะในเรื่องคุณภาพน้ำและคุณภาพดิน
ตะกอน

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำ และดินตะกอนท ในพื้นที่ที่มีการขนถ่ายสินค้าทางการเกษตร
บริเวณเกาะสีชัง และนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ในหลายปีที่ผ่านมา มีดังนี้

ในปี พ.ศ. 2549 สุรียัน ธัญกิจจานุกิจ และคณะ (2549) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำทะเลบริเวณ
ระหว่างเกาะสีชังถึงศรีราชา พบว่าคุณภาพน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ๆ ที่มีกิจกรรมการขนถ่ายมัน
สำปะหลังและสินค้าอื่นๆ ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชังและเกาะขามใหญ่ และ
บริเวณทิศเหนือถึงทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเกาะสีชัง ที่คาดว่าอาจได้รับผลกระทบจากกิจกรรมการขน
ถ่ายมันสำปะหลังและสินค้าอื่นๆ โดยกำหนดจุดอ้างอิงทางทิศใต้ของเกาะสีชัง พบว่าคุณภาพน้ำทะเล
ไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 คุณภาพน้ำทะเลบริเวณเกาะสีชังถึงศรีราชาในเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2549

พารามิเตอร์	ค่า
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.36-29.98
ความเป็นกรด-เบส (pH)	6.84-8.05
ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	30.82-36.65
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.76-5.80
ความลึกของน้ำทะเล (เมตร)	8-27
ความขุ่นใสของน้ำทะเล (เอ็นทียู)	0.42-6.56
ความโปร่งแสงของน้ำทะเล (เมตร)	1.5-7.5
ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.006-0.251
ปริมาณไนไตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.000-0.007
ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.000-0.011
ค่าBOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.2-5.45
ค่าCOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	62.30-103.50
ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	0.000-0.801
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	2,112-3,093
ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	10.23-18.57

ที่มา : สุริยัน ธีฎกิจจานุกิจ และคณะ (2549)

คุณภาพน้ำทะเลบริเวณเกาะสีชัง พ.ศ. 2554 หน้าสถานีวิจัยฯ และท่าภาณุรังษีสื่ออยู่ในเกณฑ์ดี สถานีเกาะสีชัง (ท่าเทววงษ์) ศรีราชา (เกาะลอย) และอ่าวอุดม (สะพานปลา) อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2554 คุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชัง ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนียรวม ปริมาณไนเตรท ปริมาณ ฟอสเฟต ปริมาณซิลิเกต มีค่าเฉลี่ยและค่าต่ำสุด-สูงสุด ได้แก่ 29.2-29.7 °C, 29.0-29.4 PSU, 4.2-4.4 mg/L, 8.1 (8.0-8.3), 2.14-2.56 µM, 1.19-1.42 µM, 1.43-1.70 µM และ 16.44-22.76 µM (สมภพ รุ่งสุภา, 2556) ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 คุณภาพน้ำทะเลส่วนใหญ่ อยู่ในสภาพปกติ นอกจากระหว่างเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม ที่มีน้ำจืดไหลออกจากแม่น้ำสายหลักลงสู่อ่าวไทยตอนใน เนื่องจากเกิดน้ำท่วมใหญ่ในที่ราบภาคกลาง ทำให้น้ำทะเลรอบเกาะสีชังมีความเค็ม

ลดลงต่ำสุดเท่ากับ 18 PSU ในเดือนกันยายน และกลับสู่สภาพปกติที่ความเค็ม 32.2-32.8 PSU ในเดือนพฤศจิกายน นอกจากคุณภาพน้ำทะเลบางประการ ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียรวม ฟอสเฟต และ ซิลิเกต ที่มีค่าผิดปกติ (สมภพ รุ่งสุภา, 2554)

คุณภาพน้ำทะเลบริเวณเกาะสีชัง พ.ศ. 2555 พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.0-31.4 °C อุณหภูมิมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม และมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน ความเค็มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.2-32.6 PSU ความเค็มมีค่าต่ำสุดในเดือนกันยายน และมีค่าสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน ความเค็มพบว่ามีค่าลดลงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน โดยมีค่าความเค็มระหว่าง 21.2-27.7 PSU ความเค็มรอบเกาะสีชังเพิ่มขึ้นจนอยู่ในระดับปกติในเดือนตุลาคม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.3 PSU ปริมาณออกซิเจนละลายมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.7-7.4 mg/L และมีค่าต่ำสุดในเดือนตุลาคม ปริมาณแอมโมเนียรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงน้อยกว่า 1.5 μM มีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม ปริมาณไนเตรทมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.1-4.8 μM มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม ปริมาณฟอสเฟตมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.22-1.62 μM มีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม และปริมาณ ซิลิเกตมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.27-28.19 μM (สมภพ รุ่งสุภา, 2555)

ในปี 2555 กรมควบคุมมลพิษได้รายงานคุณภาพน้ำทะเลบริเวณท่าเทววงษ์ เกาะสีชัง (ระยะห่างจากฝั่ง 100 ม.) ท่าภาณุรังสี เกาะสีชัง (ระยะห่างจากฝั่ง 100 ม.) สวนสาธารณะเกาะลอย ศรีราชา (ระยะห่างจากฝั่ง 500 ม.) คุณภาพน้ำทะเลเฉพาะบริเวณท่าเทววงษ์ และท่าภาณุรังสี เกาะสีชัง เปลี่ยนจากคุณภาพน้ำทะเลระดับดี ในปีที่ผ่านมา เป็นระดับพอใช้ (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 (ชลบุรี); กรมควบคุมมลพิษ, 2555; กรมควบคุมมลพิษ, 2556) จากข้อมูลคุณภาพน้ำทะเลบริเวณดังกล่าวระหว่าง พ.ศ. 2554-2556 พบค่าสารแขวนลอย ปริมาณไนเตรท ฟอสเฟต แอมโมเนีย ปริมาณแบคทีเรียรวม และฟิโคลโคลิฟอร์ม เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มลดลงและต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานต้องไม่น้อยกว่า 4.0 mg/L) คุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งบริเวณเกาะลอย ศรีราชา (สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล, 2557) ระหว่าง พ.ศ. 2554-2556 แสดงแนวโน้มความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำทะเล โดยเฉพาะปริมาณแบคทีเรียรวม และปริมาณฟิโคลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำทะเลที่สำคัญอยู่ในระดับมาตรฐานไม่ต่ำกว่า 4.0 mg/L ทั้งนี้มีข้อน่าสังเกตที่สำคัญ คือ ความเค็มน้ำทะเลมีค่าต่ำสุดระหว่าง พ.ศ. 2554-2556 ระหว่าง 9.0-20.0 PSU โดยจะลดลง ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม แสดงว่า มีน้ำทะเลความเค็มต่ำหรือน้ำจืดจากแม่น้ำบางปะกงไหลมาถึงบริเวณเกาะลอย ศรีราชา ซึ่งจะมีส่วนทำให้คุณภาพน้ำทะเล เช่น ปริมาณแบคทีเรียมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนเตรท ฟอสเฟต และ ซิลิเกต กลับไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนระหว่าง พ.ศ. 2554-2556

สำหรับคุณภาพดินตะกอนที่มีการศึกษาวิจัยในช่วงที่ผ่านมา พบว่า

1) ปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดิน (Total organic matter in sediment) (ตารางที่ 5)

สมถวิล จริตควร และวิภูษิต มันทะจิตร (2534) รายงานการเปลี่ยนแปลงรายเดือนของ ปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินหน้าท่าเรือแหลมฉบัง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2532 เฉลี่ยร้อยละ 12.39 (3.43-29.09) ธันวาคม พ.ศ. 2532 เฉลี่ยร้อยละ 9.83 (2.63-26.79) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533 เฉลี่ยร้อยละ 5.77 (1.60-15.62) เดือนเมษายน พ.ศ. 2533 เฉลี่ยร้อยละ 11.45 (2.42-40.07) เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2533 เฉลี่ยร้อยละ 7.04 (1.82-17.21) และเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2533 เฉลี่ยร้อยละ 14.64 (3.00-58.62) พบว่าปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปี ช่วงหนาว ต่อฤดูร้อนประมาณเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน มีค่าต่ำกว่าช่วงอื่นๆ

ระหว่าง พ.ศ. 2542-2545 ปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินบริเวณเกาะสีชัง-ศรีราชา- แหลมฉบัง ที่ไม่มีและมีการขนส่งทางทะเล มีค่าเฉลี่ยและค่าต่ำสุด-สูงสุด ในเดือนมกราคม และ ธันวาคม พ.ศ. 2542 เดือนมกราคม พ.ศ. 2545 และเดือนกันยายน พ.ศ. 2545 ดังนี้ ศรีราชา (ไม่มี การขนส่ง) ร้อยละ 2.32 (1.69-2.95) ร้อยละ 2.04 (1.66-2.42) ร้อยละ 1.34 (1.24-1.45) และร้อยละ 1.17 (0.96-1.38) เกาะสีชัง (ไม่มี การขนส่ง) ร้อยละ 2.20 (1.69-2.71) ร้อยละ 2.02 (1.87-2.18) ร้อย ละ 0.94 (0.80-1.09) และร้อยละ 1.67 (1.43-1.91) เกาะสีชัง (มีการขนส่ง) ร้อยละ 1.94 (1.61- 2.28) ร้อยละ 2.44 (1.87-3.02) ร้อยละ 1.16 (0.80-1.53) และร้อยละ 1.71 (1.52-1.91) และแหลม ฉบัง (มีการขนส่ง) ร้อยละ 3.36, ร้อยละ 2.15, ร้อยละ 1.32 และร้อยละ 1.26 ตามลำดับ สามารถ สรุปได้ว่าปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดิน บริเวณที่มีการขนส่งสูงกว่าไม่มีการขนส่งเล็กน้อย (สมภพ รุ่งสุภา, 2552)

การศึกษาในปี พ.ศ. 2549 ปริมาณสารอินทรีย์รวมบริเวณระหว่างเกาะสีชัง-ศรีราชาเดือน กุมภาพันธ์-เมษายน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 8.25-83.2 (สุริยัน ธัญกิจจานุกิจ และคณะ, 2549) จาก การศึกษาในปี 2550-2551 ปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินระหว่างศรีราชาและเกาะสีชัง ในบริเวณ ที่มีการขนถ่ายสินค้าอยู่ในช่วงร้อยละ 9.39 ± 1.13 ถึงร้อยละ 23.65 ± 1.34 บริเวณที่ไม่มีการขนถ่าย สินค้ามีค่าร้อยละ 7.18 ± 0.43 ถึงร้อยละ 16.91 ± 0.70 (อลงกต อินทรชาติ และคณะ, 2552)

พนมไพร วงษ์คลองเขื่อน (2553) เปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนดินชายฝั่ง ทะเลอ่าวศรีราชา เกาะสีชัง และเกาะใกล้เคียง ในปี 2553 พบว่าท่าเรือเกาะลอยศรีราชาปริมาณ อินทรีย์สารในตะกอนดินสูงกว่ารอบเกาะสีชังและเกาะใกล้เคียง มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.54 เทียบกับ บริเวณท่าวัง เกาะสีชัง ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 3.16 และเกาะร้านดอกไม้ ร้อยละ 4.18

ตารางที่ 5 สรุปปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน บริเวณที่มีและไม่มี การขนส่งทางทะเล ระหว่างเกาะ สีซัง-ศรีราชา-แหลมฉบัง พ.ศ. 2534-2553

พ.ศ.	ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน (ร้อยละ)		อ้างอิง
	มีการขนส่งทางทะเล	ไม่มีการขนส่ง	
2534	แหลมฉบัง : ต.ค. 2532: ร้อยละ 12.39 (3.43-29.09) ธ.ค. 2532: ร้อยละ 9.83 (2.63-26.79) ก.พ. 2533: ร้อยละ 5.77 (1.60-15.62) เม.ย. 2533: ร้อยละ 11.45 (2.42-40.07) มิ.ย. 2533: ร้อยละ 7.04 (1.82-17.21) ส.ค. 2533: ร้อยละ 14.64(3.00-58.62)		สมถวิล จรีตควร และ วิภูษิต มันทะจิตร (2534)
2542- 2545	เกาะสีซัง : ม.ค. 2542: ร้อยละ 1.94 (1.61-2.28) ธ.ค. 2542: ร้อยละ 2.44 (1.87-3.02) ม.ค. 2545: ร้อยละ 1.16 (0.80-1.53) ก.ย. 2545: ร้อยละ 1.71 (1.52-1.91) แหลมฉบัง : ม.ค. 2542: ร้อยละ 3.36 ธ.ค. 2542: ร้อยละ 2.15 ม.ค. 2545: ร้อยละ 1.32 ก.ย. 2545: ร้อยละ 1.26	ศรีราชา: ม.ค. 2542: ร้อยละ 2.32 (1.69-2.95) ธ.ค. 2542: ร้อยละ 2.04 (1.66-2.42) ม.ค. 2545: ร้อยละ 1.34 (1.24-1.45) ก.ย. 2545: ร้อยละ 1.17 (0.96-1.38) เกาะสีซัง : ม.ค. 2542: ร้อยละ 2.20 (1.69-2.71) ธ.ค. 2542: ร้อยละ 2.02 (1.87-2.18) ม.ค. 2545: ร้อยละ 0.94 (0.80-1.09) ก.ย. 2545: ร้อยละ 1.67 (1.43-1.91)	สมภาพ รุ่งสุภา (2552)
2549	เกาะสีซัง : ก.พ. 2549: ร้อยละ 24.21 (21.47-30.78) มี.ค.2549: ร้อยละ 13.08 (9.23-16.91) เม.ย. 2549: ร้อยละ 14.22 (8.34-18.23)	เกาะสีซัง : ก.พ. 2549: ร้อยละ 21.09 (19.52-22.37) มี.ค.2549: ร้อยละ 17.57 (16.60-18.12) เม.ย. 2549: ร้อยละ 17.66 (16.4-19.21)	สุริยัน ธัญกิจจานุกิจ และคณะ (2549)
2550- 2551	ระหว่างศรีราชาและเกาะสีซัง : ร้อยละ 9.39 ± 1.13 ถึง ร้อยละ 23.65 ± 1.34	ระหว่างศรีราชาและเกาะสีซัง ร้อยละ 7.18 ± 0.43 ถึง ร้อยละ 16.91 ± 0.70	อลงกต อินทชาติ และ คณะ (2551)
2553	ท่าเรือเกาะลอยศรีราชา : ร้อยละ 7.54	เกาะสีซังและเกาะบ้านดอไม้ : ร้อยละ 3.16 และ ร้อยละ 4.18 ตามลำดับ	พนมไพร วงศ์คลองเขื่อน (2553)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2557)

2) ปริมาณซัลไฟด์ในดินตะกอน (Acid Volatile Sulfide in sediment)

การศึกษาในปี 2549 ปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดิน บริเวณระหว่างเกาะสีชัง-ศรีราชา เดือนกุมภาพันธ์-เมษายน มีค่าอยู่ในช่วง 0.0001-0.3099 mg/g น้ำหนักดินแห้งซึ่งมีปริมาณสูงในบางสถานีและบางชั้นดินที่ระดับความลึกต่างๆ อยู่ในช่วงที่สูงกว่าที่รายงานโดยสุรียัน ัญญกิจจานุกิจ และคณะ (2549) อ้างถึงโดย กรมควบคุมมลพิษ (2557) (ตารางที่ 6) โดยมีรูปแบบเพิ่มขึ้นและลดลงที่ไม่แน่นอนเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้นไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการบอกถึงความสามารถในการรองรับการดูดซึมของสารอินทรีย์ที่เป็นของเสียลงสู่ดินตะกอนได้ สุรียัน ัญญกิจจานุกิจ และคณะ (2549) อ้างจาก Yokoyama (2003) ว่าดินตะกอนพื้นบ่อในบ่อเลี้ยงปลาที่มีค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่า 1.7 mg/g น้ำหนักดินแห้ง ซึ่งสามารถบ่งบอกสภาวะวิกฤตภายในสิ่งแวดล้อมของบ่อเลี้ยงปลาได้รวมทั้งค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินพื้นบ่อไม่ควรมีค่ามากกว่า 2.5 mg/g น้ำหนักดินแห้ง (สุรียัน ัญญกิจจานุกิจและคณะ, 2549 อ้างถึงโดย กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

ผลการศึกษาปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินบริเวณที่มีการขนถ่ายสินค้า ในปี 2551 มีค่าอยู่ในช่วง 0.0047 ± 0.0002 ถึง 0.2357 ± 0.0089 mg/g น้ำหนักดินแห้ง บริเวณที่ไม่มีการขนถ่ายสินค้า อยู่ในช่วง 0.0001 ± 0.0000 ถึง 0.1413 ± 0.0087 mg/g น้ำหนักดินแห้ง (อลงกต อินทรชาติและคณะ, 2551) ปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินปกติจะไม่พบบริเวณที่เป็นหาดทรายหรือพื้นที่ทะเลที่มีปริมาณอินทรีย์สารต่ำ โดยปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินพื้นที่อ่าวไทย ที่ระดับผิวดิน (0-2 cm) เฉลี่ยต่ำกว่า 0.001 mg/g น้ำหนักดินแห้ง (อลงกต อินทรชาติ และคณะ, 2552 อ้างถึงโดย Chareonpanich et al, 1998)

ตารางที่ 6 สรุปปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดิน (mg/g) บริเวณที่มีและไม่มี การขนส่งทางทะเลระหว่าง เกาะสีชัง- ศรีราชา-แหลมฉบัง พ.ศ. 2534-2553

พ.ศ.	ปริมาณซัลไฟด์ในดินตะกอน (mg/g)		อ้างอิง
	บริเวณที่มีการขนส่งทางทะเล	บริเวณที่ไม่มี การขนส่ง	
2549	เกาะสีชัง : ก.พ. 2549: 0.0731 (0.0239-0.1073) มี.ค.2549: 0.0418 (0.0083-0.0732) เม.ย. 2549: 0.1610 (0.0743-0.2825)	เกาะสีชัง : ก.พ. 2549: 0.0960 (0.0369-0.1359) มี.ค.2549: 0.1465 (0.0802-0.2195) เม.ย. 2549: 0.2463 (0.1935-0.3099)	สุรียัน ัญญกิจจานุกิจและคณะ (2549)
2550-2551	ระหว่างศรีราชาและเกาะสีชัง : 0.0047 ± 0.0002 ถึง 0.2357 ± 0.0089	ระหว่างศรีราชาและเกาะสีชัง : 0.0001 ± 0.0000 ถึง 0.1413 ± 0.0087	อลงกต อินทรชาติ และคณะ (2551)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2557)

จากผลการศึกษาผลกระทบจากการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพน้ำ และดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ.2557 พบว่า ปัญหาที่เกิดจากฝุ่นละอองในอากาศจากการขนถ่ายสินค้าขาเข้า-ขาออก (สินค้าเทกอง) ประเภทมันสำปะหลังจากเรือลำเลียงขึ้น-ลงเรือเดินทะเล ซึ่งการขนถ่ายสินค้าเทกอง เช่น มันสำปะหลัง (มันเส้น และมันอัดเม็ด) โดยใช้แกรบ จากเรือสินค้า ขึ้น-ลงเรือโปะะมีการปล่อยสินค้ากลางอากาศทำให้เกิดฝุ่นมากเมื่อสินค้าตกลงจากกลางอากาศสู่เรือเดินสมุทร ส่งผลต่อคุณภาพน้ำ ดังนี้ ค่าบีโอดีบริเวณจุดที่มีการจอด และขนถ่ายสินค้ามันสำปะหลัง มีค่าสูงกว่าจุดที่ไม่มีการขนถ่ายสินค้า ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนค่าออกซิเจนละลายน้ำในจุดที่มีการจอดและขนถ่ายสินค้ามันสำปะหลัง มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสำหรับปัญหาความเสื่อมโทรมของตะกอนดินพื้นทะเล พบว่า บริเวณจุดจอดเรือและขนถ่ายสินค้าทางเรือพบลักษณะพื้นทะเลมีสีดำ เป็นโคลนเหลว และมีกลิ่นเหม็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทุกฤดูกาล โดยปริมาณอินทรีย์สารและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตะกอนดิน ณ จุดจอดเรือและขนถ่ายสินค้าทางเรือ มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากจุดจอดเรือและขนถ่ายสินค้าทางเรือเป็นลักษณะแอ่งกระทะทำให้ของเสียจากฝุ่นละอองในอากาศ น้ำเสีย สิ่งปฏิกูลไหลมารวมกันและสะสมจนเกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของตะกอนดินพื้นทะเลทุกฤดูกาล เกิดการลดลงของสัตว์น้ำ และเกิดการตายของหอยแมลงภู่บริเวณใกล้จุดจอดเรือ และขนถ่ายสินค้าทางเรือ ปริมาณอินทรีย์สารในดินเป็นตัวชี้วัดขีดความสามารถในการรองรับทางนิเวศวิทยาตัวหนึ่งเนื่องจากการสะสมของตะกอนจากการขนส่งสินค้าโดยเฉพาะที่เป็นสารอินทรีย์จึงทำให้ตะกอนดินมีอินทรีย์สารปนเปื้อนสูงและมีกิจกรรมของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสูงด้วย ซึ่งส่งผลให้ออกซิเจนที่แทรกอยู่ระหว่างดินตะกอนลดต่ำลงและศักยภาพนำไฟฟ้าลดต่ำลง ดินมีสีและกลิ่นที่เปลี่ยนไปมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในบริเวณนั้น (อารยา สยามรัตน์กิจ และคณะ, 2564)

2.8 ผลกระทบของสารอินทรีย์ต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล

มันสำปะหลังสดส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำ 60-80 เปอร์เซ็นต์ แป้ง 20-40 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีนและไขมันไม่ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ (ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์) ดังนั้น หัวมันสำปะหลังจึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะผ่านกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติจนกระทั่งกลายเป็นสารอินทรีย์ปะปนอยู่ในแหล่งน้ำต่อไป

สารอินทรีย์ (Organic compounds) เป็นสารที่มีส่วนประกอบซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นสารที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ กล่าวคือสิ่งสกปรกที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ จะถูกระบายออกมาในรูปของสารอินทรีย์ ซึ่งจะมีผลทำให้จุลินทรีย์ในน้ำมีการใช้สารเหล่านี้เป็นอาหาร โดยในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำจะต้องใช้

ออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นตัวช่วย ดังนั้นแหล่งน้ำที่มีสารอินทรีย์ ในปริมาณที่สูงก็จะทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดการเน่าเสียได้ (ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์, 2547) อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) คือสิ่งที่ได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ซากพืช ซากสัตว์ สิ่งขับถ่ายของมนุษย์ และสัตว์ รวมไปถึงเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว มีความสำคัญในแง่ของการควบคุมคุณสมบัติของดิน ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ (อรรถ สมร่าง และคณะ, 2548)

การขนส่งแป้งมันสำปะหลังบริเวณเกาะสีชัง นอกชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ในทะเลจากกระบวนการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง รวมทั้งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังอื่นๆ ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะปนเปื้อนในแหล่งน้ำ และสะสมในตะกอนดิน (สมภพ รุ่งสุภา, 2558) ดินตะกอนในบริเวณใกล้ฝั่ง อาจมีสารอินทรีย์ใหม่ในปริมาณสูง แต่ในทะเลลึกที่ตะกอนสะสมอย่างช้าๆ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายไปโดยกระบวนการของจุลินทรีย์ภายในเวลาไม่ช้าหลังจากการตกตะกอน สารอินทรีย์ในทะเลมีความสำคัญมาก เพราะมีอิทธิพลควบคุมการเปลี่ยนแปลงหลังการตกตะกอน การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนมีการผันแปรตามสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปพบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมในตะกอนดินมีค่าสูงขึ้นเมื่ออยู่ใกล้ฝั่ง และมีค่าลดลงเมื่ออยู่ห่างฝั่งออกไปเรื่อยๆ (จารุมาศ เมฆสัมพันธ์, 2548; Tam and Wong, 1998) ปริมาณดังกล่าวมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่ออยู่ในทะเลลึก ชนิดของสารอินทรีย์ที่พบในตะกอนแต่ละบริเวณมักจะแตกต่างกันไปตามสถานที่ เช่นในตะกอนใกล้ฝั่งอาจมีกรดฮิวมิกสูงกว่าร้อยละ 50 ของสารอินทรีย์รวม แต่ในทะเลลึกอาจมีไม่ถึงร้อยละ 5 อย่างไรก็ตามองค์ประกอบย่อยของสารอินทรีย์ในดินตะกอนทะเลลึกมักจะคล้ายคลึงกันมากกว่า ส่วนการที่สารอินทรีย์จะตกค้างอยู่ในดินตะกอนได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอัตราการตกตะกอนของตะกอนทุกประเภท และอัตราการย่อยสลายหรือการเปลี่ยนรูปของสารในบริเวณนั้นด้วย

การศึกษาในประเทศไทยเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและตะกอนดินบริเวณจุดขนถ่ายมันสำปะหลังมีไม่มากนัก จึงขอนำงานวิจัยจากต่างประเทศที่มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสารอินทรีย์ในทะเลมาเทียบเคียง เช่น พบว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการสะสมของสารอินทรีย์ในน้ำและดินตะกอน เนื่องจากมีอิทธิพลจากลมมรสุม ซึ่งสอดคล้องกับการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ที่จะมีการฟุ้งกระจายไปทางด้านเกาะสีชังในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และจะฟุ้งกระจายไปทางอำเภอศรีราชาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เช่นเดียวกับการศึกษาวิจัยในเขตอื่นๆ เรื่องผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนตัวของสารอินทรีย์บริเวณไหลทวิปในทะเลเขตอู่น โดย Davis, et al. (2018) ที่ศึกษาวิจัยผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลง และการเคลื่อนตัวของสารอินทรีย์บริเวณไหลทวิปในทะเลเขตอู่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำกับฤดูกาล นักวิจัยทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 4 ครั้ง ในรอบ 1 ปี บริเวณ Celtic Sea ครั้งที่ 1 ในเดือนพฤศจิกายน 2014 (ฤดูใบไม้ร่วง)

ครั้งที่ 2 เดือนมีนาคม 2015 (ฤดูหนาว) ครั้งที่ 3 เดือนเมษายน 2015 (ฤดูใบไม้ผลิ) ครั้งที่ 4 เดือนกรกฎาคม 2015 (ฤดูร้อน) ทำการวิเคราะห์สารอนินทรีย์ในน้ำ (Dissolved inorganic nutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ในรูปแบบต่างๆ สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic matter ; DOM) สารอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter ; POM) สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic carbon ; DOC) ไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved nitrogen; TDN) และ คลอโรฟิลล์-เอ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณของสารอินทรีย์ละลายน้ำ(DOM) และ สารอินทรีย์แขวนลอย (POM) ในน้ำทะเลบริเวณนี้มีการหมุนเวียนตลอดทั้งปีในทุกฤดูกาล และ ปริมาณของสารอินทรีย์แขวนลอย (DOM) มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับสารอินทรีย์แขวนลอย (POM) ส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOC) นั้น มีปริมาณสูงในช่วงฤดูใบไม้ผลิ และมี ปริมาณน้อยในช่วงฤดูใบไม้ร่วง นอกจากนี้ก็วิจัยพบว่าในบริเวณไหล่ทวีปจะได้รับอิทธิพลจาก สารอินทรีย์ในรูปของคาร์บอนมากกว่าสารอินทรีย์ในรูปอื่น โดยปริมาณของคาร์บอนในน้ำมี ความสัมพันธ์กับปริมาณของสารอินทรีย์รวมในแต่ละฤดูกาลด้วย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการสะสม ของสารอินทรีย์ในน้ำและตะกอนดิน เนื่องจากมีอิทธิพลจากลมมรสุมเข้ามาเกี่ยวข้อง อาทิเช่น การขน ถ่ายแป้งมันสำปะหลังจะมีการฟุ้งกระจายไปทางด้านเกาะสีชังในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และจะฟุ้งกระจายไปทางอำเภอศรีราชาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นต้น และเนื่องจาก ผลผลิตจากมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 40 ดังนั้นจึงมีความ เป็นไปได้ว่าจะมีคาร์โบไฮเดรตปนเปื้อนในบริเวณขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังสูง โดยคาร์โบไฮเดรต ในน้ำ และในดินตะกอนจะถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กกล และผ่าน กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้แร่ธาตุอาหารหมุนเวียนในระบบนิเวศต่อไป

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สะสมในดินตะกอน บริเวณฟาร์มเลี้ยง หอยแครง ครอบคลุมพื้นที่ทางฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตกของอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายน และสิงหาคม พ.ศ. 2556) และฤดูร้อน (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557) เพื่อ แสดงอิทธิพลของฤดูกาลต่อการสะสมสารอาหารในดินตะกอน พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดใน ดินตะกอนช่วงฤดูฝน (เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556) ข้อมูลชี้ให้เห็นว่าฤดูกาลมีผลต่อการสะสม คาร์โบไฮเดรตในดินตะกอนบริเวณพื้นที่เลี้ยงหอยแครง และเมื่อเปรียบเทียบในระดับความลึก พบว่า ส่วนใหญ่จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสะสมอยู่ในชั้นดินที่ระดับ 5-10 cm มากกว่าระดับ 0-5 cm (ทองทิพย์ วงษ์ศิลป์ และคณะ, 2559) นอกจากนี้มีงานวิจัยของสมภพ รุ่งสุภา (2558) ศึกษาผลของ การขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังบริเวณระหว่างศรีราชา-เกาะสีชัง ต่อคุณภาพน้ำ ตะกอนดิน และ สัตว์หน้าดิน พื้นที่ทำการศึกษารอบอ่าวศรีราชาและรอบเกาะสีชัง โดยเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 ปี ผลการศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำทะเล ซึ่งจะเป็นดัชนีชี้มลภาวะจากการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

มันสำปะหลังบริเวณเกาะสีชัง-ศรีราชา พบว่า ที่ระดับผิวน้ำในเดือนมกราคม มีค่าสูงสุด และลดลงในเดือนเมษายน และต่ำสุดในเดือนกรกฎาคม โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตในน้ำทะเลมีค่าลดลงตามระดับความลึกอย่างชัดเจน และบริเวณเกาะสีชังทิศเหนือและตะวันออกพบว่ามีค่าคาร์โบไฮเดรตสูงสุดในทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง สำหรับคุณภาพดินตะกอนพบว่า ปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณซิลไฟต์ในดินตะกอน มีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม และต่ำสุดในเดือนมกราคม โดยปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนมีค่าสูงที่สุด บริเวณระหว่างเกาะสีชังทิศเหนือกับฝั่งศรีราชา หน้าอ่าวอุดม และหน้าท่าเรือแหลมฉบัง สำหรับปริมาณซิลไฟต์ในดินตะกอนดินสูงเฉพาะบริเวณเกาะสีชังทิศเหนือและ ระหว่างเกาะสีชังทิศเหนือกับฝั่งศรีราชาเท่านั้น

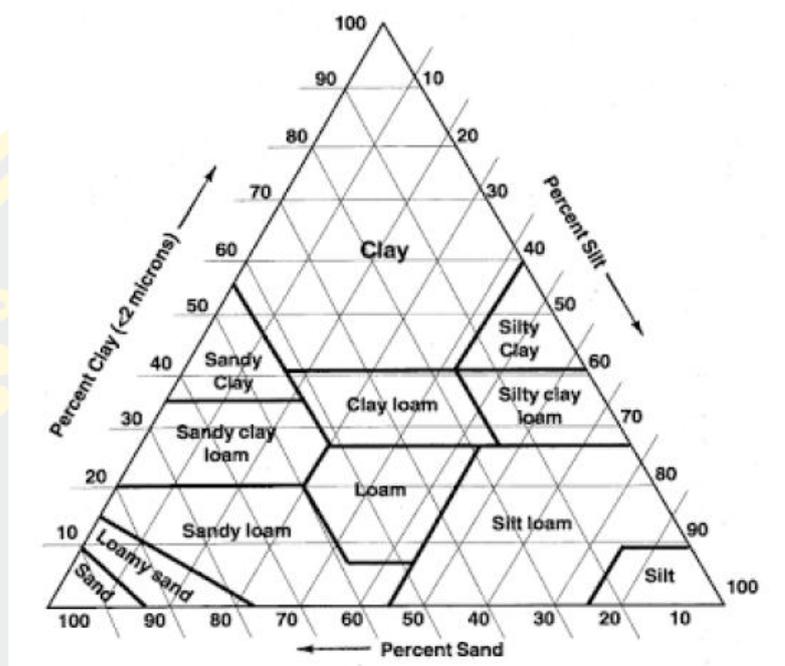
จากข้อมูลทีกล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าปริมาณความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังมีการขยายตัวอย่างมากในปัจจุบัน ส่งผลให้การขนถ่ายสินค้าที่เป็นผลิตภัณฑ์ของมันสำปะหลังขยายตัวมากขึ้นเช่นกัน จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการจัดการขนถ่ายเหล่านี้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลอย่างแน่นอนไม่มากก็น้อย ดังนั้นการศึกษารายละเอียดด้านคุณภาพน้ำ และดินตะกอน มีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากคุณภาพน้ำ และดินตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์ที่เกิดจากฝุ่นผงของแป้งมันสำปะหลัง ในขณะที่มีการขนถ่าย ย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสิ่งมีชีวิตในทะเล รวมทั้งประชาชนในบริเวณใกล้เคียงด้วย

2.9 ขนาดของดินตะกอน

ดินตะกอน (sediment) หมายถึง สสารจากแผ่นดินที่ถูกนำกัดกร่อนจนแตกสลายเป็นอนุภาคเล็กๆ รวมตัวกับสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ ที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ตลอดจนอนุภาคต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำเอง เช่น แพลงก์ตอน และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ดินตะกอนที่ตกสะสมอยู่บริเวณพื้นที่ตื้น น้ำมีความสำคัญทั้งในด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม เป็นทั้งที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตหน้าดิน คุณลักษณะของดินตะกอนบ่งชี้ถึงความเสื่อมโทรม และการปนเปื้อนของมวลสารทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้ชัดเจนกว่าการใช้คุณภาพน้ำเป็นตัวชี้วัด เนื่องจากดินตะกอนเป็นแหล่งกักเก็บมวลสารในลำดับสุดท้าย และคุณลักษณะของดินตะกอนเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลน้อยกว่ามวลน้ำ (Kim et al., 2003 อ้างถึงโดย เบญจวรรณ แสงสิทธิสกุลเลิศ, 2557)

องค์ประกอบขนาดดินตะกอน จะเรียกชื่อต่างกัน มาตรฐานการเรียกชื่อดินตะกอนตามขนาดมีอยู่หลายแบบ โดยทุกแบบเป็นการกำหนดชื่อโดยใช้สัดส่วนของขนาดอนุภาค โดยจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ทราย (sand > 63 μm), ทรายแป้ง (silt 2-63 μm) และดินเหนียว (clay < 2 μm) ในตะกอนแหล่งน้ำ นิยมใช้ไดอะแกรมสามเหลี่ยม หรือไตรแองกูล่าไดอะแกรม (triangular diagrams) และเรียกชื่อดินตะกอนตาม (Shepard, 1954) เมื่อพล็อตสัดส่วนการกระจายของอนุภาคดินตะกอน

ขนาดต่างๆ ลงในไดอะแกรมสามเหลี่ยมในภาพที่ 12 แล้วตรงกับตำแหน่งใดในไดอะแกรม ก็ให้เรียกชื่อดินตะกอนตามที่ระบุไว้ในไดอะแกรม ซึ่งชื่อที่เรียกจะบ่งบอกลักษณะของเนื้อดินตะกอน (วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล และชนิดา เกิดชนะ, 2559)

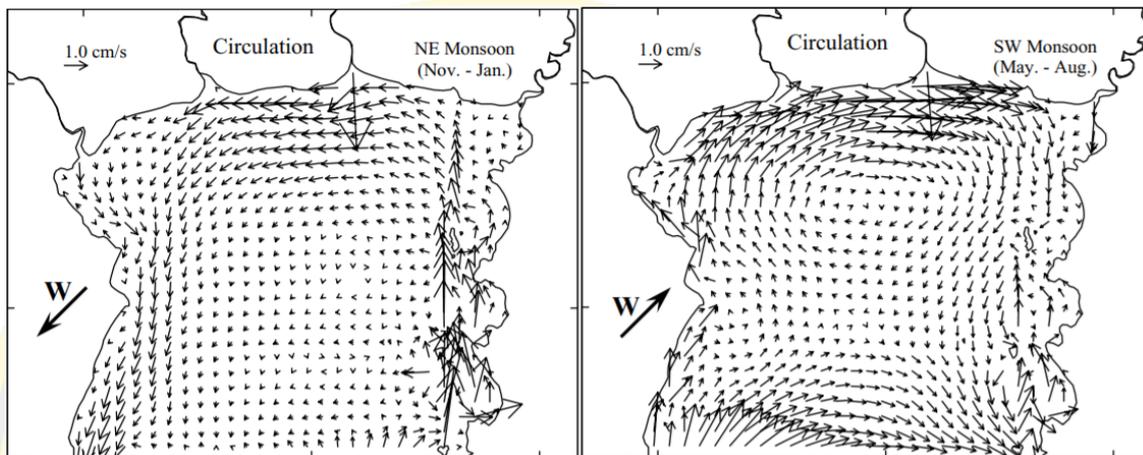


ภาพที่ 12 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมแจกแจงประเภทเนื้อดิน
ที่มา : Soil Survey Staff (1999)

2.10 กระแสน้ำและการไหลเวียนของน้ำ

สถานะน้ำเป็นของเหลวสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ตามภาชนะที่บรรจุอีกทั้งน้ำยังเป็นของไหล โดยสามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อมีแรงกระทำต่อมวลน้ำ การไหลของน้ำสามารถพบได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การไหลแบบแบนราบเรียบ (Laminar flows) น้ำมีการไหลไปในทิศทางเดียวกันสามารถเกิดขึ้นได้ในที่น้ำตื้นและช่องน้ำขนาดเล็ก และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flows) น้ำมีทิศทางการไหลแบบไม่แน่นอนไม่มีความสม่ำเสมอโดยความปั่นป่วนของน้ำสามารถเกิดได้จากลม, น้ำขึ้นน้ำลง, ความแตกต่างของอุณหภูมิและความเค็ม, ความแตกต่างของความดันของน้ำ, แรงโคริโอลิส, การไหลแบบปั่นป่วนสามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นมหาสมุทรหรือแหล่งน้ำธรรมชาติอื่นๆ (Nakayama, 1998) การไหลเวียนของน้ำทะเลมี 2 ประเภท ได้แก่ กระแสน้ำบริเวณพื้นผิวหน้าน้ำทะเล (Surface currents) เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างลมกับผิวหน้าน้ำทะเล และกระแสน้ำลึก (Deep currents) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเล

การไหลเวียนของกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยพบว่า การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมเป็นหลักโดยช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) จะส่งผลให้น้ำในอ่าวไทยไหลในลักษณะตามเข็มนาฬิกาในขณะที่ช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) จะส่งผลให้น้ำในอ่าวไทยไหลในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา (Buranapratheprat, 2008) (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 การไหลเวียนกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ซ้าย) และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ขวา)
ที่มา : Buranapratheprat (2008)

ประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมสองชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ รายละเอียดดังนี้ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2567)

