

ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิและการบริโภคซากไปไม้โดยกลุ่มหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุ
แตกต่างกัน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Net primary production and leaf litter consumption by gastropods in mangrove
plantations of different ages



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-Department of Environmental Science

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิและการบริโภคซากไปไม่โดยกลุ่ม หอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกัน
โดย	นายธนพล พงศ์สุวโรจน์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิชฌิกา ศิวายพราหมณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย (รองศาสตราจารย์ ดร.ยุธนา ฉัพพรรณรัตน์)
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก (รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิชฌิกา ศิวายพราหมณ์)
.....	กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย งามประเสริฐวงศ์)
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย (ดร.ทनुวงศ์ แสงเทียน)

ธนพล พงศ์สุวโรจน์ : ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิและการบริโภคซากใบไม้โดยกลุ่มหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกัน. (Net primary production and leaf litter consumption by gastropods in mangrove plantations of different ages) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ศศิธร พ่วงปาน, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.อิชฌิกา ศิวยายพรหมณ์

ป่าชายเลนมีบทบาทในการสร้างผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP) ที่สูง ปัจจุบันมีการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนอย่างกว้างขวาง ถึงกระนั้นการประมาณ NPP ที่มีค่าผันแปรตามอายุของแปลงปลูกยังมีค่อนข้างจำกัด อีกทั้งการศึกษาเชิงปริมาณด้านการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวยังมีอยู่น้อย การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการประมาณ NPP ควบคู่กับอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มี *Avicennia alba* เป็นพืชเด่นจำนวน 4 แปลง ได้แก่ Y1, Y5, Y7, และ Y9 ปีที่มีอายุ 14, 10, 8 และ 6 ปี ตามลำดับ (ในปี พ.ศ. 2562) บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบกบางปู ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นต้นไม้ลดลงมากยกเว้นแปลง Y1 แต่ผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อแปลงปลูกมีอายุเพิ่มขึ้น NPP ผกผันกับอายุแปลงปลูก พบหอยฝาเดียวทั้งหมด 14 ชนิด โดยที่ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ (Littorinidae, Irvadiidae และ Potamididae) มีค่ามากที่สุดแปลง Y1 ถึงแม้ความหนาแน่นนี้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว แต่ไม่พบความแตกต่างของอัตราการกินซากใบไม้ระหว่างแปลงทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยเหตุนี้จึงสรุปได้ว่าโครงสร้างพืชพรรณที่ต่างกันจากอายุของแปลงปลูกป่าชายเลนส่งผลให้มวลชีวภาพ NPP และสังคมหอยฝาเดียวแตกต่างกันระหว่างแปลง ซึ่งผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้วางแผนปลูกฟื้นฟูและจัดการแปลงปลูกป่าชายเลนบนหาดเลนงอกใหม่ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทางนิเวศวิทยาและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนภายใต้กรอบเวลาที่จำกัดของการฟื้นฟูป่าชายเลน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6187148420 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: net primary productivity, leaf litter consumption, vegetation structure,
biomass, gastropod community, leaf litter decomposition

Tanapon Pongsuvarod : Net primary production and leaf litter consumption by
gastropods in mangrove plantations of different ages. Advisor: Assoc. Prof.
SASITORN POUNGPARN, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. ITCHIKA SIVAIPRAM, Ph.D.

Mangrove forests play a role in high net primary productivity (NPP). Up to the present, mangrove plantation has been widely conducted. However, the NPP estimation in different ages of the mangrove plantation is still scarce. Moreover, quantitative study of leaf litter consumption by gastropods is limited. This objective of this study is to estimate NPP and leaf litter consumption rate by gastropods in mangrove plantations of different ages, dominated by *Avicennia alba*. They composed of four stand ages (14, 10, 8, and 6 years in 2018; namely Y1, Y5, Y7 and Y9, respectively) located at Bangpu Nature Education Centre. The results showed that decreased tree-density was high excepted Y1, while total basal area of tree and total biomass increased with increasing the stand age. NPP shows an opposite trend to the stand age. This study found 14 species of gastropods in total. The density of leaf-litter consumed gastropods (family Littorinidae, Irvadiidae, Potamididae) was found the highest in Y1 and correlated with leaf litter consumption rate, but the leaf litter consumption was not different among the stands both in the rainy and dry seasons. In a conclusion, the different vegetation structures among the stand ages caused the differences in NPP, biomass, and gastropod community. The results can be applied for planning mangrove plantation and management on new mudflat to maximize the ecological benefit and sustainable utilization under a limited time frame of mangrove forest restoration.

Field of Study: Environmental Science

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความเมตตาจากรองศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร พ่วงปาน อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิชฌมิกา ศิวยายพราหมณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือสำหรับการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ในด้านการติดต่อจัดหาแหล่งเงินทุน การประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ด้านข้อมูลทางวิชาการ แนวทางการวิจัย การเก็บข้อมูลภาคสนาม การตรวจสอบแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการดำเนินการทุกขั้นตอน ตลอดจนเป็นกำลังใจและเป็นแบบอย่างในการทำงานเสมอมา

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. ทนุวงศ์ แสงเทียน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย งามประเสริฐวงศ์ ที่เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยภายใต้โครงการโตโยต้าปลูกป่าชายเลนจากบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ฉัตรทิพย์ รอดทัตสนา อาจารย์ ดร. สุธาทิพย์ อำนวยสิน และ ดร. วิลาณี สุชีวะบริพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ในด้านข้อมูลวิชาการ แนวทางการวิจัย การเก็บข้อมูลภาคสนาม และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนเป็นกำลังใจในการทำงานเสมอมา และขอขอบคุณศูนย์ศึกษาระบบสังคมชาติกองทัพบก (บางปู) จ. สมุทรปราการ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ขอบคุณหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาพฤกษศาสตร์ และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยาที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ รวมถึงสมาชิกหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ และหน่วยปฏิบัติการนิเวศวิทยาทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคนที่กรุณาเสียสละเวลาที่ให้ช่วยเหลือและคำปรึกษาในการดำเนินงาน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง เพื่อน ๆ และทุก ๆ คนที่สนับสนุนในทุกด้านตลอดจนเป็นกำลังใจให้การศึกษาครั้งสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

ธนพล พงศ์สุวรรณ

สารบัญ

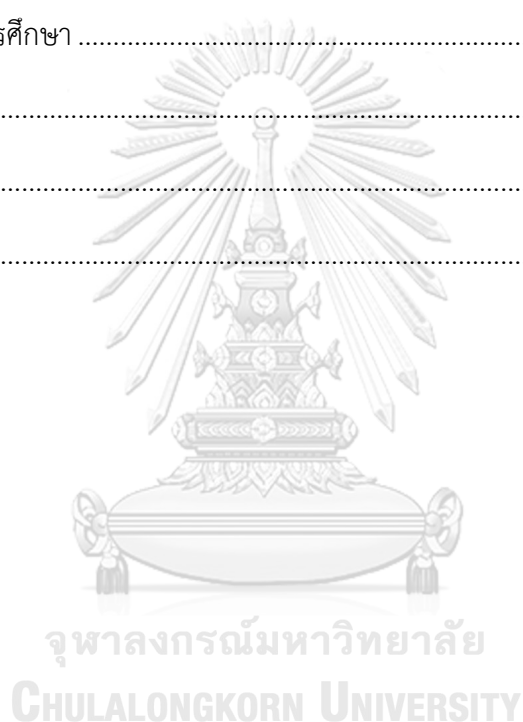
	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	19
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	19
1.2 วัตถุประสงค์.....	21
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	21
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	21
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	21
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.1.1 องค์ประกอบของระบบนิเวศป่าชายเลน.....	23
2.1.2 การปรับตัวของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศป่าชายเลน.....	24
2.1.3 บทบาทและความสำคัญของระบบนิเวศป่าชายเลน.....	28
2.1.4 พลวัตคาร์บอนของระบบนิเวศป่าชายเลน.....	30

2.1.5 การนำเข้าคาร์บอนและการประมาณผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของระบบนิเวศป่า ชายเลน	31
2.1.6 การส่งผ่านคาร์บอนและการกินซากพืชของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ในป่าชาย เลน	33
2.1.7 การปลดปล่อยคาร์บอนและกระบวนการย่อยสลายซากพืชในป่าชายเลน	35
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
2.2.1 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน	36
2.2.2 สังคมหอยฝาเดียวและการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวในป่าชายเลนที่มีอายุ ต่างกัน	37
2.2.3 การย่อยสลายซากใบไม้ในระบบนิเวศป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน	39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	41
3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย	41
3.2 วางแผนศึกษา	43
3.3 ศึกษาโครงสร้างพืชพรรณ	44
3.3.1 เก็บข้อมูลต้นไม้	45
3.3.2 เก็บข้อมูลกล้าไม้และไม้หนุ่ม	46
3.4 ศึกษาผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP)	46
3.4.1 การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ	46
3.4.2 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น	47
3.5 ศึกษาสังคมหอยฝาเดียว (gastropod community)	48
3.5.1 เก็บข้อมูลจำนวนและชนิดหอยฝาเดียว	48
3.5.2 วิเคราะห์สังคมหอยฝาเดียว	49
3.5.3 ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม	50
3.6 ศึกษาอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว	50
3.6.1 การเก็บข้อมูลและคำนวณอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว	50

3.6.2 การบันทึกภาพและคำนวณพื้นที่ซากใบไม้.....	53
3.7 ศึกษาอัตราการย่อยสลายซากใบไม้.....	54
3.7.1 การเตรียมและติดตั้งถุงซากพืช.....	55
3.7.2 การเก็บและล้างถุงซากพืช.....	55
3.7.3 คำนวณอัตราการย่อยสลายซากใบไม้.....	56
3.8 ศึกษาคุณสมบัติดิน.....	56
3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	57
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	59
4.1 โครงสร้างพืชพรรณ (vegetation structure).....	59
4.1.1 ชนิดพืชที่พบ.....	59
4.1.2 ความหนาแน่นต้นไม้ (tree density).....	59
4.1.3 การปกคลุมเรือนยอด (crown cover).....	60
4.1.4 กล้าไม้ (seedling) และไม้หนุ่ม (sapling).....	63
4.1.5 DBH เฉลี่ย, ความสูงเฉลี่ย และการกระจาย DBH.....	64
4.1.6 ผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ทั้งหมด (total basal area).....	66
4.2 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP).....	67
4.2.1 มวลชีวภาพ (biomass).....	67
4.2.2 การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ (biomass increment).....	68
4.2.3 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall production).....	68
4.2.4 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary production, NPP).....	70
4.3 สังคมหอยฝาเดียว (gastropod community).....	71
4.3.1 ชนิดหอยฝาเดียวที่พบ.....	71
4.3.2 ความหลากหลายชนิด (species diversity) ของหอยฝาเดียว.....	74
4.3.3 ความคล้ายคลึงของความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียว.....	75

4.3.4 ความหนาแน่นหอยฝาเดียว (gastropod density).....	75
4.3.5 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับหอยฝาเดียว	79
4.4 การบริโภคซากใบไม้ที่ร่วงหล่นโดยหอยฝาเดียว	82
4.4.1 การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (leaf litter stock, LST).....	82
4.4.2 ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (% leaf litter consumption, %LC)	83
4.4.3 อัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว (leaf litter consumption rate, LC rate).....	83
4.4.4 อัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวและความหนาแน่นหอยฝาเดียว.....	84
4.5 อัตราการย่อยสลายซากใบไม้.....	86
4.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน.....	87
4.6.1 ความหนาแน่นรวมของดิน.....	87
4.6.2 ลักษณะเนื้อดิน.....	88
4.6.3 ร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon, %OC)....	91
4.6.4 สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน (total organic carbon, TOC)...	92
4.6.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน (C:N ratio).....	92
4.7 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม.....	93
4.7.1 ปัจจัยสภาพภูมิอากาศ.....	93
4.7.2 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมขณะที่ทำการศึกษาสังคมหอยฝาเดียว.....	94
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา	96
5.1 โครงสร้างพืชพรรณในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน.....	96
5.2 มวลชีวภาพ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ และการนำเข้าคาร์บอนในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มี อายุต่างกัน.....	98
5.3 ความหลากหลายชนิดและความหนาแน่นของหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุ ต่างกัน	103

5.4 การกินซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าโดยหอยฝาเดียวและการส่งผ่านคาร์บอนในแปลงปลูก ป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน.....	107
5.5 การย่อยสลายซากใบไม้และการปลดปล่อยคาร์บอนในแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละอายุ	109
5.6 คุณสมบัติดินและสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดินของแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละอายุ	110
5.7 การประยุกต์ผลการศึกษาสําหรับปลูกฟื้นฟูป่าชายเลน	111
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	113
บรรณานุกรม.....	115
ภาคผนวก.....	133
ประวัติผู้เขียน.....	142



สารบัญตาราง

หน้า

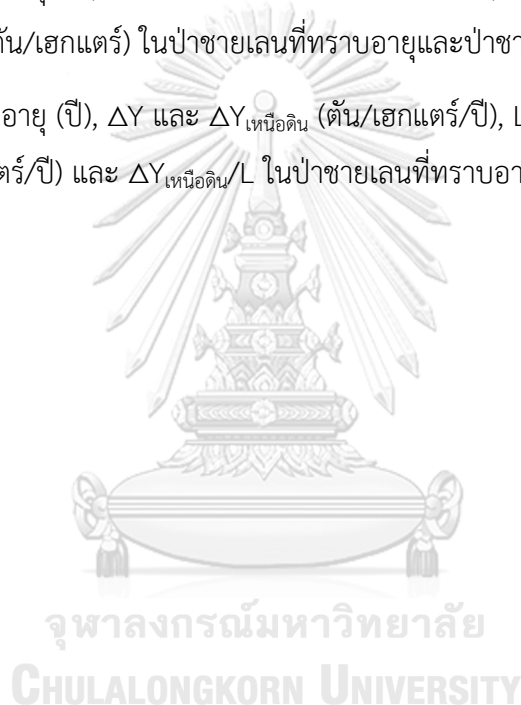
ตารางที่ 1 วันที่ศึกษาสังคมหอยฝาเดียวทั้งแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง	48
ตารางที่ 2 วันที่ศึกษาอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว.....	51
ตารางที่ 3 วันที่เก็บถุงซากพืชแต่ละครั้งสำหรับศึกษาอัตราการย่อยสลายซากใบไม้	55
ตารางที่ 4 ร้อยละการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563.....	61
ตารางที่ 5 ความหนาแน่นกล้าไม้และไม้ $D_{0.1h}$ เฉลี่ยและความสูงของไม้หนุ่ม (h) เฉลี่ย	64
ตารางที่ 6 ชนิดหอยฝาเดียวที่พบในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	72
ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's correlation coefficient, r) ระหว่างความ หนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Iravadiidae, Potamididae, Assimineidae, หอยฝาเดียว วงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด, หอยฝาเดียวทั้งหมด และดัชนีความหลากหลายหอยฝาเดียว (H') กับ ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเค็มน้ำในดิน และความต่างศักย์ไฟฟ้า (Eh) ของดินในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ.....	80
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis) ระหว่างความ หนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Iravadiidae, Assimineidae, หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซาก ใบไม้ทั้งหมด, หอยฝาเดียวทั้งหมด และดัชนีความหลากหลายหอยฝาเดียว (H') กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศและความเค็มน้ำในดิน ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ.....	81
ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's correlation coefficient) ระหว่าง LST, %LC และ LC rate กับความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดและหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้ง 3 วงศ์ ใน แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ทั้งสองฤดู ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ	85
ตารางที่ 10 สมการการย่อยสลายซากใบไม้บนผิวดินของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในรูปสมการ ทั่วไปซึ่ง $y = 100 \cdot e^{-kt}$ เมื่อ y คือ ปริมาณซากใบไม้ที่เหลือ, t คือ จำนวนวันที่ใช้ในการย่อยสลาย และ k คือ สัมประสิทธิ์อัตราการย่อยสลายซากใบไม้.....	87

ตารางที่ 11 สัดส่วนอนุภาค clay, silt และ sand ระหว่างดินความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 และผลทดสอบความแตกต่างสัดส่วนอนุภาคดินระหว่างระดับความลึก ด้วย t-test..... 89

ตารางที่ 12 สัดส่วนอนุภาค clay, silt และ sand ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในดินที่ความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งด้วย One-way ANOVA โดย a, b และ c คือค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan และ n.s. คือ ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ..... 90

ตารางที่ 13 พืชเด่น, อายุ (ปี), มวลชีวภาพเหนือดิน (ตัน/เฮกเตอร์), มวลชีวภาพราก (ตัน/เฮกเตอร์), มวลชีวภาพทั้งหมด (ตัน/เฮกเตอร์) ในป่าชายเลนที่ทราบอายุและป่าชายเลนธรรมชาติ..... 100

ตารางที่ 14 พืชเด่น, อายุ (ปี), ΔY และ $\Delta Y_{เหนือดิน}$ (ตัน/เฮกเตอร์/ปี), L (ตัน/เฮกเตอร์/ปี), NPP และ NPP_{เหนือดิน} (ตัน/เฮกเตอร์/ปี) และ $\Delta Y_{เหนือดิน}/L$ ในป่าชายเลนที่ทราบอายุและป่าชายเลนธรรมชาติ 102



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 องค์ประกอบของระบบนิเวศป่าชายเลนดัดแปลงจาก Kathiresan และ Bingham (2001)	23
ภาพที่ 2 ระบบรากพืชแบบต่าง ๆ ในระบบนิเวศป่าชายเลน (Hogarth, 2015).....	25
ภาพที่ 3 การปรับตัวด้านกายวิภาคของพืชในระบบนิเวศป่าชายเลน ได้แก่ (ก) aerenchyma (ข) lenticel (Srikanth et al., 2016).....	26
ภาพที่ 4 การสะสมคาร์บอนเฉลี่ยทั่วโลกของระบบนิเวศป่าชายเลน และระบบนิเวศอื่น ๆ (Alongi, 2014).....	29
ภาพที่ 5 การสูญเสียพื้นที่ป่าชายเลนจากการยื่นต้นตายจากสาเหตุต่าง ๆ ตั้งแต่ช่วง ค.ศ. 1940 - 2010 (Sippo et al., 2018).....	29
ภาพที่ 6 พลวัตคาร์บอนของระบบนิเวศป่าชายเลนซึ่งดัดแปลงจาก Alongi (2020); Bouillon et al. (2008); Inoue (2019); Twilley et al. (2017).....	31
ภาพที่ 7 การประมาณ NPP ในระบบนิเวศป่าชายเลน เมื่อ NPP คือผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ, ΔY คือ การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ, L คือผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น, G คือ การกักเก็บของสัตว์กินพืช, GPP คือ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิทั้งหมด, R คืออัตราการหายใจทั้งหมด, R_m คืออัตราการหายใจของพืชป่าชายเลน, R_h คือ อัตราการหายใจของดิน และ NEP คือผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ (Komiyama et al., 2008).....	32
ภาพที่ 8 detritus chain ของระบบนิเวศป่าชายเลน (Inoue, 2019).....	34
ภาพที่ 9 การส่งผ่านคาร์บอนในระบบนิเวศป่าชายเลน ที่มีอายุช่วง 0-5 ปี และช่วงมากกว่า 15 ปี เป็นต้นไป (Then et al., 2021).....	34
ภาพที่ 10 (ก) และ (ข) แปลงปลูกป่าชายเลนที่ปลูกในปี พ.ศ. 2562 (ค) และ (ง) แปลงปลูกป่าชาย เลนที่มีอายุมากที่สุด (14 ปี) บริเวณศูนย์ศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน (บางปู).....	41
ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (กราฟแท่ง) และจำนวนวันที่ฝนตก (กราฟเส้น) เฉลี่ยรายเดือน ย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2534-2564) (สถานีตรวจอากาศน้ำร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)....	42