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกใต้ บริเวณมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งพัดออกจากศูนย์กลางเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ และเปลี่ยนเป็น ลมตะวันตกเฉียงใต้เมื่อพัดข้ามเส้นศูนย์สูตร มรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดีย มาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนตกชุกทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณชายฝั่งทะเล และเทือกเขาด้านรับลมจะมีฝนมากกว่าบริเวณอื่น

มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหลังจากหมดอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แล้ว ประมาณกลางเดือนตุลาคมจะมีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือแถบประเทศมองโกเลียและจีน จึงพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ทำให้ท้องฟ้าโปร่ง

อากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไป โดยเฉพาะภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคใต้จะมีฝนชุกโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออก เนื่องจากมรสุมนี้นำความชุ่มชื้นจากอ่าวไทยเข้ามาปกคลุม การเริ่มต้นและสิ้นสุดมรสุมทั้งสองชนิดอาจผันแปรไปจากปกติได้ในแต่ละปี

ฤดูกาลประเทศไทยโดยทั่วๆ ไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ดังนี้ ฤดูร้อนระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝนระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และฤดูหนาวระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

2.11 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์และการประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเล

2.11.1 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ 3 มิติ

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Princeton Ocean Model (POM) ถูกพัฒนาโดย Blumberg and Mellor (1987) เป็นแบบจำลอง 3 มิติ มีการใช้เทคนิคการแบ่งกริดในการคำนวณในแนวราบและแนวตั้งและน้ำมีการแบ่งชั้นตามความลึก ได้ข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง แบบจำลอง Princeton Ocean Model (POM) สามารถเพิ่มปัจจัยความปั่นป่วนของน้ำเข้าสู่แบบจำลองได้โดยความปั่นป่วนของน้ำที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ เช่น ลม น้ำขึ้นน้ำลง ความหนาแน่นของน้ำทะเล

2.11.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเล

จากการศึกษาวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่มีการนำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัย ซึ่งมีการศึกษาอย่างหลากหลายไม่ว่าจะเป็นการศึกษาเรื่องสภาวะโลกร้อน การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล การจำลองการละลายของน้ำแข็งขั้วโลก การจำลองการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต หรือสิ่งปนเปื้อนของมวลสารในมหาสมุทร ฯลฯ ตัวอย่างเช่น การศึกษาระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากก๊าซเรือนกระจก ด้วยแบบจำลองการไหลเวียนของบรรยากาศและมหาสมุทรทั่วไป (AOGMs) โดยการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงจากอดีตจนถึงปัจจุบันในแบบจำลอง (Coudrey et al., 2021) การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมหาสมุทรด้วยแบบจำลองระบบโลก (Earth system models: ESMs) โดยใช้ข้อมูลความเค็มผิวน้ำทะเล (Terhaar et al., 2021) การศึกษาการเคลื่อนที่ของพลาสติกลอยน้ำตามชายฝั่งโดยใช้แบบจำลองมหาสมุทรทั่วโลก ด้วยแบบจำลองการหมุนเวียนของมหาสมุทรทั่วโลกโดยใช้กระแสผิวน้ำทะเลจาก Global Ocean General Circulation Model GLORYS12V1 (Chenillat et al., 2021) การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภูใน ระบบการเลี้ยงหอยตามชายฝั่งโดยใช้แบบจำลอง Dynamic Energy Budget (DEB) (Fuentes-Santos et al., 2021) จะเห็นได้ว่าการศึกษาวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่มีการนำแบบจำลองทาง

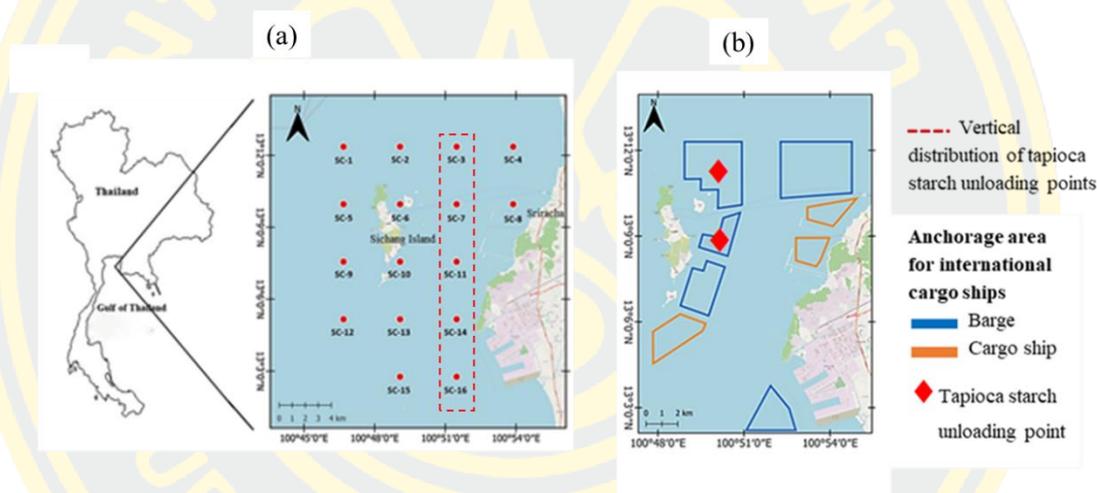
คอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีประสิทธิภาพและชัดเจนมากยิ่งขึ้น



บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 พื้นที่ทำการการศึกษา

พื้นที่ในการสำรวจ เก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน อยู่บริเวณพื้นที่ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยทำการสำรวจ และเก็บตัวอย่างในพื้นที่ทั้งหมด 2 ครั้งในรอบปี คือ ในวันที่ 20-22 มีนาคม 2563 เป็นตัวแทนของฤดูแล้ง และในวันที่ 1-3 สิงหาคม 2563 เป็นตัวแทนของฤดูฝน กำหนดจุดเก็บตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ศึกษาจำนวนรวมทั้งสิ้น 16 สถานี (ภาพที่ 14) โดยแสดงพิกัดจุดเก็บตัวอย่างดังตารางที่ 8



ภาพที่ 14 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอน นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
จุดเก็บตัวอย่าง 16 สถานี (a) บริเวณจุดเรือขนส่งสินค้าและจุดขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง (b)
หมายเหตุ: สถานีเก็บตัวอย่างในกรอบจุดประสีแดง (ภาพ (a)) ใช้แทนสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลในแนวเหนือ-ใต้
ที่มา : <http://maps.google.co.th/> ดาวันไหลวันที่ 20 เมษายน 2566

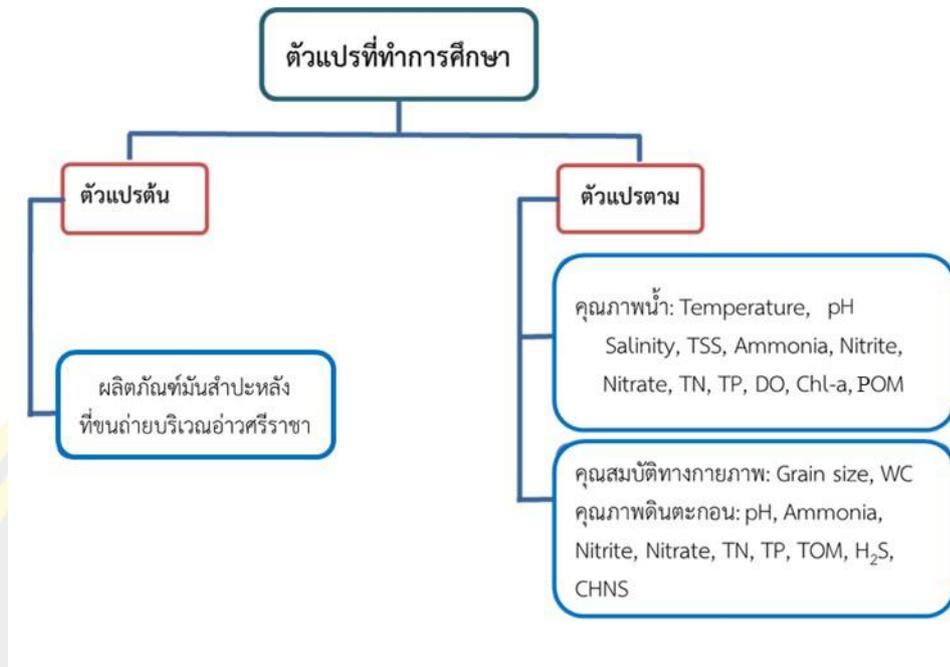
ตารางที่ 7 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่/ขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

จุดเก็บตัวอย่าง	ละติจูด	ลองจิจูด
St 1	13°20'600"เหนือ	100°77'800"ตะวันออก
St 2	13°20'600"เหนือ	100°81'800"ตะวันออก
St 3	13°20'600"เหนือ	100°85'800"ตะวันออก
St 4	13°20'600"เหนือ	100°89'800"ตะวันออก

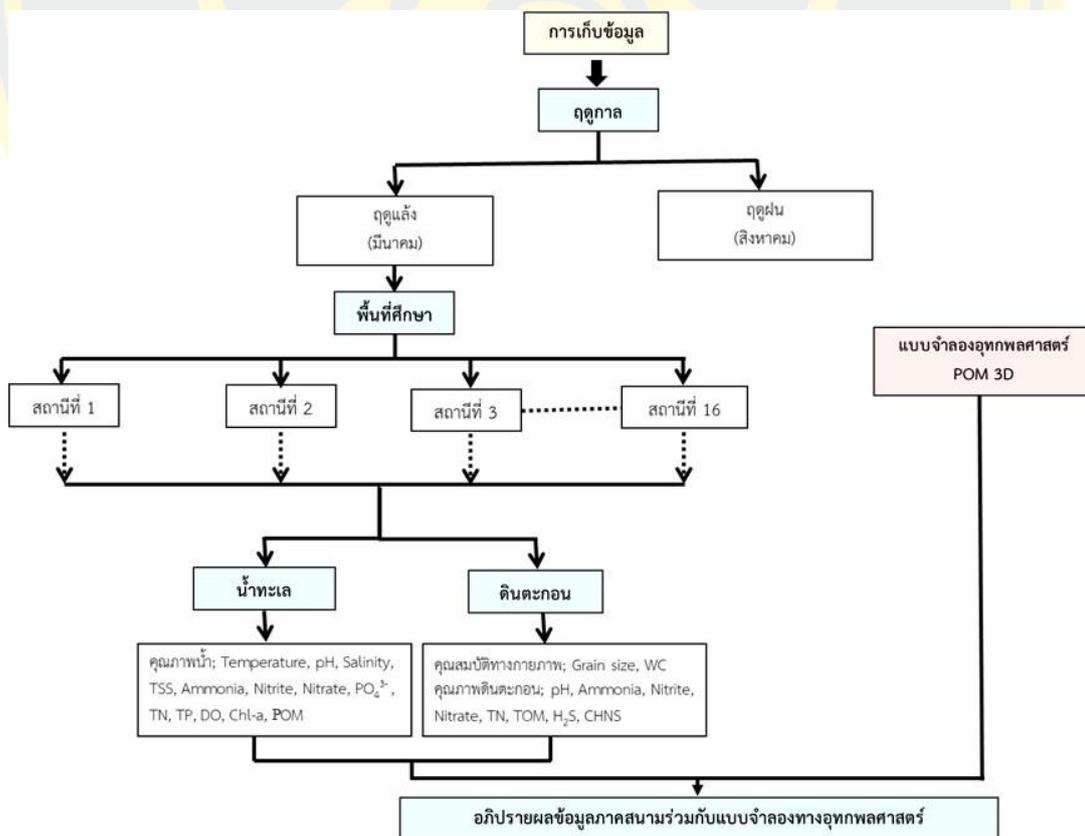
ตารางที่ 8 (ต่อ)

St 5	13°16'600"เหนือ	100°77'800"ตะวันออก
St 6	13°20'600"เหนือ	100°81'800"ตะวันออก
St 7	13°20'600"เหนือ	100°85'800"ตะวันออก
St 8	13°20'600"เหนือ	100°89'800"ตะวันออก
St 9	13°12'600"เหนือ	100°77'800"ตะวันออก
St 10	13°12'600"เหนือ	100°81'800"ตะวันออก
St 11	13°12'600"เหนือ	100°85'800"ตะวันออก
St 12	13°08'600"เหนือ	100°77'800"ตะวันออก
St 13	13°08'600"เหนือ	100°81'800"ตะวันออก
St 14	13°08'600"เหนือ	100°85'800"ตะวันออก
St 15	13°04'600"เหนือ	100°81'800"ตะวันออก
St 16	13°04'600"เหนือ	100°85'800"ตะวันออก

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเล ทำการตรวจวัด และวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-เบส สารแขวนลอยในน้ำ (Total suspended solids, TSS) แอมโมเนีย (NH_3+NH_4) ไนไตรท์ (NO_2) ไนเตรท (NO_3) ไนโตรเจนรวม ออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม คลอโรฟิลล์-เอ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และปริมาณสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำทะเล (Particulate organic matter, POM) สำหรับคุณภาพดินตะกอน ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวม (TOM) อนุภาคของดินตะกอน (Grain size) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ความเป็นกรด-เบสในดิน และปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน โดยมีตัวแปร และแผนการศึกษาวิจัยดังภาพที่ 15 และ 16



ภาพที่ 15 ตัวแปรต้น และตัวแปรตามในการศึกษา



ภาพที่ 16 แผนการวิจัย

3.2 วิธีการศึกษา

3.2.1 คุณภาพน้ำทะเล

1) การเก็บตัวอย่างภาคสนาม

เก็บตัวอย่างน้ำทะเลในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างวันที่ 20-22 มีนาคม พ.ศ. 2563 และช่วงฤดูฝน ระหว่างวันที่ 1-3 สิงหาคม พ.ศ. 2563 โดยใช้กระบอกเก็บน้ำแบบ Van Dorn และเก็บตัวอย่างแบบ ตัก (Grab sampling) ที่ระดับความลึก 0.5 เมตรจากระดับผิวน้ำ ระดับกึ่งกลางความลึก และที่ระดับเหนือพื้นท้องน้ำ 1 เมตร ระดับความลึกละ 3 ซ้ำ (n=144 ต่อฤดูกาล) นำน้ำตัวอย่างใส่ลงในขวดพลาสติกชุ่น ขนาด 5 ลิตร เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

ตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำทะเลเบื้องต้นที่ระดับความลึกเดียวกับการเก็บตัวอย่างน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความเค็ม และความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) ด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำแบบหลายตัวแปร (Environmental Monitoring Systems: YSI 6920)

2) การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.1) คุณภาพน้ำทะเล ได้แก่ ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารอาหาร (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ออร์โธสเฟต ฟอสฟอรัสรวม) คลอโรฟิลล์-เอ และ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ แสดงดังตารางที่ 9 ตารางที่ 8 ดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการศึกษาและวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ	วิธีวิเคราะห์
สารแขวนลอยในน้ำ (TSS) (mg/L)	Gravimetric (APHA,1992)
ปริมาณสารอาหารในน้ำ	
แอมโมเนีย (NH ₃ ⁺ +NH ₄) (µg-N/L)	Phenol-hypochlorite (Boyd, 1992)
ไนไตรท์ (NO ₂ ⁻) (µg-N/L)	Colorimetric Method (Boyd, 1992)
ไนเตรท (NO ₃ ⁻) (µg-N/L)	Colorimetric, Cadmium Reduction Method (Grasshoff et al., 1983)
ไนโตรเจนรวม (TN)	Digestion, Cadmium reduction, and Diazotization (Strickland and Parsons, 1972)
ออร์โธสเฟต (PO ₄ ³⁻) (µg/L)	Ascorbic acid (Strickland and Parsons,1972)
ฟอสฟอรัสรวม (TP) (µg/L)	Digestion, Ascorbic acid (Strickland and Parsons, 1972)
คลอโรฟิลล์ เอ (Chl-a) (µg-N/L)	Spectrophotometric (Strickland and Parsons, 1972)
ปริมาณสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำ (POM) (%)	Loss of Ignition (ดัดแปลงจาก Verardo et al.,1990)

3.2.2 คุณภาพดินตะกอน

1) การเก็บตัวอย่างภาคสนาม

เก็บดินตะกอนในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างด้วย Ekman Grab จุดเก็บตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ($n = 48$ ต่อฤดูกาล) นำดินตะกอนที่ได้ใส่ถุงซิปลงไปประมาณถุงละ 500 กรัม บรรจุลงในกล่องที่บับน้ำแข็งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการ เก็บตัวอย่างดินตะกอนในตู้แช่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน ปริมาณซัลไฟด์ ปริมาณน้ำในดิน และทุกจุดเก็บตัวอย่างทำการวัดคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของดินตะกอน ตัวอย่าง ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างในดิน และ ขนาดอนุภาคดินตะกอน

2) การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.1) คุณภาพดินตะกอน ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปริมาณน้ำในดิน พีเอช ขนาดอนุภาคดินตะกอน และปริมาณแร่ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถันในดินตะกอน รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 10 ตารางที่ 9 ดังนี้คุณภาพดินตะกอนที่ทำการศึกษา

พารามิเตอร์ตะกอนดิน	วิธีวิเคราะห์
ขนาดอนุภาคดินตะกอน	Dry sieve analysis (Carter, 1993)
ปริมาณน้ำในดินตะกอน (%)	Oven drying (Chuan and Sugahara, 1984)
ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดิน (%)	Loss of Ignition (Verardo et al., 1990)
ปริมาณซัลไฟด์ (mgS/g)	Acid volatile sulfide test column (Chuan and Sugahara, 1984)
ความเป็นกรด-เบสในดิน (pH)	1:1 mixture (Dewis and Freitas, 1970)
ปริมาณสารอาหารในดินตะกอน (mg-N/L ⁻¹) (วิเคราะห์จากน้ำในดินตะกอน)	
- แอมโมเนีย (NH ₃ +NH ₄ ⁺) (mg-N/L ⁻¹)	Phenate Method (Boyd and Tucker (1992)
- ไนไตรท์ (NO ₂ ⁻) (mg-N/L ⁻¹)	Colorimetric Method (Boyd and Tucker (1992)
- ไนเตรท (NO ₃ ⁻) (mg-N/L ⁻¹)	Colorimetric, Cadmium Reduction Method Grasshoff et al. (1983)
- ไนโตรเจนรวม (TN) (mg-N/L ⁻¹)	Digestion, Cadmium reduction, and Diazotization (Strickland & Parsons, 1972)
ปริมาณธาตุ CHNS (mg/g dry weight)	Instrument Method (Thermo Scientific™ FLASH,
- คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน และซัลเฟอร์	2000)

3.2.3 การใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของกระแสน้ำ และตัวติดตามในทะเล (Passive Tracer)

การศึกษาในครั้งนี้จะใช้แบบจำลอง Princeton Ocean Model (POM) (Mellor, 1998) เพื่อคำนวณกระแสน้ำแบบ 3 มิติ ที่ให้ผลลัพธ์เป็นกระแสน้ำในแนวราบตามความลึกของน้ำ แบบจำลอง POM ถูกผนวก (Coupled) ด้วยแบบจำลองการแพร่กระจาย Passive tracer ของอนุภาคสมมติในทะเลซึ่งใช้เป็นตัวแทนของมวลสารจากการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง ที่ล่องลอยในทะเล โดยวิธี Euler-Lagrange method (Yanagi, 1999) โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับแบบจำลองกระแสน้ำและแบบจำลองการแพร่กระจายของสารตามลำดับดังนี้

แบบจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำ

การศึกษาในครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตของพื้นที่แบบจำลองกระแสน้ำครอบคลุมบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน บริเวณเกาะสีชัง ภายใต้ขอบเขตพิกัดระหว่างละติจูด 13.2446 - 13.0519 องศาเหนือ และ ลองจิจูด 100.7574 - 100.9463 องศาตะวันออก

ในส่วนของข้อมูลความลึกพื้นท้องทะเล (Bathymetry) ใช้ข้อมูลจากแผนที่เดินเรือ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ส่วนข้อมูลลมเป็นลมเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 - 2552 ความละเอียด 0.25 องศา ที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT (<http://www.ssmi.com>) เพื่อใช้สำหรับการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำสุทธิ และการเคลื่อนตัวของขยะในเดือนกรกฎาคมและเดือนพฤศจิกายนซึ่งใช้เป็นตัวแทนของฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือตามลำดับ

ข้อมูลลม (Wind) เป็นทิศทางและอัตราเร็วของลม แบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ข้อมูลลมเฉลี่ยรายเดือน ระยะยาวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 - 2552 ความละเอียด 0.25 องศา ที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม QuickSCAT (<http://www.ssmi.com>) เพื่อใช้สำหรับการจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำ

ข้อมูลความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเลได้จากฐานข้อมูล World Ocean Atlas 2013 (WOA 2013) (https://odv.awi.de/en/data/ocean/world_ocean_atlas_2013) ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนระยะยาว (Climatological data) ในช่วงปี พ.ศ. 2498 - 2555 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.25 x 0.25 องศา ข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหมดจะถูกนำมาทำการประมาณค่าให้มีจุดพิกัดตรงกับตำแหน่งของกริดหรือช่องการคำนวณที่กำหนดไว้ทั้งในแบบ 2 มิติ ที่มีเฉพาะกริดในแนวราบ และแบบ 3 มิติ ที่มีทั้งกริดในแนวราบและในแนวดิ่ง โดยใช้วิธี Gaussian interpolation

กำหนดสภาวะเริ่มต้น (Initial condition) ของการคำนวณกระแสน้ำให้เป็นสภาวะน้ำนิ่ง (Resting state) และระดับน้ำมีค่าเป็นศูนย์ ขั้นตอนเวลาของการคำนวณ (Time step) ในการคำนวณแบบ 2 มิติ (External mode) และ 3 มิติ (Internal mode) เท่ากับ 5 วินาที และ 60 วินาทีตามลำดับ ทำการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำโดยในช่วง 20 วันแรกของการคำนวณจะไม่มีกรับ

ผลลัพธ์มาใช้ในการศึกษาเพราะเป็นช่วงของการปรับตัวของแบบจำลองเพื่อให้ผลลัพธ์เข้าสู่สภาวะเสถียร (Steady state) ข้อมูลการคำนวณ 30 วันหลังจากนั้นจะถูกนำมาเฉลี่ยเพื่อศึกษารูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้เป็นตัวแทนของฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

2) แบบจำลองการเคลื่อนตัวของตัวติดตามในทะเล

แบบจำลองการเคลื่อนตัวของตัวติดตามซึ่งใช้เป็นตัวแทนมวลสารในทะเล อาศัยหลักการที่กำหนดให้มีการปล่อยตัวติดตาม ในลักษณะที่เป็นกลุ่มอนุภาคจำนวนหนึ่งที่ล่องลอยไปกับมวลน้ำในทะเล โดยกำหนดให้ตำแหน่งของแต่ละอนุภาคที่เวลาก่อนหน้า (n) คือ X_n (x_n, y_n, z_n) และที่เวลาปัจจุบัน

($n + 1$) คือ ($X_{n+1}, Y_{n+1}, Z_{n+1}$) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2-1 ดังนี้

$$X_{n+1} = X_n + V\Delta t + (\Delta V) V\Delta t^2 \quad (2-1)$$

โดยที่ V หมายถึงเวกเตอร์ความเร็วของกระแสน้ำทั้งในแนวราบและในแนวตั้งที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง POM Δt คือขั้นเวลาการคำนวณในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 60 วินาที เท่ากับขั้นเวลาของการคำนวณกระแสน้ำแบบ 3 มิติในแบบจำลอง POM คือ horizontal gradient ของค่ากระแสน้ำ ในแนวราบ แกน x และแกน y) และแนวตั้ง (แกน z) ตามลำดับ ตัวอย่างผลการคำนวณจากแบบจำลองนี้จากการศึกษาของ Buranapratheprat et al. (2003)

ขอบเขตการคำนวณในส่วนของการศึกษาการเคลื่อนตัวของอนุภาคนี้ ครอบคลุมพื้นที่อ่าวไทยตอนในทั้งหมด โดยจำลองการปล่อยอนุภาคตัวติดตามที่บริเวณขนถ่ายสินค้า เพื่อติดตามการเคลื่อนตัวของอนุภาคในทะเลบริเวณนั้น ครอบคลุมฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ผลจากการศึกษาในส่วนนี้จะถูกนำมาพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนจากการเก็บตัวอย่างภาคสนาม เพื่ออภิปรายผลการเคลื่อนตัวของมวลสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในบริเวณอ่าวศรีราชาต่อไป

3.2.4 ข้อมูลการขนส่งแป้งมันสำปะหลัง

ข้อมูลของจำนวนเรือที่เข้า-ออกบริเวณอ่าวศรีราชาและปริมาณการขนส่งแป้งมันสำปะหลังตลอดปี 2563 ได้รับข้อมูลจากสำนักงานควบคุมการจราจรทางเรือและรักษาความปลอดภัยทางทะเล กรมเจ้าท่า และท่าเทียบเรือศุลกากรเกาะสีชัง สำนักงานท่าเรือแหลมฉบัง

3.2.5 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทะเลและในดินตะกอน รวมทั้งคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนอื่นที่ทำการตรวจวัด มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (Analysis of Variance) โดยใช้สถิติ Two-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอน ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง และในแต่ละฤดูกาล หากพบว่าข้อมูลดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยภายหลังการทดสอบรวม (Posterior Tests; Post Hoc tests) ด้วยวิธี Least Significant Difference test (LSD test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าที่เปรียบเทียบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อค่า $p\text{-value} < 0.05$

ข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอนมีการนำเสนอในรูปแบบเส้นชั้นความสูง (Contour line) โดยใช้ซอฟต์แวร์ Ocean Data View (Schlitzer, 2007)

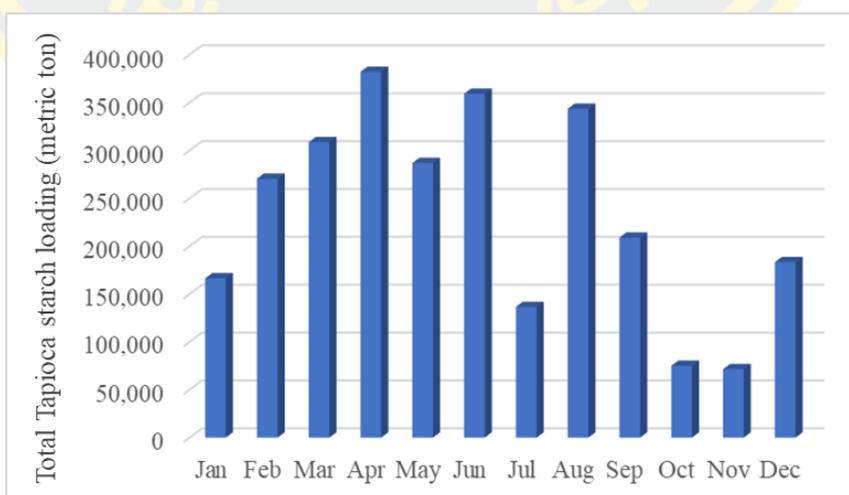
บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 คุณภาพน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

4.1.1 ข้อมูลการขนส่งแป้งมันสำปะหลังบริเวณอำเภอศรีราชา

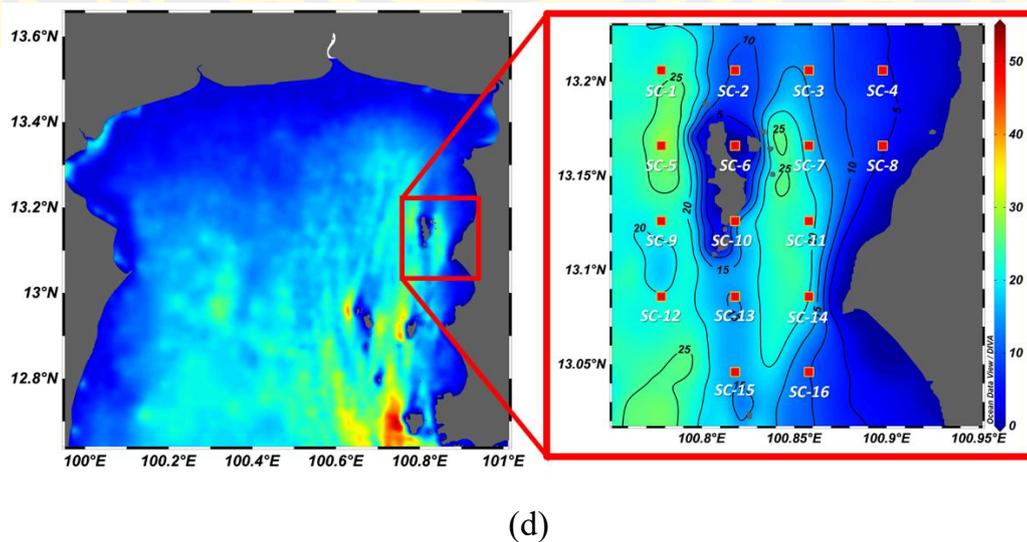
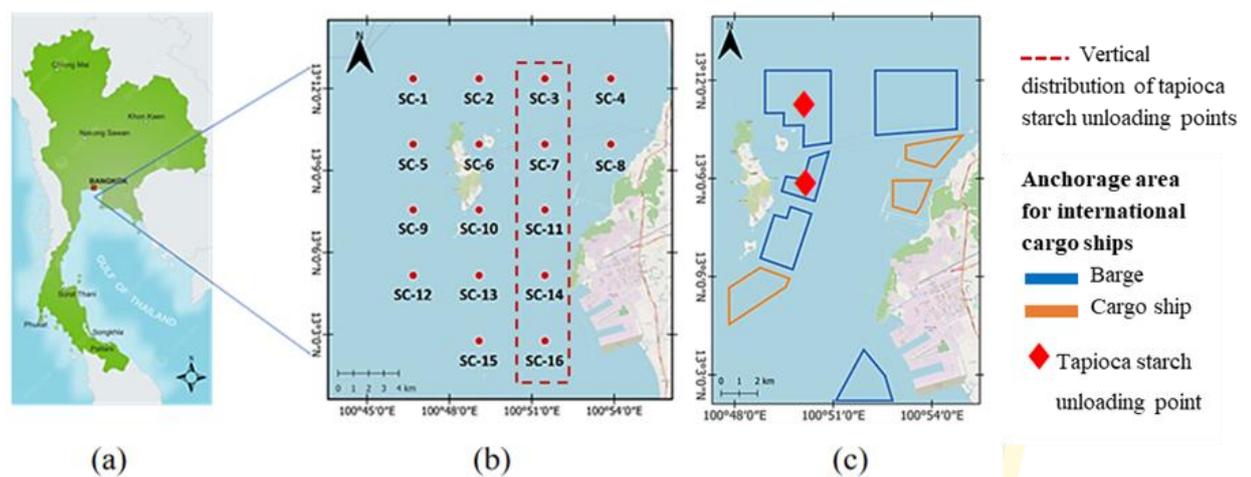
กิจกรรมการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังจำแนกเป็นรายเดือนในปี พ.ศ. 2563 มีการความแตกต่างกันตลอดทั้งปี (ภาพที่ 17) พบว่าในเดือนมกราคม มีการขนส่งแป้งมันสำปะหลังน้อยที่สุด ประมาณ 150,000 เมตริกตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม โดยมีปริมาณมากกว่า 250,000 เมตริกตัน ซึ่งพบว่าการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังสูงสุดในเดือนเมษายนประมาณ 400,000 เมตริกตัน และยังมีปริมาณการขนส่งสูงอย่างต่อเนื่องในเดือนพฤษภาคม และมิถุนายน ประมาณ 350,000 เมตริกตัน จากนั้นลดลงเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม แต่จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคม ประมาณ 300,000 เมตริกตัน โดยมีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนกันยายน ซึ่งมีปริมาณลดลงมากกว่า 150,000 เมตริกตัน ปริมาณการขนถ่ายน้อยที่สุดในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน (ต่ำกว่า 100,000 เมตริกตัน) ในเดือนธันวาคม กิจกรรมการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น มีปริมาณการขนถ่ายอยู่ที่ประมาณ 175,000 เมตริกตัน จากข้อมูลจะเห็นว่าในช่วงเดือนมีนาคม และสิงหาคม ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ขนถ่ายมีความใกล้เคียงกัน โดยเท่ากับ 300,000 ตันในเดือนมีนาคม และ 350,000 ตันในเดือนสิงหาคม



ภาพที่ 17 ปริมาณรวมการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังบริเวณอำเภอศรีราชาจำแนกเป็นรายเดือน ปี พ.ศ. 2563 (สำนักงานท่าเรือแหลมฉบัง, 2567)

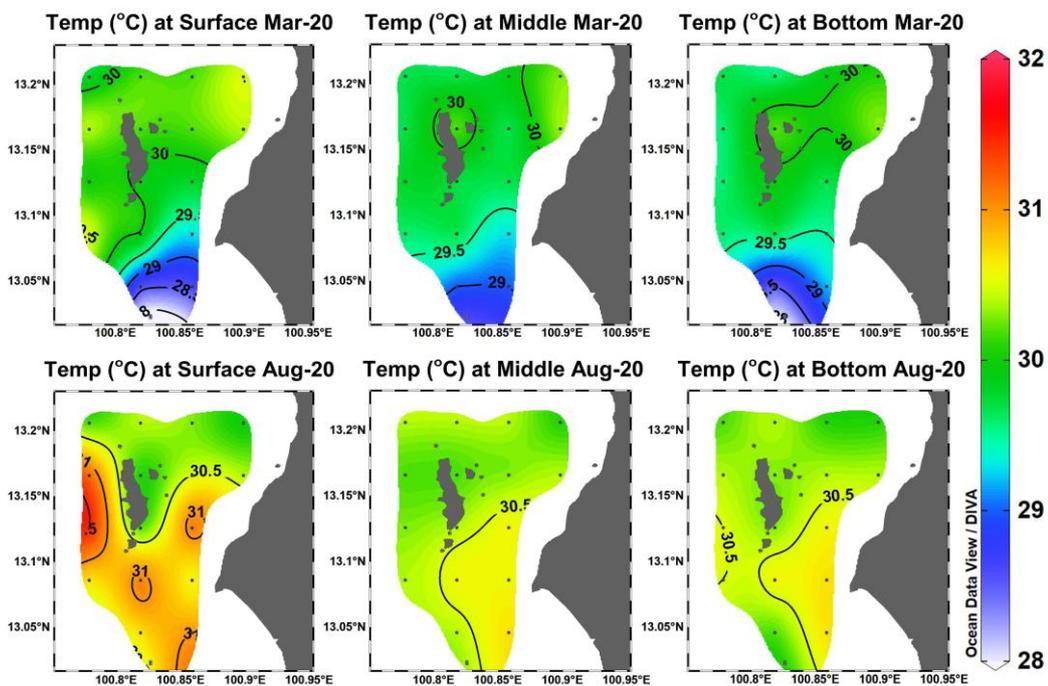
4.1.2 คุณภาพน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

การศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลจำนวนทั้งหมด 16 สถานี (ภาพที่ 18 (a)) พร้อมทั้งได้แสดงสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลในแนวทิศเหนือ-ใต้ (North-South distribution) ที่ครอบคลุมกิจกรรมการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง ดังภาพที่ 18 (b) พร้อมทั้งได้แสดงบริเวณที่มีการจอดเรือสินค้า และบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง ดังภาพที่ 18 (c)

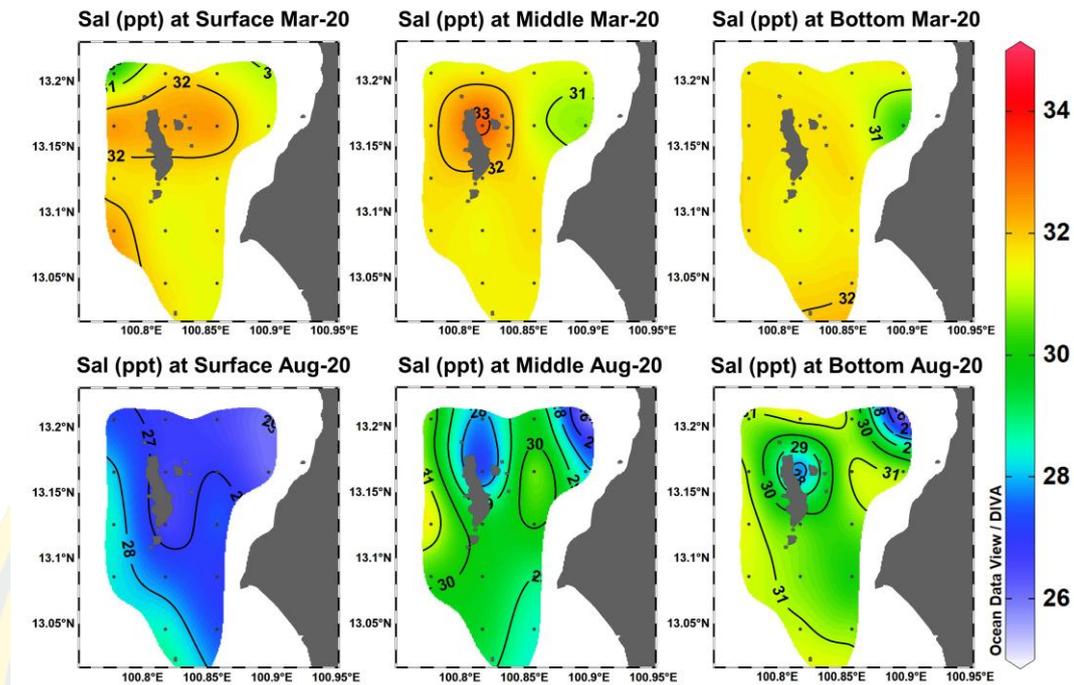


ภาพที่ 18 พื้นที่ศึกษาและสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี (a, b) บริเวณจอดเรือขนส่งสินค้าและจุดขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง (c) และความลึกน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษา (d) หมายเหตุ: สถานีเก็บตัวอย่างในกรอบจุดประสีแดง (ภาพ (b)) ใช้แทนสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลในแนวทิศเหนือ-ใต้

ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างในวันที่ 20-22 มีนาคม 2563 (ฤดูแล้ง) และวันที่ 1-3 สิงหาคม 2563 (ฤดูฝน) พบว่า ในฤดูฝนมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30.48 ± 0.31 °C สูงกว่าช่วงฤดูแล้งที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.75 ± 0.47 °C ประมาณ 1 °C (ภาพที่ 19) ในขณะที่ยวกันระดับความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้าม โดยในฤดูแล้ง ความเค็มมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 31.65 ± 0.48 ppt สูงกว่าฤดูฝนประมาณ 2 ppt ซึ่งมีความเค็มลดลงเท่ากับ 28.98 ± 1.82 ppt (ภาพที่ 20) โดยอุณหภูมิและความเค็มมีความแตกต่างตามฤดูกาลอย่างชัดเจนในทุกสถานี ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 1 และ 2)



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

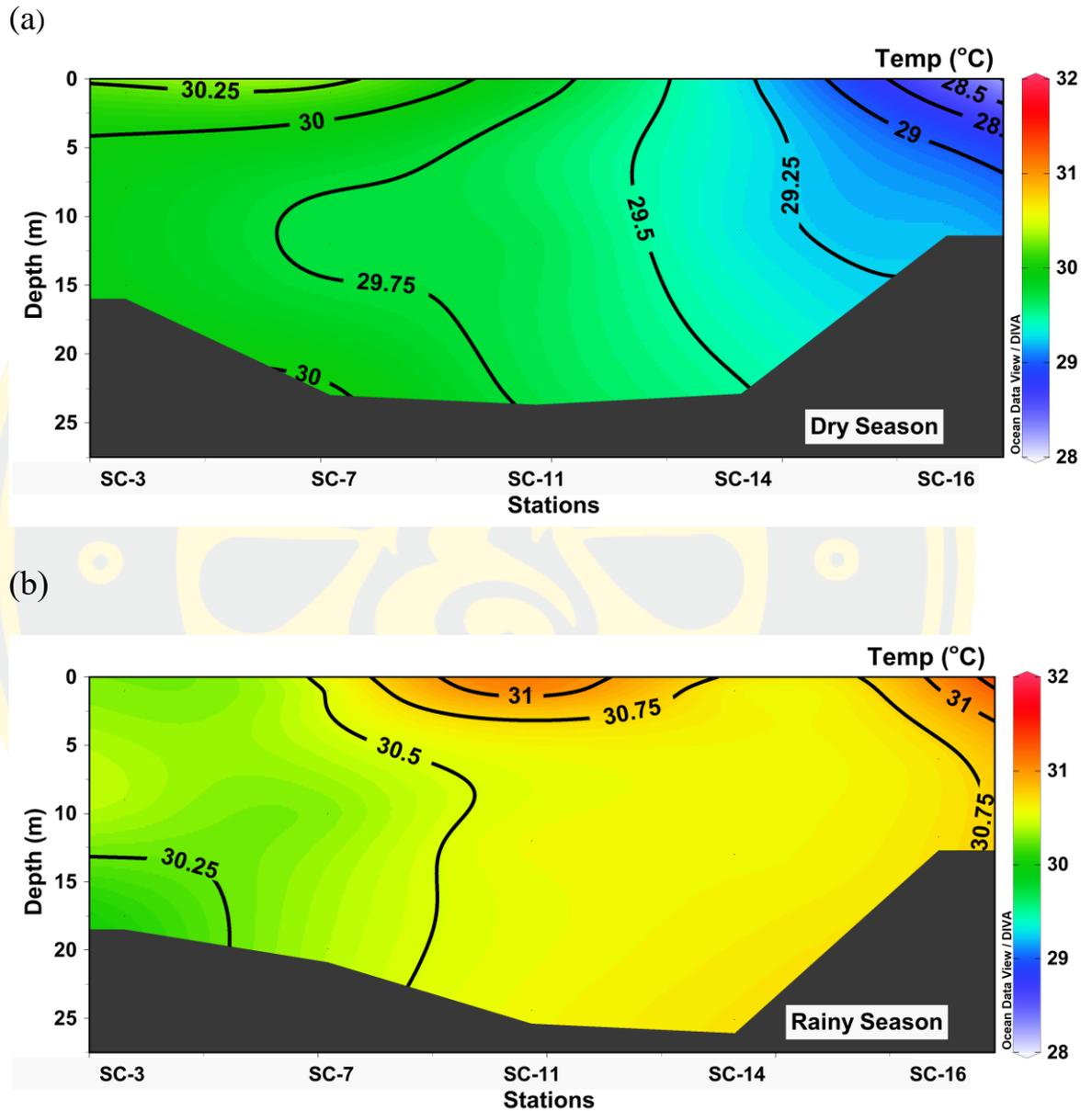


ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงความเค็มเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึกบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

สำหรับดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำอื่นๆ เช่น ความเป็นกรด-เบส ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่มีความแตกต่างตามฤดูกาล ($p > 0.05$) (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 3, 4 และ 5) โดยในฤดูแล้ง ความเป็นกรด-เบสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.27 ± 0.00 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.55 ± 10.17 mg/L และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 5.21 ± 0.50 mg/L สำหรับในช่วงฤดูฝน ดัชนีคุณภาพน้ำเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยดังนี้ ความเป็นกรด-เบสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.26 ± 0.16 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เท่ากับ 16.80 ± 5.86 mg/L และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.59 ± 1.33 mg/L (ภาคผนวก ข, ภาพที่ 1, 2 และ 3)

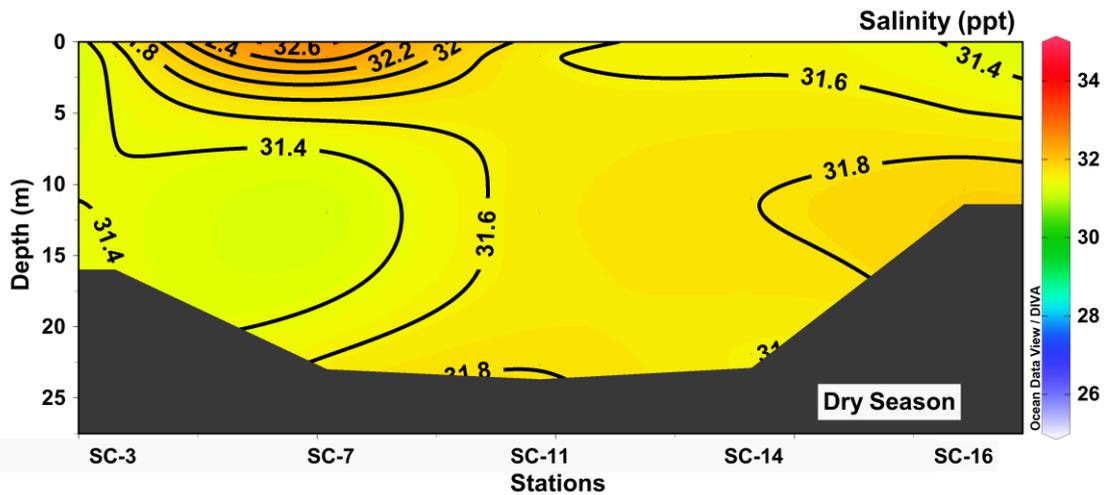
เมื่อพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทะเลในแนวตั้งตามระดับความลึก พบว่าช่วงฤดูแล้ง ในสถานีเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่ อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ในทุกชั้นน้ำ ยกเว้นสถานีทางตอนใต้ (สถานี SC-16) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดอื่นอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 21 (a)) อย่างไรก็ตาม ในช่วงฤดูฝน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่างกันตามสถานีและระดับความลึก โดยอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเมื่อเทียบกับระดับชั้นน้ำที่ลึกกว่า (ภาพที่ 21 (b)) ความเค็มมีแนวโน้มคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือในช่วงฤดูแล้ง ระดับความเค็มจะสม่ำเสมอในสถานีเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่ ยกเว้นที่สถานีทางตะวันออกเฉียงเหนือ 2 สถานี คือ สถานี SC-3 และ SC-7 ที่มีระดับความเค็มต่ำกว่าสถานีอื่น (ภาพที่ 22 (a)) อย่างไรก็ตามในช่วงฤดูฝน ระดับ

ความเค็มจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยมีความผันผวนระหว่างชั้นน้ำและสถานี โดยมีความเค็มที่เพิ่มขึ้นตามความลึก (ภาพที่ 22 (b))

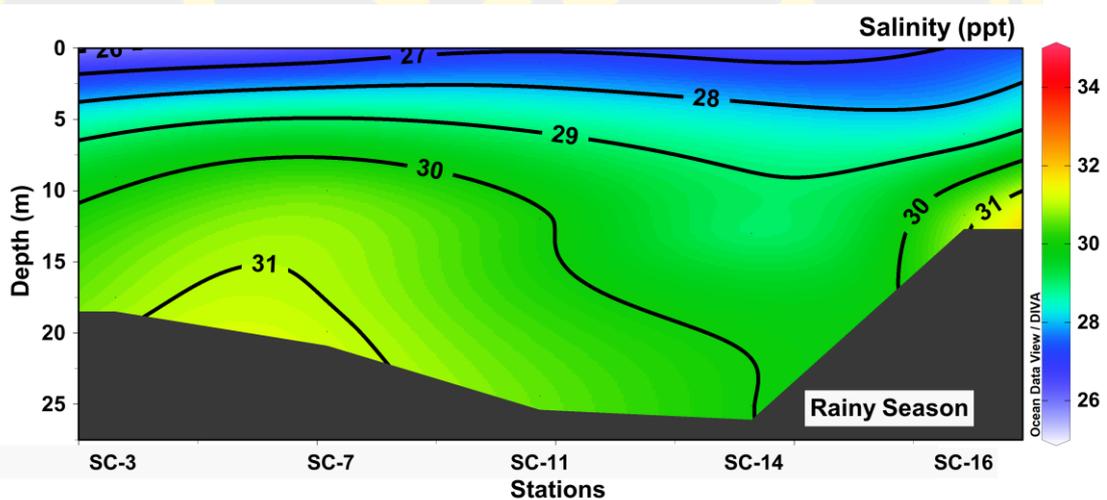


ภาพที่ 21 การกระจายตัวในแนวตั้งของอุณหภูมิในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

(a)



(b)

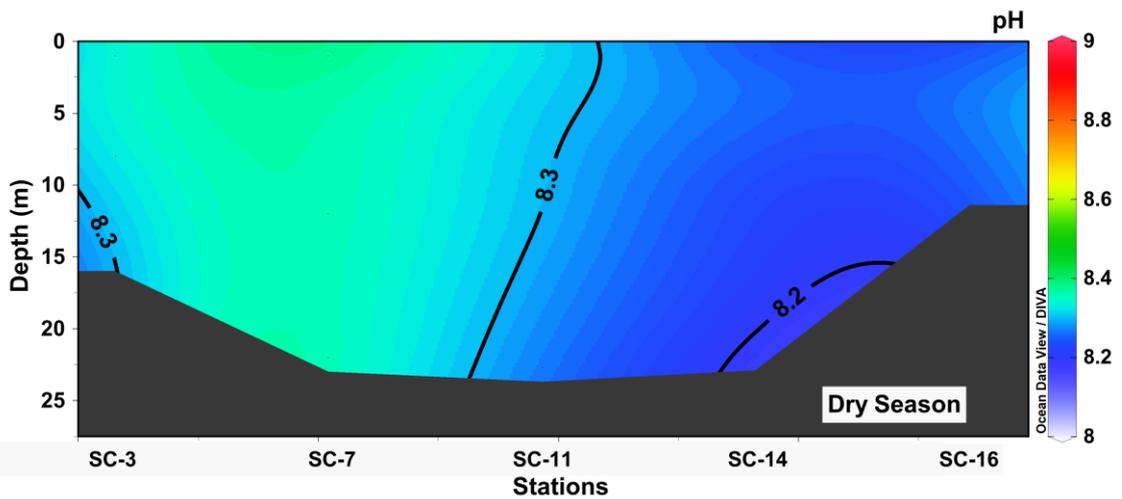


ภาพที่ 22 การกระจายตัวในแนวดิ่งของความเค็มในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

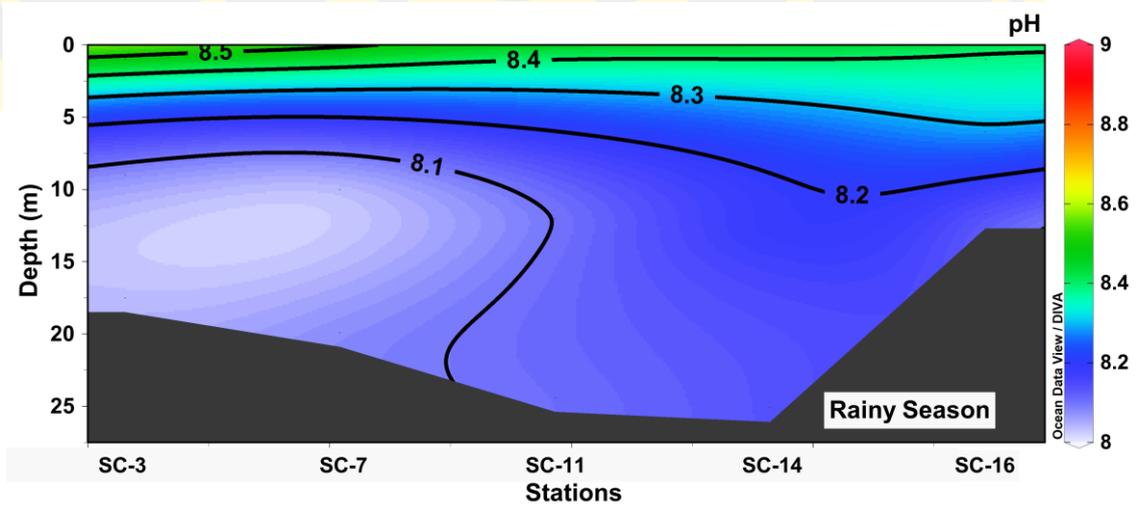
ค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงฤดูแล้ง มีค่าสม่ำเสมอในทุกชั้นน้ำและในสถานีเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่ (ภาพที่ 23 (a) และ 24 (a)) ในทางกลับกันฤดูฝนพบการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบส และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอย่างชัดเจนในแต่ละสถานีที่ระดับความลึกแตกต่างกัน โดยที่ระดับผิวน้ำน้ำทะเลมีค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าในชั้นน้ำระดับลึก (ภาพที่ 23 (b) และ 24 (b)) โดยจะพบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเลมีค่าต่ำกว่าเท่ากับ 3 mg/L ทั้งสองฤดูในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นอย่างสม่ำเสมอในระดับกึ่งกลางความลึก

และระดับเหนือพื้นทะเล ในขณะที่บริเวณผิวน้ำทะเลมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้อยกว่ามาก (ภาพที่ 25 (a), (b))

(a)

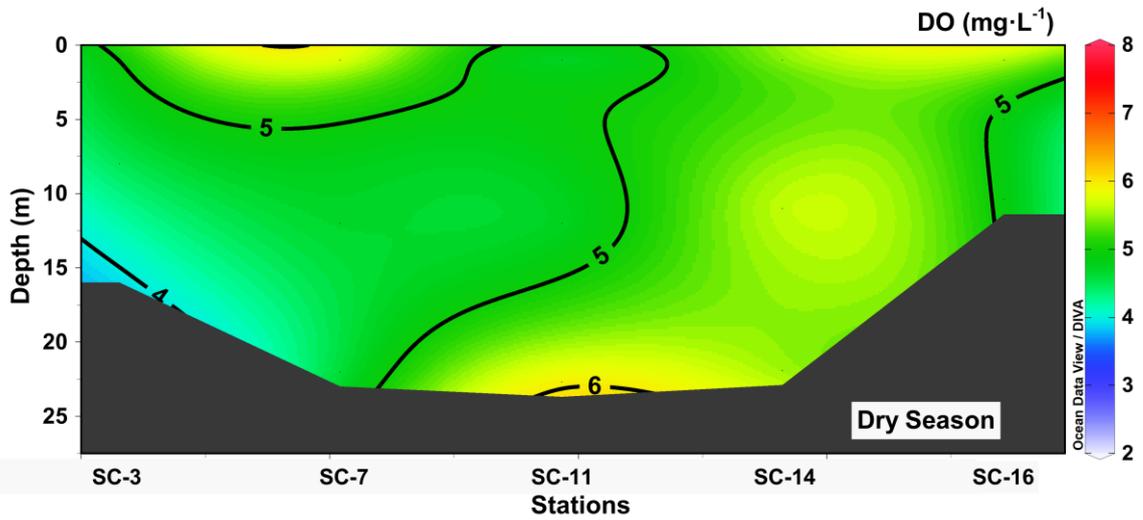


(b)

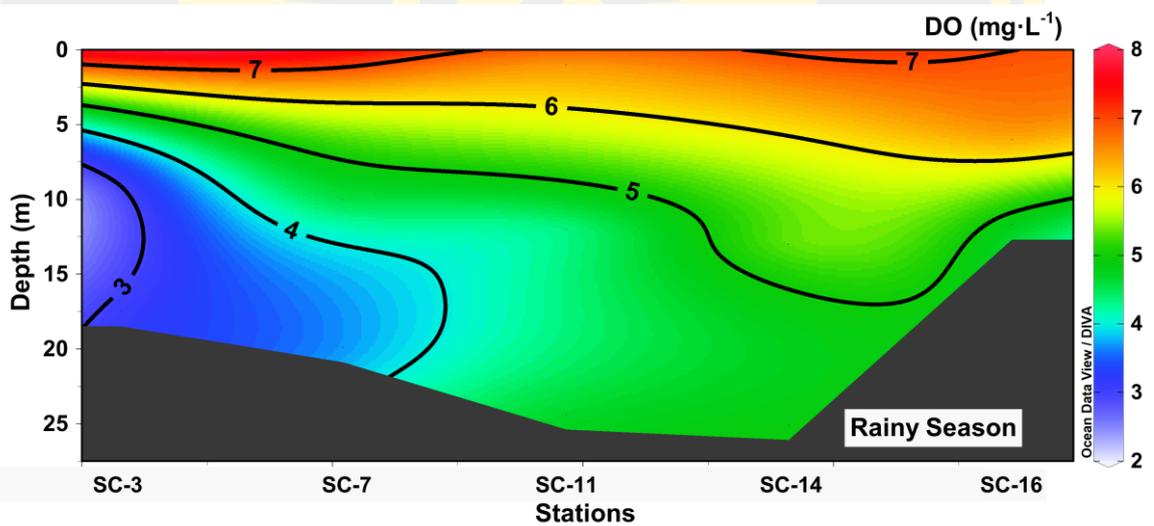


ภาพที่ 23 การกระจายตัวในแนวตั้งของความเป็นกรด-เบส ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

(a)

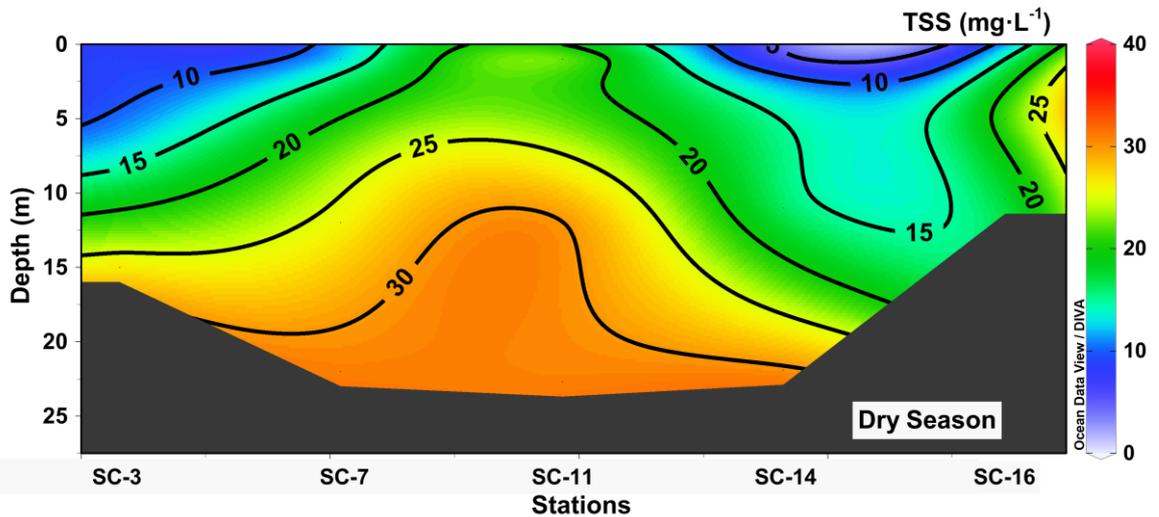


(b)

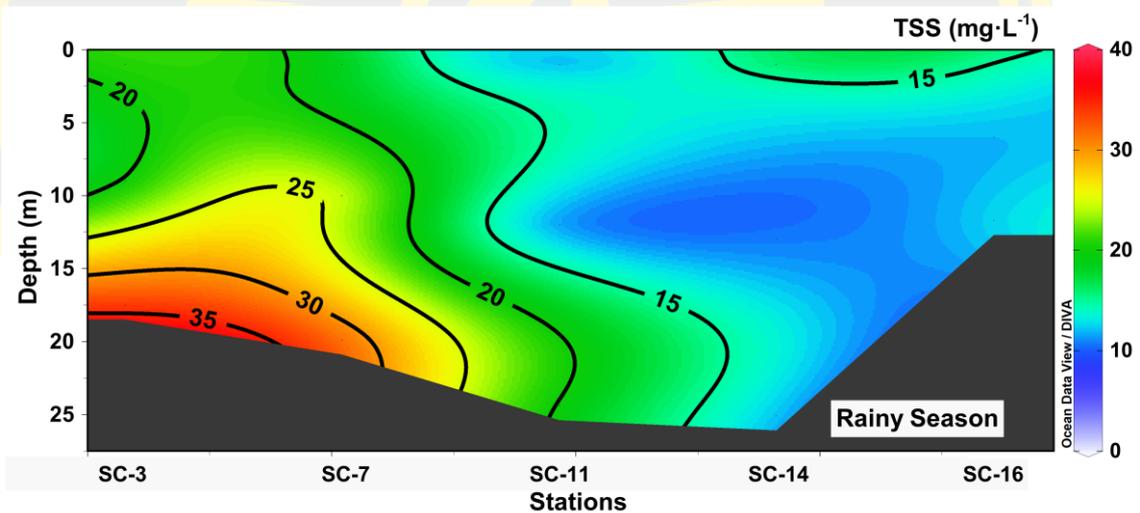


ภาพที่ 24 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้ง
มันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

(a)

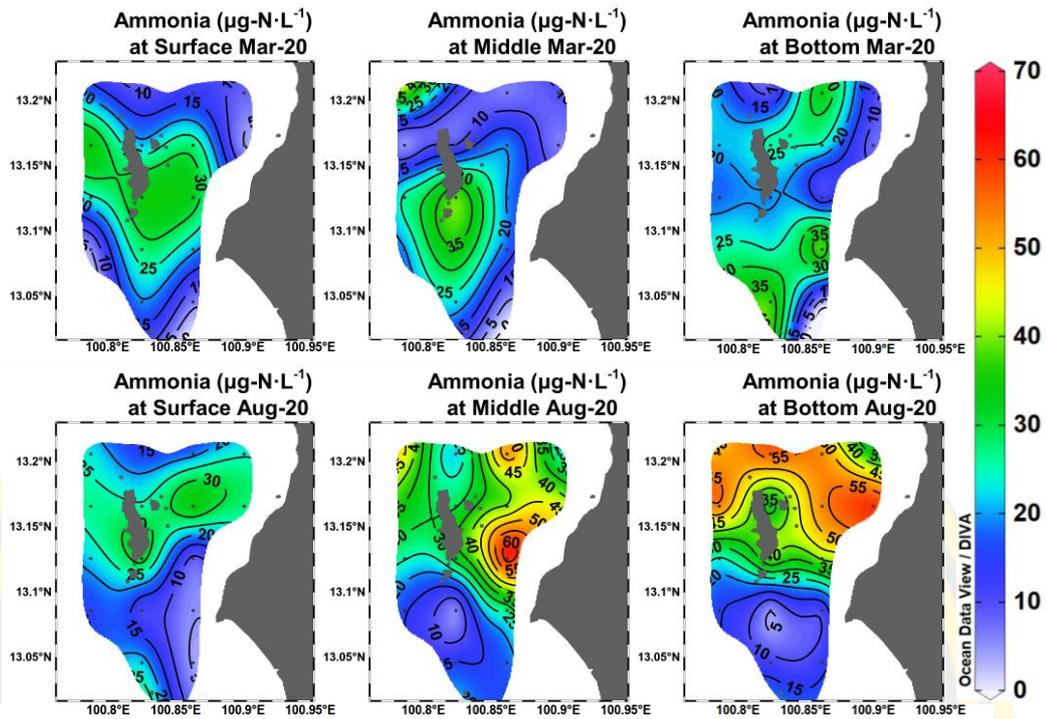


(b)

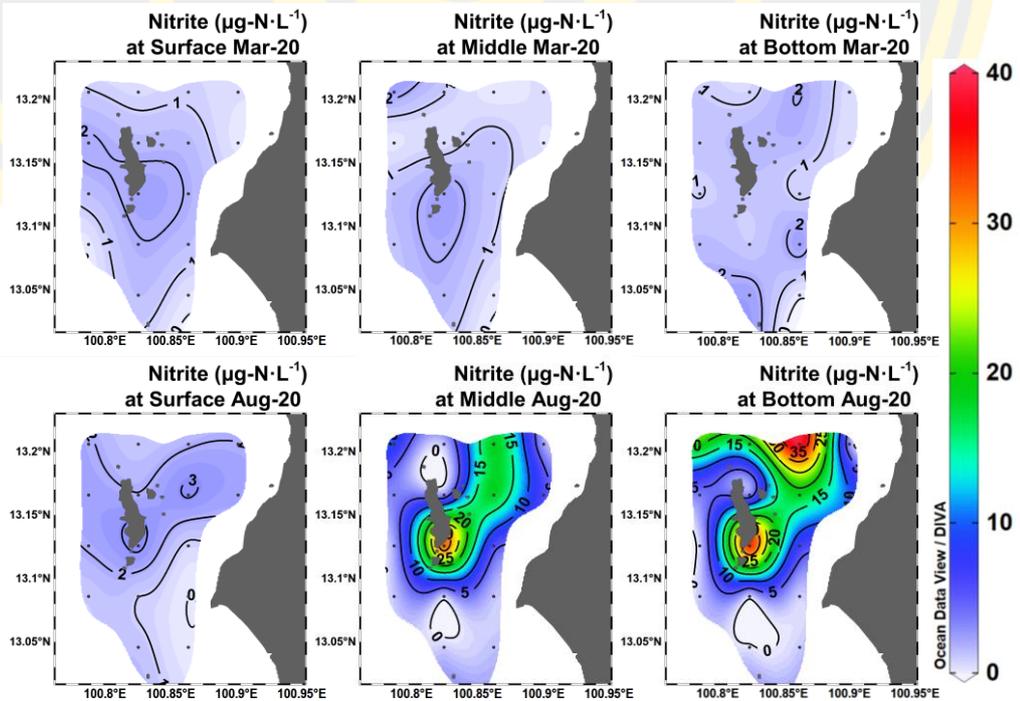


ภาพที่ 25 การกระจายตัวในแนวดิ่งของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ในบริเวณที่มีการขนถ่าย
 แป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

เมื่อพิจารณาสารอาหารในน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษาพบว่า ในช่วงฤดูฝนความเข้มข้นเฉลี่ย
 ของแอมโมเนียและไนโตรท์ สูงขึ้นอย่างชัดเจนโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $28.62 \pm 16.14 \mu\text{g-N/L}$ และ
 $6.53 \pm 9.86 \mu\text{g-N/L}$ ตามลำดับ ส่วนในฤดูแล้งพบว่ามีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียและไนโตรท์ต่ำกว่าในฤดู
 ฝน มีค่าเท่ากับ $19.98 \pm 10.66 \mu\text{g-N/L}$ และ $1.24 \pm 0.71 \mu\text{g-N/L}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 26 และ 27) โดย
 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนีย และไนโตรท์ในแต่ละฤดู มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง
 สถิติ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 6 และ 7)

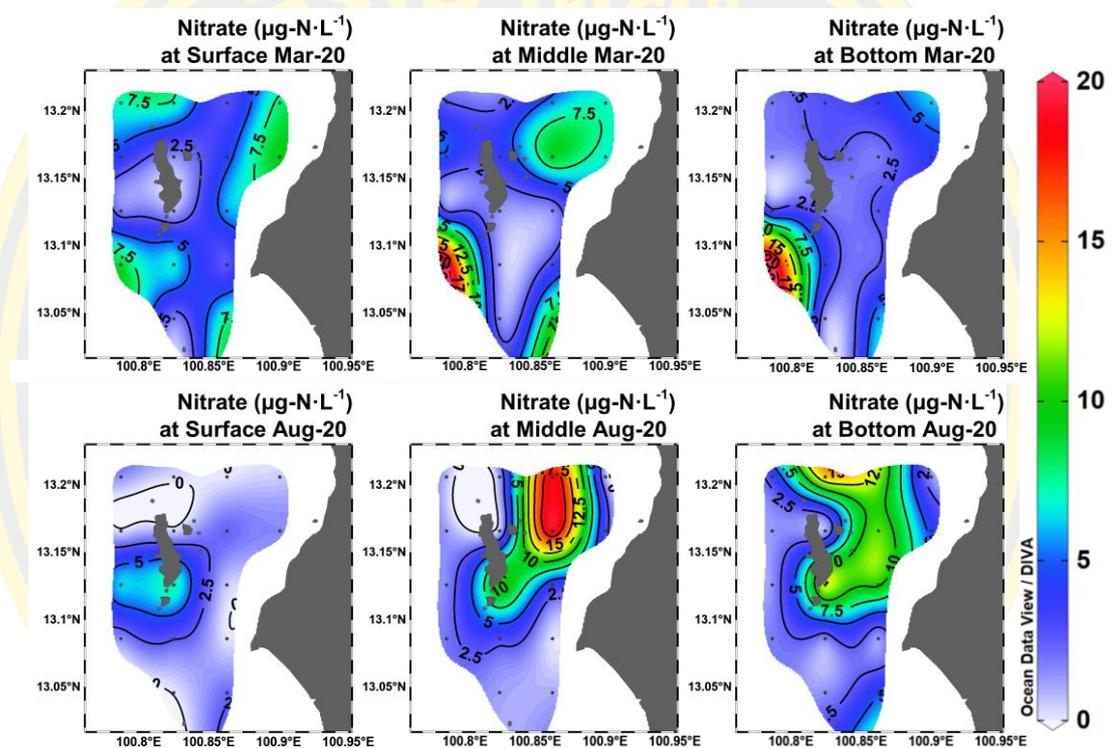


ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

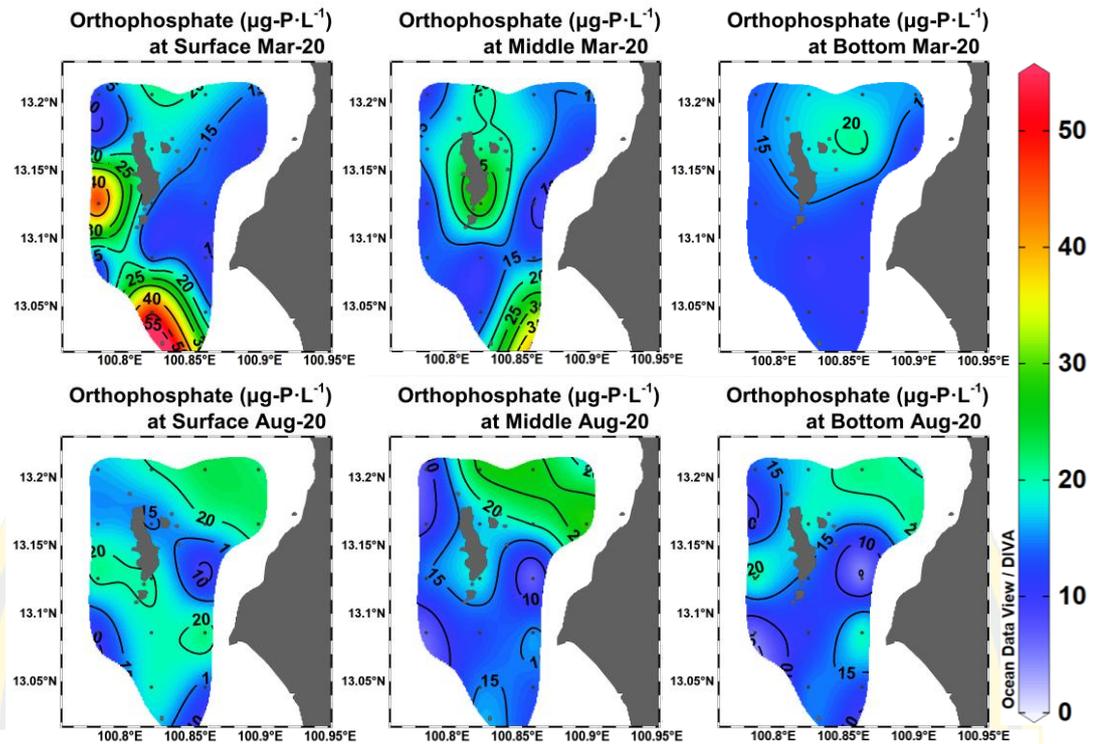


ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์เชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

ความเข้มข้นของไนเตรตในช่วงฤดูแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $4.60 \pm 4.24 \mu\text{g-N/L}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูฝนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $4.00 \pm 2.66 \mu\text{g-N/L}$ (ภาพที่ 28) และมีความแตกต่างเชิงฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 8) สำหรับความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต ค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งและฤดูฝน เท่ากับ $1.18 \pm 0.18 \mu\text{g-P/L}$ และ $1.19 \pm 0.15 \mu\text{g-P/L}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 29) และแสดงให้เห็นถึงการแปรผันเชิงพื้นที่ในสถานีต่างๆ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างในเชิงฤดูกาลที่ชัดเจน (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 9)



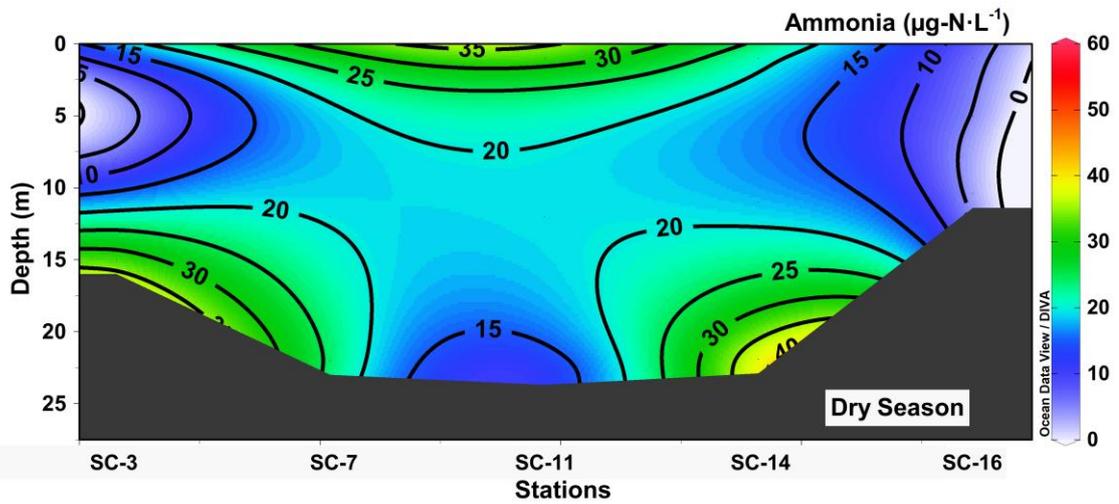
ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรตเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



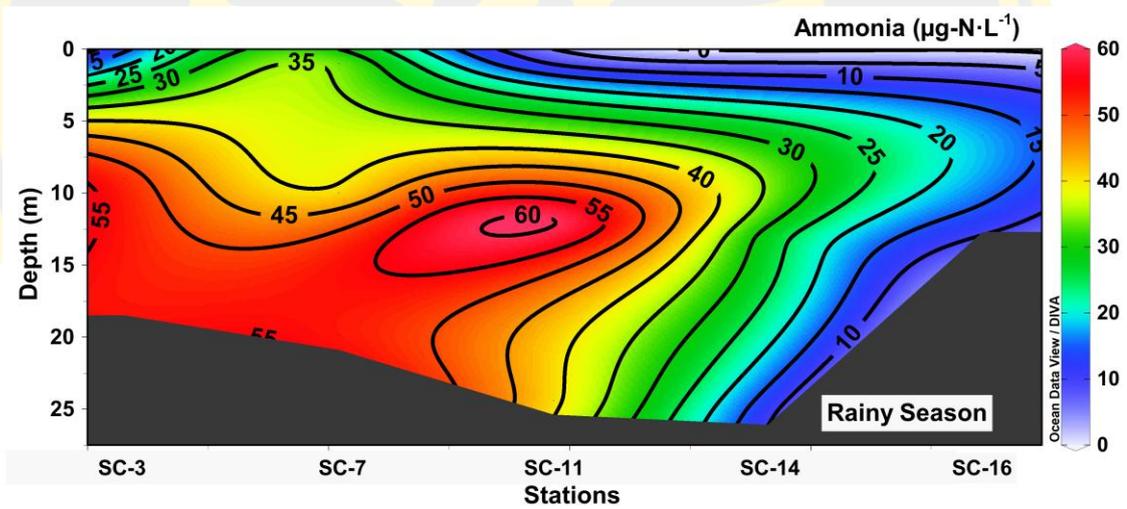
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์ฟอสเฟตในเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรต มีการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่มากขึ้นในฤดูฝน และมีแนวโน้มที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามความลึกของน้ำ โดยพบว่าปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรตสูงที่สุดในพื้นที่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชัง (สถานี SC-3) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการขนถ่ายแอมโมเนียและไนเตรตสูงที่สุด (ภาพที่ 30, 31 และ 32) ส่วนปริมาณของออร์ฟอสเฟตพบว่ามีความเข้มข้นสูงทั้งสองฤดูกาลที่ระดับผิวน้ำและระดับกึ่งกลางความลึก เมื่อเทียบกับระดับความลึกเหนือพื้นทะเล (ภาพที่ 33)

(a)

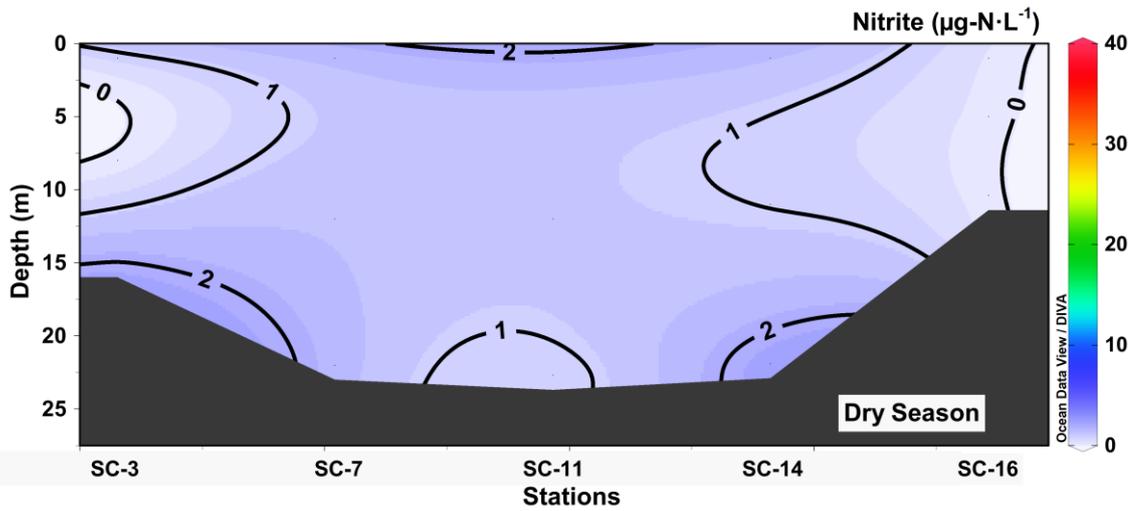


(b)