ภาพที่ 12 อุณหภูมิสูงสุด (เส้นประ) เฉลี่ย (เส้นทึบ) และต่ำสุด (เส้นประถี่) เฉลี่ยรายเดือน ย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2534-2564) (สถานีตรวจอากาศน้ำร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)	42
ภาพที่ 13 นกชายเลนอพยพในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และ (ข) นกท่องเที่ยวบนสะพานสุขตา บริเวณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู).....	43
ภาพที่ 14 แผนที่แสดงพื้นที่ป่าชายเลนที่เพิ่มขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2548-2562 และตำแหน่งการวาง แปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ใน พ.ศ. 2562 ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ด้วยโปรแกรม Google Earth Pro.....	44
ภาพที่ 15 การวางแผนปลูกป่าขนาด 10×10 ตร.ม. ในแปลงปลูกป่าชายเลน.....	44
ภาพที่ 16 (ก) การวัด DBH และ (ข) H.....	45
ภาพที่ 17 การวัดการปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้	45
ภาพที่ 18 (ก) การศึกษากล้าไม้และไม้หนุ่มในพื้นที่ขนาด 1×1 ตร.ม. และ (ข) ตำแหน่งพื้นที่ที่เลือก ในแต่ละแปลงย่อย.....	46
ภาพที่ 19 (ก) การติดตั้งกระบะรองรับซากพืช และ (ข) ขนาดตะกร้าพลาสติกที่ใช้ติดตั้งและรองรับ ซากพืชที่ร่วงหล่น	47
ภาพที่ 20 (ก) การเก็บซากพืชที่ร่วงหล่นทุกเดือน และ (ข) ซากพืชหลังจากผ่านการอบที่จำแนก ออกเป็นส่วนใบ กิ่งก้าน และส่วนสืบพันธุ์.....	47
ภาพที่ 21 (ก) การใช้ตารางสุ่มขนาด 50×50 ตร.ซม. (ข) ในการศึกษาสังคมหอยฝาเดียว.....	49
ภาพที่ 22 แผ่นภาพสำหรับจำแนกหอยฝาเดียวที่พบในการศึกษาภาคสนาม.....	49
ภาพที่ 23 ตัวอย่างซากใบไม้ (ก) สีเขียว (ข) สีเหลือง และ (ค) สีน้ำตาล สำหรับใช้เป็นมาตรฐาน เปรียบเทียบสีของซากใบไม้และคำนวณอัตราส่วนน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อพื้นที่ใบของซากใบไม้	51
ภาพที่ 24 (ก) การเก็บซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าในพื้นที่ขนาด 1×1 ตร.ม. และ (ข) ซากใบไม้ที่ สะสมบนพื้นป่าหลังผ่านการล้างจัดคราบโคลน	52
ภาพที่ 25 (ก) การนำใบไม้ไปผูกพื้นที่ 1×1 ตร.ม. (ข) ชุดทดลองและชุดควบคุม สำหรับศึกษาร้อยละ น้ำซากใบไม้ที่ถูกกินต่อวันโดยหอยฝาเดียว.....	52
ภาพที่ 26 ซากใบไม้ก่อนและหลังถูกกิน เมื่อปรับความชัดเจนด้วย Adobe Lightroom Classic..	53
ภาพที่ 27 (ก) การลอกกลายพื้นที่ซากใบไม้ทั้งหมดและ (ข) พื้นที่ซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว	54

ภาพที่ 28 (ก) ถุงซากพืชขนาด 20×20 ตร.ซม. และ (ข) การตรึงถุงซากพืชบนพื้นป่าแต่ละซ้า	54
ภาพที่ 29 ซากใบไม้ที่เหลือในถุงซากพืชเมื่อเวลาผ่านไป 4 (ก) และ 8 สัปดาห์ (ข) หลังจากล้าง ขจัดคราบออก.....	55
ภาพที่ 30 (ก) soil core ที่ใช้เก็บ (ข) ตัวอย่างดิน (ค) การเตรียมตัวอย่างดิน และ (ง) การวิเคราะห์ เนื้อดินด้วยวิธี hydrometer method	56
ภาพที่ 31 ลักษณะสัณฐานวิทยา ลำต้น (ก) ดอก (ข) ใบ (ค) และรากหายใจหรือ pneuma- tophore (ง) ของแสมขาว (<i>Avicennia alba</i> Blume)	59
ภาพที่ 32 ลักษณะสัณฐานวิทยา ลำต้น (ก) ผล (ข) ใบ (ค) และรากหายใจหรือ pneumato- phore (ง) ของลำพู (<i>Sonneratia caseolaris</i> (L.) Engl.).....	59
ภาพที่ 33 ความหนาแน่นต้นไม้ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563.....	60
ภาพที่ 34 จำนวนต้นใหม่และต้นตายของแปลง Y1, Y5, Y7 และแปลง Y9 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563	60
ภาพที่ 35 แผนภาพการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y1 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563.....	61
ภาพที่ 36 แผนภาพการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y5 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563.....	62
ภาพที่ 37 แผนภาพการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y7 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563.....	62
ภาพที่ 38 แผนภาพการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563.....	63
ภาพที่ 39 (ก) DBH เฉลี่ย (\pm SD) และ (ข) ความสูงเฉลี่ย (\pm SD) ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563.....	64
ภาพที่ 40 การกระจายของ DBH ของแปลง (ก) Y1, (ข) Y5, (ค) Y7 และ (ง) Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563	65
ภาพที่ 41 การกระจายของ DBH ของแปลง (ก) Y5, (ข) Y7 และ (ค) Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563	66

ภาพที่ 42 (ก) ผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้และ (ข) การเพิ่มพูนพื้นที่หน้าตัดของ แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 67

ภาพที่ 43 มวลชีวภาพของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน ปี พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน ปี พ.ศ. 2563 โดยตัวเลขที่แสดงในกราฟหมายถึงร้อยละมวลชีวภาพเหนือดินและรากของมวลชีวภาพรากทั้งหมด 68

ภาพที่ 44 การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ระหว่างช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563..... 68

ภาพที่ 45 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นรายเดือนของแปลง (ก) Y1, (ข) Y5, (ค) Y7 และ (ง) Y9 ตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2564 69

ภาพที่ 46 สัดส่วนผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นส่วนใบ กิ่ง และดอกและผลของแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2564 70

ภาพที่ 47 ผลผลิตชั้นปฐมภูมิสุทธิ (NPP) ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ระหว่างช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน ปี พ.ศ. 2562 ถึงมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 71

ภาพที่ 48 อัตราส่วนการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนือดินต่อผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น ($\Delta Y_{เหนือดิน}/L$) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ระหว่างช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 ถึงมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 71

ภาพที่ 49 ชนิดหอยฝาเดียวที่พบในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ได้แก่ (1) *L. melanostoma* (2) *L. scabra* (3) *O. breviculum* (4) *Iravadia* sp. 1 (5) *Iravadia* sp. 2 (6) *Iravadia* sp. 3 (7) *S. cf. polita* (8) *S. monilifera* (9) *E. aracanensis* (10) *N. olivaceus* (11) *C. obtusa* (12) *P. cingulata* (13) *Haminoea* sp. (14) *S. burmana* (15) *N. violaceum* 73

ภาพที่ 50 ค่า H' เฉลี่ยของหอยฝาเดียวแต่ละตารางส้ม (n = 120) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, P < 0.05) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan..... 74

ภาพที่ 51 Sørensen Similarity Index (IS_s) ของความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียว ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง 75

ภาพที่ 52 ความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA,

P < 0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan และ n.s. คือ ค่าเฉลี่ยไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ	76
ภาพที่ 53 ความหนาแน่นหอยฝาเดี่ยวเฉลี่ยที่กินซากใบไม้ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, P < 0.0001) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan.....	76
ภาพที่ 54 สัดส่วนความหนาแน่นหอยฝาเดี่ยวระหว่างวงศ์ที่กินซากใบไม้และวงศ์อื่น ๆ ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	77
ภาพที่ 55 ความหนาแน่นหอยฝาเดี่ยววงศ์ (ก) Littorinidae, (ข) Irvadiidae และ (ค) Potamididae ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, P < 0.05) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan และ n.s. คือ ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ	78
ภาพที่ 56 ความหนาแน่นหอยฝาเดี่ยววงศ์ Assimineidae ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, P < 0.05) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan.....	79
ภาพที่ 57 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) การสะสมซากใบไม้สีเขียว เหลือง และน้ำตาลบนพื้นป่า ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	82
ภาพที่ 58 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) ร้อยละซากใบไม้สีเขียว เหลือง และน้ำตาลที่ถูกกินโดยหอยฝาเดี่ยว ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	83
ภาพที่ 59 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) อัตราการกินซากใบไม้สีเขียว เหลือง และน้ำตาลโดยหอยฝาเดี่ยว ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง	84
ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซากใบไม้ที่เหลือในถุงซากพืช (%) กับจำนวนวันที่ใช้ย่อยสลายซากใบไม้ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9	86
ภาพที่ 61 ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ย (\pm SD) ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	88

ภาพที่ 62 สัดส่วนอนุภาค ดินเหนียว (clay) ทรายแป้ง (silt) และทราย (sand) ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง..... 88

ภาพที่ 63 ร้อยละสารประกอบอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon, %OC) ค่าเฉลี่ย (\pm SD) ที่ความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง 91

ภาพที่ 64 สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินเฉลี่ย (\pm SD) ของ แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 เฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-30 ซม. ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง 92

ภาพที่ 65 อัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน (C:N ratio) ค่าเฉลี่ย (\pm SD) ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง 93

ภาพที่ 66 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม พ.ศ. 2564 (สถานีตรวจอากาศนาร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)..... 93

ภาพที่ 67 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม พ.ศ. 2564 (สถานีตรวจอากาศนาร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)..... 94

ภาพที่ 68 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเค็มของน้ำในดิน และ Eh ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.05$) เมื่อเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test และ n.s. คือ ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ..... 95

ภาพที่ 69 รูปแบบการกระจาย DBH ในป่าชายเลนที่มีอายุ 18, 12, 6, และ 3 ปี บริเวณทางใต้ของประเทศไทยมาเลเซียที่มีแสมทะเล (*A. marina*) เป็นพืชเด่น (Azman et al., 2021)..... 98

ภาพที่ 70 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือดิน (aboveground biomass) และอายุป่าชายเลน ในป่าชายเลนที่เกิดการฟื้นฟูตัวเองตามธรรมชาติ (naturally regenerated mangrove forest) และป่าชายเลนปลูกฟื้นฟู (restored mangrove forest) (Azman et al., 2021)..... 99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ป่าชายเลนกระจายตัวอยู่ทั่วไปตามชายฝั่งในเขตร้อนและกึ่งร้อนหรือช่วงละติจูดประมาณ 30 องศาเหนือถึง 30 องศาใต้ (Giri et al., 2011) เป็นระบบนิเวศที่เชื่อมต่อระหว่างระบบนิเวศบก (terrestrial ecosystem) และระบบนิเวศน้ำ (aquatic ecosystem) (Kathiresan & Bingham, 2001) พืชพรรณในป่าชายเลนส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นไม้ต้นที่เติบโตได้รวดเร็ว ภายใต้สภาวะความเค็มและมีระดับน้ำได้ดินสูง ด้วยเหตุนี้ระบบนิเวศป่าชายเลนจึงมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนสูงถึง 1,023 ตัน/เฮกตาร์ (Inoue, 2019) และมีการนำคาร์บอนเข้าสู่ระบบนิเวศในรูปผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP) สูงถึง 26.10 ตัน/เฮกตาร์/ปี (Twilley et al., 2017) โดย NPP ได้จากการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาสร้างเนื้อเยื่อพืชส่วนต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เมื่อหักจากกระบวนการหายใจของผู้ผลิตในระบบนิเวศทำให้ต้นไม้มีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งประมาณ NPP ได้จากผลรวมระหว่างการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ (biomass increment, ΔY) และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall production, L) (Komiyama et al., 2008; Rivera-Monroy et al., 2013) นอกจากนี้ระบบนิเวศป่าชายเลนมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ทั้งในด้านถิ่นอาศัยและแหล่งอาหาร โดยเฉพาะสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ (benthic macrofauna) ที่มักพบว่ามีหลากหลายสูงในระบบนิเวศป่าชายเลน (Cannicci et al., 2008; Lee, 2008) ซึ่งหอยฝาเดียว (Order Gastropoda) เป็นกลุ่มสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มเด่นในระบบนิเวศป่าชายเลนหลายแห่ง (Nagelkerken et al., 2008)

ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเป็นส่วนหนึ่งของ NPP ซึ่งประกอบไปด้วยซากพืชส่วนใบสูงถึง 60-70% ที่มีบทบาทต่อการส่งผ่านคาร์บอนไปยังส่วนอื่นของระบบนิเวศป่าชายเลน ผ่านห่วงโซ่อาหารที่เริ่มต้นจากซากพืช (detritus food chain) เนื่องจากซากใบไม้ที่ร่วงหล่นเป็นอาหารของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ เช่น หอยฝาเดียว ปู เป็นต้น โดยเฉพาะหอยฝาเดียวที่เป็นสัตว์ชนิดเด่นที่กินซากใบไม้ในทั้งในช่วงต้นที่ป่าชายเลนเริ่มตั้งตัวและช่วงท้ายที่ป่าชายเลนมีอายุมากกว่า 15 ปี (Then et al., 2021) ด้วยเหตุนี้การบริโภคซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวทำให้ซากใบไม้มีร่องรอยการกัดกินและแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (fragmentation) ส่งผลให้ซากใบไม้เกิดการย่อยสลาย (decomposition) เร็วขึ้น (Proffitt & Devlin, 2005) โดยกระบวนการย่อยสลายเป็นกระบวนการหนึ่งทางนิเวศวิทยาที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหารกลับสู่ดิน (Li & Ye, 2014; Muliawan et al., 2020) ซึ่งต้นไม้สามารถนำธาตุอาหารเหล่านี้ไปใช้ในการเติบโตเพื่อสร้างผลผลิตทางนิเวศวิทยาและเกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าชายเลนต่อไปได้ (Yong et al., 2011) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการบริโภค

ซากใบไม้ของหอยฝาดเดียวส่งผลต่อ NPP ของป่าชายเลน (Kristensen et al., 2008) นอกจากนี้หอยฝาดเดียวเป็นสัตว์ที่วางไข่และให้กำเนิดตัวอ่อนเป็นจำนวนมากในคราวเดียวซึ่งเป็นอาหารให้กับสัตว์น้ำอื่น ๆ เช่น ปลาที่อาศัยในระบบนิเวศป่าชายเลน (Russell-Hunter et al., 1968) เป็นต้น ส่งผลทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานและเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำในระบบนิเวศป่าชายเลน

อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยลดลงจากประมาณ 29,000 เฮกเตอร์ เหลือเพียงประมาณ 17,000 เฮกเตอร์ ในช่วงปี ค.ศ. 1979-1996 คิดเป็นร้อยละ 5.8 ต่อปี โดยมีสาเหตุมาจากการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ของมนุษย์ แต่หลังจากปี ค.ศ. 1996 ป่าชายเลนกลับมีพื้นที่เพิ่มขึ้นโดยพบว่าในปี ค.ศ. 2000 มีพื้นที่ประมาณ 25,000 เฮกเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากหน่วยงานรัฐและองค์กรเอกชนเริ่มเห็นความสำคัญของการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนเพื่อทดแทนพื้นที่ป่าชายเลนที่สูญเสียไป (Primavera et al., 2019; Wanthongchai & Pongruktham, 2019; Woodroffe et al., 2015) ด้วยเหตุนี้พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่เป็นแม่น้ำสายใหญ่ที่สุดในภาคกลางพัดพาตะกอนจากบนแผ่นดินไหลลงสู่อ่าวไทยถูกจัดว่าเป็นพื้นที่ป่าชายเลนสำคัญ เนื่องจากป่าชายเลนเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนและสร้างผลผลิตธาตุอาหารที่สำคัญ พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่เป็นแม่น้ำสายใหญ่ที่สุด จึงมีความสำคัญต่อการเป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำในอ่าวไทย โดยพื้นที่ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยามีการกระจายของพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ตำบลบางปูใหม่ จังหวัดสมุทรปราการ ที่ได้รับการปลูกฟื้นฟูตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 โดยบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ภายใต้โครงการโตโยต้าปลูกป่าชายเลน ซึ่งมีรายงานว่าบริเวณตำบลบางปูมีพื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 81 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพป่าชายเลนในปี พ.ศ. 2552 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561) ที่ส่วนหนึ่งประกอบไปด้วยพื้นที่แปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน นอกจากนี้งานวิจัยหลายฉบับได้รายงานความผันแปรของค่า NPP ในป่าชายเลนอายุต่างกัน (Day et al., 1996; Kamruzzaman, Ahmed, et al., 2017; Kamruzzaman, Osawa, et al., 2017; Nguyen et al., 2004; Ohtsuka et al., 2019; Sahu & Kathiresan, 2019) จึงเป็นที่น่าสนใจว่าในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกันบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) นี้ อาจส่งผลให้เกิดความผันแปรของ NPP ที่สะท้อนถึงความสามารถในการเก็บกักคาร์บอนของป่าชายเลนที่ปลูกขึ้นใหม่ นอกจากนี้การสำรวจเบื้องต้นพบว่าแปลงปลูกป่าชายเลนบริเวณนี้พบหอยฝาดเดียวเป็นสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น ในขณะที่การบริโภคซากใบไม้ของฝาดเดียวในระบบนิเวศป่าชายเลนยังมีการศึกษาไม่แพร่หลายมากนัก (Proffitt & Devlin, 2005; Proffitt et al., 1993) และยังไม่เคยมีการศึกษาในประเทศไทย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนผ่านการประมาณค่า NPP ในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกันควบคู่กันกับการศึกษาความหลากหลาย ความหนาแน่น การบริโภคซากใบไม้โดยหอยฝาดเดียว และการย่อยสลายซากใบไม้ในแปลงป่าชายเลนที่มี

อายุแตกต่างกัน เพื่อเชื่อมโยงให้เห็นความสัมพันธ์ของแต่ละส่วน อันจะนำไปสู่ข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนภายใต้เงื่อนไขเวลาและทรัพยากรที่จำกัด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน (carbon storage) โครงสร้างพืชพรรณ (vegetation structure) และผลผลิตขั้นปฐมสุทธิ (net primary production, NPP) ในแปลงปลูกป่าชายเลน (mangrove plantation) ที่มีอายุแตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาสังคมสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ (benthic macrofauna community) กลุ่มหอยฝาเดียว (Order Gastropoda) และการบริโภคซากใบไม้ (leaf litter consumption) ของหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกัน

1.2.3 เพื่อศึกษาอัตราการย่อยสลายของซากใบไม้ (leaf litter decomposition rate) ในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกัน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

แปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกันส่งผลต่อความแตกต่างของความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน โครงสร้างพืชพรรณ ผลผลิตขั้นปฐมสุทธิ และอัตราการย่อยสลายของซากใบไม้ รวมถึงสังคมสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ในกลุ่มหอยฝาเดียวและการบริโภคซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอน โครงสร้างพืชพรรณ ผลผลิตขั้นปฐมสุทธิ อัตราการย่อยสลายซากใบไม้ สังคมสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มหอยฝาเดียว และการบริโภคซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว รวมถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดินและปัจจัยภูมิอากาศของแปลงปลูกป่าชายเลนที่ได้รับการปลูกฟื้นฟูตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ภายใต้โครงการโตโยต้าปลูกป่าชายเลน ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ตำบลบางปูใหม่ จังหวัดสมุทรปราการ โดยเลือกแปลงปลูกป่าชายเลนที่ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2562) มีอายุแตกต่างกันจำนวน 4 อายุ ได้แก่ 14 ปี (แปลง Y1) 10 ปี (แปลง Y5) 8 ปี (แปลง Y7) และ 6 ปี (แปลง Y9) ตามลำดับ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้สำหรับวางแผนการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในด้านความสามารถการกักเก็บคาร์บอน การเพิ่มผลผลิตขั้นปฐมสุทธิ โครงสร้างพืชพรรณ และสร้างความหลากหลายของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ ผ่านกระบวนการ

ทางนิเวศวิทยาในการประเมินสภาพป่าชายเลนเพื่อให้เกิดความยั่งยืนและความคุ้มค่าในการปลูกฟื้นฟู
ป่าชายเลนภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด



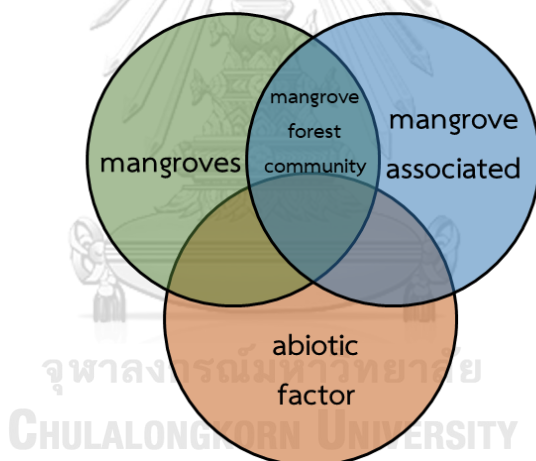
บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 องค์ประกอบของระบบนิเวศป่าชายเลน

นิยามของระบบนิเวศป่าชายเลน (mangrove ecosystem) ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน ส่วนแรกคือพืชมีเนื้อไม้ในป่าชายเลน (mangroves) (Alongi, 2009; Reef & Lovelock, 2015) ส่วนที่สองคือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพืชป่าชายเลน (mangrove-associated microbes, flora and fauna) เช่น สัตว์ สาหร่าย จุลินทรีย์และรา เป็นต้น ซึ่งสองส่วนแรกจัดเป็นองค์ประกอบทางชีวภาพ และส่วนที่สามคือปัจจัยทางกายภาพ (abiotic factor) ที่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางชีวภาพ นอกจากนี้ส่วนที่มีการทับซ้อนกันระหว่างพืชที่มีเนื้อไม้กับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพืชป่าชายเลน เรียกว่า สังคมสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลน (mangrove forest community) (Kathiresan & Bingham, 2001) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของระบบนิเวศป่าชายเลนดัดแปลงจาก Kathiresan และ Bingham (2001)

ระบบนิเวศป่าชายเลนมีปัจจัยกายภาพบางปัจจัยที่แตกต่างจากป่าบกอื่น ๆ เนื่องจากระบบนิเวศป่าชายเลนมักกระจายตามชายฝั่งเขตร้อนและกึ่งร้อนของโลกและเป็นระบบนิเวศที่เชื่อมต่อระหว่างระบบนิเวศบก (terrestrial ecosystem) และระบบนิเวศน้ำ (aquatic ecosystem) ทำให้ระบบนิเวศป่าชายเลนต้องเผชิญกับการท่วมถึงของน้ำทะเลบ่อยครั้ง ส่งผลให้ระบบนิเวศป่าชายเลนได้รับอิทธิพลจากความเค็มของน้ำทะเลและดินที่ถูกน้ำท่วมจนตกอยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน ดังนั้นพืชป่าชายเลนจึงจำเป็นต้องปรับตัวทั้งในด้านกายวิภาค สัณฐานวิทยา และสรีรวิทยา เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตและเติบโตได้ภายใต้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่จำกัดในระบบนิเวศป่าชายเลน (Das et al., 2016; Hamilton, 2020)

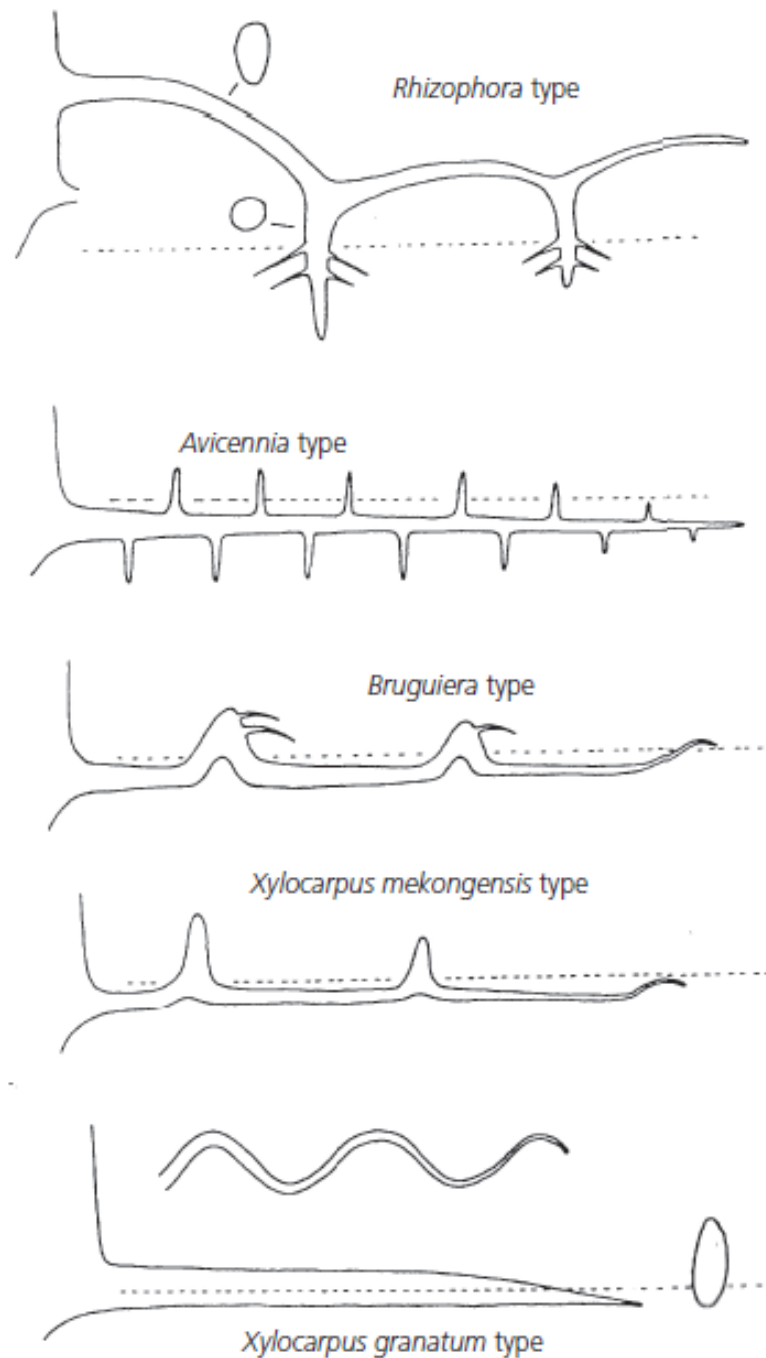
2.1.2 การปรับตัวของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศป่าชายเลน

ความเค็ม (salinity) จากน้ำทะเลเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อการเติบโตของพืชในป่าชายเลน (Krauss et al., 2008) เนื่องจากความเค็มที่สูงทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในดินสูงกว่าสารละลายภายในเนื้อเยื่อพืช พืชจึงไม่สามารถลำเลียงน้ำเข้าสู่รากผ่านกระบวนการออสโมซิส (osmosis) และรักษาสมดุลธาตุอาหารได้ ส่งผลให้พืชอยู่ในสภาวะขาดน้ำซึ่งคล้ายกับความเครียดจากสภาวะแล้ง (drought stress) และมีโอกาสแสดงความผิดปกติจากการมีปริมาณธาตุอาหารที่ไม่เหมาะสม (Das et al., 2016; Noor et al., 2015; Srikanth et al., 2016) ดังนั้นพืชป่าชายเลนจึงมีการปรับตัวทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาที่รากและใบเพื่อรับมือกับความเค็มด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการไม่เลือกดูดซึมเกลือ (salt exclusion) ที่บริเวณราก กระบวนการขจัดเกลือส่วนเกินที่รับเข้ามาออกผ่านต่อมขับเกลือ (salt excretion) บริเวณแผ่นใบ และกระบวนการสะสมเกลือ (salt accumulation) ในแวคิวโอลของเซลล์แผ่นใบ (Das et al., 2016; Noor et al., 2015; Ouyang & Guo, 2020; Reef & Lovelock, 2015)

พืชป่าชายเลนส่วนใหญ่มักเป็นพืชทนความเค็มได้ (facultative halophyte) โดยที่ความเค็มไม่มีความจำเป็นต่อการเติบโต (Krauss & Ball, 2013; Krauss et al., 2008) พืชป่าชายเลนแต่ละสกุลหรือแต่ละชนิดสามารถทนทานต่อความเค็มได้ในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งมีรายงานว่าหงอนไก่ใบเล็ก (*Heritiera fomes*), ลำพูทะเล (*Sonneratia alba*) และจาก (*Nypa fruticans*) สามารถทนความเค็มที่ระดับ 5-15 ppt ส่วนตาคุ่มทะเล (*Excoecaria agallocha*), ถั่ว (*Bruguiera* sp.) และโกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) สามารถทนต่อความเค็มที่ระดับ 15.1-25 ppt ในขณะที่แสม (*Avicennia* sp.) และโปรง (*Ceriops* sp.) สามารถทนต่อความเค็มได้มากกว่า 25 ppt (Barik et al., 2018) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า *Avicennia* sp. ที่จัดเป็นไม้เบิกนำ (pioneer species) มีกระบวนการที่ใช้รับมือกับความเค็มทั้ง salt exclusion, salt excretion และ salt accumulation (Parida & Jha, 2010) ทำให้ *Avicennia* sp. เป็นสกุลที่มีความโดดเด่นในการทนต่อระดับความเค็มที่ค่อนข้างกว้าง (Noor et al., 2015)

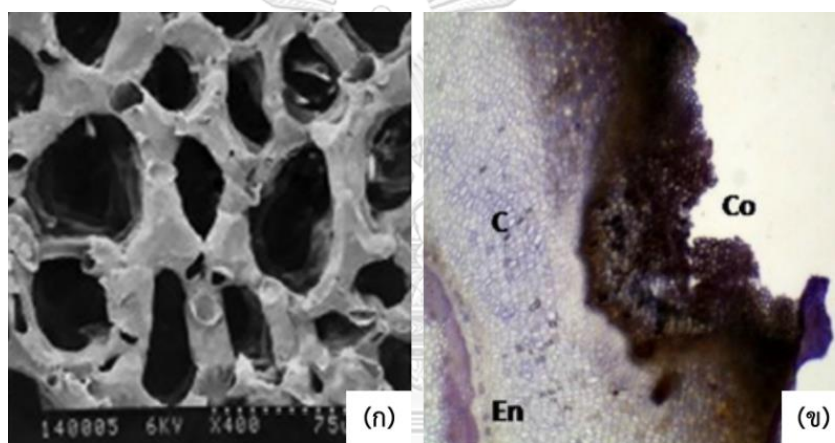
การท่วมถึงของน้ำทะเลทำให้ก๊าซออกซิเจนแพร่ลงสู่ดินได้น้อยลง ดินป่าชายเลนจึงมักตกอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน (anoxia) ทำให้ออกซิเจนในระบบรากใต้ดินของพืชป่าชายเลนลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซึมไอออนในดินเข้าสู่เซลล์รากพืชลดลง อีกทั้งยังเกิดการสร้างและสะสมสารอนุมูลอิสระที่เป็นพิษต่อเซลล์ราก เช่น สารประกอบ acetaldehyde และ H_2O_2 เป็นต้น (Das et al., 2016) ด้วยเหตุนี้ปริมาณออกซิเจนในดินจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำกัดการกระจายของพืช (Crawford, 1992) นอกจากนี้ยังพบว่าพืชป่าชายเลนแต่ละชนิดมีโครงสร้างรากเหนือดินอันเป็นเอกลักษณ์ของป่าชายเลนที่แตกต่างกัน ได้แก่ รากแบบแทงดินสอ (pneumatophore) ของพืชสกุล *Avicennia* และ *Sonneratia* รากค้ำยัน (stilt root หรือ prop root) ของพืชสกุล *Rhizophora*

รากหัวเข่า (knee root) ของพืชสกุล *Bruguiera* และ *Ceriops* รากพุ่มพอน (buttress root) ของพืชสกุล *Xylocarpus* (ภาพที่ 2) ซึ่งรากเหล่านี้ล้วนมีส่วนช่วยในการทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนลงสู่รากใต้ดินเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) (Hogarth, 2015; Naskar & Palit, 2015; Srikanth et al., 2016)



ภาพที่ 2 ระบบรากพืชแบบต่าง ๆ ในระบบนิเวศป่าชายเลน (Hogarth, 2015)

ระบบรากพืชในป่าชายเลนจะมีลักษณะกายวิภาค 2 ส่วนคล้ายกัน ได้แก่ รอยแตกระหว่างเนื้อเยื่อผิวราก (lenticel) สำหรับให้อากาศแพร่เข้าสู่เซลล์ และเนื้อเยื่อที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (aerenchyma) บริเวณชั้น cortex จำนวนมากสำหรับลำเลียงอากาศลงสู่รากใต้ดิน (ภาพที่ 3) โดยระบบรากแบบแทงดินสอในพืชสกุล *Avicennia* และ *Sonneratia* ซึ่งมีสัดส่วน lenticel และ aerenchyma มากกว่า 70% ของปริมาตรรากทั้งหมด ทำให้มีพื้นที่อากาศมากกว่า 40-50% ของปริมาตรรากทั้งหมด แสดงถึงประสิทธิภาพการลำเลียงอากาศของระบบรากแบบแทงดินสอ อย่างไรก็ตามนอกจากการปรับตัวสำหรับดินที่อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ระบบรากพืชป่าชายเลนทุกแบบยังมีส่วนช่วยในการค้ำยันลำต้นในทรงตัวอยู่ใต้บนดินเลนที่อ่อนนุ่มบนพื้นที่ชายฝั่งที่มีความรุนแรงของคลื่นลม (Srikanth et al., 2016)



ภาพที่ 3 การปรับตัวด้านกายวิภาคของพืชในระบบนิเวศป่าชายเลน ได้แก่
(ก) aerenchyma (ข) lenticel (Srikanth et al., 2016)

สัตว์ที่อาศัยบนพื้นป่าชายเลนอันได้รับอิทธิพลจากการท่วมถึงของน้ำทะเลบ่อยครั้งจำเป็นต้องปรับตัวให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้ปัจจัยจำกัดเช่นเดียวกับพืชป่าชายเลน หนึ่งในนั้นคือสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ (benthic macrofauna หรือ macrobenthos) ซึ่งจัดเป็นกลุ่มของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีขนาดใหญ่จนไม่ผ่านตะแกรงขนาดตาถี่ 0.5 มม. ได้ มักมีถิ่นอาศัยอยู่บนพื้น (epifauna) เช่น ซากใบไม้ โคนต้นไม้ ดินตะกอน สิ่งยึดเกาะต่าง ๆ เป็นต้น รวมถึงในดินป่าชายเลน (infauna) โดยสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ในไฟลัมมอลลัสกา (Mollusca) ได้แก่ หอยฝาเดียว (gastropods) และหอยสองฝา (bivalves) และไฟลัมสัตว์ขาข้อ (Arthropoda) ได้แก่ ปู (crabs) เป็นไฟลัมเด่นที่สามารถพบได้ในป่าชายเลน ซึ่งหอยฝาเดียวเป็นสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ที่มีความโดดเด่นที่สุดในด้านจำนวนในป่าชายเลน (Hogarth, 2015)

การขึ้นลงของน้ำทะเลในป่าชายเลนทำให้สัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่จำเป็นต้องเผชิญกับสภาวะที่ป่าชายเลนถูกน้ำทะเลท่วมถึงและไม่มีการน้ำทะเลท่วมถึงในแต่ละวันซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำกัดเคลื่อนย้ายของหอยฝาเดียว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลต่อการหายใจของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ ด้วยเหตุนี้สัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มหอยฝาเดียวจึงมีโครงสร้างของระบบทางเดินหายใจ 2 แบบทำงานควบคู่กัน ได้แก่ เหงือก (ctenidium) ที่ใช้สำหรับการหายใจเมื่ออยู่ใต้น้ำ และสร้างอวัยวะคล้ายปอด (mantle cavity lung) สำหรับหายใจจากอากาศโดยตรง หากจำแนกพื้นที่ในป่าชายเลนตามร้อยละเวลาการเปิดรับอากาศของหอยฝาเดียวแต่ละพื้นที่ (% air exposure) ออกเป็น 4 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เปิดรับอากาศ 2-14% (lower littoral), 14-86% (mid littoral), 86-98% (high littoral) และ >98% (littoral fringe) ตามลำดับ จะทำให้สามารถจำแนกหอยฝาเดียวออกเป็น 4 กลุ่ม ตามอัตราส่วนการหายใจในอากาศและในน้ำและอวัยวะที่ใช้ในการหายใจ ได้แก่ Archaeogastropods และ Archeogastropods pattenid limpets ที่มี aspidobranch ctenidia และ pallial gills ใช้ในการหายใจตามลำดับ โดย 2 กลุ่มนี้พบใน lower littoral, mid littoral และ high littoral ซึ่ง Archaeogastropods มีทางเดินหายใจที่เหมาะสมกับการหายใจในน้ำเป็นส่วนใหญ่ จึงมักมีการกักเก็บน้ำไว้ภายในเปลือกเพื่อทำให้ยังสามารถหายใจได้ขณะที่ไม่มีน้ำทะเลท่วมถึง (anaerobiosis in air) แต่กลุ่ม Archeogastropods pattenid limpets ที่มีการพัฒนา pallial gills ทำให้สามารถหายใจในอากาศได้ในสัดส่วนที่นานกว่ากลุ่ม Archeogastropods ส่วนกลุ่ม Mesogastropods และ Neogastropods ที่หายใจโดยใช้ pectinobranch ctenidium พบในทั้ง 4 พื้นที่ สุดท้ายกลุ่ม Pulmonate gastropods (รวมถึง Mesogastropods บางชนิด) ที่มี mantle cavity lung พบใน high littoral และ littoral fringe แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนการหายใจในอากาศนานกว่าหอยฝาเดียวกลุ่มอื่น (McMahon, 1988)

ร้อยละการหายใจในอากาศของหอยฝาเดียวแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกันทำให้ระยะเวลาสำหรับคลานขึ้นที่สูงและอาศัยอยู่ตามลำต้นหรือวัตถุที่สูงกว่าระดับการท่วมถึงของน้ำทะเลในป่าชายเลนส่งผลต่อการเคลื่อนที่เพื่อหลีกเลี่ยงปัจจัยที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตที่เป็นผลมาจากการขึ้นลงของน้ำทะเล เช่น ความเค็มที่ส่งผลต่อการรักษาสมดุลน้ำและแร่ธาตุภายในร่างกายของหอยฝาเดียว เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ความเค็มจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของหอยฝาเดียวและการกระจายของหอยฝาเดียวตามแนวตั้งของป่าชายเลน (Blanco & Cantera, 1999; Jahid & Singh, 2018; Reis et al., 2021) อย่างไรก็ตามการศึกษาเมื่อทดสอบความทนเค็มของหอยฝาเดียวพบว่าหอยฝาเดียวสามารถทนต่อความเค็มที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตได้หลายเดือนจึงทำให้หอยฝาเดียวที่นำมาทดสอบตายลง แสดงให้เห็นว่าความเค็มส่งผลต่อการหาถิ่นบนพื้นป่าของหอยฝาเดียว (McMahon, 2003)

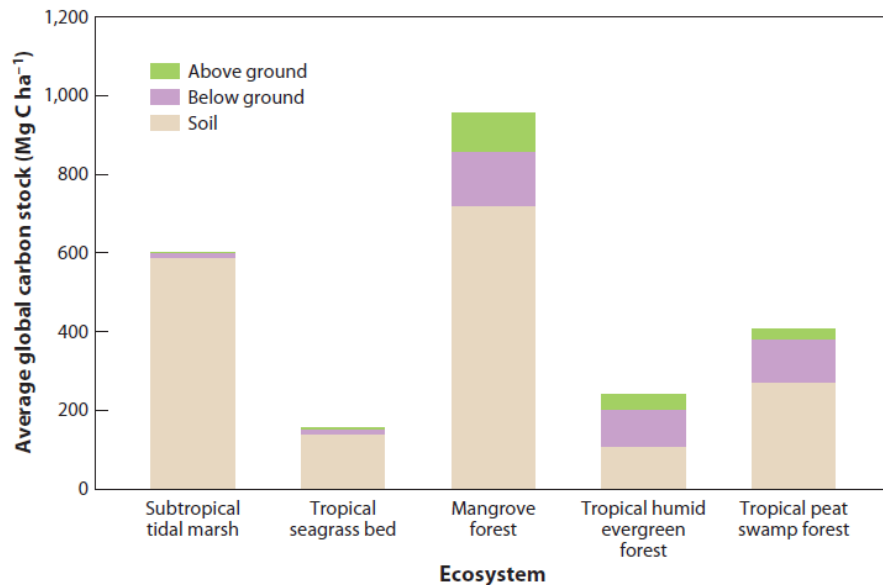
นอกเหนือจากปัจจัยกายภาพที่ได้รับอิทธิพลจากการท่วมถึงของน้ำทะเลดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นแล้ว ยังมีปัจจัยกายภาพอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการดำรงชีวิตต่อพืชและสัตว์ในป่าชายเลนได้อีกด้วย เช่น ปริมาณแสงที่ส่งผลต่อการเติบโตของพืชที่มีลักษณะวิสัยเป็นไม้ต้น (trees) การตั้งตัวของพืชระยะกล้าไม้ (seedling) และไม้หนุ่ม (sapling) (Balke et al., 2013) นอกจากนี้ปริมาณแสงที่มากยังส่งผลต่ออุณหภูมิภายใต้เรือนยอดป่าชายเลนให้สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นที่กักเก็บไว้ภายใต้เปลือกของหอยฝาเดียว (Hogarth, 2015) โดยความชื้นเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการหายใจขณะที่ไม่มือน้ำทะเลท่วมถึงของ Archeogastropods (McMahon, 1988) และส่งผลให้กระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) เพิ่มขึ้น (Imamsyah et al., 2020) รวมถึงความอุดมสมบูรณ์ของปริมาณธาตุอาหารในดินที่ส่งผลต่อขีดจำกัดการเติบโตของพืชในระบบนิเวศป่าชายเลนแห่งนั้น (Reef et al., 2010; Westoby, 1984) อย่างไรก็ตามปัจจัยกายภาพอาจมีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากอิทธิพลของสถานที่ตั้งหรือภูมิภาคของระบบนิเวศป่าชายเลนโดยสภาพภูมิอากาศแตกต่างกันส่งผลต่อปัจจัยชีวภาพทั้งพืชและสัตว์ในด้านต่าง ๆ เช่น การกระจาย ความหลากหลายชนิด จำนวน เป็นต้น (Hogarth, 2015)