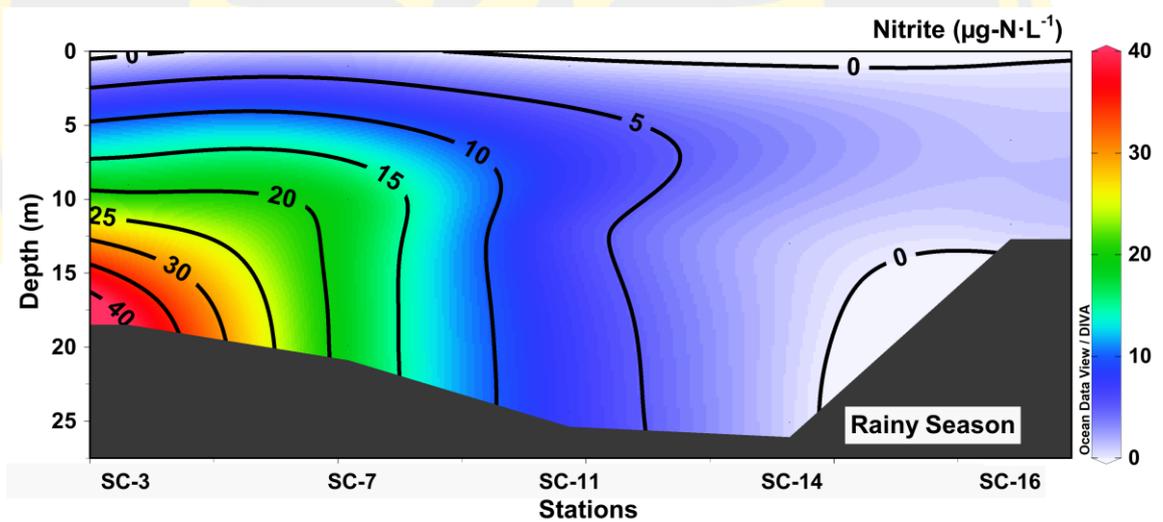


ภาพที่ 30 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณแอมโมเนีย ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

(a)

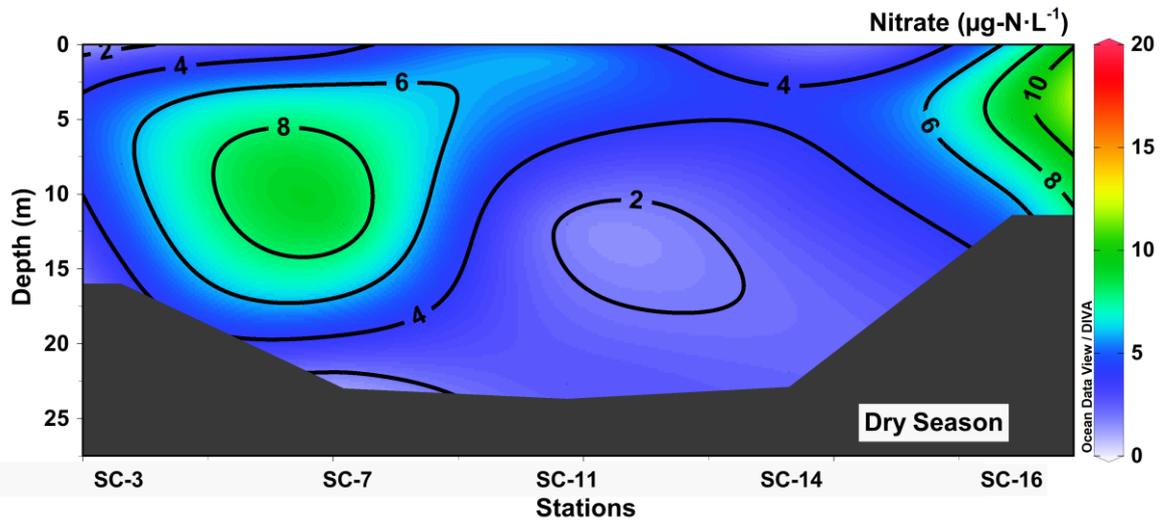


(b)

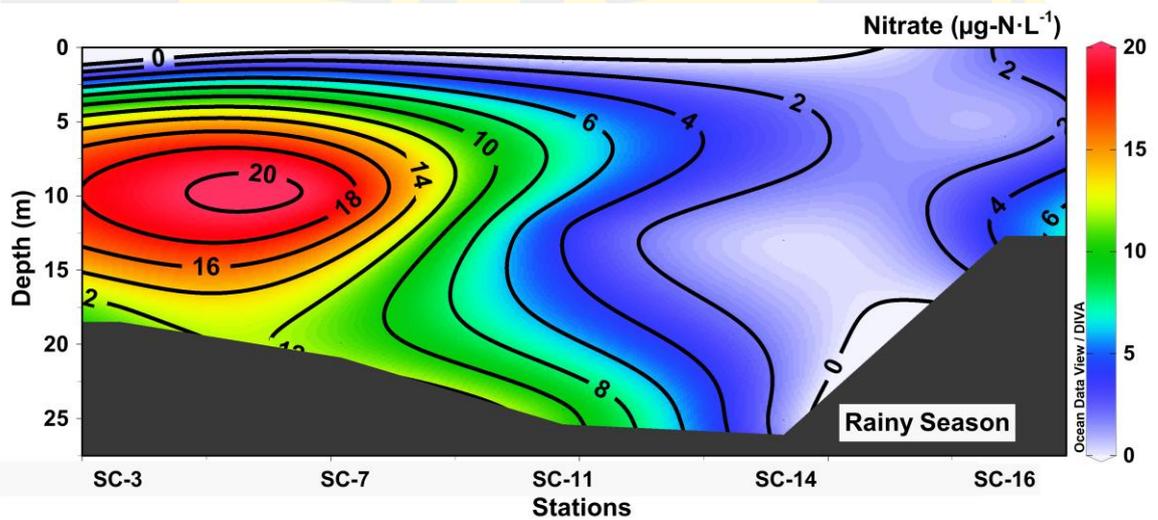


ภาพที่ 31 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณไนไตรท์ ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) ฤดูฝน (b)

(a)

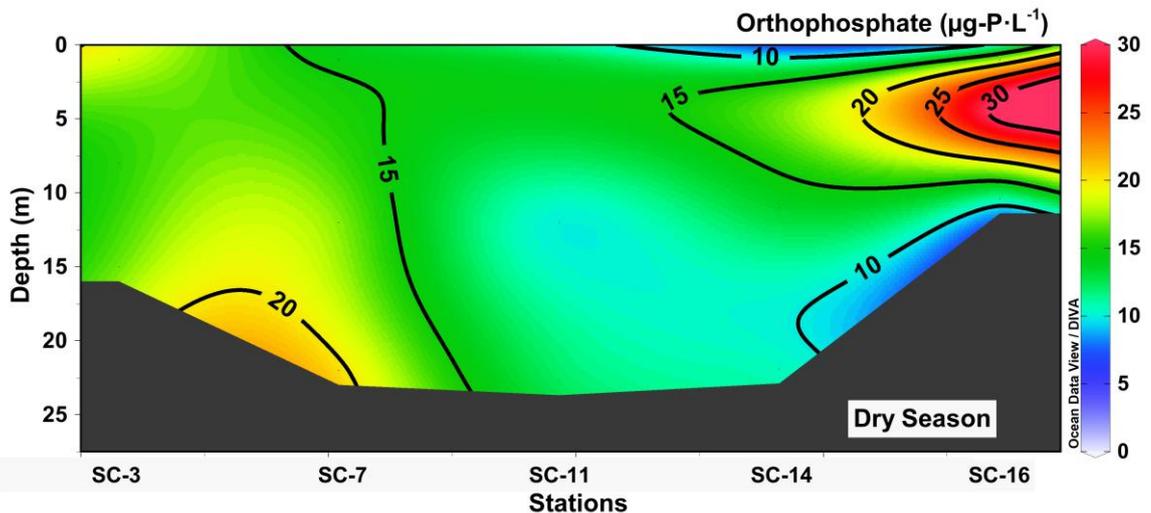


(b)

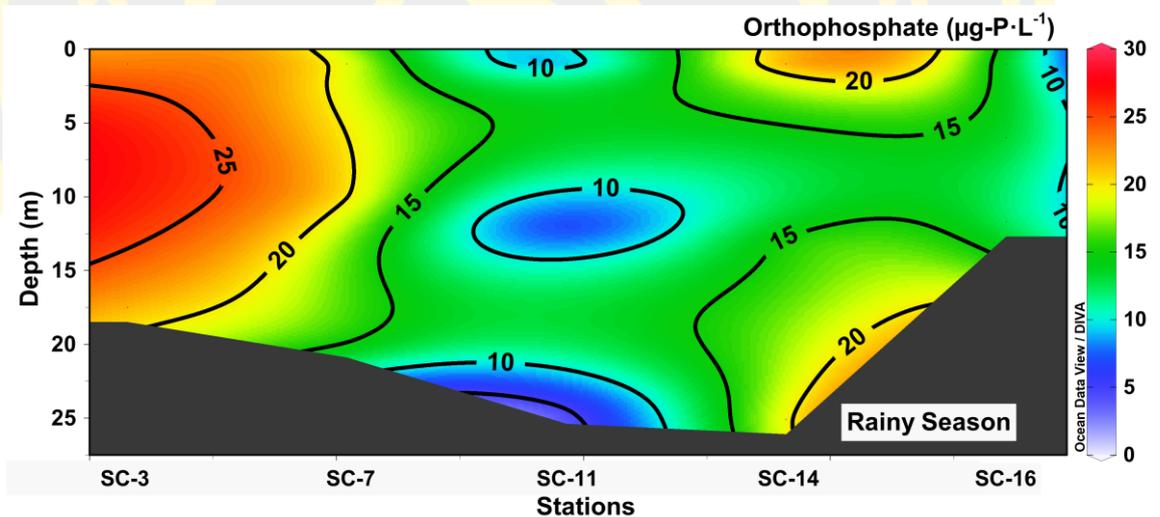


ภาพที่ 32 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณไนเตรท ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

(a)



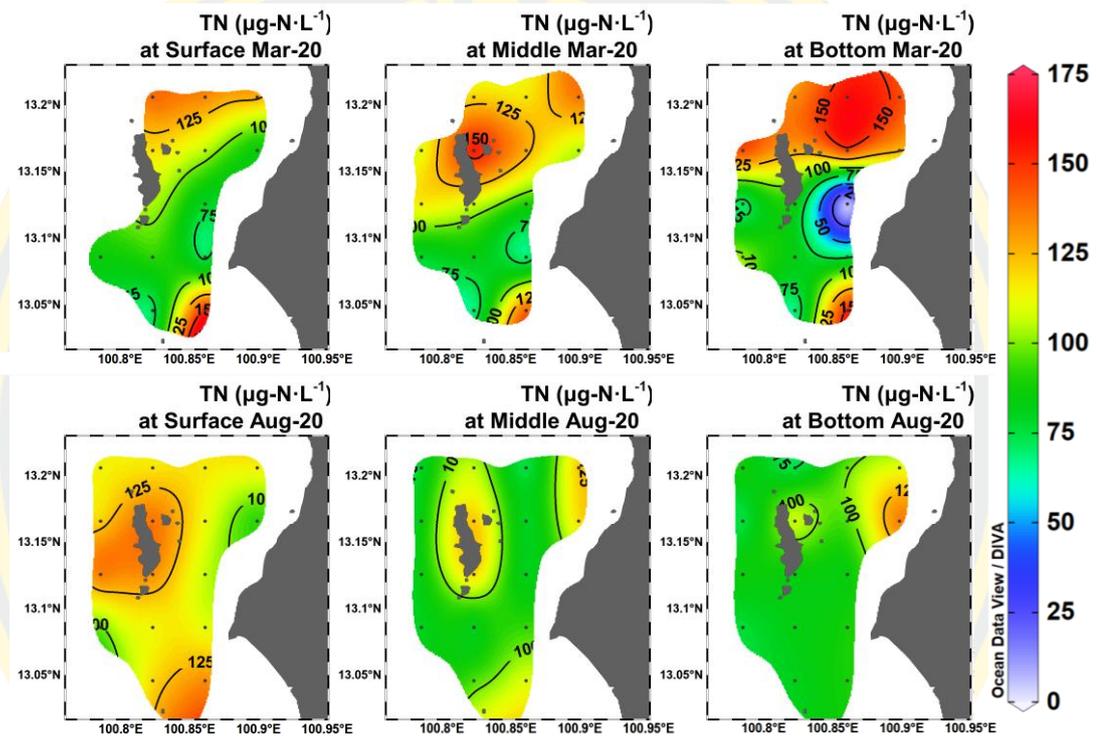
(b)



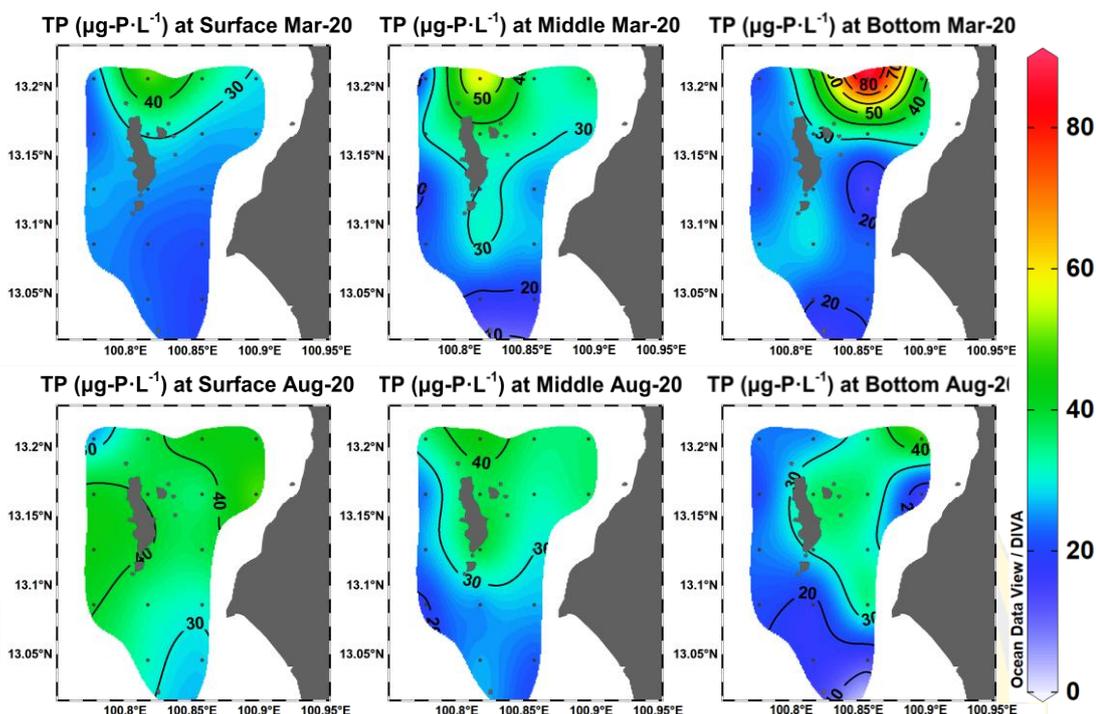
ภาพที่ 33 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

ไนโตรเจนรวมมีปริมาณมากขึ้นในฤดูแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $31.29 \pm 20.70 \mu\text{g-N/L}$ และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกโดยมีปริมาณสูงสุดในสถานีที่อยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชัง และฤดูฝนความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมเท่ากับ $33.88 \pm 22.55 \mu\text{g-N/L}$ (ภาพที่ 34) ซึ่งความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมไม่มีความแตกต่างเชิงฤดูกาล ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างในเชิงพื้นที่

($p < 0.05$) (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 10) เช่นเดียวกับฟอสฟอรัสรวมที่พบว่าในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $29.83 \pm 12.25 \mu\text{g-P/L}$ โดยมีความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเลทางด้านเหนือของพื้นที่ศึกษา ส่วนในฤดูฝนความเข้มข้นของฟอสฟอรัสรวมเท่ากับ $31.24 \pm 8.17 \mu\text{g-P/L}$ โดยมีค่าสูงและแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอที่ระดับผิวน้ำ (ภาพที่ 35) และไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง ($p > 0.05$) (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 11)

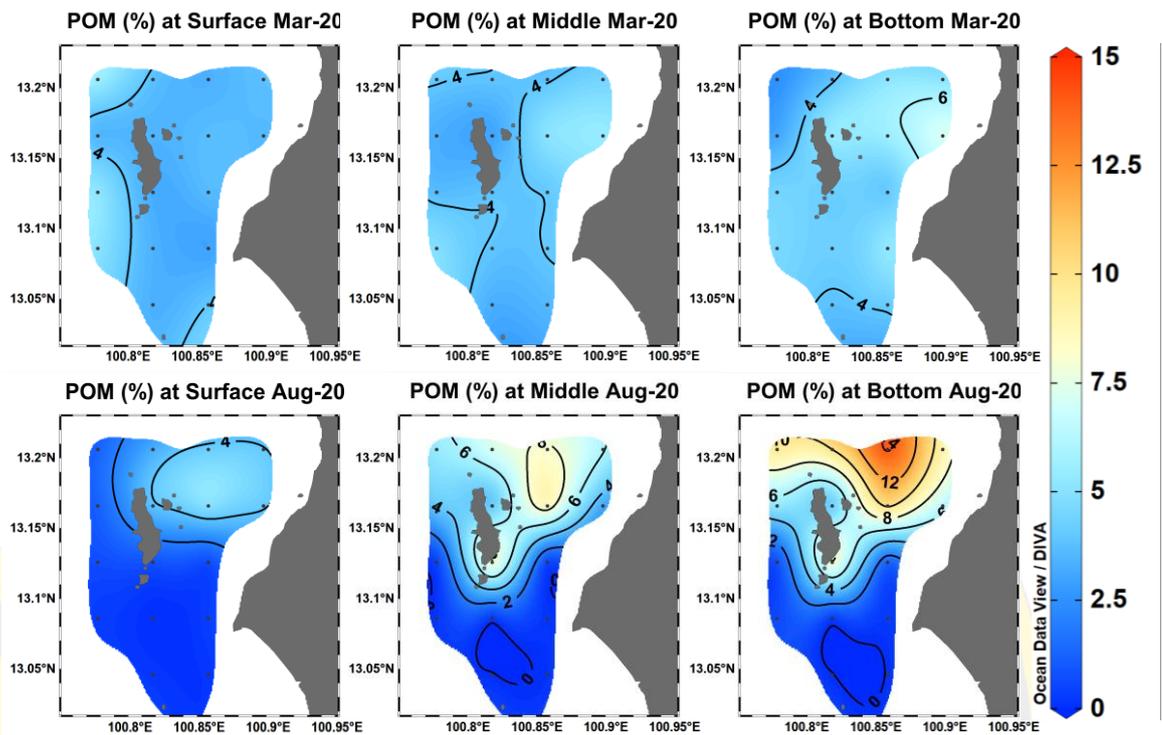


ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนรวมเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึกบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



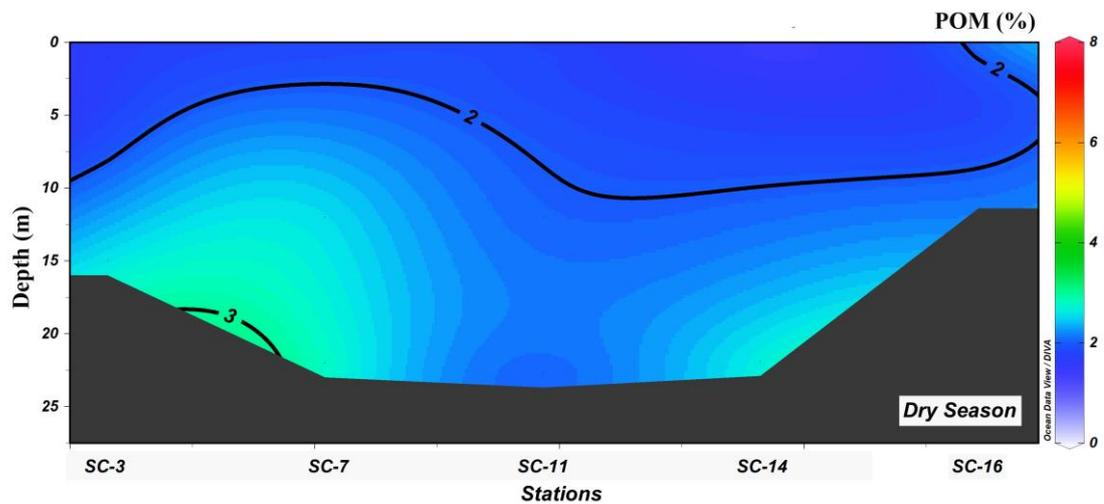
ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสรวมเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

สารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำช่วงฤดูแล้งมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันในทุกระดับความลึกน้ำ และมีการกระจายตัวของสารอินทรีย์ในแต่ละสถานีใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำเท่ากับ 4.08 ± 0.41 mg/ ส่วนในฤดูฝนสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก โดยที่ระดับผิวน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 ± 1.81 mg/L ระดับกึ่งกลางความลึกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.52 ± 3.47 mg/L และที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.05 ± 4.70 mg/L (ภาพที่ 36) และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำเชิงพื้นที่ตามแนวทิศเหนือของเกาะสีชัง จนถึงทางด้านทิศใต้ของเกาะสีชัง (ภาพที่ 18 (b)) พบว่าสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำมีความเข้มข้นสูงในบริเวณที่มีกิจกรรมการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง และเป็นจุดจอดเรือสินค้า (สถานี SC-3 และ SC-7) และมีความเข้มข้นสูงมากที่ระดับเหนือพื้นทะเล ดังแสดงในภาพที่ 37

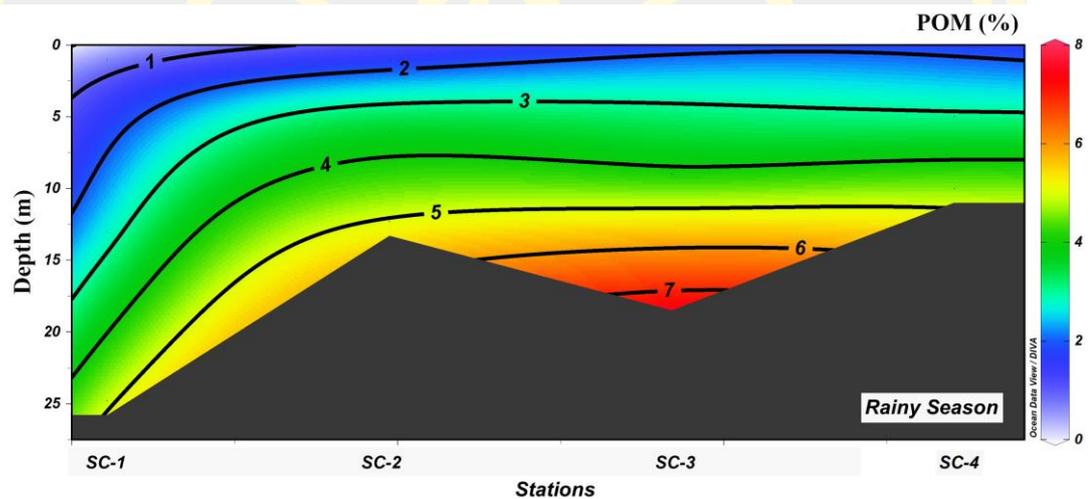


ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำเชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

(a)

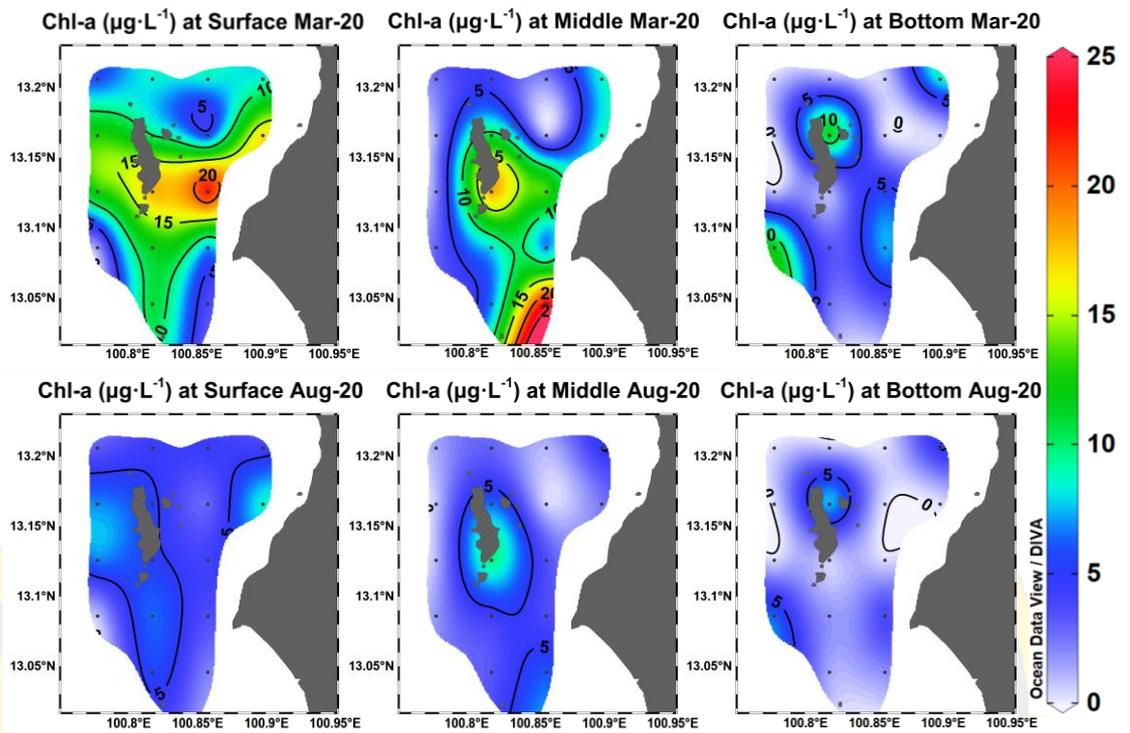


(b)



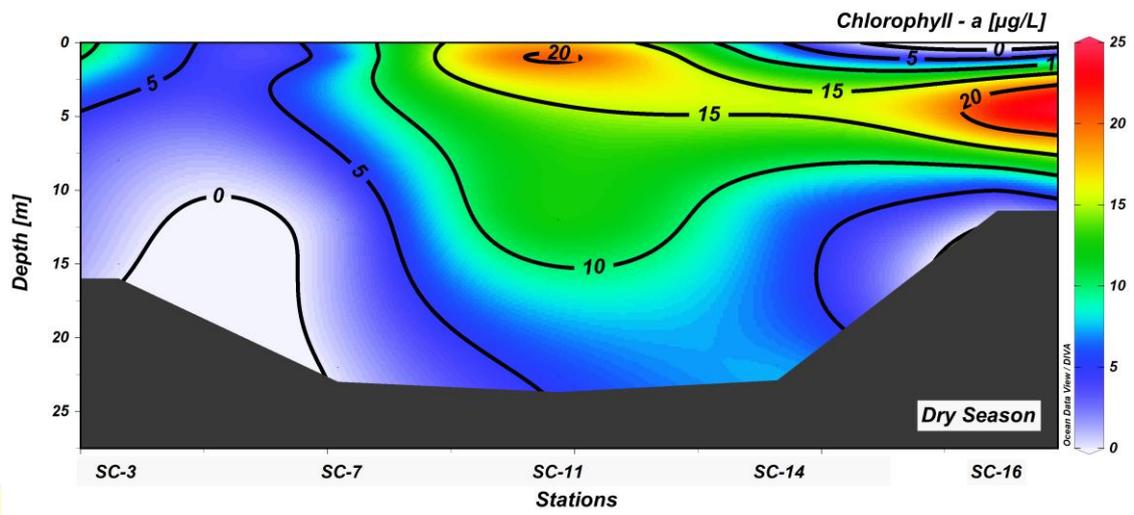
ภาพที่ 37 การกระจายตัวในแนวตั้งของปริมาณสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำ บริเวณที่มีการขนถ่าย
แป้งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

ปริมาณของคลอโรฟิลล์-เอ ในฤดูแล้งที่ระดับผิวน้ำและระดับกึ่งกลางความลึกมีค่าสูงกว่าที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเล โดยมีค่าเฉลี่ยของคลอโรฟิลล์-เอ ในระดับผิวน้ำเท่ากับ 4.73 ± 1.96 $\mu\text{g/L}$ ระดับกึ่งกลางความลึกเท่ากับ 3.20 ± 2.47 $\mu\text{g/L}$ และที่ระดับความลึกเหนือพื้นทะเล เท่ากับ 1.95 ± 2.43 $\mu\text{g/L}$ และแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอ ในเชิงพื้นที่ที่มากขึ้นในฤดูแล้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.08 ± 6.10 $\mu\text{g/L}$ และมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 3.30 ± 2.53 $\mu\text{g/L}$ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 13) (ภาพที่ 38 และ 39)

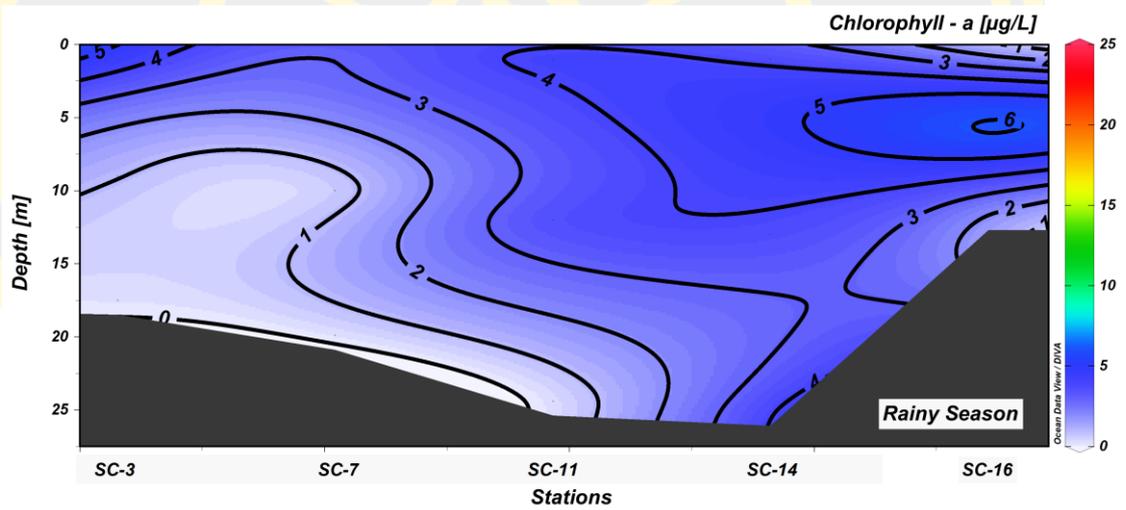


ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ เชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

(a)



(b)

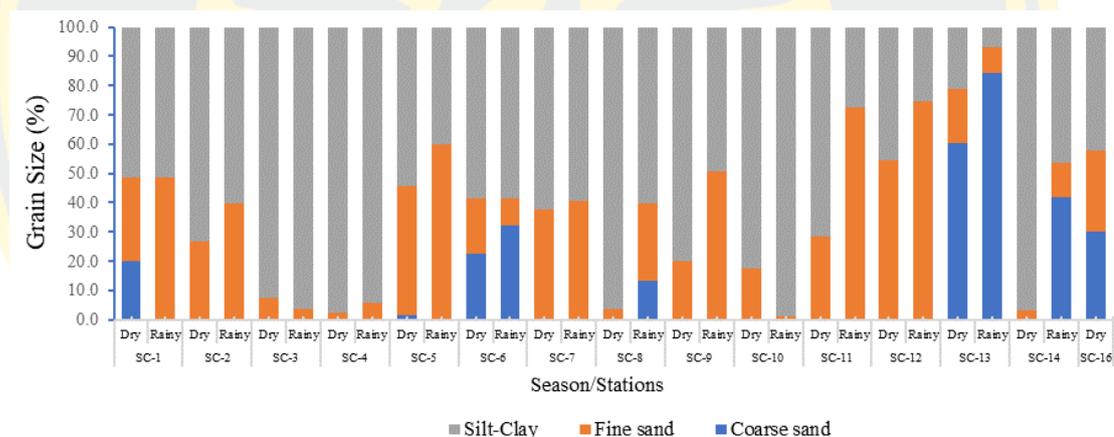


ภาพที่ 39 การกระจายตัวในแนวตั้งของคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา ในฤดูแล้ง (a) และฤดูฝน (b)

4.2 คุณภาพดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินตะกอน

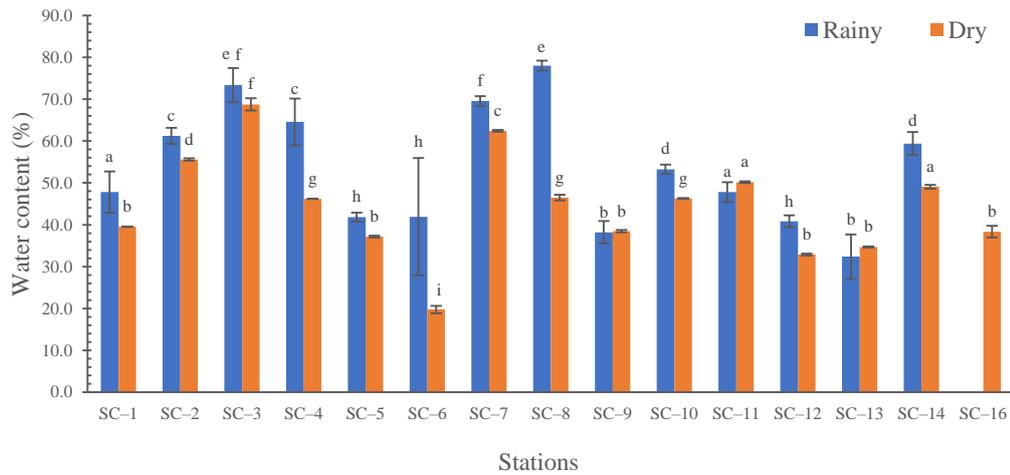
จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา อธิบายได้จากดัชนีสำคัญสองประการ ได้แก่ ขนาดอนุภาคดินตะกอน และปริมาณน้ำในดินตะกอน ผลการศึกษาพบว่า ดินตะกอนในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยส่วนผสมของทรายแป้ง (Silt) (ขนาดอนุภาค 0.002-0.02 mm.) และดินโคลน (Clay) (ขนาดอนุภาค < 0.002 mm.) โดยมีค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งเท่ากับ 68.39% และเท่ากับ 55.37% ในฤดูฝน นอกจากนี้ขนาดอนุภาคดินตะกอนมีความแตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่ และฤดูกาลดังนี้ ในฤดูแล้งสถานี SC-3, SC-4, SC-8 และ SC-14 อนุภาคดินตะกอนจะมีลักษณะเป็นทรายแป้งปนโคลน ในขณะที่สถานี SC-3, SC-4 และ SC-10 จะพบอนุภาคดินตะกอนที่มีลักษณะเป็นทรายแป้งปนโคลนในฤดูฝน และสถานี SC-13 พบอนุภาคดินตะกอนมีลักษณะเป็นทรายหยาบ (Coarse sand) ในสัดส่วนสูงสุดทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน (ภาพที่ 40)



ภาพที่ 40 อนุภาคดินตะกอนบริเวณพื้นที่ขนส่งสินค้านอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

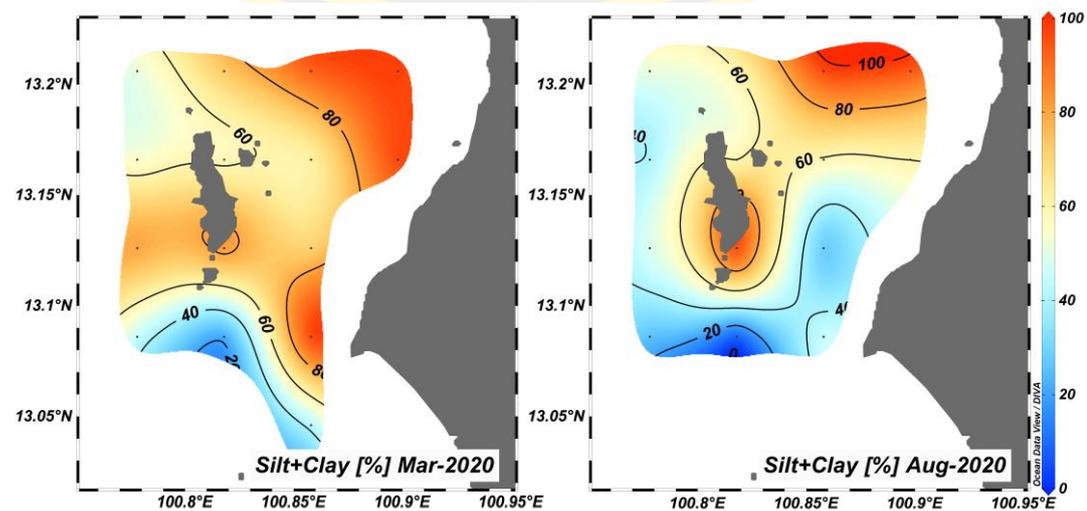
หมายเหตุ: ไม่แสดงผลการวิเคราะห์อนุภาคดินตะกอนในสถานี SC-15 เนื่องจากพื้นที่ทะเลเป็นหินแข็งไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ และสถานี SC-16 เก็บตัวอย่างได้ปริมาณน้อยในฤดูฝนเนื่องจากคลื่นลมแรง

ปริมาณน้ำในดินตะกอนที่ระดับผิวดิน (0 ถึง 1 cm.) มีค่าอยู่ในช่วง 19.12% - 79.19% และพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำในดินตะกอนช่วงฤดูฝน ($53.59 \pm 14.27\%$) มีค่าที่สูงกว่าในช่วงฤดูแล้ง ($44.39 \pm 12.24\%$) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 14) และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณน้ำในดินตะกอนระหว่างพื้นที่ต่างๆ ในช่วงฤดูฝน สถานีที่มีปริมาณน้ำในดินตะกอน เฉลี่ยสูงสุดคือ สถานี SC-8 รองลงมาคือ สถานี SC-3 และในช่วงฤดูแล้งสถานี SC-3 และ SC-7 พบว่ามีปริมาณน้ำในดินตะกอนสูงขึ้น (ภาพที่ 41)

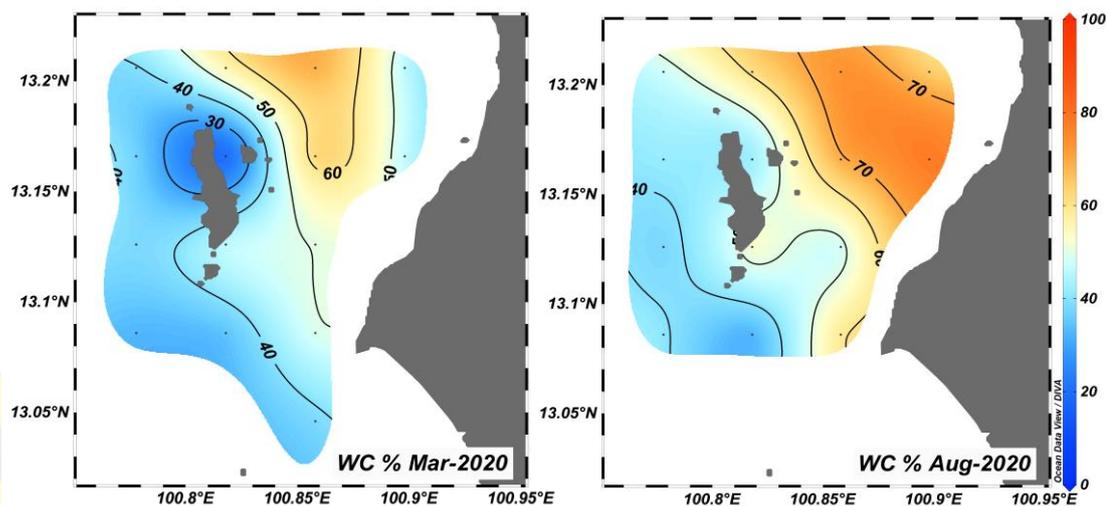


ภาพที่ 41 ปริมาณน้ำในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ขนส่งสินค้าออกชายฝั่งอำเภอศรีราชา
 เหตุ: ไม่แสดงผลการวิเคราะห์ในสถานี SC-15 เนื่องจากพื้นทะเลเป็นหินแข็งไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ และ
 สถานี SC-16 เก็บตัวอย่างได้ปริมาณน้อยในฤดูฝนเนื่องจากคลื่นลมแรง