2.1.3 บทบาทและความสำคัญของระบบนิเวศป่าชายเลน

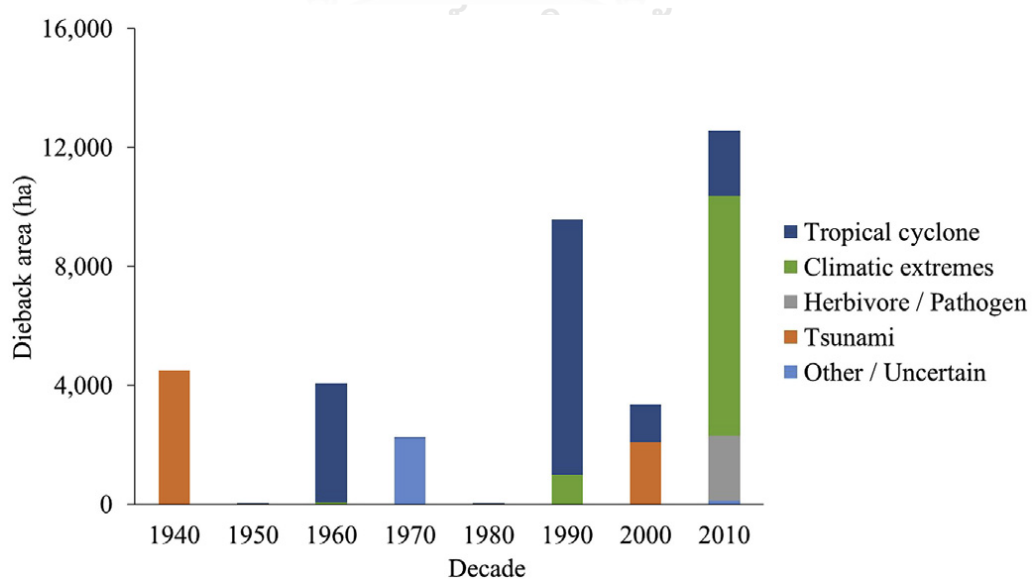
ระบบนิเวศป่าชายเลนได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของโลก (Alongi, 2012, 2014, 2018, 2020; Bouillon et al., 2008; Donato et al., 2011; Inoue, 2019; Twilley et al., 2017) โดยระบบนิเวศป่าชายเลนทั่วโลกมีการสะสมคาร์บอนเฉลี่ยถึง 956 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์ ซึ่งมากกว่าระบบนิเวศป่าบกและระบบนิเวศชายฝั่งอื่น ๆ หลายเท่า โดยเฉพาะการสะสมคาร์บอนในดิน (soil carbon) ที่มีสัดส่วนสูงที่สุดของการสะสมคาร์บอนทั้งหมด (Alongi, 2014) (ภาพที่ 4) เนื่องจากในระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นผู้ผลิตบริเวณชายฝั่งที่มีความสามารถในการสร้างผลผลิตสูงถึง 4.12 - 26.10 ตัน/เฮกแตร์/ปี ด้วยเหตุนี้ระบบนิเวศป่าชายเลนจึงมีความสำคัญในลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในบรรยากาศส่งผลต่อการบรรเทาความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคตได้อย่างยั่งยืน (Azman et al., 2021; Kandasamy et al., 2021; Twilley et al., 2017) ซึ่งมีรายงานว่าหลังจากปี ค.ศ. 2010 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่ทำให้เกิดสภาพภูมิอากาศแบบสุดขั้ว (climatic extreme event) ขึ้นอย่างกะทันหันบ่อยครั้ง จะเป็นสาเหตุหลักในการสูญเสียพื้นที่และส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนของระบบนิเวศป่าชายเลนเช่นกัน (Sippo et al., 2018; Sippo et al., 2020) (ภาพที่ 5)

นอกเหนือจากบทบาทในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของโลกแล้ว ระบบนิเวศป่าชายเลนยังมีบทบาททางนิเวศวิทยาในการเป็นถิ่นอาศัยที่ปลอดภัยและอุดมสมบูรณ์ให้กับตัวอ่อนสัตว์น้ำขนาดเล็กและสัตว์ที่อาศัยอยู่ประจำ (Ouyang & Guo, 2020) ทำให้ระบบนิเวศป่าชายเลนมีความ

หลากหลายของสัตว์น้ำ ส่งผลต่อความหลากหลายของสัตว์น้ำในระบบนิเวศชายฝั่งที่อยู่ข้างเคียงและระบบนิเวศในมหาสมุทร ด้วยเหตุนี้ระบบนิเวศป่าชายเลนจึงมีบทบาทต่อการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ทั้งในด้านการนำเนื้อไม้มาใช้ประดิษฐ์เครื่องมือและก่อสร้าง และด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์และการทำประมงน้ำกร่อย ตลอดจนในด้านสรรพคุณทางยาของพืชป่าชายเลนบางชนิดอีกด้วย (Primavera et al., 2019)



ภาพที่ 4 การสะสมคาร์บอนเฉลี่ยทั่วโลกของระบบนิเวศป่าชายเลนและระบบนิเวศอื่น ๆ (Alongi, 2014)



ภาพที่ 5 การสูญเสียพื้นที่ป่าชายเลนจากการยืนต้นตายจากสาเหตุต่าง ๆ ตั้งแต่ช่วง ค.ศ. 1940 - 2010 (Sippo et al., 2018)

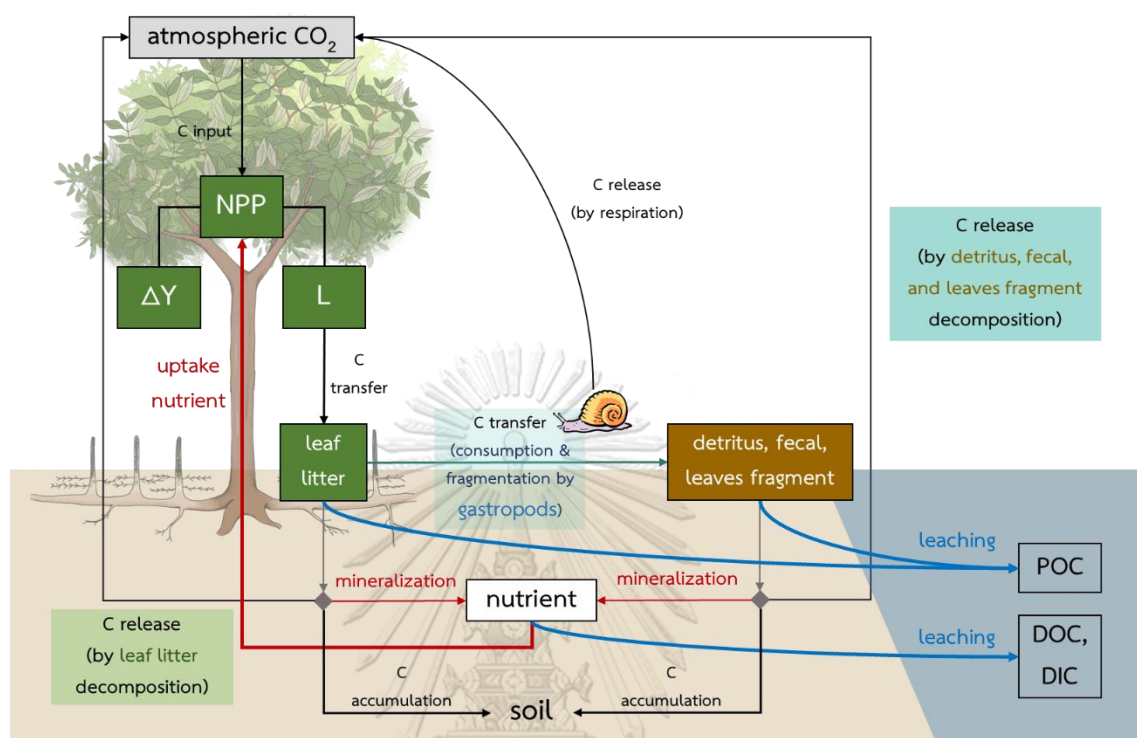
2.1.4 พลวัตคาร์บอนของระบบนิเวศป่าชายเลน

ไม้ยืนต้นในป่าชายเลนเป็นพืชที่มีผลผลิตสูงที่สุดในระบบนิเวศชายฝั่ง (Alongi, 2018) จึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการนำเข้าคาร์บอน (carbon input) สู่ระบบนิเวศป่าชายเลนผ่านการตรึง CO₂ (CO₂ fixation) จากบรรยากาศโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) ได้เป็นผลผลิตทางนิเวศวิทยาในรูปน้ำหนักแห้งของสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) ส่วนหนึ่งของผลผลิตนี้ต่อพื้นที่และระยะเวลาจะอยู่ในรูปของผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การเพิ่มพูนมวลชีวภาพต้นไม้ (biomass increment; ΔY) และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall production; L) (Clark et al., 2001; Kira & Shidei, 1967; Twilley et al., 2017)

ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเป็นจุดเริ่มต้นของการส่งผ่านคาร์บอน (carbon transfer) จากไม้ยืนต้นไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบนิเวศป่าชายเลน (ภาพที่ 6) เนื่องจากผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นลงมายังพื้นป่าจะมีบางส่วนที่ไม่ถูกพัดพาออกไปตามการขึ้นลงของน้ำทะเลจะคงอยู่กลายเป็นซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่า (leaf litter stock) โดยซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าส่วนหนึ่งจะปลดปล่อยคาร์บอน (carbon release) ในรูป CO₂ กลับสู่บรรยากาศผ่านกระบวนการย่อยสลายซากพืช (litter decomposition) โดยจุลชีพในดิน (Alongi, 2018; Kristensen et al., 2008; Yong et al., 2011) ในขณะที่ซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าอีกส่วนหนึ่งจะถูกบริโภคโดยสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่บางกลุ่ม (Chen et al., 2020; Kristensen et al., 2008; Mulya & Arlen, 2018) เช่น ปู หอยฝาเดียว (Fratini et al., 2004; Proffitt & Devlin, 2005; Proffitt et al., 1993) จนซากใบไม้ถูกทำให้แตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (fragmentation) กลายเป็นซากใบไม้ที่มีร่องรอยฉีกขาดจากการถูกบริโภค (broken leaves) หรือกากอาหาร (fecal หรือ detritus) หลังจากผ่านระบบย่อยอาหารของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่เหล่านี้ ดังนั้นซากใบไม้ที่มีขนาดเล็กจะถูกละเอียดสลายซากพืชโดยจุลชีพในดินรวดเร็วกว่าซากใบไม้ที่ยังไม่ถูกบริโภค (Inoue, 2019; Kristensen et al., 2008; Mulya & Arlen, 2018) โดยกระบวนการย่อยสลายซากพืชทำให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหาร (mineralization) กลับสู่ดิน ซึ่งพืชสามารถนำธาตุอาหารเหล่านี้ไปใช้สร้างผลผลิตส่งผลต่อไป ส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารภายในระบบนิเวศป่าชายเลน (Bouillon et al., 2008; Ouyang & Guo, 2020; Srisunont et al., 2017; Yong et al., 2011)

นอกจากนี้ระบบนิเวศป่าชายเลนยังปลดปล่อยคาร์บอนในรูป CO₂ ผ่านกระบวนการหายใจของสัตว์และในรูปอนุภาคสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ (particulate organic carbon, POC) สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ (dissolved organic carbon, DOC) และอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ (dissolved inorganic carbon, DIC) อย่างไรก็ตามซากใบไม้ส่วนที่ยังไม่เกิดการย่อยสลายและไม่ถูก

พัดพาออกไปตามกระแสน้ำจะมีส่วนช่วยในการสะสมคาร์บอน (carbon accumulation) ในดินของระบบนิเวศป่าชายเลน (Twilley et al., 2017) (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 พลวัตคาร์บอนของระบบนิเวศป่าชายเลนซึ่งดัดแปลงจาก

Alongi (2020); Bouillon et al. (2008); Inoue (2019); Twilley et al. (2017)

2.1.5 การนำเข้าคาร์บอนและการประมาณผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของระบบนิเวศป่าชายเลน ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีบทบาทสำคัญต่อการหมุนเวียนและกักเก็บคาร์บอนของโลก (Alongi, 2014) อีกทั้งยังมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนสูงเมื่อเทียบกับระบบนิเวศป่าบกเขตร้อนอื่น ๆ ถึง 3.9 เท่า (Alongi, 2014; Inoue, 2019) และมีปริมาณผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP) ที่มีค่าสูง (Alongi, 2012, 2014, 2020; Donato et al., 2011; Kristensen et al., 2008; Twilley et al., 2017) โดย NPP เป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่เปลี่ยนคาร์บอนจากการตรึง CO_2 ในบรรยากาศให้สะสมอยู่ในรูปมวลชีวภาพของพืช ซึ่งองค์ประกอบหลักของ NPP ในระบบนิเวศ ได้แก่ ผลผลิตมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ เช่น ใบ กิ่ง ลำต้น ราก เป็นต้น ผลผลิตที่ร่วงและตายไป เช่น ซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall) ชิ้นไม้ล้มขนาดใหญ่ (coarse woody debris, CWD) ในขณะที่องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ส่วนของพืชที่ถูกบริโภคโดยสัตว์กินพืช สารระเหยอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นต้น มักมีปริมาณน้อยมากจนยากที่จะตรวจวัดได้ (Clark et al., 2001)

วิธีการหนึ่งที่มีกนิยมนใช้ในการประมาณ NPP ในระบบนิเวศป่าชายเลน คือ summation method (Kira & Shidei, 1967) ซึ่งเป็นการประมาณจากผลรวมของการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ (biomass increment, ΔY) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall production, L) และอัตราการกัดกินของสัตว์กินพืช (rate of grazing by herbivory, G) แต่อัตราการกัดกินของสัตว์กินพืชในป่าชายเลนมักมีค่าน้อยมากจนประมาณเป็นศูนย์ ดังสมการ 1 (Komiya et al., 2008) เนื่องจากใบของต้นไม้ในป่าชายเลนมีแทนนินเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก ทำให้มักไม่ถูกกัดกินโดยสัตว์กินพืช ขณะที่ใบยังติดอยู่บนต้น นอกจากนี้ summation method ยังสามารถใช้คำนวณผลผลิตขั้นปฐมภูมิทั้งหมด (gross primary productivity, GPP) ได้จากผลรวมระหว่าง NPP กับอัตราการหายใจของพืชป่าชายเลน (autotrophic respiration, R_m) ดังสมการ 2 และคำนวณผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ (net ecosystem productivity, NEP) จากผลต่างระหว่าง GPP และอัตราการหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (respiration, R) หรือผลต่างระหว่าง NPP กับอัตราการหายใจของดินในป่าชายเลน (heterotrophic respiration, R_h) ดังสมการ 3 (ภาพที่ 7)

เมื่อ $G \approx 0$;

$$NPP = \Delta Y + L + G$$

$$NPP = \Delta Y + L$$

สมการ 1

$$GPP = NPP + R_m$$

สมการ 2

เมื่อ $R = R_m + R_h$;

$$NEP = GPP - R$$

แทนค่า GPP และ R;

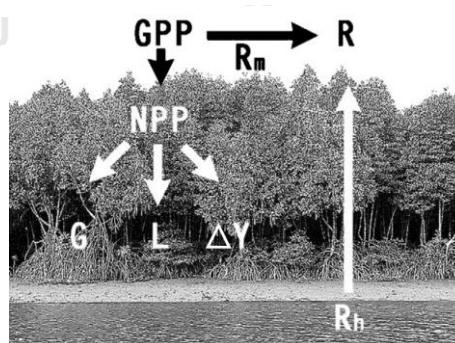
$$NEP = (NPP + R_m) - (R_m + R_h)$$

$$NEP = NPP - R_h$$

สมการ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHU



ภาพที่ 7 การประมาณ NPP ในระบบนิเวศป่าชายเลน เมื่อ NPP คือผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ, ΔY คือ การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ, L คือผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น, G คือ การกัดกินของสัตว์กินพืช, GPP คือ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิทั้งหมด, R คืออัตราการหายใจทั้งหมด, R_m คืออัตราการหายใจของพืชป่าชายเลน, R_h คือ อัตราการหายใจของดิน และ NEP คือผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ

(Komiya et al., 2008)

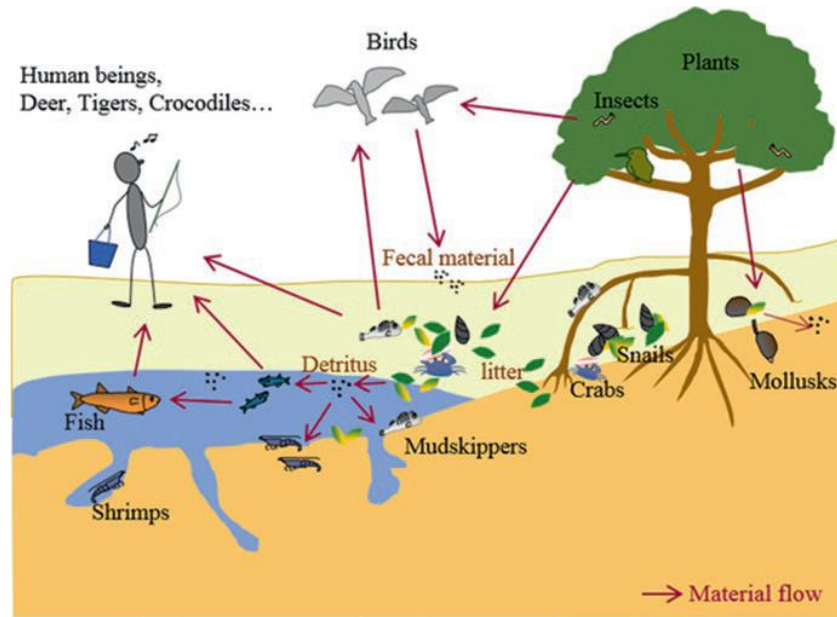
2.1.6 การส่งผ่านคาร์บอนและการกินซากพืชของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ในป่าชายเลน

จากการศึกษาผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litter production, L) ของระบบนิเวศป่าชายเลนทั่วโลกพบว่าผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 4.5 - 8.0 ตัน/เฮกแตร์/ปี เมื่อพิจารณาเฉพาะป่าชายเลนที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่ง (fringe mangrove) พบว่ามีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเฉลี่ยประมาณ 7.0 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งมากกว่าป่าชายเลนที่ไม่ได้ตั้งอยู่ติดชายฝั่งทะเลที่มีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเฉลี่ยประมาณ 5.8 ตัน/เฮกแตร์/ปี (Twilley et al., 2017) โดยผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นประกอบไปด้วยใบ กิ่ง ก้าน ผล ดอก และหน่อพันธุ์ของไม้ยืนต้นในป่าชายเลน ซึ่งใบมักมีสัดส่วนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบส่วนอื่น ๆ คิดเป็นประมาณร้อยละ 60-70 ของปริมาณผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นทั้งหมด (Dewiyanti et al., 2019; Ouyang & Guo, 2020) ด้วยเหตุนี้ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นส่วนใบจึงมีบทบาทสำคัญในการส่งผ่านคาร์บอนจากผู้ผลิตไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบนิเวศป่าชายเลน (Scharler, 2012; Then et al., 2021) ผ่านห่วงโซ่ที่เริ่มจากเศษส่วนต่าง ๆ ของผู้ผลิต (detritus chain) และกากอาหารที่เหลือจากระบบย่อยอาหาร (coprophagous food chain) (Inoue, 2019; Ouyang & Guo, 2020; Scharler, 2012)