ในช่วงฤดูฝน พบว่าอนุภาคดินตะกอนที่มีลักษณะละเอียดเป็นทรายแป้งปนโคลน (Silt-Clay) มีปริมาณเพิ่มขึ้นในสถานีที่อยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชัง ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งอนุภาคของดินตะกอนแบบทรายแป้งปนโคลนมีสัดส่วนมากกว่าอนุภาคดินชนิดอื่นและกระจายเป็นวงกว้างในพื้นที่มากกว่าในช่วงฤดูฝน (ภาพที่ 42) และเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในดินตะกอนในสถานีทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชัง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังลงเรือสินค้าเป็นประจำ จะมีแนวโน้มสูงกว่าบริเวณอื่น ได้แสดงภาพการกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำในดินตะกอนไว้ในภาพที่ 43 ซึ่งปริมาณน้ำในดินตะกอนมีความแตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 14)



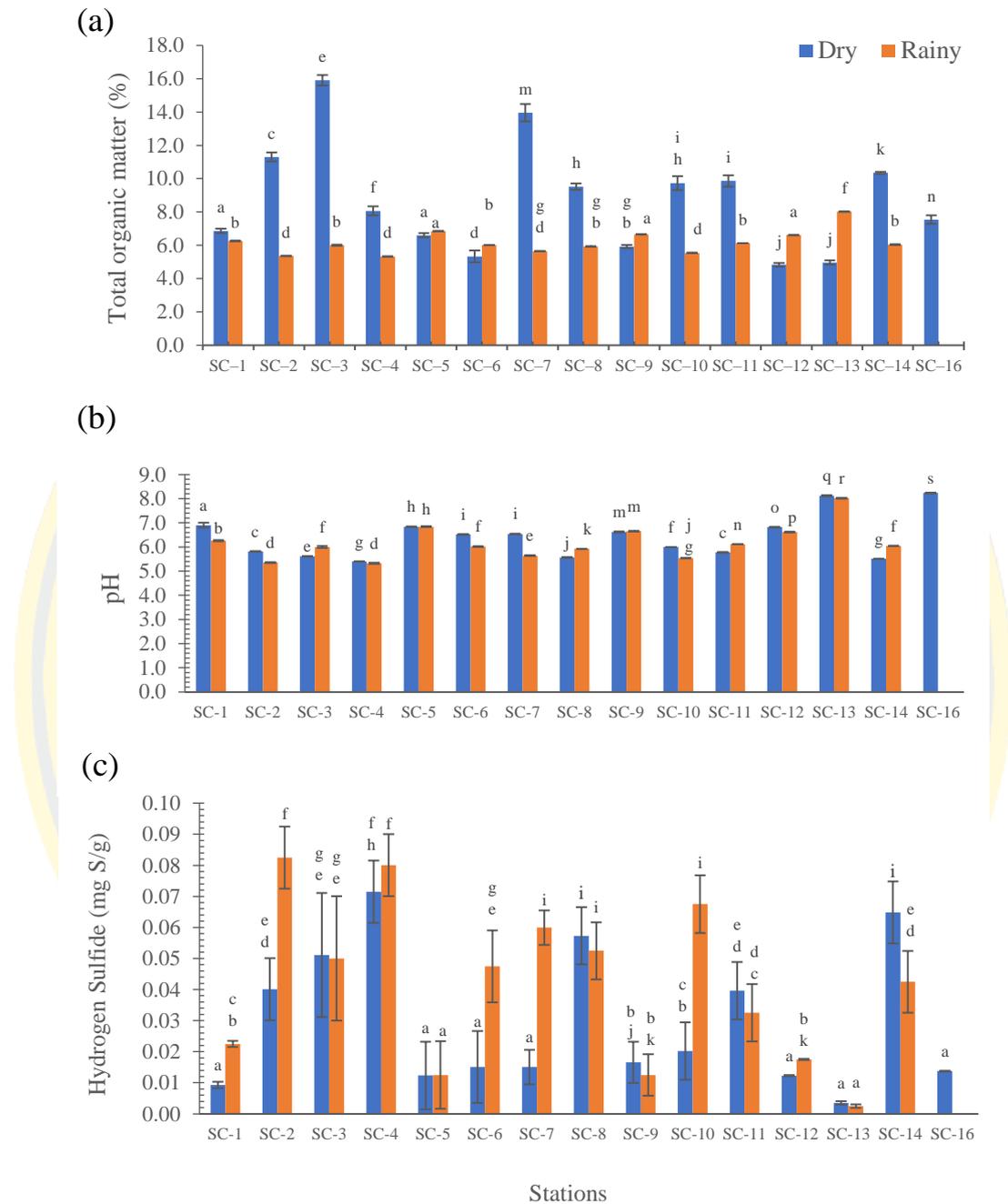
ภาพที่ 42 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิผิวดินตะกอนแบบทรายแป้งปนโคลนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



ภาพที่ 43 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

4.2.2 คุณภาพทางเคมีของดินตะกอน

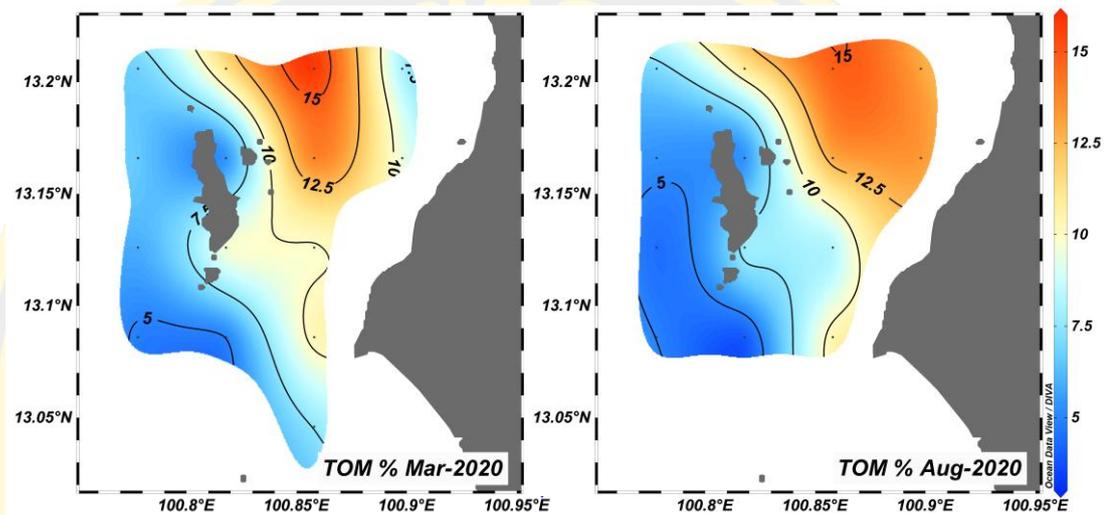
จากการศึกษาพบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวม ความเป็นกรด-เบส และไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.7-16.2%, 5.3-8.2 และ 0.0015-0.0930 mg S/g ตามลำดับ โดยพบปริมาณสารอินทรีย์รวม ความเป็นกรด-เบส และไฮโดรเจนซัลไฟด์ สูงในฤดูแล้ง (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $8.72 \pm 3.21\%$, 6.42 ± 0.87 และ 0.030 ± 0.023 mg S/g ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูฝนที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวม ความเป็นกรด-เบส และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินตะกอนที่ต่ำกว่า (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $6.17 \pm 0.69\%$, 6.17 ± 0.69 และ 0.041 ± 0.026 mg S/g ตามลำดับ) โดยปริมาณสารอินทรีย์รวม ความเป็นกรด-เบส และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในดินตะกอนในฤดูแล้งและฤดูฝน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 15, 16 และ 17) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด ความเป็นกรด-เบส และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในสถานีเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันพบว่าในช่วงฤดูแล้ง สถานี SC-3 พบปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงสุด ความเป็นกรด-เบสมีค่าสูงสุดที่สถานี SC-13 และความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าสูงสุดที่สถานี SC-4 ส่วนในฤดูฝน สถานี SC-13 มีปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดสูงสุด และความเป็นกรด-เบสสูงสุด และสถานี SC-2 มีปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด (ภาพที่ 44)



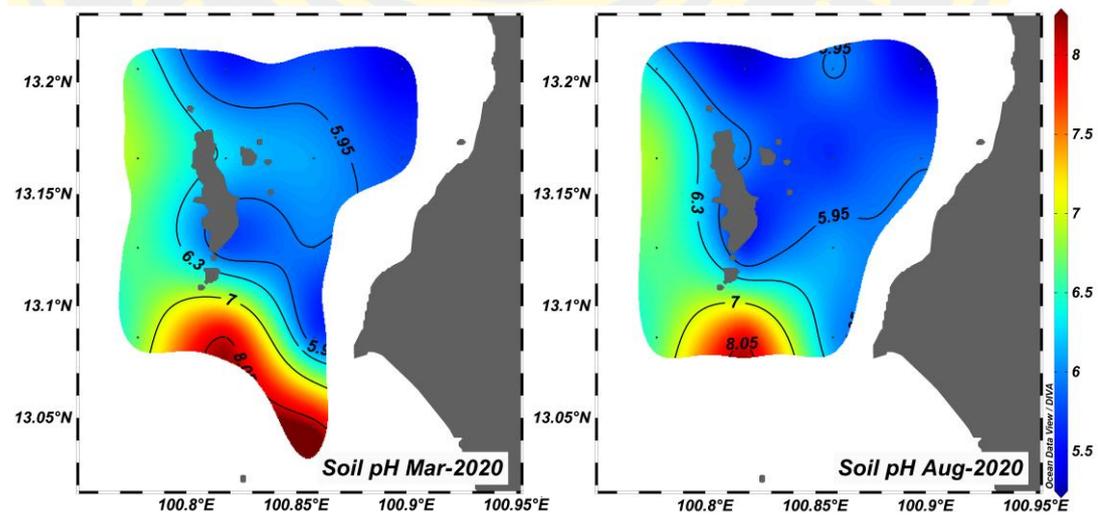
ภาพที่ 44 ปริมาณสารอินทรีย์รวม (a) ความเป็นกรด-เบส (b) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (c) ในดิน ตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของปริมาณสารอินทรีย์รวม ความเป็นกรด-เบส และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินตะกอน พบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมมีแนวโน้มสูงขึ้นในสถานีเก็บตัวอย่างทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือ (สถานี SC-2, SC-3 และ SC-4) (ภาพที่ 45) ซึ่งสอดคล้องกับในบริเวณนี้เป็นพื้นที่จอดเรือขนส่งสินค้าและมีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง ตามที่แสดงไว้ใน

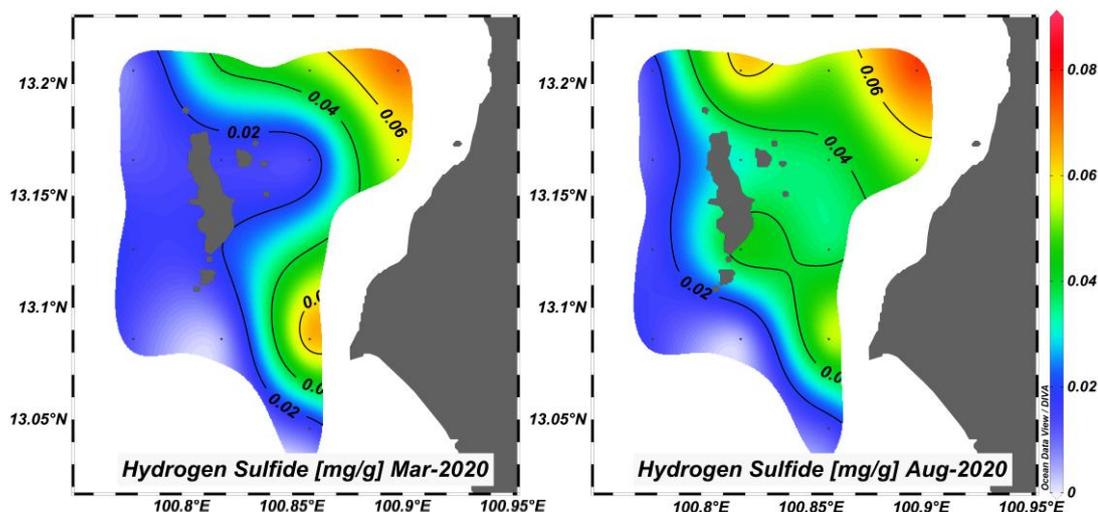
ภาพที่ 18 ค่าความเป็นกรด-เบสในพื้นที่ส่วนใหญ่ค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย ยกเว้นทางตอนใต้ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบสใกล้เคียงระดับเป็นกลาง (ภาพที่ 46) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชัง ในขณะที่สถานีทางด้านตะวันตกของเกาะสีชังที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงของพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำกว่าบริเวณอื่นที่มีกิจกรรมการขนส่งสินค้า (ภาพที่ 47)



ภาพที่ 45 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



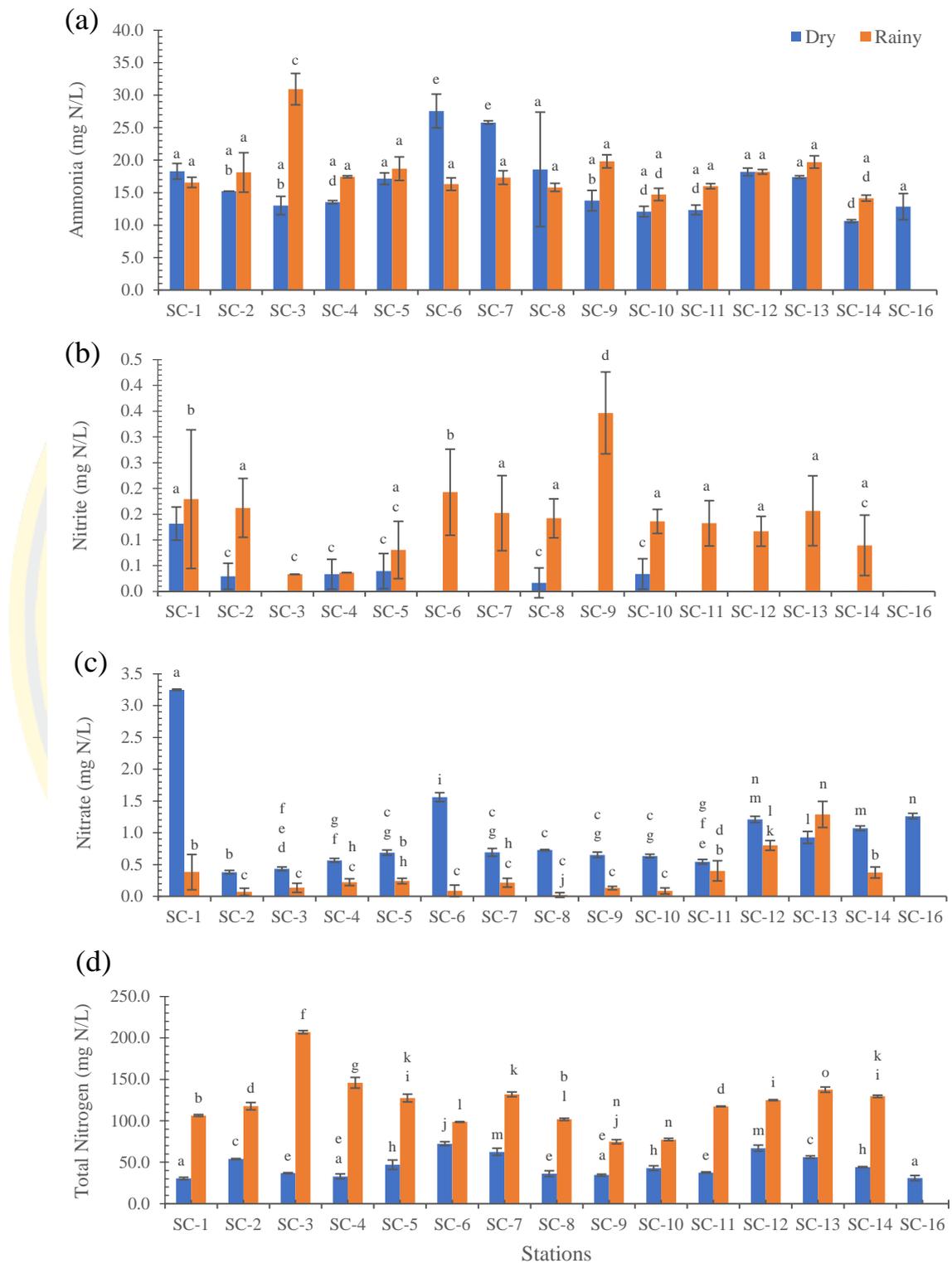
ภาพที่ 46 การกระจายเชิงพื้นที่ของความเป็นกรด-เบสในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



ภาพที่ 47 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟต์ในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

4.2.3 สารอาหารในน้ำในดินตะกอน (Nutrient in Pore water)

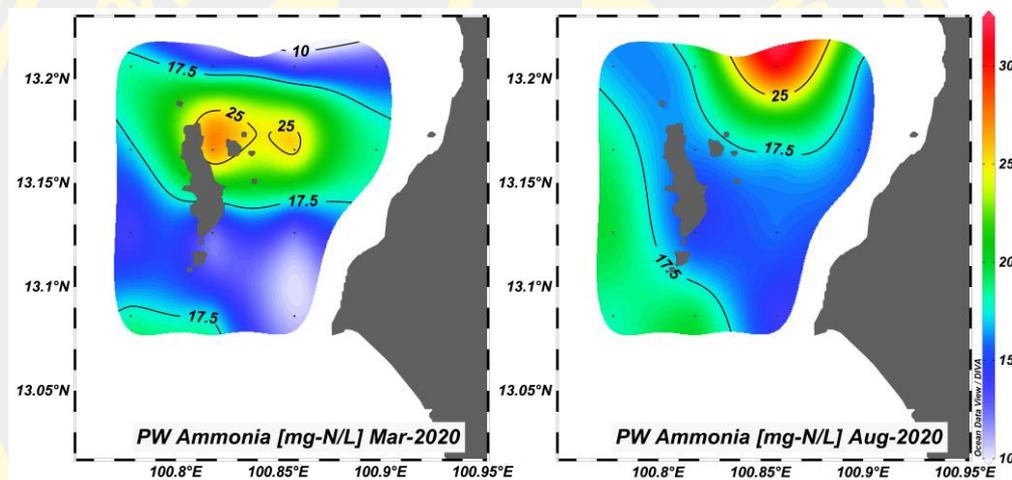
ปริมาณของสารอาหารในน้ำในดินตะกอน ในช่วงฤดูฝนมีความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท และไนโตรเจนรวม เท่ากับ 18.12 ± 4.11 , 0.14 ± 0.09 , 0.32 ± 0.09 และ 121.27 ± 31.77 mg-N/L ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงฤดูแล้ง ที่มีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนโตรเจนรวมเท่ากับ 16.43 ± 5.22 , 0.02 ± 0.04 , 0.97 ± 0.04 และ 45.62 ± 13.56 mg-N/L ตามลำดับ โดยทุกพารามิเตอร์มีความแตกต่างกันในเชิงฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 18, 19, 20 และ 21) ซึ่งความเข้มข้นของสารอาหารเหล่านี้มีความแตกต่างอย่างมากในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง กล่าวคือใน ฤดูแล้งพบแอมโมเนียสูงสุดที่สถานี SC-6 พบไนโตรท์สูงสุดที่สถานี SC-9 พบไนเตรทสูงสุดที่สถานี SC-1 และพบไนโตรเจนรวมสูงสุดที่สถานี SC-3 ในทางกลับกัน ในช่วงฤดูฝน พบปริมาณแอมโมเนียสูงสุดที่สถานี SC-3 พบปริมาณไนโตรท์สูงสุดที่สถานี SC-1 พบปริมาณไนเตรทสูงสุดที่สถานี SC-13 และพบปริมาณแอมโมเนียสูงสุดที่สถานี SC-6 (ภาพที่ 48) แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนในเชิงพื้นที่ศึกษาและเวลา ของปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท และไนโตรเจนรวม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างสถานีและฤดูกาล (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 18, 19, 20 และ 21)



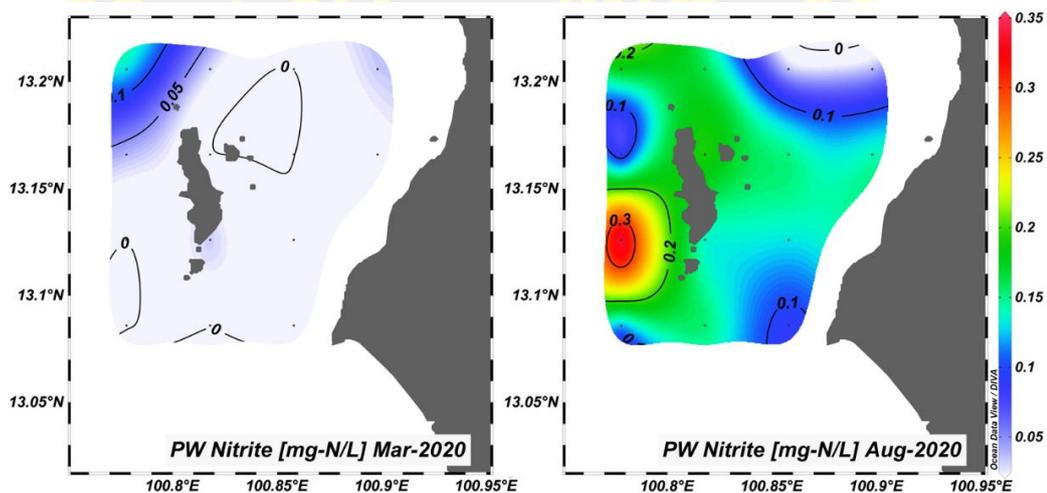
ภาพที่ 48 ปริมาณสารอาหารในน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

(a) แอมโมเนีย (b) ไนไตรท์ (c) ไนเตรท และ (d) ไนโตรเจนรวม

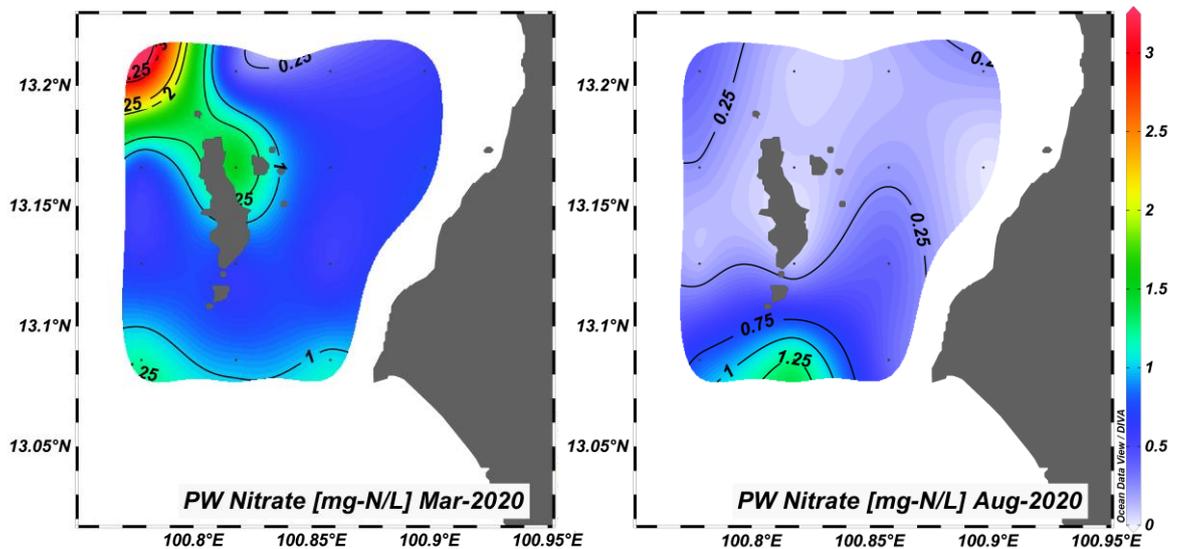
การกระจายของสารอาหารในน้ำในดินตะกอนเชิงพื้นที่ พบว่าแอมโมเนียมีความเข้มข้นสูงในสถานีเก็บตัวอย่างทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการจอดเรือโปะเพื่อขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง และเป็นที่ยอดเรือบรรทุกสินค้าทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน (ภาพที่ 49) ปริมาณไนโตรเจนมีรูปแบบการกระจายตัวไม่ชัดเจน และมีค่าต่ำในช่วงฤดูแล้ง (ภาพที่ 50) สำหรับไนเตรทช่วงฤดูแล้งพบปริมาณสูงในสถานีด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ในขณะที่ในฤดูฝนพบปริมาณไนเตรทค่อนข้างต่ำและมีการผันผวนในเชิงพื้นที่ (ภาพที่ 51) ปริมาณไนโตรเจนรวมมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในฤดูแล้ง แต่จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสถานีเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่ในช่วงฤดูฝน ยกเว้นสถานีเก็บตัวอย่างที่อยู่ทางด้านตะวันตกของเกาะสีชังที่ไม่มีการขนส่งสินค้า (ภาพที่ 52)



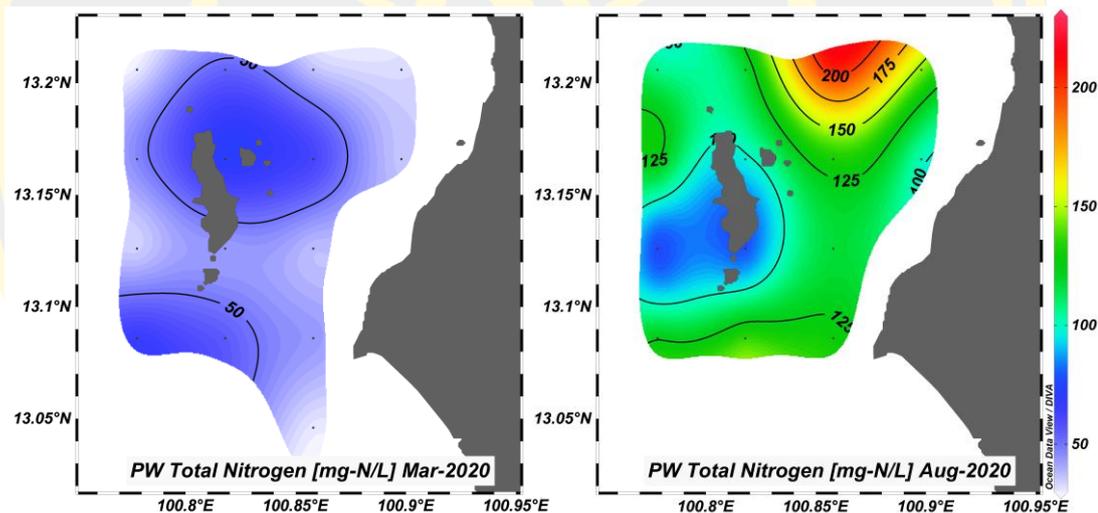
ภาพที่ 49 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณแอมโมเนียในน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



ภาพที่ 50 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณไนโตรเจนในน้ำในดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



ภาพที่ 51 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณไนเตรทในน้ำในดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอสรีราชา



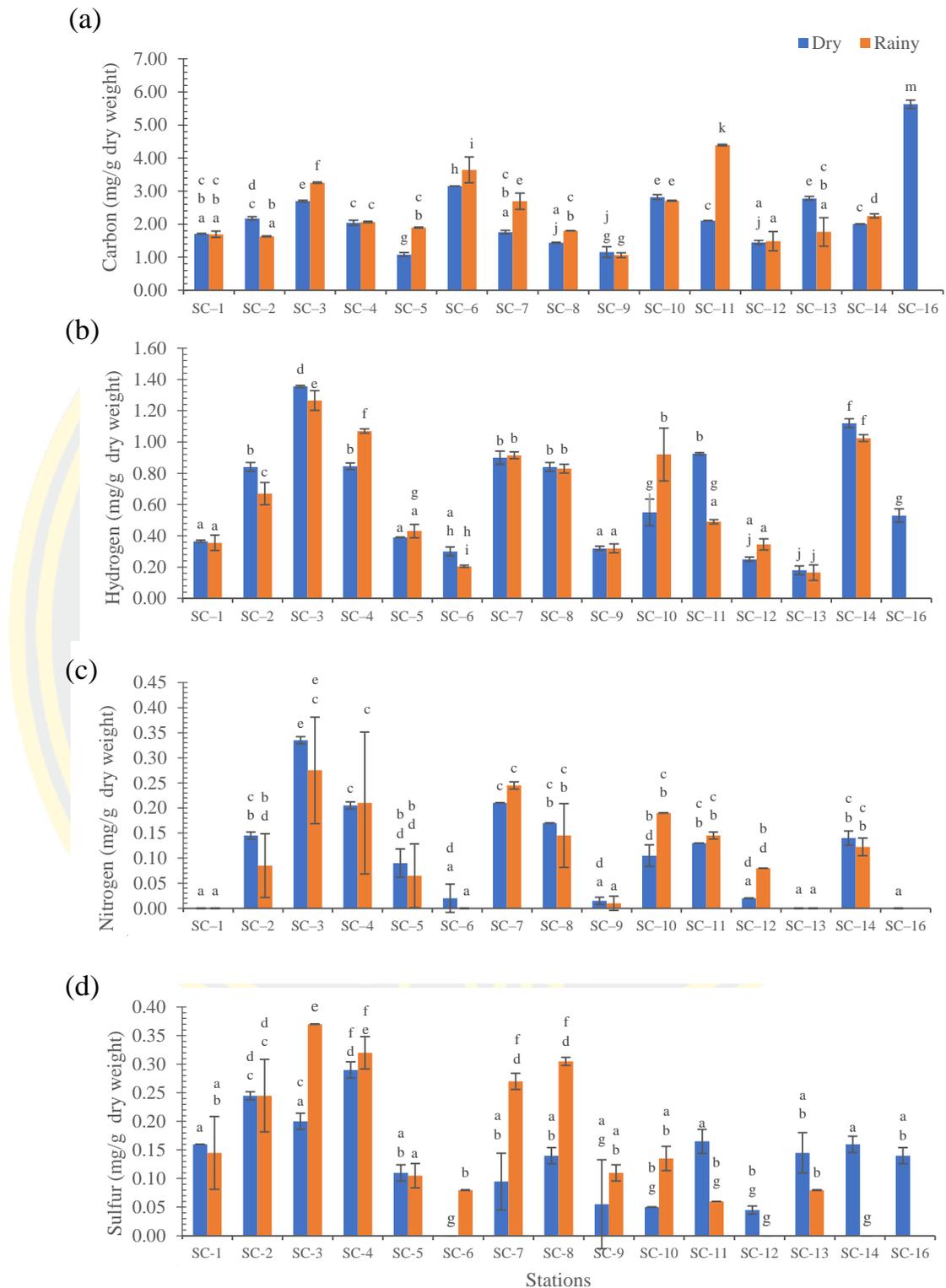
ภาพที่ 52 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณไนโตรเจนรวมในน้ำในดินตะกอน บริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอสรีราชา

4.2.4 แร่ธาตุในดินตะกอน

จากการศึกษาปริมาณแร่ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ในดินตะกอน พบว่าปริมาณคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณสูงกว่าแร่ธาตุอื่น โดยในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.11 ± 9.28 mg/g น้ำหนักแห้ง และมีปริมาณสูงกว่าในฤดูแล้ง ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.67 ± 11.20 mg/g น้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 53 (a)) ซึ่งธาตุคาร์บอนมีความแตกต่างในเชิงฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาคผนวก ค, ตารางที่ 22) ปริมาณไฮโดรเจน และ

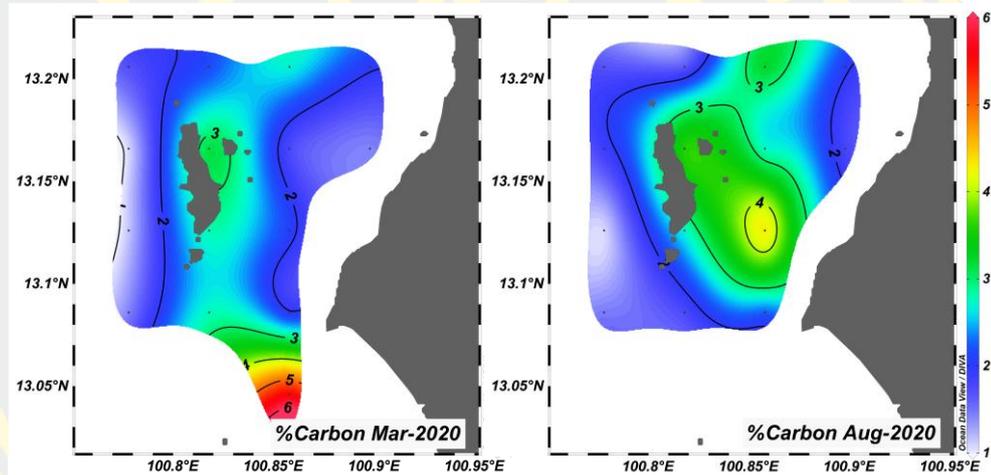
ไนโตรเจน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในแต่ละฤดูกาล ในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.47 ± 3.54 mg/g น้ำหนักแห้ง และ 1.06 ± 0.99 mg/g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.43 ± 3.58 mg/g น้ำหนักแห้ง และ 1.12 ± 0.94 mg/g น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพที่ 53 (b) (c)) สำหรับปริมาณกำมะถันในดินตะกอนช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.59 ± 1.21 mg/g น้ำหนักแห้ง และในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.33 ± 0.78 mg/g น้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 53 (d))



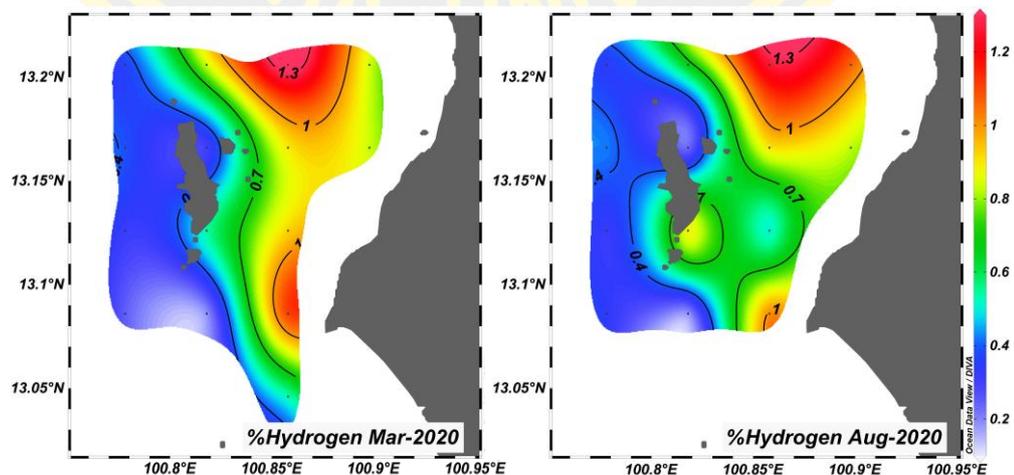


ภาพที่ 53 องค์ประกอบของแร่ธาตุในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา (a) คาร์บอน (b) ไฮโดรเจน (c) ไนโตรเจน และ (d) กำมะถัน

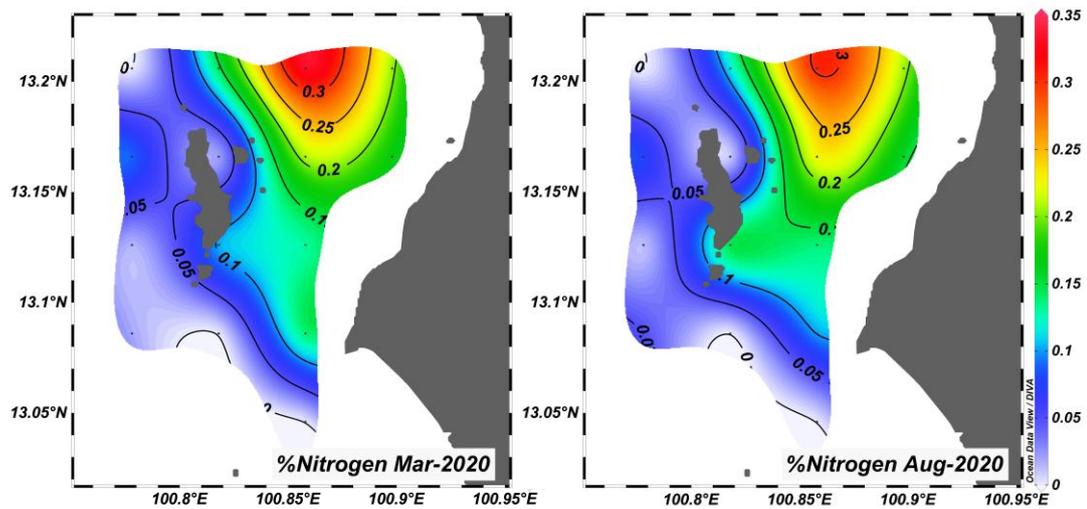
จากการศึกษาการกระจายตัวในเชิงพื้นที่ของแร่ธาตุในดินตะกอน พบว่าปริมาณคาร์บอนมีค่าอยู่ในช่วง 10.80-43.95 mg/g น้ำหนักแห้ง โดยมีการกระจายตัวบริเวณศูนย์กลางของพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 54) ซึ่งอยู่ภายในรัศมีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลัง ปริมาณไฮโดรเจนในดินตะกอนในฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 1.80-13.55 mg/g น้ำหนักแห้ง โดยปริมาณไฮโดรเจนมีการแพร่กระจายจากทางทิศใต้ขึ้นไปทางทิศเหนือ ส่วนในฤดูฝนปริมาณไฮโดรเจนมีค่าสูงและกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ทางทิศเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก (ภาพที่ 55) ปริมาณไนโตรเจนในดินตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-3.35 mg/g น้ำหนักแห้ง โดยมีความเข้มข้นสูงและกระจุกตัวในพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือเป็นส่วนใหญ่ (56) ปริมาณกำมะถันในดินตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-3.70 mg/g น้ำหนักแห้ง มีการแพร่กระจายที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ในฤดูแล้ง ในขณะที่ในฤดูฝนพบปริมาณกำมะถันที่สูงกว่าในฤดูแล้ง และกระจายตัวในพื้นที่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 57)



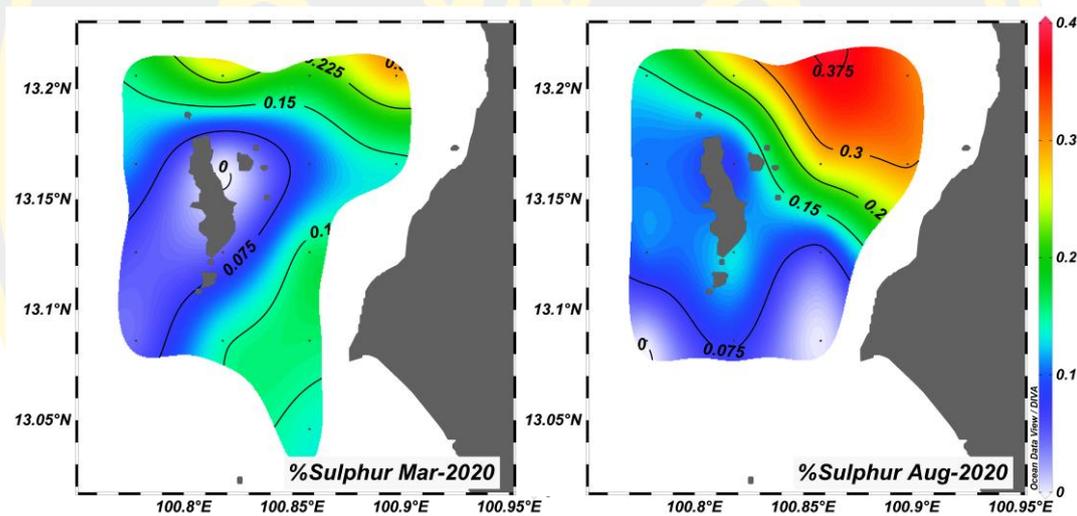
ภาพที่ 54 การกระจายเชิงพื้นที่ของคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



ภาพที่ 55 การกระจายเชิงพื้นที่ของไฮโดรเจนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



ภาพที่ 56 การกระจายเชิงพื้นที่ของไนโตรเจนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

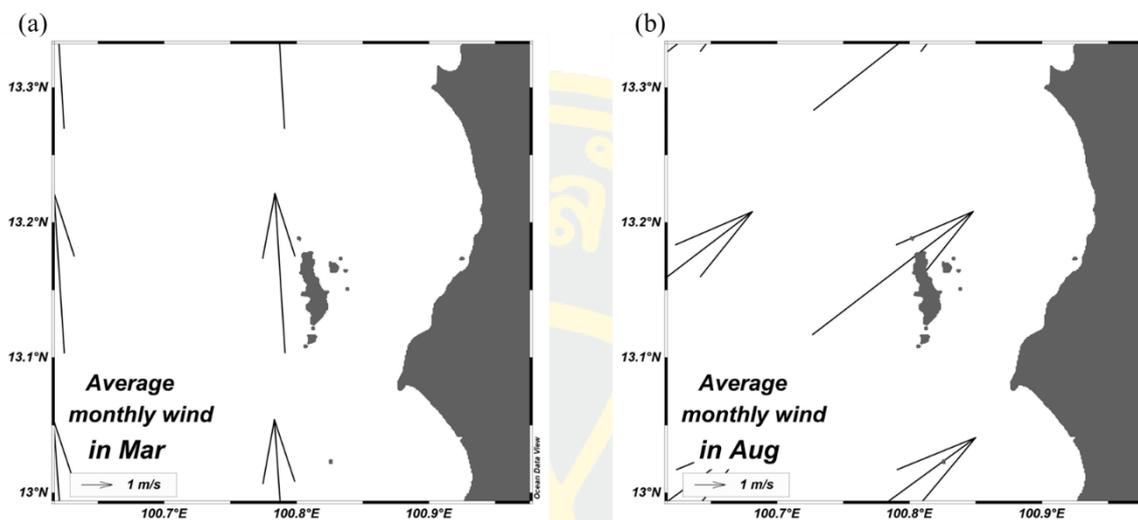


ภาพที่ 57 การกระจายเชิงพื้นที่ของกำมะถันในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

4.3 ลักษณะของลมบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

ข้อมูลลมเฉลี่ยในเดือนมีนาคม (ฤดูแล้ง) และเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอ ศรีราชา (อ่าวศรีราชา) จากข้อมูลดาวเทียม QuikSCAT พบว่า ในช่วงเดือนมีนาคม เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 (1st Transition season) ลมมีทิศทางหลักพัดมาจากทิศใต้ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 2.24 m/s ทิศทางของลมพัดมาจากทางด้านทิศใต้สู่ทิศเหนือ ทำมุมเกือบ 90 องศาต่อพื้นที่อ่าวศรีราชา เนื่องจากในช่วงเดือนดังกล่าวเป็นช่วงเปลี่ยนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ภาพที่

58 (a) ส่วนในเดือนสิงหาคม เป็นช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมีทิศทางพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเร็วลมสูงสุดในรอบปีเฉลี่ย 7.06 m/s (ภาพที่ 58 (b))

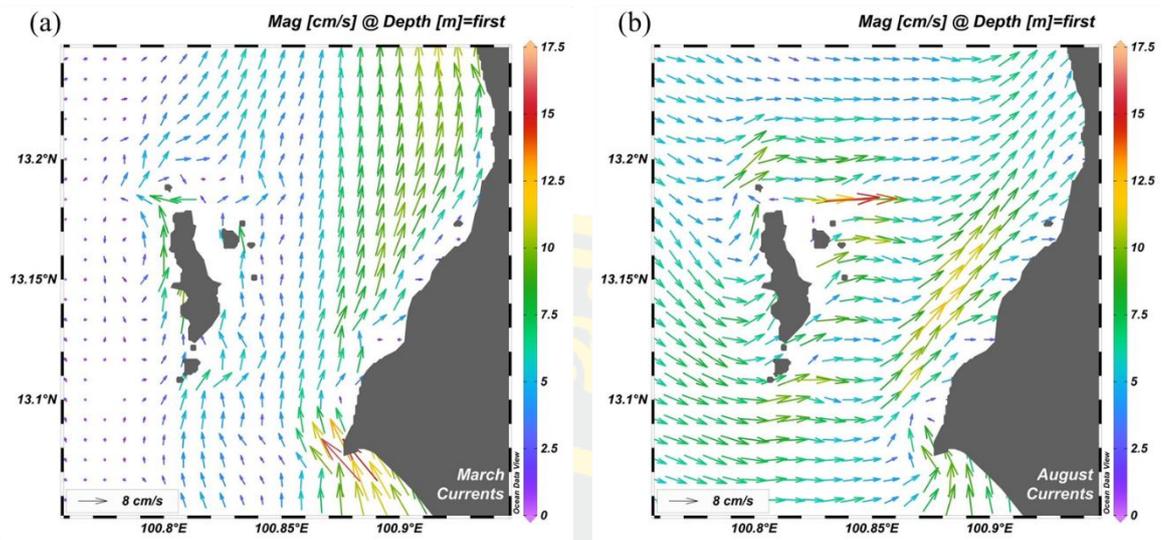


ภาพที่ 58 ลมเฉลี่ยรายเดือนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในเดือนมีนาคม (ฤดูแล้ง) (a) และเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) (b)

4.4 กระแสน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

จากการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Princeton Ocean Model (POM) พบว่า

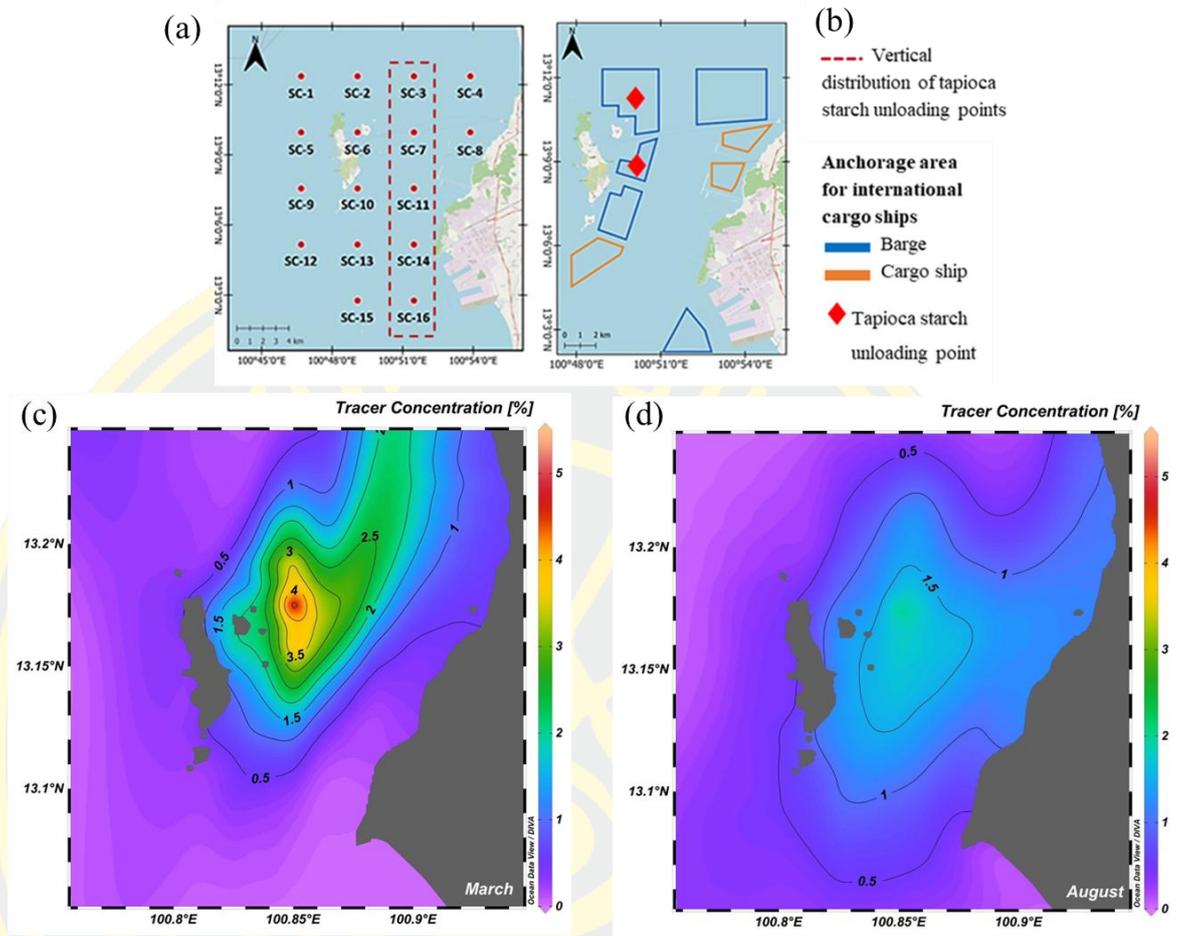
การไหลเวียนของกระแสน้ำที่ระดับผิวน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา พบว่า ในเดือนมีนาคม (ฤดูแล้ง) กระแสน้ำมีทิศทางการเคลื่อนที่จากทางทิศใต้สู่ทิศเหนือ และเมื่อเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณเกาะสีชัง กระแสน้ำจะไหลเลียบทางฝั่งตะวันตกและตะวันออกของเกาะสีชัง แต่เนื่องจากในบริเวณนี้มีเกาะแก่งกระจายอยู่ จึงทำให้กระแสน้ำที่ผิวน้ำค่อนข้างปั่นป่วน และเมื่อพ้นบริเวณเกาะสีชังแล้วกระแสน้ำจะไหลเบี่ยงเล็กน้อยออกไปทางทิศตะวันออกฉียงเหนือและไหลขนานกับชายฝั่งด้านตะวันออกขึ้นสู่ทางทิศเหนือของอ่าวศรีราชา (ภาพที่ 59 (a)) ในเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) เป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลให้กระแสน้ำที่ผิวน้ำมีลักษณะการไหลในทิศทางจากฝั่งตะวันตกไปทางฝั่งตะวันออกของอ่าวศรีราชา โดยไหลเลียบแนวชายฝั่งด้านทิศเหนือจนกระทั่งชนชายฝั่งด้านตะวันออก กระแสน้ำจะไหลขึ้นไปทางทิศเหนือ (ภาพที่ 59 (b))



ภาพที่ 59 กระแสน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในเดือนมีนาคม (ฤดูแล้ง) (a) และเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) (b)

4.5 ลักษณะการแพร่กระจายของตัวติดตามบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา

ได้ทำการปล่อยตัวติดตามในแบบจำลองมีต้นกำเนิดจากจุดขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลัง ใกล้เกาะสีชัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา รูปแบบการแพร่กระจายของตัวติดตามในเดือนมีนาคม (ฤดูแล้ง) และเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) พบว่า เดือนมีนาคม เป็นช่วงเปลี่ยนจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มอ่อนกำลังลง ทำให้เกิดการแพร่กระจายของตัวติดตามในลักษณะที่เกิดการรวมตัวกันของมวลส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณที่มีกิจกรรมการขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลังตามแนวทิศเหนือ-ใต้ (North-South Distribution) ได้แก่ สถานีที่ SC-3, SC-7 และ SC11 และ SC-14 (ภาพที่ 60 (a) (b)) และมีการแพร่กระจายไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชังเข้าสู่บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก (ภาพที่ 60 (c)) ในเดือนสิงหาคม เป็นช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กระแสน้ำจะไหลเวียนจากด้านตะวันตกไปสู่ชายฝั่งด้านตะวันออก ส่งผลต่อลักษณะการแพร่กระจายของตัวติดตามให้แพร่กระจายเป็นวงกว้างจากบริเวณขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลังเข้าสู่ชายฝั่งด้านตะวันออก ครอบคลุมสถานีเก็บตัวอย่างทางทิศตะวันออก และทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชังทั้งหมด (ภาพที่ 60 (d))



ภาพที่ 60 การแพร่กระจายของตัวติดตามต้นกำเนิดจากจุดขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง นอกชายฝั่ง
อำเภอศรีราชา

(a) สถานีเก็บตัวอย่างในแนวทิศเหนือ-ใต้ (North-South Distribution) (b) บริเวณจอดเรือขนส่ง
สินค้าและจุดขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง (c) การแพร่กระจายของตัวติดตาม ต้นกำเนิดจากจุดขนถ่าย
แป้งมันสำปะหลังในเดือนมีนาคม (หน่วยเป็น%) (d) การแพร่กระจายของตัวติดตาม ต้นกำเนิดจาก
จุดขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังในเดือนสิงหาคม (หน่วยเป็น%)

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

5.1 อภิปรายผล

คุณภาพน้ำทะเลทางกายภาพ และเคมี ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาโดยภาพรวมในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและ เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมและท่าเรือ (Ministry of Natural Resources and Environment, 2021) และผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าของ Na-u-dom et al. (2013), Kongpradit and Buranapratheprat (2023), Swingle (1969) และ Graham and Wilcox (2000)

ในช่วงฤดูฝนค่าพีเอชของน้ำที่ระดับผิวน้ำจะเป็นเบสเล็กน้อยและกระจายสม่ำเสมอในทุกสถานี ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีค่าสูงที่ระดับผิวน้ำเช่นกัน และในสถานีเก็บตัวอย่างเดียวกันนั้นพบว่าค่าของแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรตสูงที่ความลึกระดับพื้นทะเล ซึ่งปริมาณของแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต ที่สูงขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์รวมที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน โดยเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสีชัง (สถานี SC-3) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังลงเรือสินค้าจำนวนมาก (ภาพที่ 4-5 (a), (b), (c) และภาพที่ 4-7 (c)) ในทางตรงกันข้ามพื้นที่ทางตะวันตกของเกาะสีชังซึ่งอยู่ไกลจากกิจกรรมการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลัง และเป็นจุดอ้างอิงของการศึกษาครั้งนี้ พบว่าระดับสารอาหารไนโตรเจนมีปริมาณต่ำกว่าพื้นที่ ๆ มีกิจกรรมการขนส่งสินค้า จากการที่ระดับสารอาหารมีค่าที่สูงในบริเวณใกล้พื้นทะเลเมื่อเทียบกับผิวน้ำแสดงว่าสารอาหารถูกปลดปล่อยออกมาจากดินตะกอน ซึ่งเป็นที่สะสมของเสียจากกิจกรรมการขนส่ง จึงทำให้บ่งชี้ได้ว่าการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำ โดยมีการสะสมสารอินทรีย์ไว้ในดินตะกอน ซึ่งจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นและปลดปล่อยสารอนินทรีย์ออกสู่น้ำทะเล การสะสมของสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นจากกิจกรรมการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลัง ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนลดต่ำลง ประกอบกับช่วงฤดูฝนในบริเวณนี้เกิดการแบ่งชั้นน้ำตามระดับความลึกซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเค็ม โดยที่ระดับผิวน้ำมีความเค็มต่ำกว่าที่ระดับพื้นทะเลทำให้มวลน้ำผสมกันไม่ได้ดี (ภาพที่ 4-4 (d)) จึงส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบริเวณนี้มีค่าต่ำถึง 3 mg/L ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าเกิดภาวะขาดออกซิเจน (Hypoxia) แล้ว ดังนั้นจากการที่มวลน้ำไม่สามารถผสมกันในแนวตั้งได้ดี จึงส่งผลให้เกิด

การสะสมของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำในชั้นน้ำระดับลึกในพื้นที่ที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง

การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสรวม ในช่วงฤดูแล้ง (เดือนมีนาคม) อาจเกิดจากในช่วงนี้มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังที่มากขึ้น (ภาพที่ 4-1) ซึ่งทำให้มีสารอินทรีย์ลงสู่ทะเลมากขึ้นด้วย และในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล สารอินทรีย์เหล่านี้อาจยังไม่สลายตัว ส่งผลให้พบปริมาณไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสรวมมีค่าสูง ตรงกันข้ามกับสารอาหารอนินทรีย์อื่นๆ เช่น สารอนินทรีย์ไนโตรเจน และสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามยังคงมีแนวโน้มว่าค่าไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสรวมใกล้พื้นทะเลมีค่าสูงกว่าที่ระดับผิวน้ำ แต่เนื่องจากในฤดูแล้ง เกิดการผสมกันของมวลน้ำในแนวตั้งได้ดี (ภาพที่ 4-4 (c)) จึงไม่เกิดการสะสมไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสรวมในมวลน้ำระดับลึก

แม้ว่าระดับแอมโมเนีย และไนเตรทเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลที่กรมควบคุมมลพิษ (2557) กำหนดไว้ แต่ความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตในสถานีเก็บตัวอย่างบางแห่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ $15 \mu\text{g-P/L}$ ทั้งในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบและไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมการขนส่งสินค้า จึงเป็นไปได้ว่าแหล่งที่มาหลักของการปนเปื้อนออร์โธฟอสเฟตไม่ได้มาจากกิจกรรมการขนส่ง แต่มาจากการปล่อยน้ำเสียโดยตรงจากชุมชนชายฝั่งและบนเกาะในพื้นที่ ตลอดจนการระบายโดยตรงจากเรือ ส่งผลให้ระดับของออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มสูงที่ผิวน้ำทะเลและต่ำใกล้พื้นทะเล ซึ่งออร์โธฟอสเฟตที่บันทึกในการศึกษานี้สูงกว่าที่รายงานไว้ในปี 2544 (Yoosamran et al., 2004) และในปี 2556 (Marboon et al., 2017) ซึ่งอาจจะกระตุ้นให้เกิดปรากฏการณ์แพลงก์ตอนพืชสะพร่ง (Phytoplankton Bloom) ที่มักพบเห็นได้บ่อยครั้งในฤดูฝน

คลอโรฟิลล์-เอ จากการศึกษายู่ในช่วง $0.27-23.34 \mu\text{g/L}$ ซึ่งบ่งชี้ถึงระดับเมโซโทรฟิกถึงไฮเปอร์โทรฟิก (Niles et al., 1996) โดยมีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณสูงในช่วงฤดูแล้ง (ภาพที่ 4-7 (d)) ซึ่งอาจเกิดจากออร์โธฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นสูงไปกระตุ้นการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ในทำนองเดียวกัน จากการปนเปื้อนของออร์โธฟอสเฟต พบว่ากิจกรรมการขนถ่ายสินค้าไม่ใช่สาเหตุหลักของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอที่สูง ระดับคลอโรฟิลล์-เอในการศึกษานี้สูงกว่าในรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (2557) ที่ศึกษาคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณโดยรอบเกาะสีชัง ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง $0.035-0.574 \mu\text{g/L}$ และการศึกษาครั้งนี้แตกต่างจากรายงานของ Le Moal et al. (2019) ซึ่งระบุว่ากิจกรรมในท่าเรือทำให้มีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์-เอในพื้นที่สูงขึ้น

จากการศึกษาคุณภาพดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา พบว่าขนาดอนุภาคดินตะกอน ในสถานีเก็บตัวอย่างที่อยู่ในบริเวณจุดขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลังโดยทั่วไปมีขนาดเล็กและละเอียดกว่าอนุภาคของดินตะกอนที่อยู่ห่างออกไป นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำในดินตะกอนและปริมาณสารอินทรีย์รวมมีค่าสูงในบริเวณนี้ด้วย เนื่องจากอนุภาคของดินตะกอนที่มีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าอนุภาคดินตะกอนขนาดใหญ่ ทำให้มีอินทรีย์วัตถุติดติดและสะสมมากขึ้น (Carling, 1996) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลังในบริเวณนี้ที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองและเศษซากจากกิจกรรมเหล่านี้ลงสู่ทะเล อนุภาคบางส่วนอาจสะสมอยู่บนพื้นทะเลในบริเวณโดยรอบ จากการศึกษาพบว่าขนาดของดินตะกอนจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาลที่เก็บตัวอย่าง โดยดินตะกอนที่มีอนุภาคขนาดเล็กละเอียดจะแพร่กระจายมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากในช่วงนี้มีกิจกรรมการขนส่งแ่ง้ำมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น (สำนักงานศุลกากรท่าเรือแหลมฉบัง, 2563)

การสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินตะกอนยังส่งผลต่อปฏิกิริยารีดอกซ์ในตะกอนอีกด้วย โดยในสภาวะที่ไม่มีอากาศจะเกิดกระบวนการลดซัลเฟตโดยจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลให้เกิดเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารนี้มีฤทธิ์เป็นกรดและสามารถลดค่าพีเอชของน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของดินตะกอนได้ (Rheinheimer, 1992) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าบริเวณพื้นที่ที่มีการสะสมของฝุ่นน้ำมันสำปะหลังมาก จะมีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงขึ้น มีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้น และจะมีค่าพีเอชที่ต่ำลงคือมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ปริมาณน้ำในดินตะกอนเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญว่าพื้นทะเลประกอบด้วยโคลนหรือดินเหนียวตามรายงานของ Van Rijn (2023) ตะกอนที่มีปริมาณน้ำเกิน 50% จะมีลักษณะเป็นโคลน โดยตะกอนที่มีส่วนของดินเหนียว (Clay) ในปริมาณมากจะเอื้อต่อการสะสมของสารอินทรีย์เป็นพิเศษ จากการศึกษาครั้งนี้สถานีเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่ใกล้จุดขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลัง (SC-2, SC-3, SC-4, SC-7 และ SC-8) อยู่ในพื้นที่ที่มีสารอินทรีย์รวมสะสมสูง และมีปริมาณน้ำในดินตะกอนเกิน 50% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นทะเลในบริเวณนี้ประกอบด้วยโคลนเหลวหรือดินเหนียว ทำให้การแพร่กระจายของออกซิเจนจากน้ำเข้าสู่ดินตะกอนเป็นไปได้อย่างช้าๆ ส่งผลให้ก๊าซซัลไฟด์ก่อตัวได้ง่ายบนพื้นทะเล ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้อต่อสิ่งมีชีวิตพื้นทะเล จากการศึกษาพบปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงสุดในช่วงฤดูแล้ง ในขณะที่พบความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดในช่วงฤดูฝน สิ่งนี้อาจอธิบายได้จากที่จุลินทรีย์ใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะออกซิเจนต่ำ ซึ่งในที่สุดจะนำไปสู่เพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในฤดูกาลต่อมา

มันสำปะหลังมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 40% (Agbemaflle, 2019) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสี่ยงในการปนเปื้อนคาร์โบไฮเดรตในพื้นที่ที่มีการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง คาร์โบไฮเดรตที่ร่วงหล่นลงไปในน้ำทะเลและดินตะกอนจะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลง สะสมอยู่ในดินตะกอนและน้ำทะเล และเกิดการหมุนเวียนสารอาหารภายในระบบนิเวศ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าในบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังและบริเวณใกล้เคียง (SC-2, SC-3, SC-4, SC-7 และ SC-8) มีปริมาณน้ำในดินตะกอนค่อนข้างสูง ($46.48 \pm 0.68\%$ - $78.03 \pm 1.17\%$) ปริมาณสารอินทรีย์รวมอยู่ในช่วง 5.32 ± 0.35 - $15.91 \pm 0.31\%$ และปริมาณซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.02 ± 0.00 - 0.08 ± 0.00 mgS/g โดยดัชนีเหล่านี้มีค่าสูงกว่าปริมาณที่พบในพื้นที่ที่ไม่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง (SC-9, SC-10, SC-11, SC-12, SC-13, SC-14 และ SC-16) ซึ่งมีปริมาณน้ำในดินตะกอน ปริมาณสารอินทรีย์รวม และปริมาณซัลไฟด์อยู่ในช่วง 32.86 ± 0.25 - $59.41 \pm 2.73\%$, 4.83 ± 0.11 - $10.35 \pm 0.06\%$ และ 0.003 ± 0.001 - 0.065 ± 0.010 mgS/g ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จะเห็นได้ว่าการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดินตะกอน โดยพบค่าสารอินทรีย์รวมสูงมากกว่า 10% ในสถานีเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่ที่อยู่ใกล้จุดขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 4-12 (a)) หากปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนสูงกว่า 13% จะทำให้ชีวมวลของสิ่งมีชีวิตในทะเลบางชนิดลดลง (Thaipichitburapa *et al.*, 2022) นอกจากนี้ค่าซัลไฟด์ที่บริเวณขนส่งมันสำปะหลังยังสูงกว่าค่าที่ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้โดย Khaodon *et al.*, (2011) ที่ได้ทำการศึกษาคุณภาพดินตะกอน บริเวณชายฝั่งอ่าวอุดม ทางทิศใต้ของอ่าวศรีราชา และได้สรุปว่า การสะสมของสารอินทรีย์รวมในบริเวณนี้มาจากกระบวนการขนถ่ายสินค้า บริเวณท่าเทียบเรือในพื้นที่ โดยสารอินทรีย์จากสินค้าที่ขนถ่ายเกิดการตกตะกอนลงสู่พื้นทะเล ส่งผลให้ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนมีค่าสูง

สารอาหารในดินตะกอนมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชทะเล โดยปกติความเข้มข้นของสารอาหารในตะกอนจะสูงกว่าในคอลัมน์น้ำประมาณ 100 เท่า (Meksamphan, 2023) จึงจะปลดปล่อยสารอาหารจากตะกอนออกสู่คอลัมน์น้ำและก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย และไนโตรเจนรวมมีค่าสูงในพื้นที่ศึกษา โดยอยู่ในช่วง 10.61 ± 0.23 - 30.94 ± 2.41 mg-N/L และ 30.34 ± 1.31 - 207.02 ± 1.88 mg-N/L ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแอมโมเนีย และไนโตรเจนรวมในดินตะกอนมีค่าสูงกว่าที่ Kongpradit and Buranapratheprat (2023) และ Senpradit *et al.* (2022) ได้รายงานไว้

จากข้อมูลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ทะเลในบริเวณศึกษาประกอบด้วยดินตะกอนละเอียดเป็นหลัก มีสารอินทรีย์สะสมอยู่เป็นจำนวนมาก การย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วโดยแบคทีเรียทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง ส่งผลให้เกิดสภาวะที่เอื้อต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นผลให้เกิดแอมโมเนียสะสมอยู่ในตะกอนซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน การศึกษาครั้งนี้ยังพบอีกว่าระดับสารอนินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนโตรเจนรวมในช่วงฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณน้ำในดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเพิ่มการทำงานของจุลินทรีย์ ส่งเสริมการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน เพิ่มการสะสมสารอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินตะกอน (Hulth et al., 1999) สำหรับในบางพื้นที่ เช่น อ่าวไทยตอนบน สารอนินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับการสะสมของแพลงก์ตอนพืช ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำลดลงในเวลากลางคืน มีผลกระทบต่อที่อยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในทะเลหลายชนิด

แป้งมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน โดยมีคาร์บอนเป็นธาตุสำคัญ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตามตรวจสอบธาตุเหล่านี้โดยเฉพาะธาตุคาร์บอน เพื่อยืนยันว่าสารอินทรีย์ที่สะสมในดินตะกอนมีต้นกำเนิดมาจากการลำเลียงผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง หากพบว่าบริเวณที่ขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณคาร์บอนสูง แสดงว่าการสะสมสารอินทรีย์ในบริเวณนี้มีแหล่งที่มาสำคัญจากผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนในจุดเก็บตัวอย่างบริเวณที่มีการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลัง มีค่าสูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างไกลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จึงแสดงให้เห็นว่าการสะสมสารอินทรีย์ในบริเวณนี้มีแหล่งที่มาสำคัญจากการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

การศึกษาโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Princeton Ocean Model (POM) พบว่ารูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำ ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลสอดคล้องกับทิศทางของลมมรสุมรวมทั้งกระแสน้ำที่ผิวหน้าทะเลเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของลม (Buranapratheprat, 2008) จะเห็นได้ว่าการไหลเวียนของกระแสน้ำ ในบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยการไหลของกระแสน้ำใกล้ผิวหน้าทะเลสอดคล้องกับทิศทางและอัตราเร็วของลม คือในช่วงเดือนมีนาคม (ฤดูแล้ง) ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูครั้งที่ 1 ลมพัดมาจากทางทิศใต้ ส่งผลให้กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลไหลไปทางทิศเหนือเป็นหลัก ส่วนบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกเกิดลักษณะของกระแสน้ำแบบทวนเข็มนาฬิกา (Counterclockwise circulation) ส่วนในช่วงเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) เป็นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลมพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ด้วยอัตราเร็วสูง ส่งผลให้กระแสน้ำใกล้ผิวทะเลไหลไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก ซึ่งผล

จากการจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับผลจากการศึกษาของ Buranapratheprat (2009)

ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนบริเวณพื้นที่นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาที่แตกต่างกัน โดยในเดือนมีนาคมเป็นช่วงเปลี่ยนของอิทธิพลลมมรสุมจากตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นตะวันตกเฉียงใต้ และเป็นช่วงเดือนที่ลักษณะของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มอ่อนกำลังลง จึงทำให้เกิดลักษณะการแพร่กระจายของตัวติดตามที่มีลักษณะคล้ายๆ กัน คือ มวลส่วนใหญ่ของตัวติดตามจะไหลรวมตัวกันในบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังและมีทิศทางการแพร่กระจายจากทิศใต้ขึ้นทิศเหนือเบนไปทางตะวันออกเฉียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการแพร่กระจายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ และในดินตะกอนจากการศึกษาครั้งนี้ ส่วนในเดือนสิงหาคม กระแสน้ำจะเริ่มเปลี่ยนทิศทางการไหลอีกครั้ง โดยจะไหลจากฝั่งตะวันตกสู่ฝั่งตะวันออกของอ่าวศรีราชา โดยที่ตัวติดตามจากบริเวณจุดขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังใกล้เกาะสีชัง มีการกระจายตัวเป็นวงกว้างและมีแนวโน้มการไหลเวียนไปทางทิศตะวันออกของอ่าวศรีราชาเข้าสู่ชายฝั่ง ซึ่งการเคลื่อนตัวของตัวติดตามเป็นไปในทิศทางเดียวกับการแพร่กระจายของมวลสารต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้

5.2 สรุปผล

1. คุณภาพน้ำนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา และเกาะสีชังที่ได้ทำการศึกษาในเดือนมีนาคมและสิงหาคม พ.ศ. 2563 เพื่อประเมินผลกระทบของกิจกรรมการขนถ่ายสินค้าทางทะเล ในช่วงฤดูฝน ปริมาณสารอินทรีย์รวม แอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรท จะสูงมีค่าสูงในระดับใกล้พื้นทะเล ในขณะที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสรวม มีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง ใกล้กับบริเวณการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นที่ที่ของเสียจากกิจกรรมการขนถ่ายสินค้าสะสมอยู่ การสะสมของสารอาหารและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ต่ำถึง 3 mg/L ในมวลน้ำระดับลึกช่วงฤดูฝนนั้น บ่งชี้ถึงภาวะขาดออกซิเจน (Hypoxia) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการแบ่งชั้นของน้ำ มีการผสมของมวลน้ำในแนวตั้งที่จำกัด ส่งผลให้มีการสะสมของมลพิษเหล่านี้ในชั้นน้ำระดับลึก

2. การขนถ่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินตะกอนในพื้นที่ จากการศึกษานี้พบว่าบริเวณที่มีการขนถ่ายแ่งมันสำปะหลังมีอนุภาคของดินตะกอนเป็นทรายแ่งปนโคลน โดยมีปริมาณน้ำในดินตะกอนอยู่ในช่วง $46.48 \pm 0.68 - 78.03 \pm 1.17\%$ ปริมาณสารอินทรีย์รวม อยู่ในช่วง $5.32 \pm 0.35 - 15.91 \pm 0.31\%$ และปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ อยู่ในช่วง

0.02±0.00-0.08±0.00 mg S/L ความเข้มข้นของไนโตรเจนอนินทรีย์ แอมโมเนีย และไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับสูงตลอดพื้นที่ศึกษา โดยอยู่ในช่วง 10.61±0.23-30.94±2.41 mg /L และ 30.34±1.31- 207.02±1.88 mg/L ซึ่งดัชนีคุณภาพดินตะกอนเหล่านี้ในบริเวณที่มีกิจกรรมการขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลังมีค่าสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีกิจกรรมการขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวม ในสถานีเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าเกิน 10% และปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินตะกอน มีค่าสูงในพื้นที่ขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลังเช่นกัน ซึ่งทำให้เกิดข้อกังวลเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบนิเวศทางทะเล

3. ทิศทางของลม และการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในบริเวณพื้นที่ขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลัง นอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาที่แตกต่างกัน โดยในเดือนมีนาคมจะมีการเคลื่อนที่ของมวลสารจากทิศใต้ไปทิศเหนือเบนเข้าหาชายฝั่งด้านตะวันออกเล็กน้อย ส่วนในเดือนสิงหาคม มวลสารจากบริเวณขนถ่ายแ่ง้ำมันสำปะหลังมีการเคลื่อนที่จากทิศตะวันตกเข้าสู่ชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวศรีราชา

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2557). *โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและภาวะมลพิษ กรณีการขนส่งสินค้า บริเวณเกาะสีชังเพื่อประเมินศักยภาพและผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการเป็นเขตขนส่งสินค้า ระดับภูมิภาคเพื่อรองรับการขยายตัวของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน*. รายงานฉบับสมบูรณ์. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมวิชาการเกษตร. (2547). *มันสำปะหลัง*. เข้าถึงได้จาก <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00298.pdf>
- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. (2563). *ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง*. เข้าถึงได้จาก https://www.ditp.go.th/contents_attach/740013/740013.pdf
- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. (2564). *ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง*. เข้าถึงได้จาก https://www.ditp.go.th/contents_attach/767094/767094.pdf
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). *ภูมิอากาศของประเทศไทย*. เข้าถึงได้จาก <https://www.tmd.go.th/info/ภูมิอากาศของประเทศไทย>
- จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. (2548). *ดินตะกอน*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะประมง.
- เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. (2532). *มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูปและการใช้ประโยชน์*. ภาควิชาพืชไร่-นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ชัยวัช โสวเจริญสุข. (2563). *แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-65 : อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง*. เข้าถึงจาก https://www.krungsri.com/getmedia/77276c04-9b07-42e0-853c-961f17603357/IO_Cassava_200511_TH_EX.pdf.aspx
- ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์. (2547). *การจัดการสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น*. สำนักพิมพ์แม็ค.
- दनัย ศุภานาร. (2537). *พฤกษศาสตร์และพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง*, น. 14-29. ใน *ศูนย์วิจัยพืชไร่* ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่. เอกสารวิชาการ มันสำปะหลัง. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.
- ไทยรัฐ. (2560). *จับเรือขนส่งสินค้าทำลายสิ่งแวดล้อม*. เข้าถึงจาก <https://www.thairath.co.th/news/local/east/1048097>

ทองทิพย์วงศ์ศิลป์, จินตนา สและน้อย, กังสดาลย์ บุญปราบ, Takashi Yoshikawa, Yuki Okamoto และ Satoshi Ishikawa. (2559). การสะสมโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในดินตะกอนบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง (*Anadara granosa*) ในอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24(2), 310-319.

เบญจวรรณ แสงสิทธิสกุลเลิศ. (2557). การปนเปื้อนเชิงพื้นที่และค่าพื้นฐานของปรอทในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา), บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พนมไพร วงษ์คลองเขื่อน. (2553). การศึกษาเปรียบเทียบขนาดตะกอนดินและปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนชายฝั่งทะเลเกาะสีชังและอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี. รายงานการวิจัยโครงการครุวิจัย-วิทยาศาสตร์ทางทะเล. สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันเพ็ญ วิริยะกิจนทีกุล และชนิดา เกิดชนะ. (2559). *คู่มือการวิเคราะห์ดินทางกายภาพและการแปลผลเพื่อการสำรวจและจำแนกดิน*. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมถวิล จริตควร และวิภูษิต มั่นพะจิตร. (2534). *สัตว์ทะเลหน้าดินและสภาวะแวดล้อมบางประการบริเวณพญาถึงท่าเทียบเรือแหลมฉบัง*. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สมภพ รุ่งสุภา. (2552, 28-29 พฤษภาคม). การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์สารในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนบน ระหว่าง พ.ศ.2542-2551 [เอกสารนำเสนอ]. การประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกครั้งที่ 2. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. ชลบุรี.

สมภพ รุ่งสุภา. (2558). *ผลกระทบจากการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศทางทะเลบริเวณเกาะสีชัง-ศรีราชา*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุทธิณี สีสังข์. (2563). *คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ*. กลุ่มวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง. เข้าถึงโดย https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200722153849_1_file.pdf

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). *สถิติการส่งออก (Export)*. เข้าถึงได้จาก <https://impexpth.oae.go.th/export>

สำนักงานท่าเรือแหลมฉบัง. (2567, 27 สิงหาคม). *จำนวนเรือและปริมาณการขนส่งแป้งมันสำปะหลัง บริเวณอ่าวศรีราชา-เกาะสีชัง พ.ศ. 2563*. เอกสาร.

อลงกต อินทรชาติ, กนกวรรณ ขาวต่อน และจรรยา เจตน์เจริญ. (2552, 17-20 มีนาคม). *ผลกระทบ การขนถ่ายสินค้าต่อคุณภาพดินตะกอนในอ่าวศรีราชาและเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี* [เอกสาร นำเสนอ]. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย.

อรรถ สมร่าง, ยุทธชัย อนุรักษ์ดีพันธ์ุ, พงศ์ธร เพียรพิทักษ์ และบุศรินทร์ แสงลาภ. (2548). *ดินเพื่อ ประชาชน*. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อารยา สยามรัตนกิจ, สมภพ รุ่งสุภา และอัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์. (2564). *ขีดความสามารถในการ รองรับทางนิเวศวิทยาของการขนส่งสินค้าเทกองแห้งในบริเวณเกาะสีชังจังหวัดชลบุรี*. *วิทยาลัย พาณิชยศาสตร์บูรพาปริทัศน์*, 16(1), 1-15.