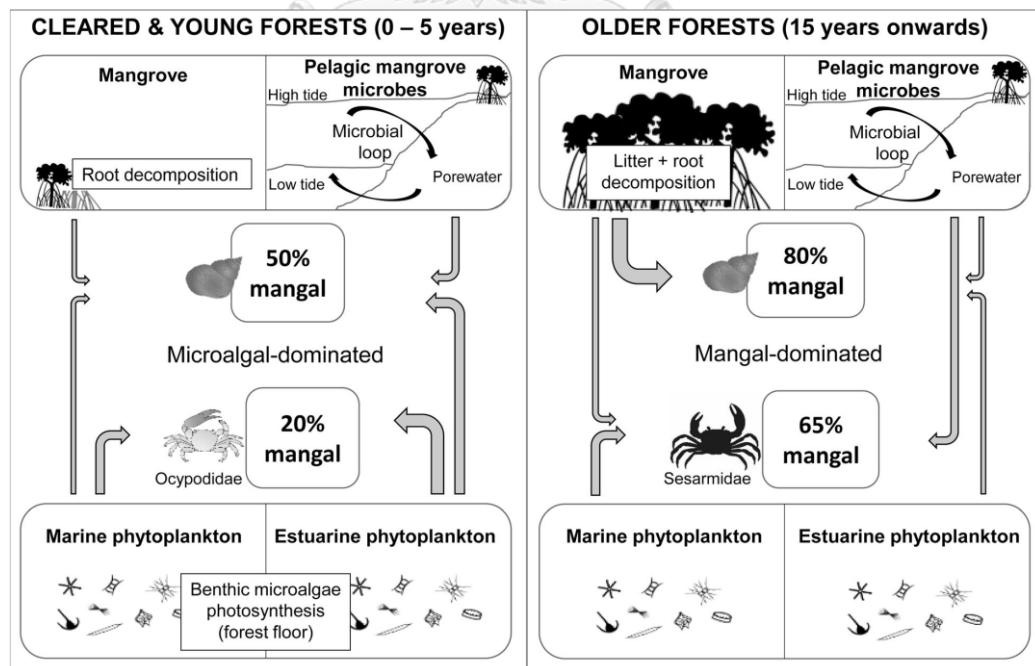
หอยฝาเดียว (gastropods) และปู (crab) เป็นสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ในป่าชายเลนที่มักมีรายงานถึงบทบาทต่อ detritus chain และ coprophagous food chain (Fratini et al., 2004; Nagelkerken et al., 2008; Ouyang & Guo, 2020; Scharler, 2012; Then et al., 2021) ของระบบนิเวศป่าชายเลน ในฐานะผู้บริโภคซากใบไม้ที่ร่วงหล่น (leaf litter consumer) ที่สะสมบนพื้นป่า (litter stock) ทำให้ซากใบไม้เหล่านี้เกิดการแบ่งออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (fragmentation) ผ่านกระบวนการย่อยอาหารทั้งเชิงกลและเชิงเคมีของหอยฝาเดียวและปู โดยคาร์บอนจากซากใบไม้บางส่วนจะถูกดูดซึมกักเก็บอยู่ในเนื้อเยื่อของหอยฝาเดียวและปู (Guest et al., 2004) ในขณะที่คาร์บอนอีกส่วนหนึ่งยังอยู่ในซากใบไม้ที่ถูกทำให้ฉีกขาด (breakdown of leaf) หรือกากอาหาร (fecal หรือ detritus) จะถูกส่งผ่านไปยังผู้บริโภคลำดับถัดไปในระบบนิเวศป่าชายเลนที่สามารถบริโภคกากอาหารเหล่านี้ เช่น ปลา กุ้ง เป็นต้น และบางส่วนของไม่ถูกบริโภคจะมีโอกาสถูกสะสมในรูปของสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์บนพื้นป่า (Ouyang & Guo, 2020; Sarker, Masud-Ul-Alam, et al., 2021) นอกจากนี้หอยฝาเดียวและปูยังเป็นเหยื่อของสัตว์กลุ่มอื่น ๆ ได้แก่ นก สัตว์เลื้อยคลาน และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Inoue, 2019; Scharler, 2012) (ภาพที่ 8)

หอยฝาเดียวมีความสามารถการบริโภคซากใบไม้ที่โดดเด่นกว่าปูในด้านจำนวนชนิดพืชที่สามารถบริโภคได้และการทนต่อช่วงการขึ้นลงของน้ำทะเลที่กว้าง (Scharler, 2012) นอกจากนี้ยังพบว่าหอยฝาเดียวเป็นสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มแรกที่มีบทบาทในการส่งผ่านคาร์บอนผ่านการบริโภคซากใบไม้ตั้งแต่ป่าชายเลนมีอายุช่วง 0-15 ปี ในขณะที่ปูเริ่มมีบทบาทต่อการบริโภคซากใบไม้ตั้งแต่ป่าชายเลนมีอายุมากกว่า 15 ปี เป็นต้นไป (Then et al., 2021) (ภาพที่ 9) อย่างไรก็ตาม

ระบบนิเวศป่าชายเลนแต่ละแห่งอาจมีความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียวหรือปูแต่ละชนิดที่มีบทบาทต่อการส่งผ่านคาร์บอนในระบบนิเวศป่าชายเลนแตกต่างกันไปตามความเฉพาะของปัจจัยทางด้านที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ



ภาพที่ 8 detritus chain ของระบบนิเวศป่าชายเลน (Inoue, 2019)



ภาพที่ 9 การส่งผ่านคาร์บอนในระบบนิเวศป่าชายเลนที่มีอายุช่วง 0-5 ปี และช่วงมากกว่า 15 ปี เป็นต้นไป (Then et al., 2021)

2.1.7 การปลดปล่อยคาร์บอนและกระบวนการย่อยสลายซากพืชในป่าชายเลน

ซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าที่ยังไม่ถูกบริโภคบางส่วนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินป่าชายเลนทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนออกจากระบบนิเวศป่าชายเลนในรูป CO₂ กลับสู่บรรยากาศผ่านกระบวนการย่อยสลายซากพืช (Yong et al., 2011) การท่วมถึงของน้ำทะเลที่ทำให้ดินในป่าชายเลนอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายซากพืชของจุลินทรีย์ลดลงกว่า 35% (Kristensen et al., 2008; Nguyen et al., 2004) ซึ่งช่วง 10-14 วันแรกของการย่อยสลายซากใบไม้ที่เพิ่งร่วงหล่นลงมาสะสมบนพื้นป่าแสดงให้เห็นว่าสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของซากพืชที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เช่น cyclitols, tannins และสารประกอบ phenolic อื่น ๆ เป็นต้น โดยจะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วและละลายหรือถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำทำให้มวลของซากใบไม้ที่เพิ่งร่วงหล่นลดลงประมาณ 20-40% ของมวลเริ่มต้นจนเหลือเพียงสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น lignin เป็นต้น ส่งผลให้การย่อยสลายซากพืชในช่วงท้ายเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (Kristensen et al., 2008; Pradisty et al., 2021) นอกจากนี้ซากใบไม้ที่หลุดจากการถูกบริโภคโดยสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ในรูปแบบใบไม้ที่ฉีกขาด (leaves fragment) หรือผ่านการย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ บนพื้นป่าชายเลนบางส่วนจะเกิดการย่อยสลายได้รวดเร็วกว่าซากใบไม้ที่ยังไม่ผ่านการบริโภค อันเป็นผลจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับเกิดกระบวนการสลายซากใบไม้โดยจุลินทรีย์ในดิน จึงอาจกล่าวได้ว่าความหนาแน่นของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการย่อยสลายซากใบไม้ (Chen et al., 2020; Kristensen et al., 2008; Yong et al., 2011)

กระบวนการย่อยสลายซากพืชเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้การปลดปล่อย CO₂ กลับสู่บรรยากาศ แต่ในขณะเดียวกันการย่อยสลายซากพืชจะทำให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหาร (mineralization) กลับสู่ดินควบคู่กัน (Kristensen et al., 2008) ด้วยเหตุนี้ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นส่วนใบจึงนับเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักในระบบนิเวศป่าชายเลน (Srisunont et al., 2017) โดยหากการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารภายในระบบนิเวศป่าชายเลนและลดการสูญเสียธาตุอาหารออกจากระบบนิเวศ (Yong et al., 2011) เนื่องจากธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกดูดซึมโดยพืชป่าชายเลนสำหรับใช้สร้างผลผลิต ดังนั้นการบริโภคซากใบไม้โดยสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่จึงมีความสำคัญในการเร่งอัตราการย่อยสลายซากพืชพร้อมกับการปลดปล่อยธาตุอาหารสู่ดิน ซึ่งส่งผลเชิงบวกต่อการนำเข้าคาร์บอนสู่ระบบนิเวศป่าชายเลนในอนาคต (Kristensen et al., 2008; Yong et al., 2011)

การศึกษาอัตราการย่อยสลายซากพืชมีทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ สมดุลมวล (mass balance) ถุงซากพืช (litterbag) การตรึงซากใบไม้ (tethered leaf) และการแบ่งชั้น (cohort layered screen) โดยการศึกษาอัตราการย่อยสลายซากพืชในระบบนิเวศป่าชายเลนพืชมักนิยมใช้วิธีการถุงซากพืช

(Kristensen et al., 2008) ซึ่งวิธีการนี้สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหนักรากแห้งซากพืชที่เหลือกับระยะเวลาที่เกิดการย่อยสลาย เพื่อคำนวณค่าคงที่อัตราการย่อยสลายซากพืช (k) และเหมาะสมต่อการศึกษาในป่าชายเลนมากกว่าวิธีการอื่นเนื่องจากสามารถพิจารณาเพียงอัตราการย่อยสลายซากพืชในถุงบนดินที่ไร้ออกซิเจนได้โดยไม่รวมถึงการบริโภคซากใบไม้ของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่หากใช้ตาข่ายขนาดตาถี่น้อยกว่า 2 มม. (Bärlocher & Gessner, 2020)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน

ต้นไม้ในป่าชายเลนเป็นแหล่งสร้างผลผลิตขั้นปฐมภูมิที่มีความสำคัญในการตรึงคาร์บอนเข้าสู่ระบบนิเวศ ทำให้มีการศึกษาการประมาณผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP) ของต้นไม้ในป่าชายเลนโดยวิธี summation method จากผลรวมระหว่างการเพิ่มพูนมวลชีวภาพและผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (Alongi, 2009) จากการศึกษาของ Komiyama, Ong และ Pongpam (2008) ได้รวบรวมค่า NPP ที่รายงานในป่าชายเลน 19 แห่ง พบว่า NPP มีค่าอยู่ในช่วง 3.99 - 26.70 ตัน/เฮกเตอร์/ปี โดยหากพิจารณาเพียงป่าชายเลนที่มีความสูงเรือนยอดน้อยกว่า 10 ม. จะมีค่า NPP เฉลี่ยเท่ากับ 9.30 ตัน/เฮกเตอร์/ปี ซึ่งมีค่ามากกว่าป่าบกเขตร้อนโดยทั่วไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าป่าชายเลนมีความสามารถสร้าง NPP ส่วนเหนือดินมากกว่าป่าบกเขตร้อน

มวลชีวภาพซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของ NPP มักมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความสูงของลำต้น จึงมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์จากการวัดขนาดส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้มกับมวลชีวภาพสร้างเป็นสมการแอลโลเมตรี (allometry equation) เพื่อใช้ในการประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ (Kamruzzaman, Ahmed, et al., 2017; Kamruzzaman, Osawa, et al., 2017; Kira & Shidei, 1967; Komiyama et al., 2005; Primavera et al., 2019) พบว่ามวลชีวภาพมักเพิ่มขึ้นเมื่อป่ามีอายุมากขึ้น (Nguyen et al., 2004; Ren et al., 2010) ทำให้สามารถประมาณการเพิ่มพูนมวลชีวภาพที่มีค่าเท่ากับผลต่างของมวลชีวภาพในช่วงระยะเวลา 1 ปี และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นไม่ว่าจะเป็น ใบ กิ่ง ดอก และผล ประมาณได้จากการใช้กระบะรองรับซากพืชในช่วงระยะเวลา 1 ปี เช่นเดียวกัน (Clark et al., 2001; Rivera-Monroy et al., 2013) อย่างไรก็ตามปริมาณซากพืชมักมีความแตกต่างกันตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละภูมิภาค (Kamruzzaman, Ahmed, et al., 2017; Kamruzzaman, Osawa, et al., 2017; Ohtsuka et al., 2019; Saenger & Snedaker, 1993) นอกจากนี้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปีอาจทำให้ค่า NPP มีความผันแปรและไม่อาจสรุปแนวโน้มที่แน่ชัดได้ (Day et al., 1996)

จากการศึกษาของ Ohtsuka และคณะ (2019) ในป่าชายเลนธรรมชาติที่สมบูรณ์บนเกาะ Ishigaki และจากการศึกษาของ Kamruzzaman, Osawa และคณะ (2017) ในป่าชายเลนอีกแห่งที่มีอายุน้อยกว่าบนเกาะ Okinawa ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่นเป็นระยะเวลา 3 ปี พบว่า ป่าชายเลนทั้ง 2 แห่ง มีพื้กาทิวสมุดดอกแดง (*Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Savigny) เป็นพันธุ์ไม้เด่น โดยป่าชายเลนบนเกาะ Ishigaki มีความหนาแน่นต้นไม้ การเพิ่มพูนมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นน้อยกว่าป่าชายเลนบนเกาะ Okinawa นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนือดินและผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นมีค่ามากกว่า 1 ในป่าชายเลนบนเกาะ Okinawa และมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับป่าชายเลนบนเกาะ Ishigaki จึงอาจกล่าวได้ว่าเมื่อป่าชายเลนมีอายุมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นต้นไม้ การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นลดลง โดยป่าชายเลนอายุมากมีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นในสัดส่วนที่น้อยกว่าป่าชายเลนอายุน้อย เนื่องจากการเพิ่มพูนชีวภาพส่วนเหนือไม้เริ่มถึงขีดจำกัดการรองรับของพื้นที่ในช่วงท้ายของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (Berger et al., 2004) สอดคล้องกับจากการศึกษาของ Sahu และ Kathiresan (2019) ในแปลงปลูกป่าชายเลนทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย พบว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุ 2, 7, 8, 12 และ 13 ปี มีผลผลิตชั้นปฐมภูมิสุทธิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและผลผลิตชั้นปฐมภูมิสุทธิมีแนวโน้มลดลงเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนมีอายุเพิ่มขึ้น แต่จากการศึกษาของ Sidik, Adame และ Lovelock (2019) ในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำ Perancak ประเทศอินโดนีเซีย พบว่าป่าชายเลนปลูกฟื้นฟูอายุ 10 ปี มีผลผลิตชั้นปฐมภูมิสุทธิและการตรึงคาร์บอนเข้าสู่ระบบนิเวศไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากป่าธรรมชาติในบริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้ป่าชายเลนปลูกฟื้นฟูอายุ 10 ปี ยังมีการกระจายของดินต่ำซึ่งทำให้ปลดปล่อยคาร์บอนต่ำกว่าป่าธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับแนวโน้มของ NPP ในระยะยาวยังมีอยู่น้อย เนื่องจากต้องใช้เวลาในระยะเวลาอันยาวนานและไม่ทราบอายุที่แน่ชัดของป่าชายเลน (Alongi, 2009; Alongi, 2012) แต่ในปัจจุบันมีการปลูกป่าชายเลนอย่างแพร่หลายเพื่อฟื้นฟูและทดแทนป่าชายเลนที่มีพื้นที่ลดลงอย่างมากจากในอดีต (Hamilton & Casey, 2016; Primavera et al., 2019) ทำให้ทราบอายุที่แน่ชัดของป่าชายเลนที่ปลูกใหม่ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Field (1999) ได้เสนอว่าอาจต้องใช้เวลามากกว่า 30 ปี ในการฟื้นฟูให้มีสภาพใกล้เคียงกับป่าชายเลนธรรมชาติ ดังนั้นการศึกษากการเปลี่ยนแปลงค่า NPP ในป่าชายเลนที่ปลูกใหม่ที่มีอายุแตกต่างกันจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

2.2.2 สังคมหอยฝาเดียวและการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวในป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน

หอยฝาเดียว (Order Gastropoda) เป็นสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มเด่นที่พบได้ทั่วไปตามพื้นดิน ในดิน หรือสิ่งยึดเกาะต่าง ๆ บนพื้นป่าชายเลน (Kathiresan & Bingham, 2001;

Nagelkerken et al., 2008; Zvonareva & Kantor, 2016) และมีความสามารถในการกินหลากหลายรูปแบบ เช่น บริโภคพืช บริโภคซากสัตว์ บริโภคซากพืช เป็นต้น (Cannicci et al., 2008; Shokita, 2004) บางกรณีหอยฝาเดียวอาจมีความหนาแน่นและมวลชีวภาพมากกว่าปูใน infraorder Brachyura ที่มีบทบาทในการบริโภคซากพืชและเป็นสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มเด่น เช่นเดียวกัน การกระจายตัวของหอยฝาเดียวภายในป่าชายเลนได้รับอิทธิพลมาจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ปริมาณแสง คลื่น ความเค็ม ชนิดของสิ่งยึดเกาะต่าง ๆ บนพื้นป่า เป็นต้น (Nagelkerken et al., 2008) หากปัจจัยดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อสังคมสัตว์ทะเลหน้าดินกลุ่มหอยฝาเดียว

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างพืชพรรณในป่าชายเลนอายุมากแตกต่างจากป่าชายเลนอายุน้อย (Day et al., 1996; Kamruzzaman, Osawa, et al., 2017; Ohtsuka et al., 2019) ซึ่งอาจส่งผลต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของหอยฝาเดียว เช่น เมื่อโครงสร้างพืชพรรณที่มีเรือนยอดหนาที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณแสงที่ส่องลงบนพื้นป่าลดลง เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพืชพรรณเหล่านี้ทำให้สังคมสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มหอยฝาเดียวในป่าชายเลนเกิดการเปลี่ยนแปลง (Lee et al., 2001; Maia & Coutinho, 2016; Nagelkerken et al., 2008; Ohtsuka et al., 2019) จากการศึกษาสังคมสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนอายุ 9 ปี กับป่าชายเลนธรรมชาติบริเวณอ่าว Dam ทางตอนกลางของประเทศเวียดนาม พบว่าแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุเพียง 9 ปี มีจำนวนชนิด มวลชีวภาพ และความเด่นของหอยฝาเดียวเพิ่มมากขึ้นเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากขึ้น โดยแปลงปลูกป่าชายเลนอายุ 9 ปีนี้มีจำนวนชนิดของหอยฝาเดียวแตกต่างจากป่าธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งหอยฝาเดียวที่พบในแปลงปลูกป่าชายเลนมักเป็นนักฉวยโอกาส (opportunistic) แต่ยังมีจำนวนชนิดหอยฝาเดียวไม่โดดเด่น แสดงให้เห็นถึงความไม่สมดุลของระบบนิเวศป่าชายเลน เนื่องจากหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อยมีความหลากหลายของบทบาททางนิเวศวิทยาที่ค่อนข้างต่ำ (Zvonareva & Kantor, 2016) นอกจากนี้จากการศึกษาสังคมสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ในป่าชายเลนที่ได้รับการปลูกฟื้นฟูและป่าธรรมชาติ จ. ระนอง พบว่าป่าชายเลนที่ได้รับการปลูกฟื้นฟูมีความเด่นของหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Assimineidae และ Potamidae ในขณะที่ป่าชายเลนธรรมชาติมีความเด่นของหอยฝาเดียววงศ์ Neritidae และ Ellobiidae (Macintosh et al., 2002) โดยหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Potamidae และ Ellobiidae มีบทบาทในการกินซากใบไม้บนพื้นป่า ขณะที่หอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae และ Neritidae มีบทบาทในการกินเศษซากจากดินตะกอน (Bharti & Shanker, 2020; Rosmilah et al., 2016; Rusnaningsih & Patria, 2020; Suratno et al., 2020) นอกจากนี้ยังพบว่าหอยฝาเดียวมีความเด่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มอื่น ๆ เช่น ปู เป็นต้น ด้วยเหตุนี้

จึงอาจกล่าวได้ว่าโครงสร้างสังคมสัตว์ทะเลหน้าดินในกลุ่มหอยฝาเดียวสามารถนำไปใช้เป็นตัวชี้ในการประเมินถิ่นอาศัยป่าชายเลน (Macintosh et al., 2002) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุป่าชายเลนที่เพิ่มขึ้น

การรวมกลุ่มของหอยฝาเดียวพบได้ทั่วไปตามแนวชายฝั่งทะเลของประเทศไทย โดยได้มีการศึกษาการกระจายตัวของมอลลัสก์ของป่าชายเลนบริเวณอ่าวไทยตอนบนของประเทศไทย 6 แห่ง ได้แก่ คลองโคกลน บางหญ้าแพรก กรุงเทพฯ บางปู อ่างศิลา และแหลมฉบัง พบว่ามีหอยสองฝา 16 ชนิด และหอยฝาเดียว 31 ชนิด โดยป่าชายเลนที่มีแสมขาว (*Avicennia alba* Blume) เป็นพรรณไม้เด่นในบริเวณบางปูนั้นมีทั้งจำนวนชนิดและความหนาแน่นของมอลลัสก์สูงที่สุดถึง 16 ชนิด และ 3,290 ตัว/ตร.ม. โดยกลุ่มหอยฝาเดียวมักอาศัยอยู่บนพื้นดินและเกาะอยู่ตามต้นไม้ นอกจากนี้ยังพบว่ามอลลัสก์ที่กรองกิน (filter feeders) และเป็นผู้กินซาก (detritivores) มีความหนาแน่นและมวลชีวภาพโดดเด่น ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ในกลุ่มหอยฝาเดียวที่มีบทบาทสำคัญในการส่งต่อพลังงานจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภคลำดับถัดไป (Printrakoon et al., 2008) จึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่งในการศึกษาทางนิเวศวิทยาป่าชายเลน

2.2.3 การย่อยสลายซากใบไม้ในระบบนิเวศป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน

จากการศึกษาของ Robertson และ Alongi (1992) รายงานว่า ซากใบไม้มีสัดส่วนมากถึง 1 ใน 3 ของปริมาณผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นทั้งหมดในป่าชายเลน และครึ่งหนึ่งของปริมาณซากใบไม้ถูกพัดพาออกไปยังทะเล ใบไม้ส่วนที่เหลือจะเข้าสู่กระบวนการย่อยสลาย ซึ่งเกิดจาก 3 กระบวนการย่อยได้แก่ การชะล้าง (leaching) การผุกร่อนผู้ย่อยสลาย (saprophytic decay) และการแตกหักออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (fragmentation) โดยชนิดใบไม้ซึ่งมีโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมี และตำแหน่งที่ตั้งของป่าที่ละติจูดแตกต่างกันจะส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกัน จากการศึกษาของ Suchewaboripont และคณะ (2011) พบว่าในป่าชายเลนธรรมชาติที่มีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ที่ชัดเจน ค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย (k) ของซากใบไม้สูงที่สุดในเขตพันธุ์ไม้แสม ($k = 0.023$) รองลงมาคือ เขตพันธุ์ไม้โกงกาง ($k = 0.020$) และตะบูน ($k = 0.014$) ตามลำดับ อันเป็นผลมาจากการท่วมถึงของน้ำที่มีอุณหภูมิสูงทำให้อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น และกระตุ้นการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินเช่นกัน นอกจากนี้จากการศึกษาผลของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดต่าง ๆ ต่ออัตราการย่อยสลายซากใบไม้ ด้วยวิธีถุงซากพืช (litterbag method) และการเพิ่มขนาดตาของตาข่ายเพื่อให้สัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่สามารถกัดกินได้ พบว่าสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ที่บริโภคซากพืชเป็นอาหารมีบทบาทในการแบ่งซากใบไม้ออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ทำให้อัตราการย่อยสลายซากใบไม้รวดเร็วขึ้น (Bradford et al., 2002)

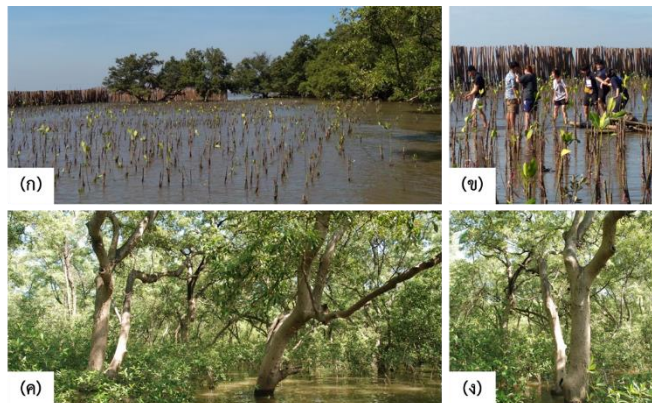
สัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่กลุ่มเด่นที่มักพบในป่าชายเลน ได้แก่ ครัสเตเชียนและหอย ฝาเดียว (Robertson et al., 1993; Shokita, 2004) โดยจากการศึกษาในอดีตมักกล่าวถึงบทบาทในการเป็นผู้บริโภคซากพืชและการเพิ่มอัตราย่อยสลายในป่าชายเลนเพียงแค่งroup ครัสเตเชียนเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงหอยฝาเดียวนั้นมีบทบาทดังกล่าวด้วยเช่นกัน เช่น การศึกษาเกี่ยวกับการบริโภคซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว *Terebralia palustris* บริเวณป่าชายเลนประเทศเคนยา พบว่า *T. palustris* เป็นหอยฝาเดียวกลุ่มเด่นในป่าชายเลนแห่งนี้ ในระยะตัวเต็มวัยสามารถบริโภคซากใบไม้มากกว่าในระยะตัวอ่อน (Fratini et al., 2004) ในขณะที่การศึกษาในลักษณะคล้ายคลึงกันบริเวณรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา พบหอยฝาเดียว *Melampus coffeus* เป็นชนิดเด่นซึ่งมีบทบาทเป็นผู้บริโภคซากใบไม้คิดเป็นร้อยละ 40.5 ของซากใบไม้ทั้งหมดในปลายฤดูร้อนส่งผลให้อัตราการย่อยสลายซากพืชรวดเร็วขึ้น โดย *M. coffeus* เลือกบริโภคซากใบของ *Avicennia germinans* มากกว่า *Rhizophora mangle* นอกจากนี้ตัวอ่อนของหอยฝาเดียวยังสามารถเป็นอาหารให้กับสัตว์น้ำอื่น ๆ ทำให้หอยฝาเดียวมีบทบาทสำคัญทั้งในการหมุนเวียนธาตุอาหารและการถ่ายทอดพลังงานระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคลำดับถัดไปในระบบนิเวศป่าชายเลน (Proffitt & Devlin, 2005)

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

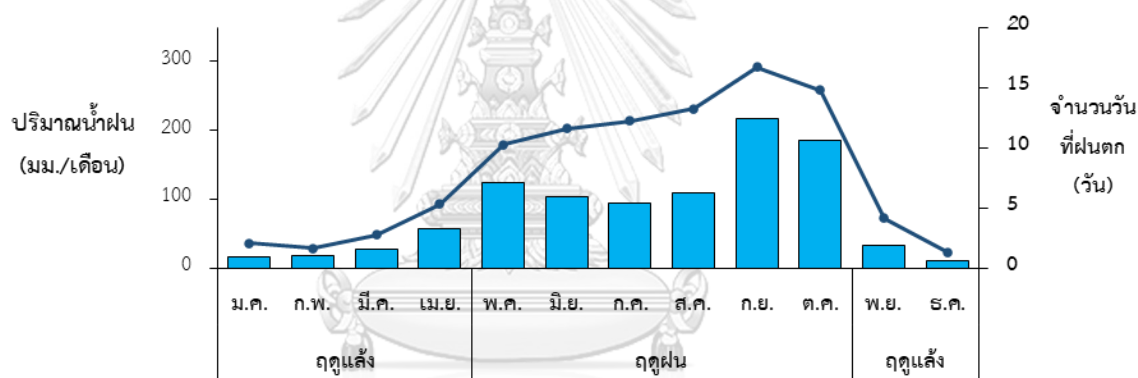
อ่าวไทยตอนบนมีพื้นที่ระบบนิเวศป่าชายเลนครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่ง 6 จังหวัด ได้แก่ เพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และชลบุรี เนื่องจากบริเวณนี้เป็นพื้นที่ปากแม่น้ำจากแม่น้ำ 4 สายที่ไหลลงสู่อ่าวไทย ได้แก่ แม่น้ำคลองท่าจีน เจ้าพระยา และบางปะกง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556) ครอบคลุมถึงระบบนิเวศป่าชายเลนทางทิศตะวันออกของปากแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งตั้งอยู่ในตำบลบางปูใหม่ จังหวัดสมุทรปราการซึ่งมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 211.39 ไร่ โดยป่าชายเลนบริเวณนี้ได้รับผลกระทบจากการขยายตัวของตัวเมือง การกัดเซาะชายฝั่ง อีกทั้งยังขาดการมีส่วนร่วมของชุมชนบางส่วนในการอนุรักษ์ป่าชายเลนท้องถิ่น (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561)

ด้วยเหตุนี้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนจึงเริ่มให้ความสนใจในริเริ่มหลายโครงการเพื่อปลูกฟื้นป่าชายเลน หนึ่งในนั้นคือ “โครงการโตโยต้าปลูกป่าชายเลน” ที่เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ภายใต้การสนับสนุนของ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ร่วมกับกรมพลานการทหารบก กองทัพบกและมูลนิธิสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (ประเทศไทย) โดยพื้นที่โครงการตั้งอยู่บริเวณศูนย์ศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน (บางปู) ตำบลบางปูใหม่ จังหวัดสมุทรปราการ (พิกัด 13°31'01.0"N 100°39'17.8"E) ครอบคลุมพื้นที่ 639 ไร่ โดยมีจุดประสงค์เพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ป่าชายเลนบางปูให้มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะสมแก่การอยู่อาศัยของสัตว์ในระบบนิเวศป่าชายเลน โครงการโตโยต้าปลูกป่าได้มีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องในทุกปี จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2562 โครงการนี้ได้ดำเนินมาถึงครั้งที่ 15 ทำให้มีแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกัน (ภาพที่ 10)

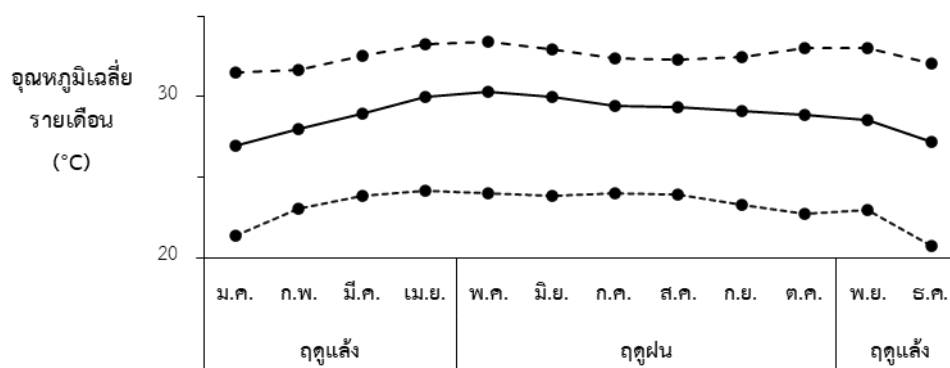


ภาพที่ 10 (ก) และ (ข) แปลงปลูกป่าชายเลนที่ปลูกในปี พ.ศ. 2562 (ค) และ (ง) แปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุมากที่สุด (14 ปี) บริเวณศูนย์ศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน (บางปู)

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2534-2564) ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันที่ฝนตกรายเดือน และอุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดรายเดือนจากสถานีตรวจอากาศนาร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งข้อมูลนี้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) พบว่ามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน 9.5-216.9 มม./เดือน และจำนวนวันที่ฝนตกรายเดือน 1.3-16.7 วัน/เดือน โดยช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคมมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนมากกว่า 90 มม./เดือน คิดเป็นร้อยละ 83.9 ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสะสมทั้งหมด และมีจำนวนวันที่ฝนตกมากกว่า 10 วัน/เดือน ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนวันที่ฝนตกรายเดือนมากที่สุดในเดือนกันยายนและน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม (ภาพที่ 11) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วง 31.5-33.4, 27.0-30.3 และ 20.7-24.2 °C ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิรายเดือนมีแนวโน้มต่ำที่สุดในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และธันวาคม ในขณะที่มีแนวโน้มสูงสุดในเดือนเมษายน พฤษภาคม และมิถุนายน (ภาพที่ 12)

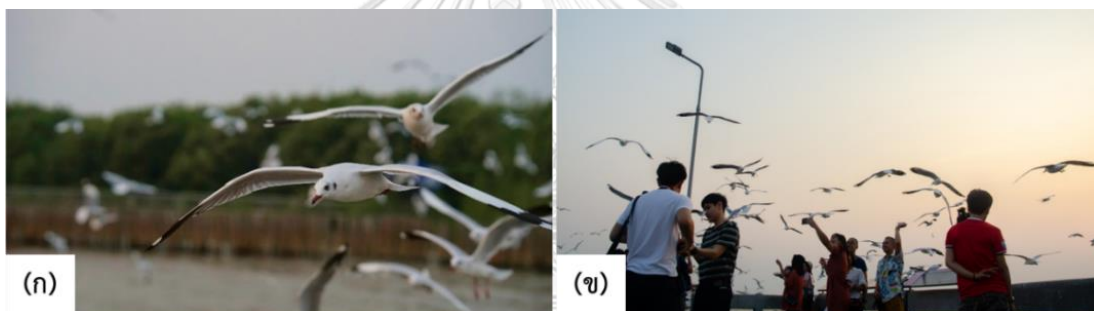


ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (กราฟแท่ง) และจำนวนวันที่ฝนตก (กราฟเส้น) เฉลี่ยรายเดือนย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2534-2564) (สถานีตรวจอากาศนาร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)



ภาพที่ 12 อุณหภูมิสูงสุด (เส้นประ) เฉลี่ย (เส้นทึบ) และต่ำสุด (เส้นประถี่) เฉลี่ยรายเดือนย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2534-2564) (สถานีตรวจอากาศนาร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

จากการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าชายเลนในบริเวณนี้ (Printrakoon et al., 2008) พบว่า *Avicennia* spp. เป็นพืชเด่นในป่าชายเลนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู (พิกัด 13°31'08.7"N 100°38'72.7"E) มีจำนวนชนิดหอยรวม (หอยฝาเดียวและหอยสองฝา) 16 ชนิด และมีความหนาแน่นรวม 3,290 ตัว/ตร.ม. ซึ่งมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบอีก 5 พื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ คลองโคก บางหญ้าแพรก อ่างศิลา แหลมฉบัง บ้านน้ำเขียว ในการศึกษาดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความโดดเด่นของหอยฝาเดียวของป่าชายเลนบริเวณนี้ ในปัจจุบันศูนย์ศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน (บางปู) นับเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของ จ. สมุทรปราการ โดยเฉพาะช่วงฤดูหนาวที่มีนกอพยพใช้พื้นที่ป่าชายเลนแห่งนี้เป็นจุดหยุดพักหาอาหาร (ภาพที่ 13) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งเรียนรู้และบำเพ็ญประโยชน์ในการปลูกป่าชายเลนแก่นักวิชาการ นักวิจัย รวมถึงบุคคลทั่วไปที่มีความสนใจ เพื่อส่งเสริมให้เกิดความตระหนักและความร่วมมือจากชุมชนในการอนุรักษ์และฟื้นฟูป่าชายเลนอย่างยั่งยืน (มูลนิธิสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน, 2555)



ภาพที่ 13 นกชายเลนอพยพในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และ (ข) นักท่องเที่ยวบนสะพานสุขตา บริเวณศูนย์ศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน (บางปู)

3.2 วางแปลงศึกษา

ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 ได้ทำการเลือกพื้นที่แปลงปลูกป่าชายเลนที่อายุแตกต่างกัน จำนวน 4 อายุ ได้แก่ แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ซึ่งแปลงศึกษาแปลงดังกล่าวมีอายุ 14, 10, 8 และ 6 ปี ตามลำดับ (ภาพที่ 14)

สุ่มวางแปลงศึกษาย่อย (subplot) ขนาด 10×10 ตร.ม. จำนวน 4 แปลง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 ในแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 (ภาพที่ 15) เพื่อศึกษาโครงสร้างพืชพรรณ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ สังคมหอยฝาเดียว การกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว อัตราการย่อยสลาย ปัจจัยสิ่งแวดล้อม และคุณสมบัติดิน



ภาพที่ 14 แผนที่แสดงพื้นที่ป่าชายเลนที่เพิ่มขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2548-2562 และตำแหน่งการวางแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ใน พ.ศ. 2562 ณ ศูนย์ศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน (บางปู) ด้วยโปรแกรม Google Earth Pro



ภาพที่ 15 การวางแปลงศึกษาขนาด 10×10 ตร.ม. ในแปลงปลูกป่าชายเลน

3.3 ศึกษาโครงสร้างพืชพรรณ

ศึกษาโครงสร้างพืชพรรณครั้งที่ 1 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และครั้งที่ 2 ในช่วงเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพืชพรรณในช่วงระยะเวลาประมาณ 1 ปี ในทั้ง 4 แปลงย่อยของแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 โดยเลือกศึกษาพืชที่มีลักษณะวิสัยเป็นไม้ต้น ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ความสูง 1.3 ม. จากพื้นดิน (diameter at breast height, DBH) มากกว่า 4.5 ซม. และมีความสูงทั้งหมด (H) มากกว่า 1.3 ม. รวมถึงพืชระยะกล้าไม้ (DBH < 4.5, H < 1.3 ม.) และไม้หนุ่ม (DBH < 4.5, H > 1.3 ม.) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 เก็บข้อมูลต้นไม้

ระบุชนิดต้นไม้ ดิติดหมายเลข และนับจำนวนของไม้ต้นที่พบในแปลงศึกษา เริ่มต้นวัดขนาด DBH ด้วย diameter tape และวัดความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (H) ด้วย clinometer (ภาพที่ 16) จากนั้นคำนวณค่าความหนาแน่นต้นไม้ (DBH > 4.5 ซม.) DBH เฉลี่ย ความสูงทั้งหมดของต้นไม้เฉลี่ย และผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ (basal area, BA) และวิเคราะห์การกระจาย DBH (DBH distribution) เพื่ออธิบายโครงสร้างพืชพรรณ



ภาพที่ 16 (ก) การวัด DBH และ (ข) H

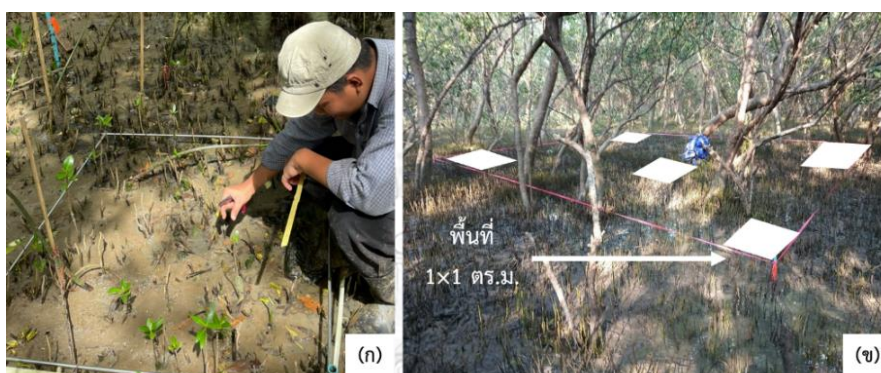
ระบุตำแหน่งหรือพิกัดแกน x (ขนานแนวทิศตะวันตกถึงทิศตะวันออก) และแกน y (ขนานแนวทิศใต้ถึงทิศเหนือ) โดยมีจุดอ้างอิงบริเวณโคนต้น และวัดการปกคลุมเรือนยอดทั้ง 4 ทิศทาง (เหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก) โดยมีจุดอ้างอิงที่ความสูง 1.3 ม. ของลำต้นของต้นไม้ทุกต้นในแปลงศึกษา (ภาพที่ 17) เพื่อสร้างแผนภาพการปกคลุมเรือนยอด (crown cover projection diagram)



ภาพที่ 17 การวัดการปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้

3.3.2 เก็บข้อมูลกล้าไม้และไม้หนุ่ม

เลือกพื้นที่ขนาด 1×1 ตร.ม. ที่ตำแหน่งมุมแปลงย่อยทั้ง 4 และกึ่งกลางแปลง จำนวน 5 พื้นที่/แปลงย่อย จากนั้นระบุชนิดและนับจำนวนกล้าไม้ทั้งหมด สำหรับไม้หนุ่มจะวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูง 10% ของความสูงทั้งหมด ($D_{0.1h}$) ทั้งหมดที่พบในพื้นที่ (ภาพที่ 18) เพื่อคำนวณความหนาแน่นกล้าไม้และไม้หนุ่มเฉลี่ย และ $D_{0.1h}$ เฉลี่ยในแต่ละแปลง



ภาพที่ 18 (ก) การศึกษากล้าไม้และไม้หนุ่มในพื้นที่ขนาด 1×1 ตร.ม. และ (ข) ตำแหน่งพื้นที่ที่เลือกในแต่ละแปลงย่อย

3.4 ศึกษาผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP)

ใช้วิธี summation method (Clark et al., 2001; Kira & Shidei, 1967) คำนวณ NPP (ตัน/เฮกแตร์/ปี) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมระหว่างการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ (biomass increment, ΔY) และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall production, L) ของแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 โดยองค์ประกอบ 2 ส่วนของ NPP ดังสามารถคำนวณได้ดังนี้

3.4.1 การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ

คำนวณมวลชีวภาพ (biomass) ของแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละแปลง (ตัน/เฮกแตร์) โดยใช้สมการแอลโลเมตรีแบบทั่วไป (common allometry equation) (Komiya et al., 2005) เนื่องจากสมการนี้ได้จากการรวบรวมข้อมูลการศึกษาสมการแอลโลเมตรีของต้นไม้ในป่าชายเลนบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จำนวน 10 ชนิด (รวมจำนวนต้นไม้ 104 ต้น) ซึ่งรวมแสมขาว (*Avicennia alba* Blume) ที่เป็นต้นไม้ชนิดหนึ่งที่น่ามาใช้สร้างสมการแอลโลเมตรีแบบทั่วไปนี้ (Komiya et al., 2005) ดังนั้นสมการแอลโลเมตรีแบบทั่วไปจึงเหมาะสมสำหรับการประมาณมวลชีวภาพต้นไม้ในการศึกษาครั้งนี้ ดังสมการ $W_{top} = 0.251 \rho D^{2.46}$ และ $W_R = 0.199 \rho^{0.899} D^{2.22}$ เมื่อ W_{top} คือ น้ำหนักแห้งต้นไม้ส่วนเหนือดิน (กก.), W_R คือ น้ำหนักแห้งต้นไม้ส่วนราก (กก.), ρ คือ

ความหนาแน่นเนื้อไม้ ซึ่งผสมขวามีความหนาแน่นเนื้อไม้เท่ากับ 0.506 ตัน/ลบ.ม. (Komiya et al., 2005) และ D คือ DBH ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลต้นไม้ เพื่อคำนวณมวลชีวภาพในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน ปี พ.ศ. 2562 และ 1 ปี หลังเริ่มการศึกษาในช่วงเดือนมีนาคมและมิถุนายน ปี พ.ศ. 2563 จากนั้นคำนวณการเพิ่มพูนมวลชีวภาพในช่วงระยะเวลา 1 ปี (ตัน/เฮกเตอร์/ปี)

3.4.2 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น

ใช้ litter trap เพื่อศึกษาผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (Clark et al., 2001) โดยดัดแปลงจาก ตะกร้าพลาสติกที่มีรูขนาดประมาณ 1 ตร.มม. ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตะกร้าเท่ากับ 35x50 ตร.ซม. และมีความลึก 25 ซม. ตรึงกับเสาไม้ไฟให้สูงกว่าระดับน้ำทะเลที่ท่วมถึง (ประมาณ 160 ซม. จาก พื้นดิน) จำนวน 3 กระบะ/แปลงย่อย สำหรับรองรับซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall) รวม 12 กระบะ/แปลง เก็บรวบรวมซากพืชที่รองรับได้จากกระบะรองรับซากพืชทุกเดือน นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C ประมาณ 7-10 วัน หรือจนมีน้ำหนักแห้งคงที่ จากนั้นจำแนกซากพืชออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ใบ กิ่งก้าน และส่วนสืบพันธุ์ (ดอกและผล) เพื่อชั่งน้ำหนักแห้งแต่ละประเภท จากนั้นคำนวณผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นรายเดือนระหว่างมิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม พ.ศ. 2564 และคำนวณผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นรายปีจากผลรวมน้ำหนักแห้งซากพืชที่ร่วงหล่นรายเดือน แบ่งเป็นปีแรกช่วง มิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม พ.ศ. 2563 และปีที่สองช่วงมิถุนายน พ.ศ. 2563 - พฤษภาคม พ.ศ. 2564 (ภาพที่ 19 และ ภาพที่ 20)



ภาพที่ 19 (ก) การติดตั้งกระบะรองรับซากพืช และ (ข) ขนาดตะกร้าพลาสติกที่ใช้ติดตั้งและรองรับซากพืชที่ร่วงหล่น

ภาพที่ 20 (ก) การเก็บซากพืชที่ร่วงหล่นทุกเดือน และ (ข) ซากพืชหลังจากผ่านการอบที่จำแนกออกเป็นส่วนใบ กิ่งก้าน และส่วนสืบพันธุ์

3.5 ศึกษาสังคมหอยฝาเดียว (gastropod community)

ศึกษาสังคมหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงเวลาที่ระดับน้ำลดลงต่ำจนไม่ท่วมพื้นที่แปลงปลูกป่าชายเลนทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน ฤดูละ 3 ครั้ง (ตารางที่ 1) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

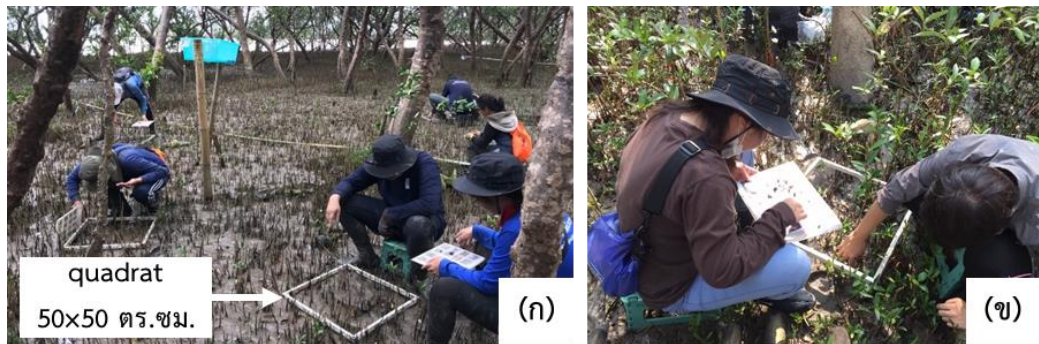
ตารางที่ 1 วันที่ศึกษาสังคมหอยฝาเดียวทั้งแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่ศึกษา	
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
1	29 มิ.ย. 63	25 มี.ค. 64
2	6 ส.ค. 63	24 เม.ย. 64
3	19 ก.ย. 63	22 พ.ค. 64

3.5.1 เก็บข้อมูลจำนวนและชนิดหอยฝาเดียว

สุ่มนับจำนวนสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่ (macrobenthos) เฉพาะกลุ่มหอยฝาเดียว (gastropod) ที่อาศัยอยู่ตามบริเวณต่าง ๆ บนผิวดิน (epifauna) ได้แก่ ดินตะกอน รากหายใจแบบแทงดินสอ ก้ามไม้ โคนลำต้นไม้หนุ่มที่สูงไม่เกิน 30 ซม. และวัตถุต่าง ๆ (substrate) อยู่บนพื้นป่าด้วยตารางสุ่ม (quadrat) ขนาด 50x50 ตร.ซม. จำนวน 10 ซ้ำต่อแปลงย่อยในแต่ละแปลง รวมสุ่มเท่ากับ 40 ซ้ำต่อแปลง (ภาพที่ 21) พร้อมจำแนกหอยฝาเดียวที่พบขณะศึกษาในภาคสนาม โดยใช้แผ่นภาพเปรียบเทียบที่จัดทำขึ้นจากการศึกษาชนิดหอยฝาเดียวที่พบเบื้องต้น (ภาพที่ 22) สำหรับจำแนกชนิดและตรวจสอบชื่อวิทยาศาสตร์ของหอยฝาเดียว

ในกรณีที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ขณะปฏิบัติการภาคสนามให้เก็บตัวอย่างหอยฝาเดียวที่ไม่ทราบชนิด จำนวนไม่เกิน 10 ตัว มาทำให้แห้งด้วยสารละลาย 12% $MgCl_2$ และเก็บรักษาตัวอย่างด้วยสารละลาย 10% formalin สำหรับจำแนกชนิดและตรวจสอบชื่อวิทยาศาสตร์ของหอยฝาเดียว โดยใช้หนังสือ The Molluscs of the Southern Gulf of Thailand (Swennen et al., 2001) The Marine and Estuarine Molluscs of Thailand (Wells et al., 2021) และเว็บไซต์ <https://www.marinespecies.org/> ในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามหากยังไม่สามารถระบุชื่อวิทยาศาสตร์หอยฝาเดียวที่พบได้สามารถระบุเพียงชื่อสกุล (genus) พร้อมระบุหมายเลขกำกับ



ภาพที่ 21 (ก) การใช้ตารางสี่มุมขนาด 50×50 ตร.ซม. (ข) ในการศึกษาสังคมหอยฝาเดียว



ภาพที่ 22 แผ่นภาพสำหรับจำแนกหอยฝาเดียวที่พบในการศึกษาภาคสนาม

3.5.2 วิเคราะห์สังคมหอยฝาเดียว

คำนวณหาความหนาแน่นหอยฝาเดียว (gastropod density) ในหน่วย ตัว/ตร.ม. ของแต่ละ quadrat (รวมเป็น 120 quadrat/แปลง/ฤดู) และวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายชนิด (species diversity index) โดยใช้ Shannon-Wiener Diversity Index (H') ของแต่ละ quadrat (รวมเป็น 120 quadrat/แปลง/ฤดู) จากนั้นคำนวณความหนาแน่นหอยฝาเดียวและ H' เฉลี่ยของแต่ละแปลงศึกษา

วิเคราะห์ดัชนีความคล้ายคลึง (similarity index) โดยใช้ Sørensen Similarity Index (IS_s) (Clarke et al., 2014) เพื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของสังคมหอยฝาเดียวระหว่างแปลงศึกษา Y1, Y5, Y7 และ Y9

3.5.3 ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมขณะที่ทำการศึกษาศังคมหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน ได้แก่ การวัดอุณหภูมิอากาศภายใต้เรือนยอดในแปลงและอุณหภูมิดินที่ความลึกประมาณ 5 ซม. ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (thermometer) ยี่ห้อ Shinwa รุ่น 73080 (Niigata, Japan) วัดความเค็มน้ำในดิน (soil salinity) ที่ความลึก 10 ซม. ด้วยเครื่องวัดความเค็ม (salinometer) ยี่ห้อ SatoTech รุ่น YK-31SA (Kawasaki, Japan) และศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation reduction potential, Eh) ของดินที่ความลึก 10 ซม. ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง ยี่ห้อ mettler Toledo รุ่น SG2 พร้อมติดตั้ง Electrode ORP Inlab® Redox ORP 51343200 (3 mol/L KCl, 0-100 °C) โดยวัดค่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจำนวน 3 ซ้ำ/แปลงย่อย

3.6 ศึกษาอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว

3.6.1 การเก็บข้อมูลและคำนวณอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว

ดัดแปลงวิธีการของ Proffitt และคณะ (1993) และ Proffitt และ Devlin (2005) ที่ศึกษาอัตราการกินซากใบไม้ของหอยฝาเดียว ประกอบกับรายงานที่พบหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าชายเลน (Bharti & Shanker, 2020; Rosmilah et al., 2016; Rusnaningsih & Patria, 2020; Suratno et al., 2020) โดยพิจารณาการกินซากใบไม้จากสัดส่วนพื้นที่รูทะลุผ่าน (hole) และรอยโปร่งแสง (translucent) ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้คำนวณอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว (leaf litter consumption rate, LC rate) ในหน่วย กรัม/วัน/ตร.ม. จากผลคูณระหว่างร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (percent leaf litter consumption, %LC) ในหน่วย %/วัน กับการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (leaf litter stock, LST) ในหน่วย กรัม/ตร.ม. ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ดังสมการต่อไปนี้

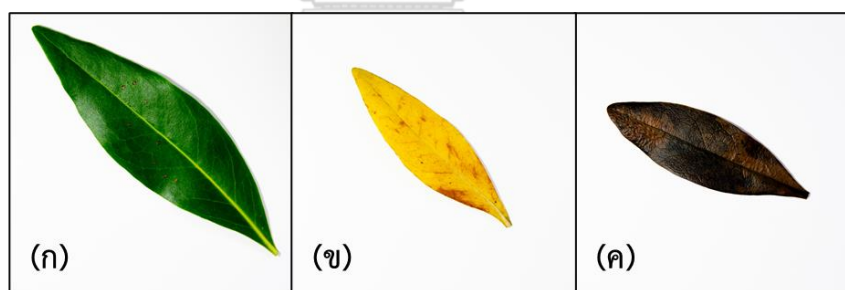
$$\text{LC rate (กรัม/วัน/ตร.ม.)} = \%LC (\%/วัน) \times \text{LST (กรัม/ตร.ม.)}$$

ศึกษาเฉพาะใบแสมขาว (*A. alba*) ที่เป็นพืชเด่นในฤดูแล้งและฤดูฝน ฤดูละ 3 ครั้ง (ตารางที่ 2) ครั้งละ 5 ซ้ำ/แปลง ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 วันที่ศึกษาอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว

ครั้งที่	วันที่ศึกษา	
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
1	30 มิ.ย. - 4 ก.ค. 63	20 - 22 มี.ค. 64
2	23 - 25 ส.ค. 63	25 - 28 เม.ย. 64
3	18 - 20 ก.ย. 63	20 - 22 พ.ค. 64

1) กำหนดระยะของซากใบไม้หลังร่วงจากต้นเป็น 3 ระยะ โดยพิจารณาจากสีซากใบไม้ที่แตกต่างกัน ได้แก่ สีเขียว สีเหลือง และสีน้ำตาล ซึ่งเรียงลำดับจากซากใบไม้อายุน้อยไปมากตามลำดับ (ภาพที่ 23) เก็บซากใบแสมขาว (*A. alba*) ที่มีรูปร่างสมบูรณ์ไม่พบร่องรอยการฉีกขาดหรือรูบนแผ่นใบบนพื้นป่าชายเลนอย่างสุ่ม ระยะละ 30 ใบ บันทึกภาพเพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบสีใบไม้แต่ละระยะ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C ประมาณ 7-10 วัน จนซากใบไม้มีน้ำหนักแห้งคงที่จึงชั่งน้ำหนักแห้งซากใบไม้แต่ละใบพร้อมคำนวณพื้นที่ซากใบไม้แต่ละใบ เพื่อคำนวณอัตราส่วนน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อพื้นที่ใบของซากใบไม้เฉลี่ยสำหรับใช้คำนวณน้ำหนักแห้งซากใบไม้แต่ละใบจากพื้นที่ใบทั้งหมดและพื้นที่ใบที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวในแต่ละระยะ



ภาพที่ 23 ตัวอย่างซากใบไม้ (ก) สีเขียว (ข) สีเหลือง และ (ค) สีน้ำตาล สำหรับใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบสีของซากใบไม้และคำนวณอัตราส่วนน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อพื้นที่ใบของซากใบไม้

2) สุ่มเลือกพื้นที่ขนาด 1×1 ตร.ม. ในแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละแปลง นับเป็น 1 ซ้ำ (จำนวน 1-2 ซ้ำ/แปลงย่อย) เพื่อศึกษาซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่า โดยเก็บซากใบไม้ทั้งหมดบนผิวดินในพื้นที่ดังกล่าว นำซากใบไม้ที่เก็บได้นำมาล้างเพื่อขจัดคราบโคลนออกจนหมด (ภาพที่ 24) จากนั้นจำแนกซากใบไม้ตามสีที่กำหนดตามข้อ 1) (ภาพที่ 23) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C ประมาณ 7-10 วัน จนซากใบไม้มีน้ำหนักแห้งคงที่ จึงชั่งน้ำหนักแห้งของซากใบไม้ เพื่อคำนวณการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าในหน่วย กรัม/ตร.ม.



ภาพที่ 24 (ก) การเก็บซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าในพื้นที่ขนาด 1×1 ตร.ม. และ
(ข) ซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าหลังผ่านการล้างจัดคราบโคลน

3) เลือกซากใบไม้สดที่มีรูปร่างสมบูรณ์ไม่มีร่องรอยการฉีกขาดหรือรูบนแผ่นใบ ทั้ง 3 สี สีละ 2 ใบ (รวม 6 ใบ/ซ้ำ) นอกพื้นที่ 1×1 ตร.ม. พร้อมบันทึกภาพซากใบไม้ก่อนถูกกินโดยหอยฝาเดียว จากนั้นผูกซากใบไม้บริเวณก้านใบ (petiole) ด้วยเชือกไนลอนยาวประมาณ 50 ซม. โดยในแต่ละซ้ำ นำซากใบไม้สีละ 1 ใบ บรรจุในถุงตาข่ายขนาดตา 1.5 มม. เป็นชุดควบคุมสำหรับใช้เปรียบเทียบกับซากใบไม้แต่ละสีอีก 1 ใบ ซึ่งไม่บรรจุในถุงตาข่ายเพื่อปล่อยให้ถูกกินโดยหอยฝาเดียวตามธรรมชาติ เป็นชุดทดลอง นำซากใบไม้ทั้ง 6 ใบ ผูกยึดกับท่อ PVC บริเวณกึ่งกลางพื้นที่ 1×1 ตร.ม. ด้วยเชือกไนลอนบนพื้นป่า (ภาพที่ 25) เป็นระยะเวลา 2-4 วัน เมื่อครบกำหนด เก็บซากใบไม้ที่เหลือนำมาล้างโคลนออกจนหมด เลือกบันทึกภาพซากใบไม้ที่มีร่องรอยการถูกกินโดยหอยฝาเดียวซึ่งมักมีลักษณะเป็นรูหรือโปร่งแสงบนแผ่นใบขอบเรียบเสมอกันไม่มีรอยดำบริเวณขอบ จากนั้นคำนวณพื้นที่ซากใบไม้ก่อนและหลังถูกกินแต่ละใบ สดทำย่นำพื้นที่ซากใบไม้ทั้งก่อนและหลังถูกกินไปคำนวณเป็นน้ำหนักแห้งซากใบไม้ก่อนและหลังถูกกินด้วยอัตราส่วนน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อพื้นที่ซากใบไม้เฉลี่ยที่ได้จากข้อ 1) เพื่อคำนวณร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินต่อวันโดยหอยฝาเดียวในหน่วย %/วัน และจากนั้นคำนวณอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวได้จากผลคูณระหว่างการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่ากับร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว



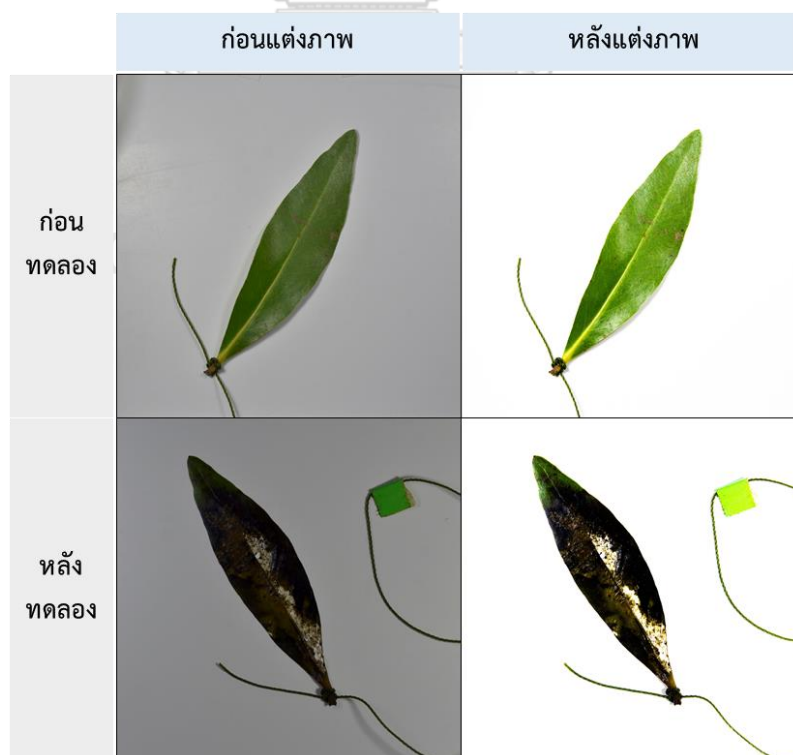
ภาพที่ 25 (ก) การนำใบไม้ไปผูกพื้นที่ 1×1 ตร.ม. (ข) ชุดทดลองและชุดควบคุม
สำหรับศึกษาร้อยละน้ำซากใบไม้ที่ถูกกินต่อวันโดยหอยฝาเดียว

3.6.2 การบันทึกภาพและคำนวณพื้นที่ซากใบไม้

ติดตั้งกล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยวระบบดิจิทัล (digital single-lens reflex camera, DSLR) ยี่ห้อ Nikon รุ่น D3000 ประกอบกับเลนส์ยี่ห้อ Sigma ประเภท macro ความยาวโฟกัส 17-70 มม. ขนาดรูรับแสง 2.8-4.5 สูงจากพื้น 65 ซม. ที่ติดตั้งฉากถ่ายภาพสีขาว พร้อมให้แสงสว่างด้วยหลอดไฟยี่ห้อ Philips กำลังไฟฟ้า 20 วัตต์ ความสว่าง 1200 ลูเมน ติดตั้งสูงจากฉาก 30 ซม. จำนวน 1 หลอด และหลอดไฟยี่ห้อ Xiaomi กำลังไฟฟ้า 5 วัตต์ ความสว่าง 450 ลูเมน จากนั้นเลือกใช้โหมด Program (P) บันทึกภาพซากใบไม้ก่อนหรือหลังถูกกินเป็นประเภทไฟล์ .RAW เนื่องจากไฟล์ .RAW มีความละเอียดสูงและปรับแต่งรูปได้ครอบคลุมการทำงานทุกรูปแบบ

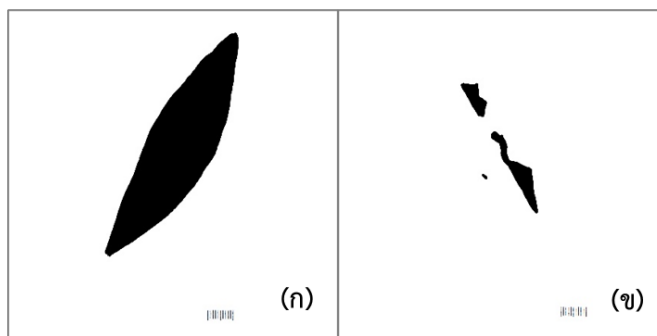
ปรับภาพซากใบไม้โดยใช้โปรแกรม Adobe Lightroom Classic (LrC) และ Adobe Photoshop 2020 (PS) ร่วมกันเพื่อให้ภาพซากใบไม้มีความคมชัดมากขึ้น จากนั้นคำนวณพื้นที่ซากใบไม้จากภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม GIMP 2.10.20 และ ImageJ.exe ร่วมกัน ซึ่งการคำนวณพื้นที่ซากใบไม้แต่ละใบทั้งก่อนและหลังการทดลองมีรายละเอียดขั้นตอนต่อไปนี้