AEC Logistics. (2021, July 14). *Global port rankings changing: Asian ports remain top*. <https://aec-logistics.com/%E0%B8%AD>

Agbemafle, R. (2019). Proximate, starch, sugar compositions and functional properties of cassava flour. *Journal of Food Security*, 7(2): 40–46. doi: 10.12691/jfs-7-2-3

Agricultural Trade Promotion Division, Department of Internal trade, Ministry of Commerce. (2018). http://agri.dit.go.th/web_dit_sec5/home/view_multi.aspx?Menu_id=2&name=มันสำปะหลัง.

Anderson, D.M., Glibert, P.M. & Burkholder, J.M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25, 704–726. <https://doi.org/10.1007/BF02804901>

American Public Health Association (APHA). 1992. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 18th ed. American Public Health Association, Washington D.C., USA.

Bonamano, S., A. Madonia, D. Piazzolla, F.P. de Mendoza, V. Piermattei, S. Scanu & Marcelli, M. (2017). Development of a predictive tool to support environmentally

sustainable management in port basins. *Water*, 9(11): 898. <https://doi.org/10.3390/w9110898>

Boyd, C.E. & Tucker, C.S. (1992). *Water Quality and Pond Soil Analysis for Aquaculture*. Agricultural Experiment Station, Alabama.

Buranapratheprat, A. (2008). Circulation in the upper Gulf of Thailand: a review. *Burapha Science Journal*, 13: 75–83.

Buranapratheprat, A., T. Yanagi, K.O. Niemann, S. Matsumura & Sojisuporn, P. (2008). Surface chlorophyll dynamics in the upper Gulf of Thailand revealed by a coupled hydrodynamic-ecosystem model. *Journal of Oceanography*, 64: 639 - 656. doi:[10.1007/s10872-008-0054-9](https://doi.org/10.1007/s10872-008-0054-9)

Carling, P.A. (1996). Morphology, sedimentology and palaeohydraulic significance of large gravel dunes, Altai Mountains, Siberia. *Sedimentology*, 43: 647-664. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1996.tb02184.x>

Carter, M. R. (1993). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Boca Raton, FL: Lewis Publ. Center of agricultural information, Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2018). *Cassava: Production cost Average country Separated by region*.

Chuan, L.L. & Sugahara, I. (1984). *A Manual on Chemical Analysis of Coastal Water and Bottom Sediment*. Primary Production Department and Marine Fisheries Research Department, SEAFDEC, Singapore.

Chuasuwat, C. (2018). *Cassava Industry*. https://www.krungsri.com/bank/.../IO_Cassava_180807_EN_EX.aspx.

Davis, C.E., Blackbird, S., Woff, G., Woodward, M. & Mahffey, C. (2018). Seasonal organic matter dynamics in a temperate shelf sea. *Progress in Oceanography*, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.02.021>.

- Department of Marine and Coastal Resources. (2018, December 21). *Marine and coastal resource information, Chonburi Province*. https://inter.fisheries.go.th/eng/en_pic/202110162137241_file.pdf
- Department of Marine & Coastal Resources. (2021). *State of Marine and Coastal Resources and Coastal Erosion Thailand International Report 2021*. Department of Marine and Coastal Resources, Bangkok, Thailand.
- Department of Marine and Coastal Resources. (2023, December 21). *Annual report 2023*. <https://www.dmcr.go.th/detailLib/8295>. Cited 21 Dec 2023.
- Dewis, J. & Freitas, F. (1970). *Physical and chemical methods of soil and water analysis*. FAO Soils Bulletin 10. FAO, Rome.
- FAO (Food & Agricultural Organization of the United Nations). (2017, May 12). FAOSTAT. <http://faostat.fao.org>
- FAO (Food & Agriculture Organization of the United Nations). (2019, May 12). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the Sustainable Development Goals*. <http://www.fao.org/3/i9540en/i9540en>
- Graham, L.E. & Wilcox, L.W. (2000). *Algae*. Prentice Hall, Michigan, USA.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt & Kremling, K. (1983). *Methods of Seawater Analysis*, 2nd ed. Verlag Chemie Weinheim, New York.
- Hulth, S., Aller, R. C., & Gilbert, F. (1999). Coupled anoxic nitrification/manganese reduction in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(19-20), 49-66. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(98\)00285-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(98)00285-3)
- Intarachart, A., K. Khaodon & Jadejaroen, J. (2009). *Impact of Transferring Commodities on Sediment Quality in Sriracha Bay and Sichang Island, Chonburi Province*. Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference: Natural Resources and Environment 2009: 204-211.

- Izah, S.C., S.E. Bassey & Ohimain, E.I. (2018). Ecological risk assessment of heavy metals in cassava mill effluents contaminated soil in a rural community in Niger Delta region of Nigeria. *Molecular Soil Biology*. 9(1): 1-11. doi:[10.5376/msb.2018.09.0003](https://doi.org/10.5376/msb.2018.09.0003)
- Jaritkuan, S & Manthachitra, V. (1991). *Benthos and some environmental parameters at Pattaya to Leam Chabang Port*. Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University.
- Jiamjumnunja, J. (2004). *Cassava*. Kasertsart University Publishing, Bangkok.
- Khaodon, K., A. Intarachart & Joeraket, W. (2011). *Some Aspects of Sediment Quality in Eastern Coast of the Gulf of Thailand*. Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Natural Resources and Environment, 2011: 175-182.
- Khuntong, S., S. Sirivithayapakorn, P. Pakkong & Sorlump, C. (2010). Adsorption kinetics of carbamate pesticide in rice field soil. *Environment Asia*, 3(2): 20- 28. doi10.14456 /ea.2010.19
- Kobkaew, J. (2019, December 20). *Koh Sichang, an economic zone in the sea, the logistics 'hub' of Indochina*. <https://www.salika.co/2019/01/04/eec-focus-koh-sichang-logistics-hub/>
- Kongpradit, P. & Buranapratheprat, A. (2023). Water Qualities and Sediment Qualities in the Offshore Shellfish Culture Areas in Sriracha District, Chonburi Province. *Burapha Science Journal*, 28(2): 1265 - 1284 . <https://scijournal.buu.ac.th/index.php/sci/article/view/4730>
- Le Moal, M., C. Gascuel-Odoux, A. Ménesguen, Y. Souchon, C. Etrillard, A. Levain, F. Moatar, A. Pannard, P. Souchu, A. Lefebvre & Pinay, G. (2019). Eutrophication: A new wine in an old bottle. *Science of the Total Environment*, 651: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>
- Limsila, J. & Limsila, A. (2004). *History and importance in Cassava academic papers*. Department of Agriculture Ministry of Agriculture and Cooperatives.

- Lirdwitayaprasit, T., S. Meksumpun, S. Rungsuru & Furuya, K. (2006). Seasonal variations in cell abundance of *Noctiluca scintillans* in the coastal waters off Chonburi province, the upper gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*, 30: 80–84. <http://113.160.249.209:8080/xmlui/handle/123456789/13923>
- Marboon, M., S. Meksumpun, N. Thawonsode & Meksumpun, C. (2017). *Distribution of nutrients in the Gulf of Thailand*. Proceedings of the 5th Kasetsart University Academic Conference: Fisheries Branch 2017: 686-693.
- Meksamphan, J. (2023). *Science and Art of Sediment for Sustainable Use of Pond Bottom*. I'm printing limited partnership, Bangkok.
- Meksumpun, C., T. Boonwanich, S. Boonphakdee, S. Adjimangkunl & Wangworarak, S. (2013). *The path of short mackerel in Thailand: value, prospect, and risk*. Coastal Development Center, Faculty of Fisheries, Kasetsart University.
- Ministry of Commerce. (2017). Exporting products according to Thailand's major product structure. http://www2.ops3.moc.go.th/export/recode_export/.
- Ministry of Natural Resources & Environment. (2021, October 29). *Seawater Quality Standards*. In: Notification of the Ministry of Natural Resources and Environment, Royal Government Gazette, Vol.138, Part 245D.
- Misic, C. & Harriague, A.C. (2018). Organic matter characterisation and turnover in the sediment and seawater of a tourist harbor. *Marine Environmental Research*, 68 : 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.06.012>
- MGR Online. (2017, January 20). *The people of the Gulf can't stand, according to flour dust in the middle of the sea blows onto the shore, affecting life and livelihood*. <https://mgronline.com/local/detail/9600000010515>.
- Na-u-dom, T., A. Buranapratheprat, K. Homhual & Intracharoen, P. (2013). Temporal and spatial variations of water qualities in the upper Gulf of Thailand during two seasons in 2009. *Burapha Science Journal*, 18: 32–42.

Niles, R.K., D.L. King & Ring, R. (1996). *Lake Classification System: Part 1*. The Michigan Riparian, Michigan, USA.

Office of Agricultural Economics. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2018).
Agricultural statistics of Thailand year 2018.

Office of Agricultural Economics. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2008).
Agricultural statistics of Thailand year 2007.

Office of Agricultural Economics. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2017).
Agricultural statistics of Thailand year 2017.

Parthanadee, P., Putgunsomsiri, J., khompatraporn, C. & Momthathipgul, C. (2009).
*Supply chain and logistics management for cassava products in Thailand: Final
research report*. Office of the Higher Education Commission. Bangkok. Thailand.

Pollution Control Department. (2006). *Marine Water Quality Standard*, Ministry of
Natural Resources and Environment. n.p., Bangkok, Thailand.

Pollution Control Department. (2014). *Environmental impact and pollution study
project, in the case of transporting goods around Koh Sichang, to assess the
potential and environmental impacts of becoming a regional shipping zone for
Support the expansion of the ASEAN Economic Community*. n.p., Bangkok,
Thailand.

Pollution Control Department. (2021, July 14). *Seawater Quality Standards in Thailand*.
Ministry of Science, Technology and Environment. [https://www.pcd.go.th/laws/
15123](https://www.pcd.go.th/laws/15123).

Popek, M., A. Dereszewska, G. Dembska & Pazikowska-Sapota, G. (2022). The impact of
transport on the quality of water in the Port of Gdynia. *The International Journal
on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 16(1): 167– 173.
doi:[10.12716 /1001.16.01.20](https://doi.org/10.12716/1001.16.01.20)

Port Authority of Thailand. (1991, April 29). *Laem Chabang Commercial Port*. Academic publications of Port Authority of Thailand. <http://www.cutl.chula.ac.th/triresearch/learnchabang/history.html>

Rojanaritphichet, J. (2003). *The general knowledge of Cassava in Cassava, production, processing, utilization. Training documents: Production potential development project and marketing of cassava*. The Thai Tapioca Development institute under the patronage of HRH Princess Maha Chakri Sirindhorn. Kasertsart University 4-8 August 2003, Bangkok.

Rungsupa, S. (2015). Tapioca Transportation Effect to Marine Environment and Benthic Community around Sichang Island and Siracha, Choburi Province. *Aquatic Resources Research Institute*.

Schlitzer, R. (2007, October 31). *Ocean Data View*. <http://odv.awi.de>

Senpradit, P., N. Thawonsode, C. Ruengsorn, M. Marboon, S. Meksumpun, O. Veschasit, T. Komorita, C. Meksumpun & Tada, K. (2022). Comparison of Organic Matter Distribution Patterns in the Gulf of Thailand over the Past Two Decades. *Journal of Fisheries and Environment*, 46(3): 84-97. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/JFE/article/view/257064>

Siamratanakij, A., S. Rungsupa & Piumsomboon, A. (2022, December 21). Ecological Carrying Capacity for Dry Bulk Loading around Sichang Island, Chonburi Province. *Journal of Graduate School of Commerce Burapha Review*, 16(1): 1-15. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/GSC/article/view/244662>

Shepard, F. P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, 151-158.

Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.

- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 157, 2nd ed.
- Suktanon, S. (2011, December 25). *Legend of the construction of the Eastern Coast Port*. <http://www.cuti.chula.ac.th/triresearch/learnchabang/history.html>
- Supaharn, D. (1994). *Botany and genetics of cassava in Cassava academic papers*. Rayong Field Crops Research Center. Cassava academic papers.
- Swingle, H.S. (1969). *Methods of Analysis for Waters, Organic Matter and Pond Bottom Soils Used in Fisheries Research*, Auburn University, Auburn, USA.
- Tam, N.F.Y., & Wong, Y.S., (1998). Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. *Water, Air and Soil Pollution*, 103: 245-261. Springer.
- Thai Meteorological Department. 2022. *Average Weather and Average monthly rainfall in Chonburi Province*. <http://www.aws-observation.tmd.go.th/main/main>. Cited 17 Jan 2022.
- Thaipichitburapa, P., A. Buranapratheprat, V. Gunbua, P. Intacharoen, B. Khotchasanee & Pransilpa, M. (2022). Assessment of Sediment Quality on Surf Clam Resource in the Western Part of Trat Bay, Trat Province. *Burapha Science Journal*, 27(3): 1559-1574.
- Timaboot, W., & Suthikarnnarunai, N. (2015). A design of tapioca chip transportation model in Thailand. Proceedings of Academics World 5th International Conference, Paris, France, 11th October 2015.
- Tunkijjanukij, S. Intarachart, A., Vichkovitten, T., Juntaropakorn, M., Chuchit, L., Rermdumri, S., Ploypradup, P., Yoosamran, C. & Khantavong, A. (2006). *The impact of cassava starch loading and other products with diffusion from the cargo ship in the area of Sriracha Bay and Koh Sichang*. Faculty of fishery. Kasertsart University.

- UNCTAD. (2021). *Review of Maritime Transport 2021*. United Nations publication, Sales No. E.21. II. D.21, New York, USA.
- Vaalgamaa, S., Sonninen, E., Korhola, A., & Weckström, K. (2013). Identifying recent sources of organic matter enrichment and eutrophication trends at coastal sites using stable nitrogen and carbon isotope ratios in sediment cores. *Journal of Paleolimnology*, 50(2), 191-206. <https://doi.org/10.1007/s10933-013-9713-y>
- Van Rijn, L.C., (2023, July 14). *Fluid Mud Formation*. <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Fluidmudformation2016>
- Verardo, D., P.N. Froelich & McIntyre, A. (1990). Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo Erba NA-1500 Analyzer. *Deep-Sea Research*, 37(1): 157-165. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(90\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0198-0149(90)90034-5)
- Vichkovitten, T., A. Intarachart & Khaodon, K. (2017). Impact of green mussel (*Perna viridis*) raft-culture on benthic environment in Sriracha coastal water, Thailand. *GMSARN International Journal*, 11: 116 - 122. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85043983064&partnerID=40&md5=0f803c91bd39c9893144d54101f0b63e>
- Vichkovitten, T., M. Suksomjit, A. Intarachart & Khaodon, K. (2018). Influences of Green Mussel (*Perna viridis*) Raft Culture on Biodeposition and Surface Sediment Environment in Sriracha Bay, Chonburi. *Journal of Science and Technology*, 28(3): 495-510.
- Vivian, C.M.G. (1987). The total carbohydrate: Organic carbon ratio as an indicator of sewage-derived organic matter in Burbo Bight sediments, Liverpool Bay, UK. *Environmental Pollution*, 46(2): 105-118. doi: 10.1016/0269-7491(87)90196-5
- Wattanayakorn, G. & Rungsupa, S. (2012). Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Koh Sichang-Sriracha, Thailand. *Coastal Marine Science*, 35(1): 122-128. <https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/records/40653>

Yoosamran, C., A. Khantavong & Rerrmdunri, S. (2006). *Relationships between water qualities and phytoplankton at Sriracha Bay, Chonburi province*. Proceedings of the 44th Kasetsart University Academic Conference: Fisheries Branch: 511-517.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
1. สารแขวนลอยในน้ำ (TSS)	<p>วิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอย ตามวิธีการ Gravimetric ของ มั่นสิน ตัณฑุล เวศม์ (2545) นำตัวอย่างน้ำมากรองผ่านการตาชกรองใยแก้ว GF/F ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนักกระตาชกรองที่ผ่านการอบแล้วด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จดบันทึกน้ำหนักกระตาชกรอง (B) และปริมาตรน้ำที่กรองผ่านกระตาชกรอง นำกระตาชกรองที่ผ่านการกรองน้ำตัวอย่างแล้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้ง ปล่อยให้เย็น นำเก็บเข้าโถดูดความชื้น จากนั้นนำกระตาชกรองมาชั่งน้ำหนัก (A) คำนวณ ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ ตามสูตร</p> $\text{สารแขวนลอยในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$ <p>เมื่อ A = น้ำหนักของกระตาชกรอง+สารแขวนลอยในน้ำ (กรัม) B = น้ำหนักกระตาชกรองเปล่า (กรัม)</p>
2. ปริมาณสารอาหารในน้ำ - แอมโมเนีย (NH ₃ +NH ₄) - ไนไตรท์ (NO ₂) - ไนเตรท (NO ₃) - ไนโตรเจนรวม (TN) - ออร์โธสเฟต (PO ₄ ³⁻) - ฟอสฟอรัสรวม (TP)	<p>นำตัวอย่างน้ำทั้งหมดผ่านกระตาชกรองใยแก้ว GF/F แล้วนำมาวิเคราะห์ ปริมาณสารอาหารในน้ำ และ Grasshoff et al. (1983)</p> <p>- แอมโมเนีย วิเคราะห์โดยวิธี Phenate Method ตามวิธีการของ Boyd (1992) นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระตาชกรองแล้วปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติม สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (เตรียมโดยละลายแมงกานีสซัลเฟต (MnSO₄·H₂O) 0.05 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) 1 หยด จากนั้นเติม hypochlorous 1 มิลลิลิตร และเติม phenate reagent (เตรียมโดยส่วนแรกทำการละลาย NaOH 5 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ส่วนที่สอง ทำ การละลาย phenol 20 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้ควร เตรียมทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์ โดยผสมส่วนแรก และส่วนที่สองในปริมาตร ที่เท่าๆ กัน เช่น ใช้ส่วนแรก 10 มิลลิลิตร ผสมกับส่วนที่สอง 10 มิลลิลิตร) 1.2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้เกิดสี แต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของแอมโมเนียในตัวอย่างน้ำทะเล โดยใช้กราฟมาตรฐาน</p> <p>- ไนไตรท์ วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric Method ตามวิธีการของ Boyd</p>

	<p>(1992) นำตัวอย่างน้ำทะเลที่ผ่านการกรองแล้วปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ใน flask จากนั้นเติม diazotizing agent (เตรียมโดยเติม concentrated hydrochloric acid ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร แล้วละลาย Sulfanilamide 5 กรัมลงในสารผสมนี้ และปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น) จำนวน 1 มิลลิลิตร ทำการเขย่าให้เข้ากัน พักทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา 2-8 นาที (ไม่ควรเกินกว่านี้) จากนั้นเติม coupling reagent (เตรียมโดยละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 0.500 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาเพื่อป้องกันแสง ควรเตรียมทุกๆ 2-4 สัปดาห์ หรือเมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเก็บสารนี้ในตู้เย็น) จำนวน 1 มิลลิลิตร ทำการเขย่า พักทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิด azo compound นำตัวอย่างน้ำที่พักไว้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของไนโตรทในตัวอย่างน้ำ โดยใช้กราฟมาตรฐาน</p> <ul style="list-style-type: none"> - ไนเตรท วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric, Cadmium Reduction Method ตามวิธีการของ Grasshoff et al. (1983) นำตัวอย่างน้ำทะเลที่ผ่านการกรองแล้ว 25 มิลลิลิตร เติมสารละลาย $\text{NH}_4\text{Cl-EDTA}$ 75 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้น นำมาผ่านคอลัมน์โดยทิ้ง 25 มิลลิลิตรแรกและเก็บ 10 มิลลิลิตร ถัดมา (ที่อัตราการไหลประมาณ 7 มิลลิลิตรต่อนาที) ใช้น้ำ เติม 1 มิลลิลิตร ของสารละลาย sulfanilamide ใน 10.0 มิลลิลิตรของตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์แล้ว จากนั้นทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยานาน 2-8 นาที และเติม 1.0 มิลลิลิตร ของสารละลาย N-(1-Naphthyl)- Ethylenediamine Dihydrochloride ผสมให้เข้ากันทันที หลังจากนั้นในระหว่าง 10 นาที ถึง 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณของไนเตรทในตัวอย่างน้ำ โดยใช้ กราฟมาตรฐาน - ไนโตรเจนรวม วิเคราะห์ด้วยวิธี Digestion, Cadmium reduction and Diazotization (Strickland & Parsons, 1972) - ออโรพอสเฟต วิเคราะห์ด้วยวิธี Ascorbic acid (Strickland & Parsons, 1972) - ฟอสฟอรัสรวม วิเคราะห์ด้วยวิธี Digestion + Ascorbic acid (Strickland & Parsons, 1972)
--	--

3. คลอโรฟิลล์-เอ (Chl-a)	<p>นำตัวอย่างน้ำมากรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว GF/F ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จดบันทึกปริมาตรน้ำทะเลที่กรองผ่านกระดาษกรอง เก็บกระดาษกรองโดยห่อด้วยกระดาษอลูมิเนียมฟรอยด์ไม่ให้ถูกแสง และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Spectrophotometric (Strickland and Parsons, 1972) โดยนำกระดาษกรองใส่หลอดเซนทรีพีวจ์ เติมน้ำ 90% acetone ปริมาตร 2-3 มิลลิลิตร ลงในหลอดเซนทรีพีวจ์จากนั้นห่อหลอดเซนทรีพีวจ์ด้วยกระดาษอลูมิเนียมฟรอยด์ให้ปิดสนิท เก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำหลอด เซนทรีพีวจ์ออกจากตู้เย็น รวจนตัวอย่างมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง นำมาบดให้ละเอียด แล้วเติมน้ำ 90% acetone ให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 10 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงเพื่อสกัดตะกอนด้วยเครื่องเซนทรีพีวส์ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีจากนั้นนำสารละลายที่ได้มาวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร โดยใช้ cuvette ขนาด 1 เซนติเมตร ใช้กระดาษกรองเปล่าและสารละลาย 90% acetone ที่ทำการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง เป็น blank และให้ลบค่า blank ออกก่อนที่จะทำการวัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง</p> <p>สำหรับตัวอย่างให้หดยดสารละลายเจือจาง 5% กรดเกลือ 2 หยด ลงในสารละลายตัวอย่างแล้วจึงนำไปวัดการดูดกลืนแสง จดบันทึกค่า แล้วคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ดังสูตร</p> $\text{Chlorophyll a (ไมโครกรัม/ลิตร)} = \frac{26.7(665_a - 665_b)}{V \times 1}$ <p>เมื่อ 665_a = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 665 นาโนเมตร ก่อนการเติมกรดเกลือ</p> <p>665_b = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 665 นาโนเมตร หลังการเติมกรดเกลือ</p> <p>V = ปริมาตรน้ำที่กรอง (ลิตร)</p> <p>V = ปริมาตรของอะซิโตนที่ใช้ (มิลลิลิตร)</p> <p>1 = ขนาดของ cuvette ที่ใช้ (เซนติเมตร)</p>
ปริมาณสารอินทรีย์แขวนลอย	วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทะเลตัดแปลงจากวิธีการของ Verardo et al. (1990) โดยวิธี Ignition loss นำตัวอย่างน้ำทะเลมา กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว GF/F ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็น

(Particulated Organic Matter, POM)	<p>เวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นซึ่งน้ำหนักกระดาศกรงที่ผ่านการอบแล้วด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จดบันทึกน้ำหนักกระดาศกรง (B) และปริมาตรน้ำทะเลที่กรองผ่านกระดาศกรง วิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอยตามวิธีการ Gravimetric ของ มั่นสิน ตัณสุลเวศม์ (2545) โดยนำกระดาศกรงที่ผ่านการกรองน้ำตัวอย่างแล้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าจะแห้ง ปล่อยให้เย็น นำเก็บเข้าโถดูดความชื้น จากนั้นนำกระดาศกรงมาชั่งน้ำหนัก (A) คำนวณปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทะเล จดบันทึกไว้ จากนั้นทำการเตรียม crucible โดยชั่งน้ำหนัก crucible ที่ไล่ความชื้นออกแล้ว นำ crucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ต่อจากนั้นนำกระดาศกรงที่ผ่านการกรองน้ำทะเลและมีสารแขวนลอยติดอยู่ (A) ใส่ crucible ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นทำการชั่งน้ำหนักและนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณสารอินทรีย์รวม (%) จากน้ำหนักที่หายไปจากสูตร</p> $\text{ปริมาณสารอินทรีย์ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักดินที่หายไป}}{\text{น้ำหนักดินก่อนเผา}} \times 100$
------------------------------------	--

วิธีวิเคราะห์คุณภาพดินตะกอน

<p>ปริมาณสารอินทรีย์ (Total Organic Matter, TOM)</p>	<p>วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวมด้วยวิธีของ Verardo et al. (1990) โดยวิธีการ Ignition loss นำตัวอย่างดินตะกอนมาทำเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิห้องและทำให้แห้งโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แยกส่วนของก้อนหินและเปลือกหอยออก ปล่อยให้เย็นแล้วนำมาบดด้วยโกร่งให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก crucible ที่ไล่ความชื้นออกแล้ว โดยนำ crucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ต่อจากนั้นนำตัวอย่างดินที่ชั่งใส่ crucible ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นทำการชั่งน้ำหนักและนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณสารอินทรีย์รวม (%) จากน้ำหนักที่หายไปจากสูตร</p> $\text{ปริมาณสารอินทรีย์รวม(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักดินที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักดินก่อนเผา}}$
<p>ปริมาณซัลไฟด์ (H₂S, Acid Volatile Sulfides)</p>	<p>ชั่งตัวอย่างดินตะกอนเปียกน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในหลอด Sulfide Reaction Column และใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินตะกอนที่ติดอยู่ข้างหลอดให้ตัวอย่างดินลงไปอยู่ก้นหลอดให้หมด แล้วปิดฝา Column ต่อสายยางเชื่อมระหว่าง Sulfide Reaction ไปยัง Hedrotek Column ที่หักปลายทั้ง 2 ข้างออกแล้ว และเชื่อมไปยังเครื่องดูดอากาศ จากนั้นใส่ Sulfuric Acid 18 N ลงไปใน Sulfide Reaction Column ทางช่องใส่กรด ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เพื่อให้กรด Sulfuric Acid ลงไปทำปฏิกิริยากับ ซัลไฟด์รูปต่างๆ ให้อยู่ในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พร้อมกันนั้นก็เปิดเครื่องดูดอากาศ เพื่อให้เกิดการดูดไอระเหยของซัลไฟด์ ผ่านเข้าสู่ Hedrotek Column นานประมาณ 2 นาที แล้วอ่านค่าปริมาณซัลไฟด์ จากการที่สารซึ่งบรรจุอยู่ใน Hedrotek Column เปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลแดง โดยการอ่านค่าที่จะเทียบความยาวของสีน้ำตาลแดงที่เกิดขึ้น กับ Scale ข้าง Hedrotek Column เรียกค่านี้ว่า Read Value โดยค่าที่อ่านได้นี้จะมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของซัลไฟด์ทั้งหมด จากน้ำหนักดินเปียกที่ใช้วิเคราะห์ ซึ่งจะต้องนำค่านี้ไปคำนวณ เพื่อเปลี่ยนหน่วยของซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปมิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักดินแห้ง (Chuan and Sugahara,1984) โดยคำนวณ จากสูตร</p>

	<p>ปริมาณซัลไฟด์(มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง) = $\frac{\text{Read value}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)}}$</p> <p>น้ำหนักดินแห้งคำนวณได้จาก ค่าปริมาณน้ำในดิน (Water Content,%) ตามสูตร น้ำหนักดินแห้ง (กรัม) = $\frac{\text{น้ำหนักดินแห้ง(กรัม)} \times (100 - \text{ปริมาณน้ำในดิน})}{100}$</p>
ปริมาณน้ำในดินตะกอน (Water Content)	<p>เตรียม Aluminum Foil ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนัก และควรใกล้เคียงกับ 0.1 มิลลิกรัม แล้วใส่ดินตะกอนที่เปียกประมาณ 1-2 กรัมลงบนแผ่น Aluminum Foil แล้วชั่งน้ำหนักแผ่น Aluminum Foil และดินตะกอน ต่อจากนั้นอบแผ่น Aluminum Foil ที่ใส่ตัวอย่างดินตะกอนในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากครบ 8 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้แผ่น Aluminum Foil และดินตะกอนให้เย็น นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง คำนวณตามสูตร (Chuan and Sugahara,1984)</p> <p>ปริมาณน้ำในดิน (Water Content ,%) = $\frac{[W_2 - (W_3 - W_1)]}{W_2} \times 100$</p> <p>เมื่อ W_1 = น้ำหนักแผ่น Aluminum foil อย่างเดียว W_2 = น้ำหนักดินตะกอนก่อนอบ W_3 = น้ำหนักดินตะกอนและแผ่น Aluminum foil หลังอบ</p>
ความเป็นกรด-เบสในดิน (pH)	<p>ดำเนินการตามวิธีการของ Dewis and Freitas (1970) โดยการชั่งดินตะกอนน้ำหนักเปียก 10 กรัม เติม 1 N KCl (Potassium Chloride) ปริมาตร 20-25 มิลลิลิตร จากนั้นกวนให้ตะกอนดินผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นวัดค่าพีเอชในดินด้วยเครื่อง pH meter โดยวัดค่าของส่วนใสที่อยู่ชั้นบน</p>
ขนาดอนุภาคดินตะกอน (Grain size)	<p>การศึกษาขนาดอนุภาคดินตะกอน(Grain size) ดัดแปลงจากวิธีการศึกษาแบบ Dry Sieve Analysis ของ Carter (1993) เตรียมตัวอย่างดินที่ผ่านการอบแห้ง โดยไม่ต้องบดละเอียดมาชั่งน้ำหนักประมาณ 10 กรัม จดบันทึก ละลายดินด้วยน้ำผ่านตะแกรงร้อนที่วางซ้อนกัน มีขนาดตา 0.063, 0.125, 0.250, 0.425 และ 1.00 มิลลิเมตร เรียงตามลำดับ ทำการร่อนดินและล้างตะกอนดินที่ติดอยู่บนตะแกรงร้อนลงบนกระดาษกรอง GF/C ของ Whatman No. 2 ที่ทราบน้ำหนักแห้ง แล้วแยกตามขนาดอนุภาคของดินตะกอน ร่อนน้ำผ่านกระดาษกรองจนหมด จึงพับกระดาษกรองที่มีดินตะกอนอยู่เข้าตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 3 วัน จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณสัดส่วนอนุภาคดินตะกอนขนาดต่างๆ ตามสูตร</p>

	<p>ปริมาณอนุภาคของดินตะกอน (%) = $\frac{(W_3 - W_1) \times 100}{\frac{[W_2 - (W_2 \times WC)]}{100}}$</p> <p>เมื่อ W_1 = น้ำหนักแห้งของกระดาศกรอง W_2 = น้ำหนักเปียกของดินตะกอน W_3 = น้ำหนักแห้งรวมของกระดาศกรองและดินตะกอน WC = ปริมาณน้ำในดินตะกอน</p>
<p>2. ปริมาณสารอาหารในดินตะกอน (วิเคราะห์จากน้ำในดินตะกอน)</p> <ul style="list-style-type: none"> - แอมโมเนีย (NH₃) - ไนไตรท์ (NO₂) - ไนเตรท (NO₃) - ไนโตรเจนรวม (TN) 	<p>นำน้ำในตัวอย่างทั้งหมดผ่านกระดาศกรองใยแก้ว GF/F แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในน้ำ และ Grasshoff et al. (1983)</p> <ul style="list-style-type: none"> - แอมโมเนีย วิเคราะห์โดยวิธี Phenate Method ตามวิธีการของ Boyd (1992) นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระดาศกรองแล้วปริมาตร 20 มิลลิลิตร เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต (เตรียมโดยละลายแมงกานีสซัลเฟต (MnSO₄·H₂O) 0.05 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) 1 หยด จากนั้นเติม hypochlorous 1 มิลลิลิตร และเติม phenate reagent (เตรียมโดยส่วนแรกทำการละลาย NaOH 5 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ส่วนที่สอง ทำการละลาย phenol 20 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้ควรเตรียมทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์ โดยผสมส่วนแรก และส่วนที่สองในปริมาตรที่เท่าๆ กัน เช่น ใช้ส่วนแรก 10 มิลลิลิตร ผสมกับส่วนที่สอง 10 มิลลิลิตร) 1.2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้เกิดสี แต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของแอมโมเนียในตัวอย่างน้ำทะเล โดยใช้กราฟมาตรฐาน - ไนไตรท์ วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric Method ตามวิธีการของ Boyd (1992) นำตัวอย่างน้ำทะเลที่ผ่านการกรองแล้วปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ใน flask จากนั้นเติม diazotizing agent (เตรียมโดยเติม concentrated hydrochloric acid ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร แล้วละลาย sulfanilamide 5 กรัมลงในสารผสมนี้ และปรับปริมาตรให้เป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น) จำนวน 1 มิลลิลิตร ทำการเขย่าให้เข้ากัน พักทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา 2-8 นาที (ไม่ควรเกินกว่านี้) จากนั้นเติม coupling reagent

	<p>(เตรียมโดยละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 0.500 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา เพื่อป้องกันแสง ควรเตรียมทุกๆ 2-4 สัปดาห์ หรือเมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเก็บสารนี้ในตู้เย็น) จำนวน 1 มิลลิลิตร ทำการเขย่า พักทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิด azo compound นำตัวอย่างน้ำที่พักไว้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณของไนโตรฟีนในตัวอย่างน้ำ โดยใช้กราฟมาตรฐาน</p> <p>- ไนเตรท วิเคราะห์โดยวิธี Colorimetric, Cadmium Reduction Method ตามวิธีการของ Grasshoff et al. (1983) นำตัวอย่างน้ำทะเลที่ผ่านการกรองแล้ว 25 มิลลิลิตร เติมสารละลาย $\text{NH}_4\text{Cl-EDTA}$ 75 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้น นำมาผ่านคอลัมน์โดยทิ้ง 25 มิลลิลิตรแรกและเก็บ 10 มิลลิลิตรถัดมา (ที่อัตราการไหลประมาณ 7 มิลลิลิตรต่อนาที) ใช้น้ำ เติม 1 มิลลิลิตรของสารละลาย sulfanilamide ใน 10.0 มิลลิลิตรของตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์แล้ว จากนั้นทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยานาน 2-8 นาที และเติม 1.0 มิลลิลิตรของสารละลาย N-(1-Naphthyl)- Ethylenediamine Dihydrochloride ผสมให้เข้ากันทันที หลังจากนั้นในระหว่าง 10 นาที ถึง 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank และทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณของไนเตรทในตัวอย่างน้ำ โดยใช้กราฟมาตรฐาน</p> <p>- ไนโตรเจนรวม วิเคราะห์ด้วยวิธี Digestion, Cadmium reduction and Diazotization (Strickland & Parsons, 1972)</p>
ปริมาณ CHNS (%)	<p>การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เตรียมตัวอย่างดินตะกอนที่อบจนแห้ง มาล้างด้วย 2N HCl (Hedges and Stern, 1984) จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น หลายๆ ครั้ง นำไปอบที่ 60 °C นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นบดตัวอย่างดินจนละเอียดคล้ายผงแบ่งบรรจุใส่ถุงพลาสติก ให้มีน้ำหนักประมาณ 2 g ส่งวิเคราะห์ ณ ศูนย์เครื่องมือ</p>

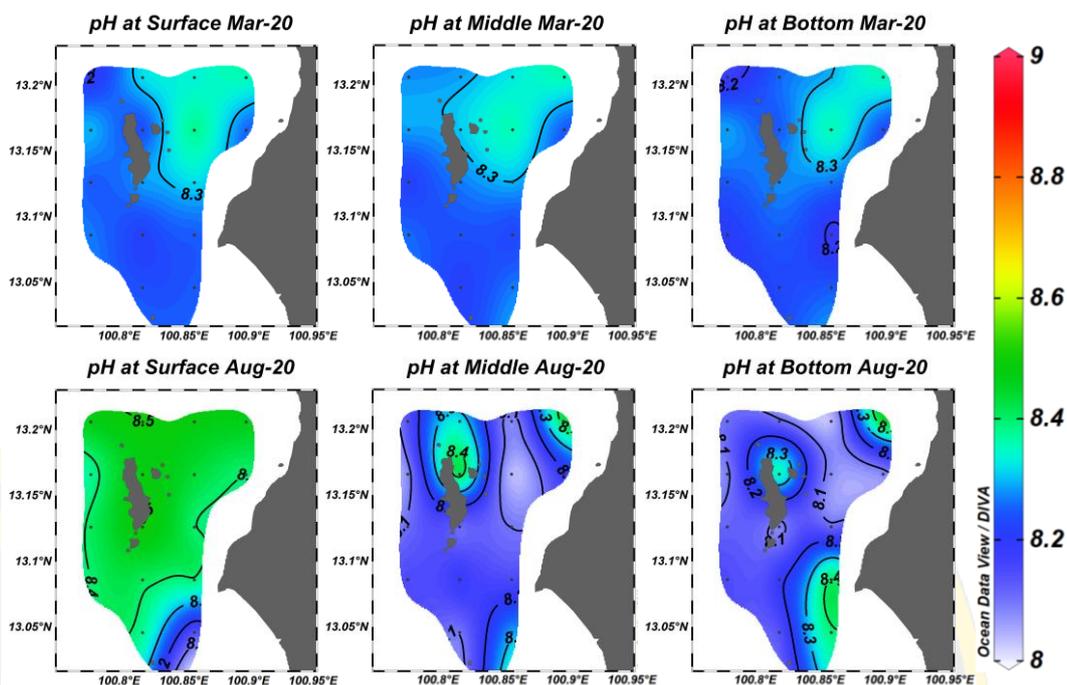
	วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ CHNS/O รุ่น FLASH 2000; Thermo Scientific, Wilmington, DE, USA
--	---



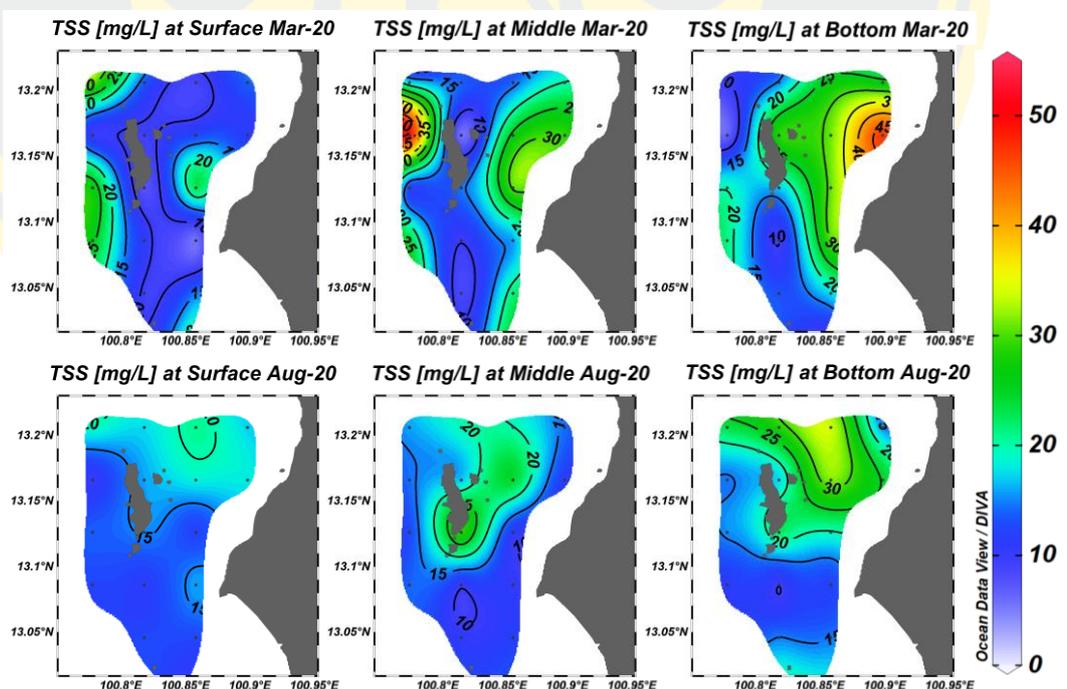


ภาคผนวก ข

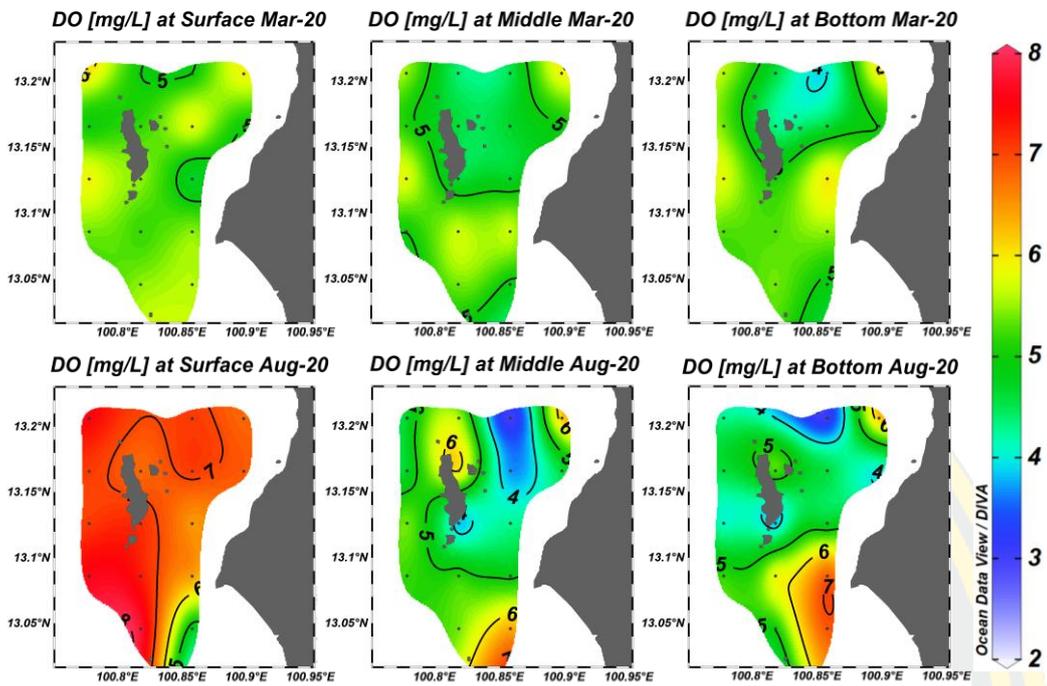
- ภาพแสดงรูปแบบเส้นชั้นความสูง (Contour line) คุณภาพน้ำบริเวณนอกชายฝั่งศรีราชา
- กราฟคุณภาพน้ำบริเวณนอกชายฝั่งศรีราชา



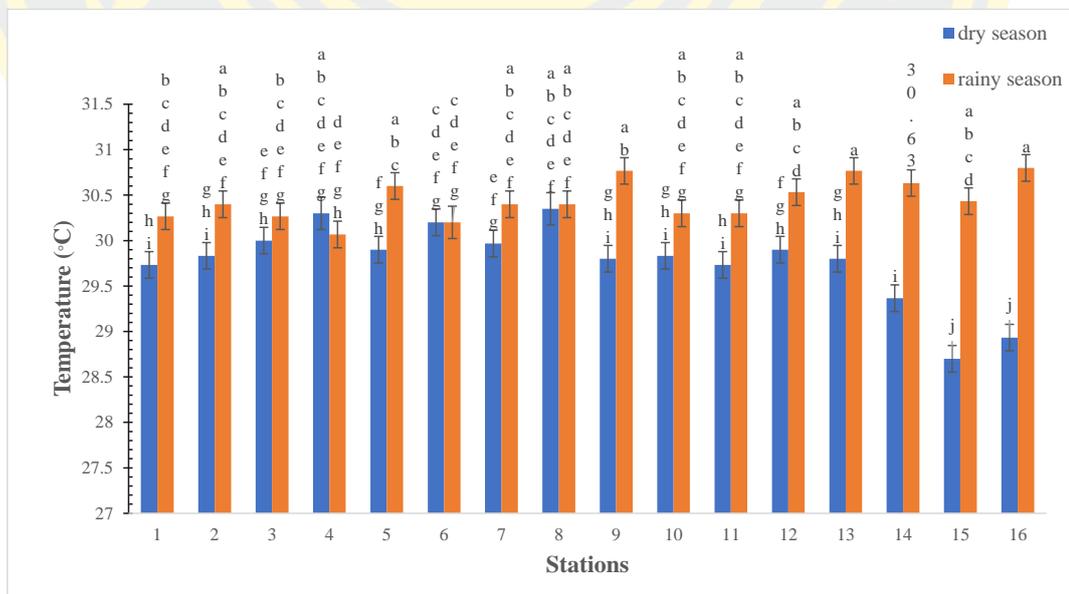
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบส เชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



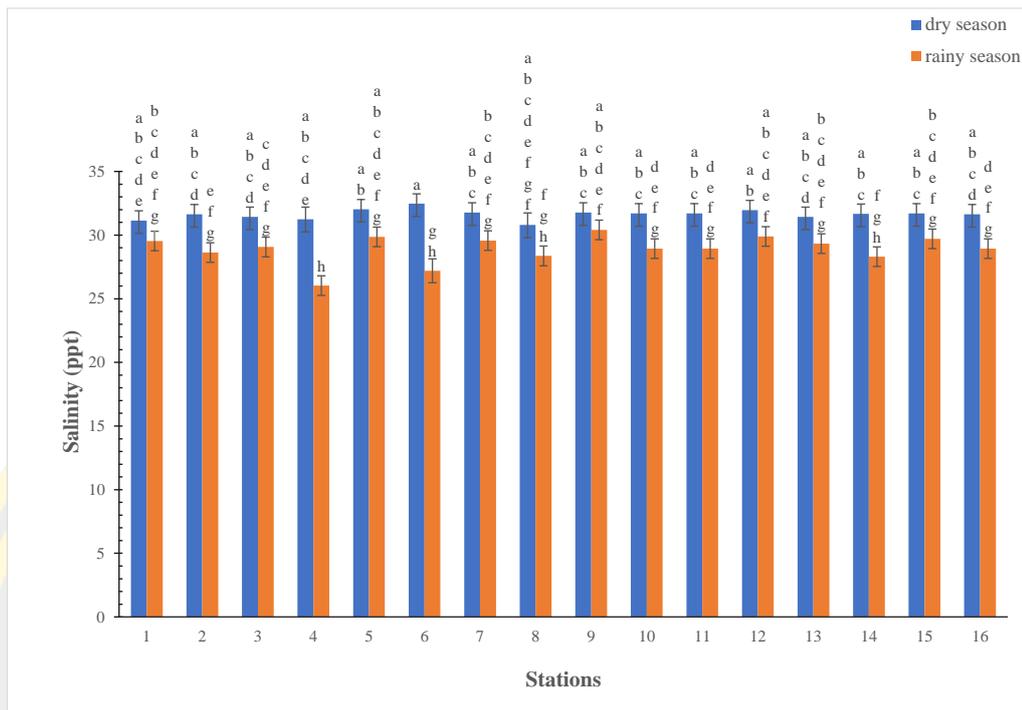
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสารแขวนลอยทั้งหมด เชิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



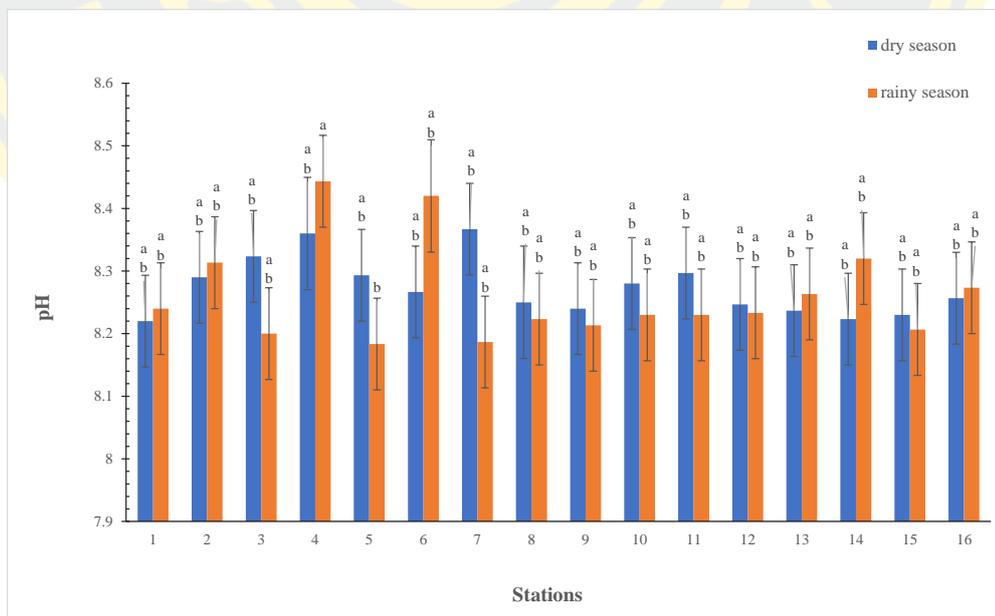
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเป็นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เซิงพื้นที่และฤดูกาลตามระดับความลึก บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชา



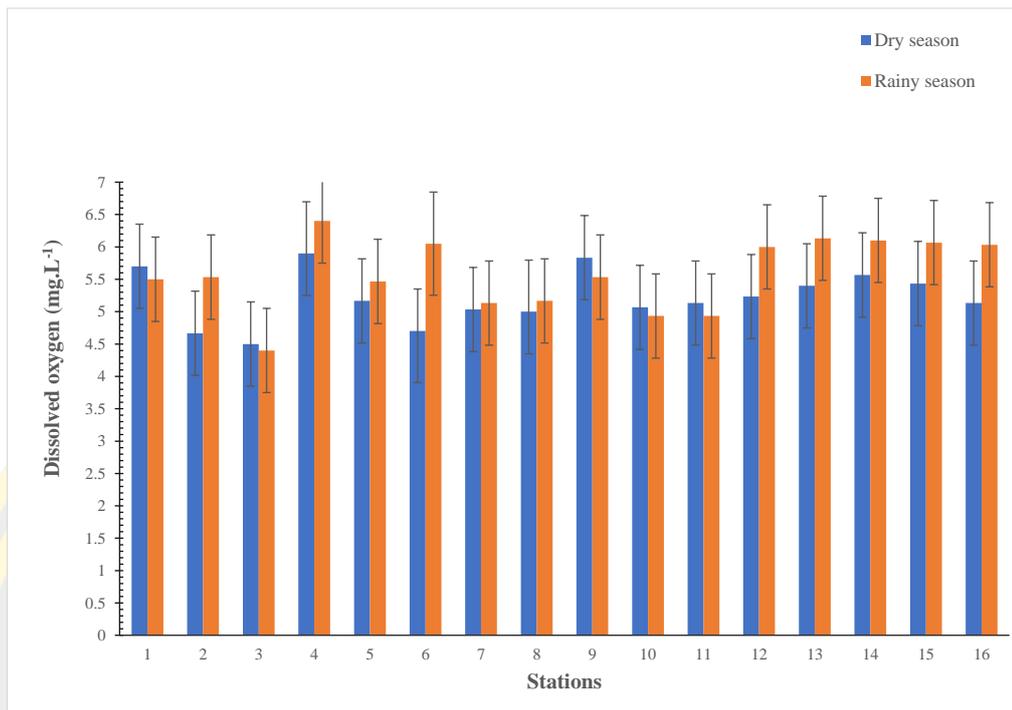
ภาพที่ 4 อุณหภูมิน้ำทะเลบริเวณนอกชายฝั่งศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



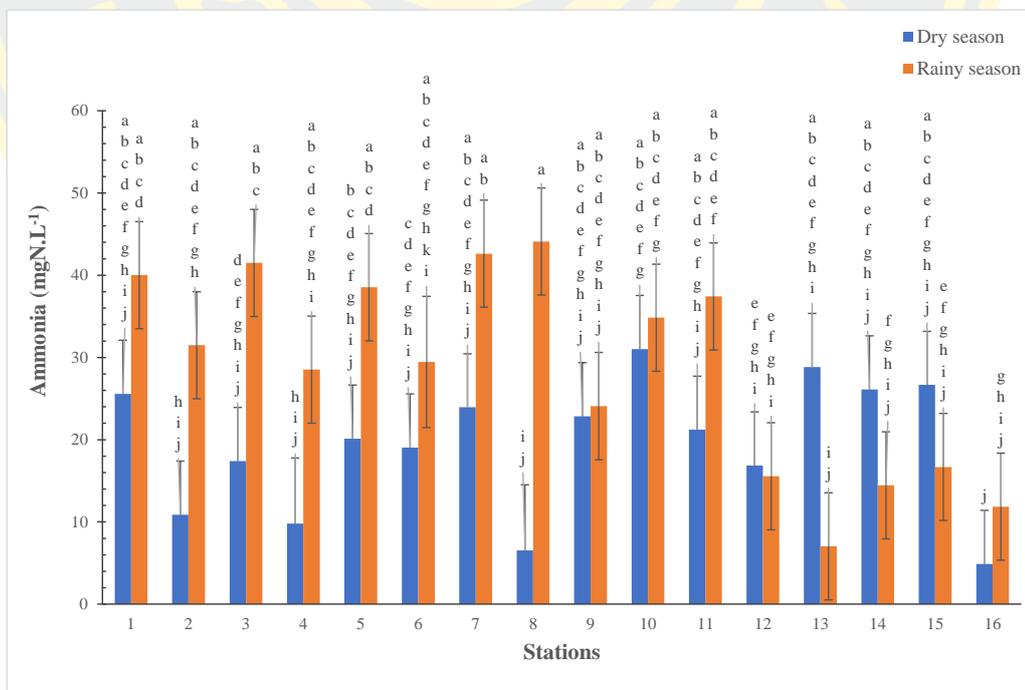
ภาพที่ 5 ความเค็มน้ำทะเลบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



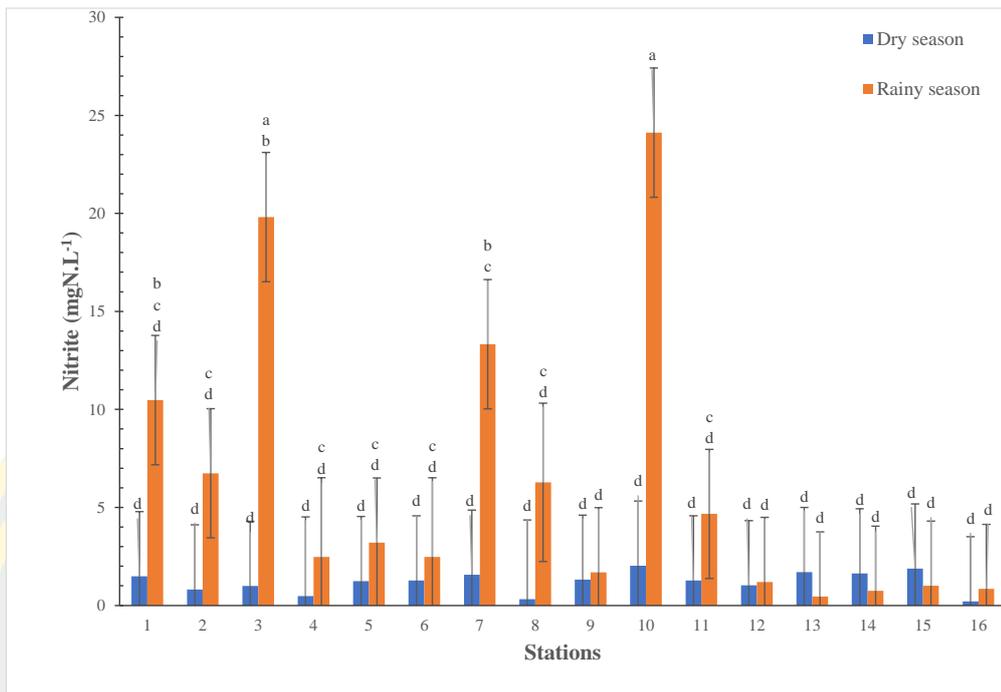
ภาพที่ 6 ความเป็นกรด-เบสน้ำทะเลบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



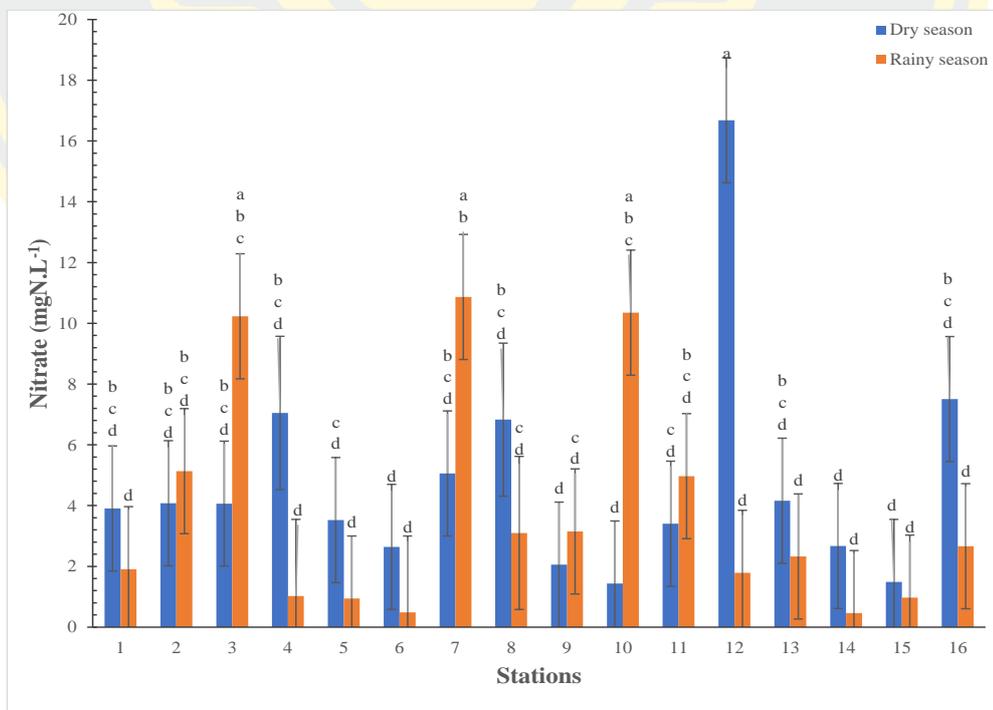
ภาพที่ 7 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



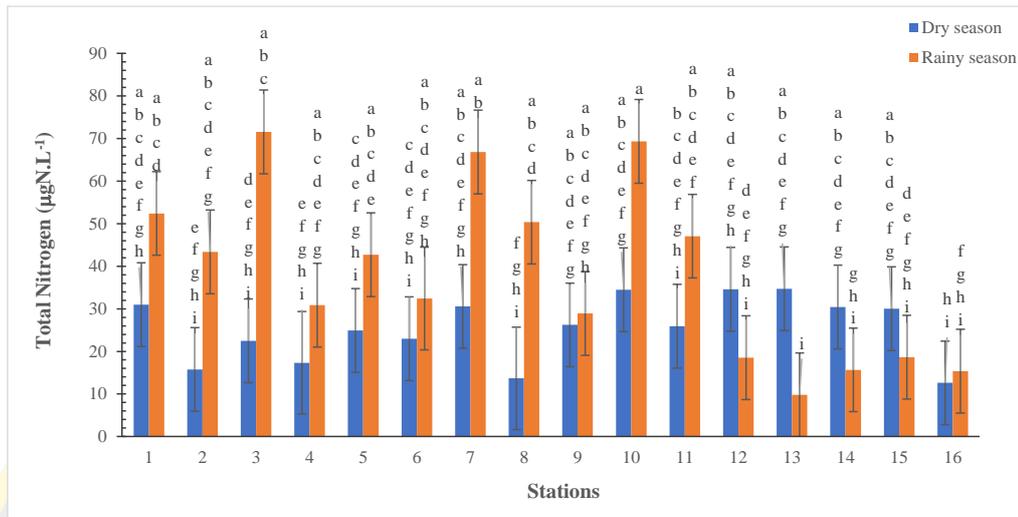
ภาพที่ 8 ปริมาณแอมโมเนียบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



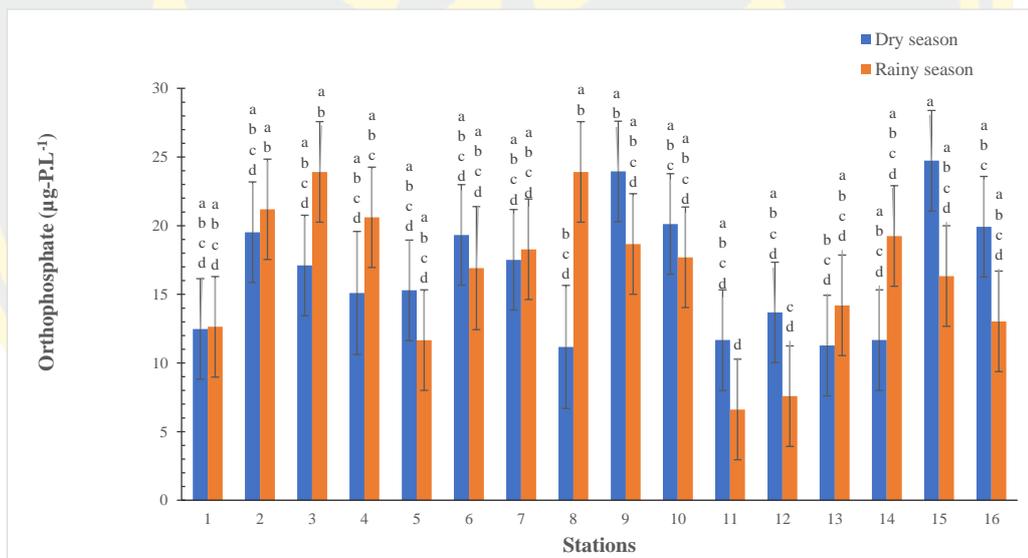
ภาพที่ 9 ปริมาณไนไตรท์บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



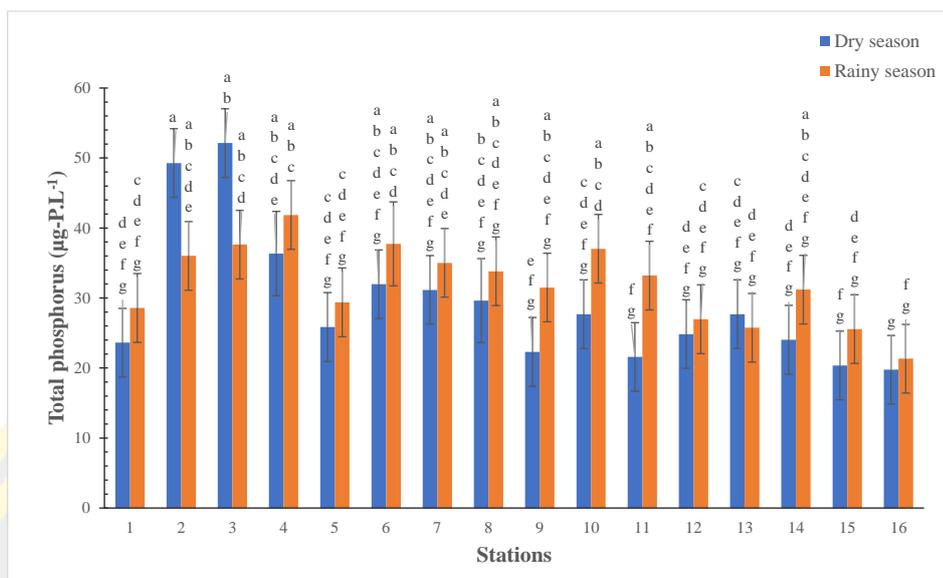
ภาพที่ 10 ปริมาณไนเตรทบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



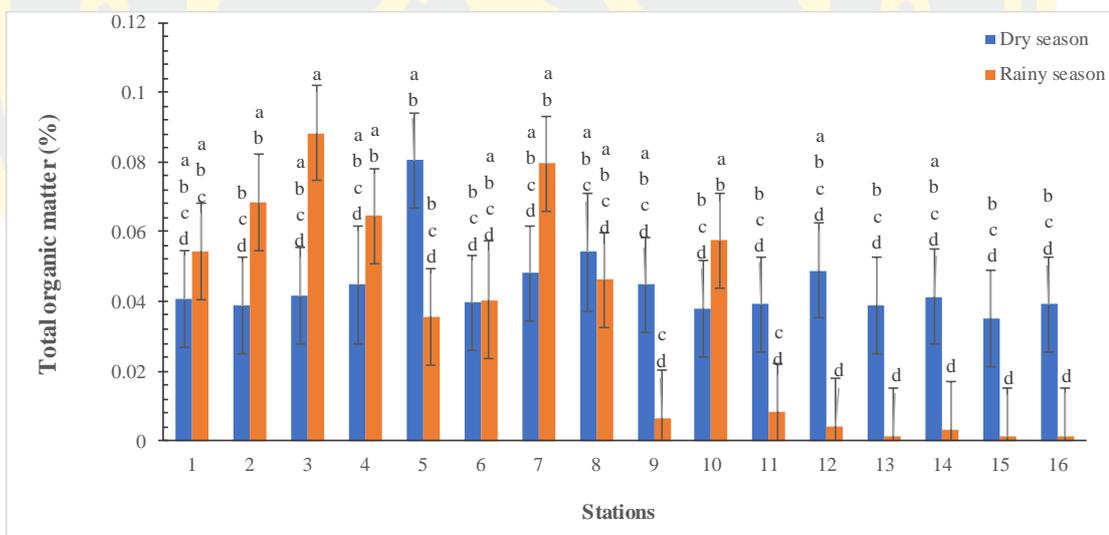
ภาพที่ 11 ปริมาณไนโตรเจนรวมบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



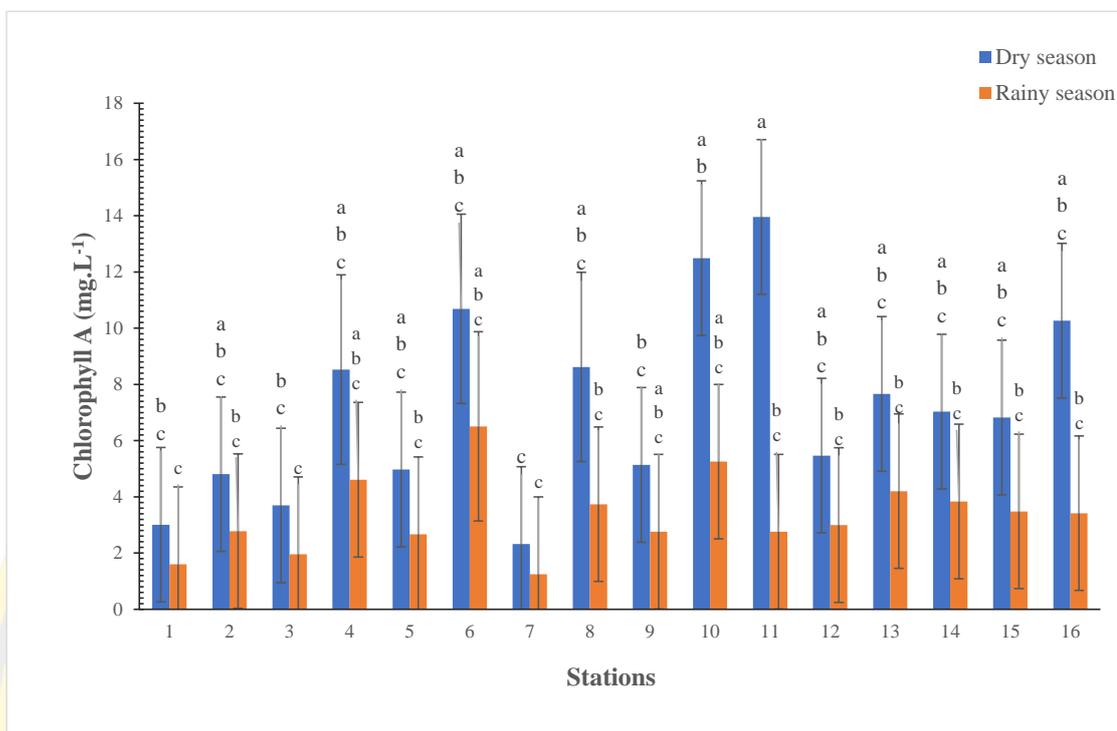
ภาพที่ 12 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



ภาพที่ 13 ปริมาณฟอสฟอรัสรวมบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



ภาพที่ 14 ปริมาณสารอินทรีย์รวมบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



ภาพที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอบริเวณนอกชายฝั่งอำเภอศรีราชาในฤดูแล้งและฤดูฝน



ภาคผนวก ค
ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

คุณภาพน้ำ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลอุณหภูมิน้ำบริเวณนอกชายฝั่งศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	.005	.000	11.521	.000
Intercept	1	200.547	200.547	14759375.46	.000
Station	15	.001	4.881E-005	3.592	.000
Season	1	.002	.002	174.564	.000
Station * Season	15	.002	.000	7.462	.000
Error	61	.001	1.359E-005		
Total	93	203.372			
Corrected Total	92	.006			

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความเค็มบริเวณนอกชายฝั่งศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	.049	.002	4.033	.000
Intercept	1	200.970	200.970	517807.331	.000
Station	15	.006	.000	1.109	.000
Season	1	.035	.035	91.273	.000
Station * Season	15	.005	.000	.938	.000
Error	61	.024	.000		
Total	93	203.957			
Corrected Total	92	.072			

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความเป็นกรด-เบสบริเวณนอกชายฝั่งศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	.335	.011	.670	.887
Intercept	1	6267.940	6267.940	389246.97	.000
Station	15	.171	.011	.710	.765
Season	1	.004	.004	.222	.639
Station * Season	15	.151	.010	.624	.844
Error	61	.982	.016		
Total	93	6354.251			
Corrected Total	92	1.317			

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำบริเวณ
นอกชายฝั่งศรีราชา ปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	2381.455	76.821	1.193	.274
Intercept	1	29055.592	29055.592	451.035	.000
Station	15	1199.848	79.990	1.242	.267
Season	1	92.819	92.819	1.441	.235
Station * Season	15	1144.086	76.272	1.184	.308
Error	61	3929.607	64.420		
Total	93	35331.697			
Corrected Total	92	6311.063			

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลายบริเวณ
นอกชายฝั่งศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	24.038	.775	.611	.932
Intercept	1	2675.563	2675.563	2107.604	.000
Station	15	15.421	1.028	.810	.663
Season	1	3.135	3.135	2.469	.121
Station * Season	15	5.065	.338	.266	.997
Error	61	77.438	1.269		
Total	93	2806.880			
Corrected Total	92	101.476			

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณแอมโมเนียบริเวณ
นอกชายฝั่งศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	5.476	.177	3.631	.000
Intercept	1	152.789	152.789	3140.540	.000
Station	15	2.478	.165	3.396	.000
Season	1	.630	.630	12.952	.001
Station * Season	15	2.526	.168	3.462	.000
Error	58	2.968	.049		
Total	90	165.004			
Corrected Total	89	8.444			

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณไนโตรเจนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	95.275	3.073	3.977	.000
Intercept	1	16.170	16.170	20.926	.000
Station	15	41.346	2.756	3.567	.000
Season	1	22.851	22.851	29.571	.000
Station * Season	15	32.094	2.140	2.769	.000
Error	58	44.818	.773		
Total	90	157.592			
Corrected Total	89	140.093			

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณไนโตรเจนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	64.309	2.074	1.951	.014
Intercept	1	67.618	67.618	63.580	.000
Station	15	30.014	2.001	1.881	.044
Season	1	9.909	9.909	9.317	.003
Station * Season	15	25.774	1.718	1.616	.097
Error	58	62.747	1.064		
Total	90	200.916			
Corrected Total	89	127.056			

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณออร์โธฟอสเฟตบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	1.646	.053	3.331	.000
Intercept	1	128.695	128.695	8075.742	.000
Station	15	1.065	.071	4.453	.000
Season	1	.000	.000	.018	.893
Station * Season	15	.549	.037	2.299	.012
Error	61	.972	.016		
Total	93	133.381			
Corrected Total	92	2.618			

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลไนโตรเจนรวมบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	3.379	.109	1.867	.020
Intercept	1	176.420	176.420	3022.697	.000
Station	15	1.843	.123	2.105	.022
Season	1	.016	.016	.278	.600
Station * Season	15	1.492	.099	1.704	.075
Error	61	3.444	.058		
Total	93	192.280			
Corrected Total	92	6.822			

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลฟอสฟอรัสรวมบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	.994	.032	2.860	.000
Intercept	1	196.702	196.702	17541.36	.000
Station	15	.754	.050	4.482	.000
Season	1	.019	.019	1.726	.194
Station * Season	15	.215	.014	1.278	.244
Error	61	.684	.011		
Total	93	200.786			
Corrected Total	92	1.678			

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	158.133	5.101	16.153	.000
Intercept	1	1286.43	1286.43	4073.50	.000
Station	15	65.125	4.342	13.748	.000
Season	1	30.706	30.706	97.232	.000
Station * Season	15	59.020	3.935	12.459	.000
Error	61	19.264	.316		
Total	93	1496.609			
Corrected Total	92	177.397			

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์บริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	31	46.311	1.494	1.055	.419
Intercept	1	112.424	112.424	79.377	.000
Station	15	31.645	2.110	1.490	.138
Season	1	11.596	11.596	8.187	.006
Station * Season	15	2.791	.186	.131	1.000
Error	60	84.980	1.416		
Total	92	239.248			
Corrected Total	91	131.291			

คุณภาพดินตะกอน

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	13618.481	486.374	31.528	.000
Intercept	1	165259.796	165259.796	10712.555	.000
Season	1	1294.100	1294.100	83.887	.000
Station	14	9963.436	711.674	46.132	.000
Season * Station	13	1405.603	108.1230	7.009	.000
Error	43	663.350	15.427		
Total	72	192534.141			
Corrected Total	71	14281.830			

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณนอก
ชายฝั่งศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	610.059	21.788	568.330	.000
Intercept	1	4750.546	4750.546	123916.856	.000
Season	1	145.419	145.419	3793.222	.000
Station	14	183.526	13.109	341.945	.000
Season * Station	13	285.522	21.963	572.906	.000
Error	58	2.224	.038		
Total	87	5486.704			
Corrected Total	86	612.282			

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลความเป็นกรด-เบสในดินตะกอนบริเวณนอก
ชายฝั่งศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	53.940	1.926	3299.223	.000
Intercept	1	3447.986	3447.986	5905014.669	.000
Season	1	.305	.305	522.008	.000
Station	14	48.943	3.496	5987.174	.000
Season * Station	13	3.635	.280	478.855	.000
Error	58	.034	.001		
Total	87	3503.603			
Corrected Total	86	53.974			

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	.050	.002	34.318	.000
Intercept	1	.107	.107	2048.469	.000
Season	1	.003	.003	48.362	.000
Station	14	.038	.003	51.437	.000
Season * Station	13	.009	.001	13.844	.000
Error	58	.003	5.229E-005		
Total	87	.162			
Corrected Total	86	.053			

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลแอมโมเนียในน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	1713.055	61.181	14.586	.000
Intercept	1	25513.364	25513.364	6082.605	.000
Season	1	43.564	43.564	10.386	.002
Station	14	746.174	53.298	12.707	.000
Season * Station	13	904.400	69.569	16.586	.000
Error	58	243.280	4.194		
Total	87	27824.944			
Corrected Total	86	1956.335			

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลไนโตรเจนในน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	.598	.021	10.108	.000
Intercept	1	.535	.535	253.587	.000
Season	1	.300	.300	141.939	.000
Station	14	.141	.010	4.763	.000
Season * Station	13	.140	.011	5.088	.000
Error	58	.122	.002		
Total	87	1.240			
Corrected Total	86	.720			

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลไนเตรทในน้ำในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	35.246	1.259	165.323	.000
Intercept	1	36.635	36.635	4811.433	.000
Season	1	8.441	8.441	1108.630	.000
Station	14	14.887	1.063	139.656	.000
Season * Station	13	11.050	.850	111.631	.000
Error	58	.442	.008		
Total	87	73.249			
Corrected Total	86	35.688			

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลไนโตรเจนรวมในน้ำในดินตะกอนบริเวณนอก
ชายฝั่งศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	173330.174	6190.363	756.984	.000
Intercept	1	594376.489	594376.489	72682.877	.000
Season	1	116822.632	116822.632	14285.567	.000
Station	14	24245.163	1731.797	211.772	.000
Season * Station	13	24754.213	1904.170	232.850	.000
Error	58	474.305	8.178		
Total	87	760741.102			
Corrected Total	86	173804.479			

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	57.577	2.056	104.124	.000
Intercept	1	316.841	316.841	16043.650	.000
Season	1	1.130	1.130	57.221	.000
Station	14	49.796	3.557	180.107	.000
Season * Station	13	7.753	.596	30.198	.000
Error	29	.573	.020		
Total	58	361.735			
Corrected Total	57	58.150			

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลไฮโดรเจนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	6.837	.244	109.702	.000
Intercept	1	23.768	23.768	10677.905	.000
Season	1	.002	.002	.983	.330
Station	14	6.396	.457	205.248	.000
Season * Station	13	.441	.034	15.237	.000
Error	29	.065	.002		
Total	58	31.057			
Corrected Total	57	6.902			

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลไนโตรเจนในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	.504	.018	11.235	.000
Intercept	1	.659	.659	411.335	.000
Season	1	1.116E-005	1.116E-005	.007	.934
Station	14	.482	.034	21.483	.000
Season * Station	13	.021	.002	1.031	.451
Error	29	.046	.002		
Total	58	1.238			
Corrected Total	57	.550			

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลกำมะถันในดินตะกอนบริเวณนอกชายฝั่ง
ศรีราชาปี พ.ศ. 2563

Source	df	SS	MS	F	Sig
Corrected Model	28	.560	.020	26.661	.000
Intercept	1	1.228	1.228	1637.483	.000
Season	1	.010	.010	12.688	.001
Station	14	.412	.029	39.283	.000
Season * Station	13	.138	.011	14.145	.000
Error	29	.022	.001		
Total	58	1.813			
Corrected Total	57	.582			

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ศรัณยา รักเสรี
วัน เดือน ปี เกิด	17 มกราคม 2515
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	18/17 หมู่ 3 ตำบลห้วยกะปิ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20000
ประวัติการศึกษา	วท.ม. (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2540 วท.บ. (วาริชศาสตร์) มหาวิทยาลัยบูรพา 2536