1) นำเข้าไฟล์ .RAW ที่ได้จากการบันทึกภาพในโปรแกรม Adobe Lightroom Classic เพื่อปรับค่า contrast และ exposure ตกแต่งพื้นหลังให้มีสีขาวและเห็นขอบเขตรูปร่างซากใบไม้และมาตราส่วนชัดเจน จากนั้นนำออกรูปภาพเป็นไฟล์ .JPEG โดยมีจำนวนพิกเซลเท่ากันทุกภาพ (ภาพที่ 26)



ภาพที่ 26 ซากใบไม้ก่อนและหลังถูกกิน เมื่อปรับความชัดเจนด้วย Adobe Lightroom Classic

2) นำไฟล์จากข้อ 1) เข้าสู่โปรแกรม Adobe Photoshop 2020 เพื่อใช้เครื่องมือ brush tool และ paint bucket tool ลอกลายพื้นที่ซากใบไม้ทั้งหมดสำหรับรูปก่อนการทดลองและลอกลายเฉพาะพื้นที่ซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวสำหรับรูปหลังการทดลอง จากนั้นนำออกรูปภาพเป็นไฟล์ .JPEG โดยมีขนาดภาพและจำนวนพิกเซลเท่ากันทุกภาพ (ภาพที่ 27)

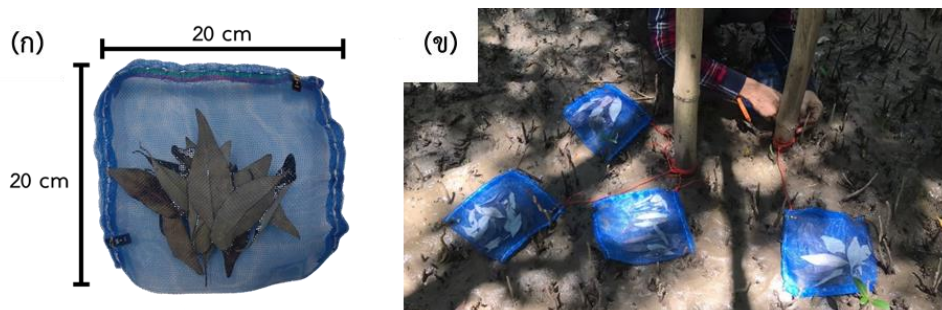


ภาพที่ 27 (ก) การลอกลายพื้นที่ซากใบไม้ทั้งหมดและ (ข) พื้นที่ซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว

3) นำไฟล์จากข้อ 2) เข้าสู่โปรแกรม GIMP 2.10.20 เพื่อคำนวณมาตราส่วนจำนวนพิกเซลต่อเซนติเมตร จากนั้นนำเข้าโปรแกรม ImageJ.exe เพื่อคำนวณพื้นที่ซากใบไม้ทั้งหมดแต่ละใบและพื้นที่ซากใบไม้ที่ถูกกินแต่ละใบ

3.7 ศึกษาอัตราการย่อยสลายซากใบไม้

ศึกษาอัตราการย่อยสลายซากใบไม้โดยใช้วิธีการถุงซากพืช (litterbag method) (Karberg et al., 2008; Twilley et al., 1997) จำนวน 3 ซ้ำ/แปลง ในแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 เป็นระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 28 (ก) ถุงซากพืชขนาด 20×20 ตร.ซม. และ (ข) การตรึงถุงซากพืชบนพื้นป่าแต่ละซ้ำ

3.7.1 การเตรียมและติดตั้งถุงซากพืช

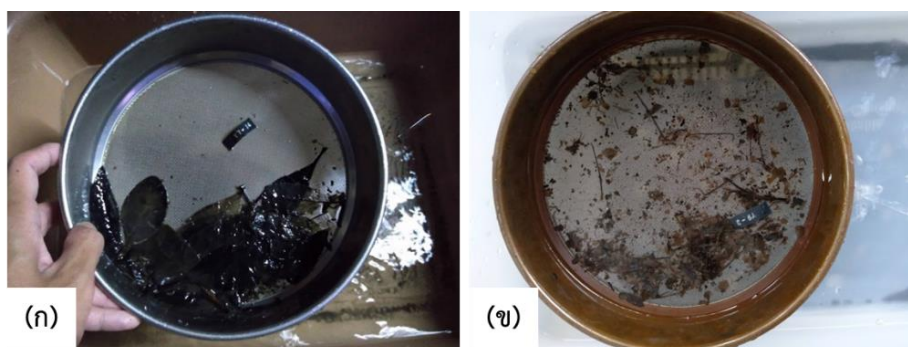
เก็บซากใบไม้ที่สมบูรณ์และยังไม่เกิดการย่อยสลายบนพื้นป่าแปลงปลูกป่าชายเลนในแต่ละแปลง มาล้างทำความสะอาดและผึ่งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุซากใบไม้ที่ผ่านการผึ่ง 5 กรัม ในถุงซากพืชขนาด 20×20 ตร.ซม. ที่ทำจากตาข่ายไนลอนขนาดตา 1.5 มม. จำนวน 5 ถุง/ซ้ำ นำถุงซากพืชที่บรรจุซากใบไม้แล้วตรึงให้ติดแน่นกับพื้นป่าเพื่อให้พื้นผิวถุงซากพืชแนบติดกับพื้นป่ามากที่สุดและป้องกันไม่ให้ถุงซากพืชเลื่อนทับกัน (ภาพที่ 28)

3.7.2 การเก็บและล้างถุงซากพืช

เก็บถุงซากพืชครั้งละ 1 ถุง ในสัปดาห์ที่ 2, 4, 8, 12, และ 24 จนครบ 5 ถุง (ตารางที่ 3) ล้างซากใบไม้ที่เหลืออยู่ในถุงเพื่อขจัดคราบโคลนออกจนหมดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งของซากใบไม้ที่เหลือจากการย่อยสลายในแต่ละถุง (ภาพที่ 29)

ตารางที่ 3 วันที่เก็บถุงซากพืชแต่ละครั้งสำหรับศึกษาอัตราการย่อยสลายซากใบไม้

ครั้งที่	สัปดาห์ที่	วันที่
	เริ่มติดตั้งถุงซากพืช	25 พ.ค. 63
1	2	8 มิ.ย. 63
2	4	22 มิ.ย. 63
3	8	22 ส.ค. 63
4	12	21 ก.ย. 63
5	24	14 ธ.ค. 63



ภาพที่ 29 ซากใบไม้ที่เหลืออยู่ในถุงซากพืชเมื่อเวลาผ่านไป 4 (ก) และ 8 สัปดาห์ (ข) หลังจากล้างขจัดคราบออก

3.7.3 คำนวณอัตราการย่อยสลายซากใบไม้

คำนวณอัตราการย่อยสลายซากใบไม้ของแปลงปลูกป่าชายเลนด้วยแบบจำลอง negative single exponential โดยที่ $Y_t = Y_0 \cdot e^{-kt}$ เมื่อ Y_0 คือ ร้อยละของซากใบไม้เริ่มต้น Y_t คือ ร้อยละของซากใบไม้ที่เหลือหลังจากเวลาผ่านไป t วัน และ k คือ สัมประสิทธิ์ของค่าคงที่หรืออัตราการย่อยสลายของซากใบไม้ (Suchewaboripont et al., 2011)

3.8 ศึกษาคุณสมบัติดิน

สุ่มเก็บตัวอย่างดินความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. จากผิวดิน จำนวน 5 จุด/แปลง โดยใช้ soil core ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซม. ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ทั้งฤดูแล้ง (22 สิงหาคม พ.ศ. 2563) และฤดูฝน (10 เมษายน พ.ศ. 2564) มาผึ่งแห้งในที่ร่ม จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ได้แบ่งส่วนวิเคราะห์อย่างสุ่ม โดยส่วนแรกร่อนผ่านตะแกรงขนาดตา 2 มม. เพื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดิน (soil texture) ด้วยวิธี hydrometer method (Bouyoucos, 1926) และส่วนที่สองร่อนผ่านตะแกรงขนาดตา 1 มม. เพื่อไปวิเคราะห์ร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon, %OC) และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C:N ratio) ด้วยวิธี Walkley-Black method และ elemental analyzer (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 30 (ก) soil core ที่ใช้เก็บ (ข) ตัวอย่างดิน (ค) การเตรียมตัวอย่างดิน และ (ง) การวิเคราะห์เนื้อดินด้วยวิธี hydrometer method

ศึกษาความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density) โดยใช้กระบอกสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. ลึก 3.5 ซม. จำนวน 3 ซ้ำ/จุด (รวม 15 ตัวอย่าง/แปลง) จากนั้นอบที่ 105 °C จนน้ำหนักแห้งคงที่จึงชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อคำนวณความหนาแน่นรวมของดินจากน้ำหนักแห้งต่อปริมาตรสดของดินทั้งในฤดูฝน (22 สิงหาคม พ.ศ. 2563) และฤดูแล้ง (10 เมษายน พ.ศ. 2564) และ

คำนวณสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (total organic carbon, TOC) จากผลคูณระหว่าง %OC เฉลี่ยและความหนาแน่นรวมของดิน

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Irvadiidae, Potamididae, Assimineidae, หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด, หอยฝาเดียวทั้งหมด และดัชนีความหลากหลายหอยฝาเดียว (H') ระหว่างแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งความหนาแน่นหอยฝาเดียวได้จากแต่ละค่าจากตารางสุ่มแต่ละครั้ง (120 ซ้ำ/แปลง) ด้วย one-way analysis of variance (one-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan เมื่อข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Irvadiidae, Potamididae, Assimineidae, หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด, หอยฝาเดียวทั้งหมด และดัชนีความหลากหลายหอยฝาเดียว (H') กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเค็ม และความต่างศักย์ไฟฟ้า (Eh) ของดินในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ร่วมกันทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งได้ค่าความหนาแน่นหอยฝาเดียวและปัจจัยสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยจากแต่ละแปลงย่อย (24 ซ้ำ/แปลง) ด้วยสหสัมพันธ์ (Pearson's correlation) และวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) โดยโปรแกรม SPSS version 22 สำหรับระบบปฏิบัติการ window 10 เมื่อข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (สีเขียว สีเหลือง สีนํ้าตาล และรวมทุกสี) ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินต่อวันโดยหอยฝาเดียว (สีเขียว สีเหลือง สีนํ้าตาล และเฉลี่ยทุกสี) อัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว (สีเขียว สีเหลือง สีนํ้าตาล และรวมทุกสี) ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งแต่ละค่าได้จากการทดลอง ในแต่ละซ้ำ (15 ซ้ำ/แปลง) รวมถึงวิเคราะห์ความแตกต่างของการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าแต่ละสี ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินต่อวันโดยหอยฝาเดียวแต่ละสี อัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวแต่ละสี ทั้งในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ร่วมกันทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยวิเคราะห์ one-way analysis of variance (one-way ANOVA) พร้อมเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดู ด้วย Independent Samples t-Test (t-test) ด้วยโปรแกรม SPSS version 22 สำหรับระบบปฏิบัติการ window 10 เมื่อข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว และอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวกับความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Irvadiidae, Potamididae, หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด, หอยฝาเดียวทั้งหมดในแปลง

ปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ร่วมกันทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งแต่ละค่าได้จากการทดลอง ในแต่ละซ้ำ (30 ซ้ำ/แปลง) ด้วย Pearson's correlation โดยโปรแกรม SPSS version 22 สำหรับระบบปฏิบัติการ window 10 เมื่อข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และวิเคราะห์สัดส่วนความหนาแน่นหอยฝาเดียวระหว่างวงศ์ที่กินซากใบไม้และวงศ์อื่น ๆ ด้วย Chi-squared Test

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดิน ลักษณะเนื้อดิน สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดิน อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน รวมถึงศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมควบคู่กับการศึกษาสังคมหอยฝาเดียว ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเค็ม และความต่างศักย์ไฟฟ้า (Eh) ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ด้วย one-way analysis of variance (one-way ANOVA) พร้อมเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan และความแตกต่างระหว่างฤดูกาลโดยใช้วิธีการ Independent Samples t-Test (t-test) ด้วยโปรแกรม SPSS version 22 สำหรับระบบปฏิบัติการ window 10 เมื่อข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ



บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 โครงสร้างพืชพรรณ (vegetation structure)

4.1.1 ชนิดพืชที่พบ

จากการศึกษาแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุแตกต่างกันจำนวน 4 แปลง ได้แก่ แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 บริเวณศูนย์ศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลน (บางปู) ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2564 พบพันธุ์ไม้ในแปลงศึกษาทั้งหมด 2 ชนิด ใน 2 วงศ์ ได้แก่ แสมขาว (*Avicennia alba* Blume) อยู่ในวงศ์ Acanthaceae และลำพู (*Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.) อยู่ในวงศ์ Lythraceae (ภาพที่ 31 และภาพที่ 32)

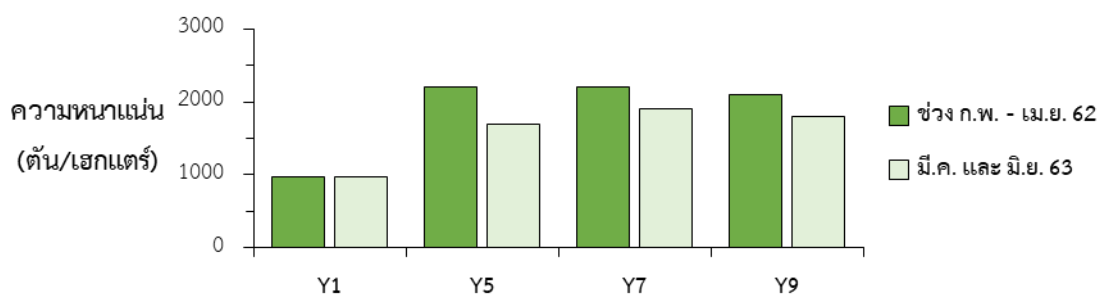


ภาพที่ 31 ลักษณะสัณฐานวิทยา ลำต้น (ก) ดอก (ข) ใบ (ค) และรากหายใจหรือ pneumatophore (ง) ของแสมขาว (*Avicennia alba* Blume)

ภาพที่ 32 ลักษณะสัณฐานวิทยา ลำต้น (ก) ผล (ข) ใบ (ค) และรากหายใจหรือ pneumatophore (ง) ของลำพู (*Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.)

4.1.2 ความหนาแน่นต้นไม้ (tree density)

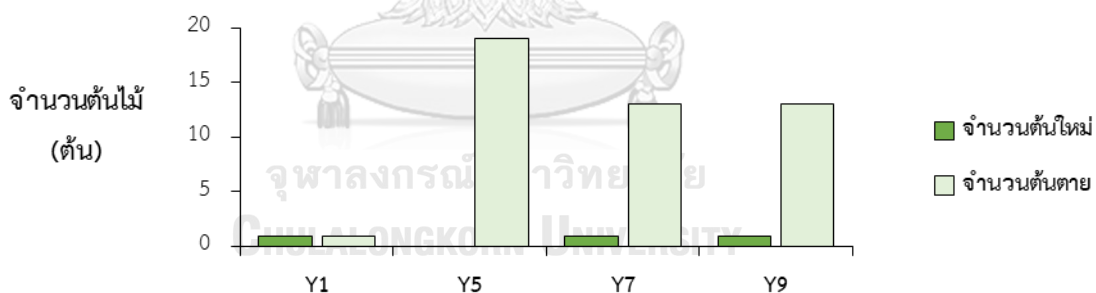
ความหนาแน่นต้นไม้ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 (ช่วงเวลาสำหรับวางแปลงและเก็บข้อมูลต้นไม้ ไม้หนุ่ม และกล้าไม้ รวม 3 เดือน) มีจำนวนเท่ากับ 975, 2200, 2200 และ 2100 ต้น/เฮกเตอร์ ตามลำดับ ถัดมาในช่วงมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 พบว่า แปลง Y5, Y7 และ Y9 ความหนาแน่นต้นไม้ลดลงเหลือเพียง 1700, 1900 และ 1800 ต้น/เฮกเตอร์ ตามลำดับ ยกเว้นแปลง Y1 ที่ความหนาแน่นต้นไม้ไม่เปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 33)



ภาพที่ 33 ความหนาแน่นต้นไม้ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9

ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

ต้นไม้ใหม่ (new comer) หมายถึงต้นไม้ที่เริ่มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงระดับอก (DBH) มากกว่า 4.5 ซม. และสูงกว่า 1.3 ม. หรือพืชที่เริ่มเปลี่ยนจากลักษณะวิสัยแบบไม้หนุ่มเป็นไม้ต้น โดยเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 แปลง Y1, Y7 และ Y9 พบต้นไม้ใหม่จำนวน 1 ต้น ขณะที่แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบต้นไม้ตาย (dead tree) จำนวน 1, 19, 13 และ 13 ต้น ตามลำดับ สังเกตได้ว่าต้นไม้ใหม่และต้นไม้ตายที่พบเป็นแสมขาว (*A. alba*) ทั้งหมด โดยแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีจำนวนต้นไม้ใหม่และต้นไม้ตายเท่ากัน ทำให้การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นต้นไม้ของแปลง Y1 ต่ำกว่าแปลง Y5, Y7 และแปลง Y9 (ภาพที่ 34)



ภาพที่ 34 จำนวนต้นไม้ใหม่และต้นไม้ตายของแปลง Y1, Y5, Y7 และแปลง Y9

ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

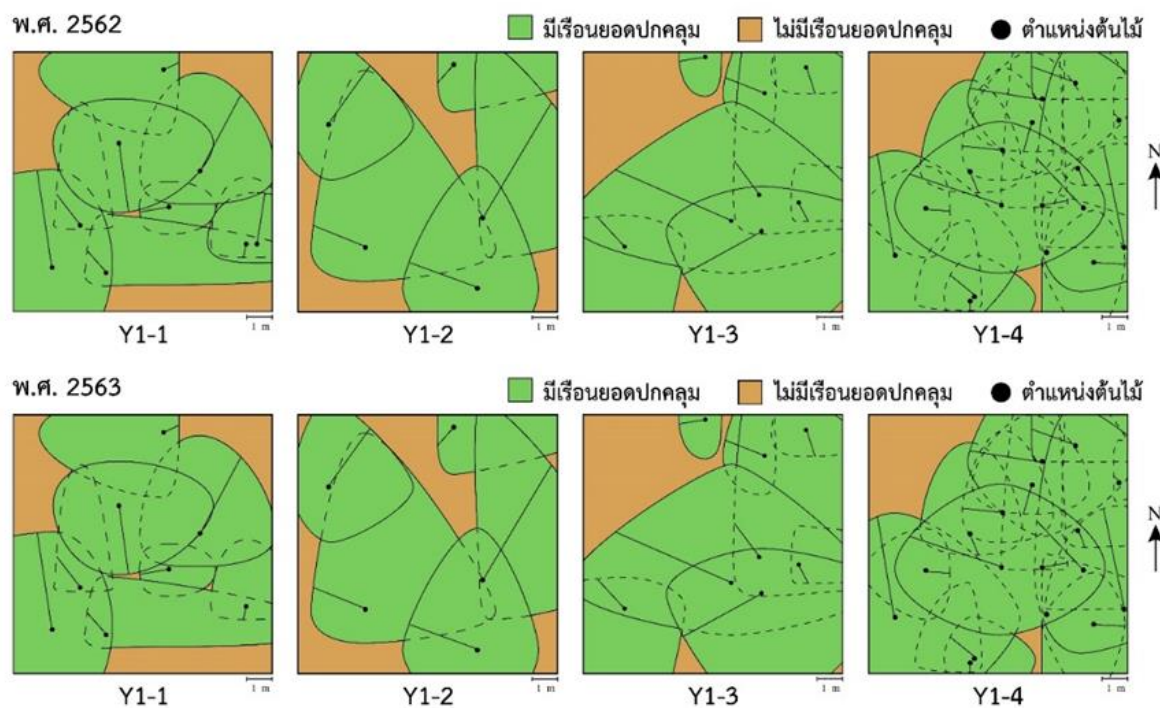
4.1.3 การปกคลุมเรือนยอด (crown cover)

แผนภาพการปกคลุมเรือนยอด (crown cover projection) แสดงให้เห็นพื้นที่ที่มีเรือนยอดปกคลุมและไม่มีเรือนยอดปกคลุมของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 จากข้อมูลในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 พบว่ามีการปกคลุมเรือนยอด $83.1 \pm 2.7\%$, $94.3 \pm 3.0\%$, $85.7 \pm 5.5\%$ และ $82.9 \pm 15.2\%$ ตามลำดับ ต่อมาในเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 พบว่าแปลง Y1 มีร้อยละการปกคลุมเรือนยอดเท่าเดิมในขณะที่แปลง Y5, Y7 และ Y9 มีการปกคลุมเรือนยอดลดลงเหลือ

92.3 ± 4.2%, 83.5 ± 4.7% และ 80.9 ± 16.1% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับต้นไม้ตายที่พบจำนวนมากในแปลง Y5, Y7 และ Y9 (ตารางที่ 4, ภาพที่ 35, ภาพที่ 36, ภาพที่ 37 และภาพที่ 38)

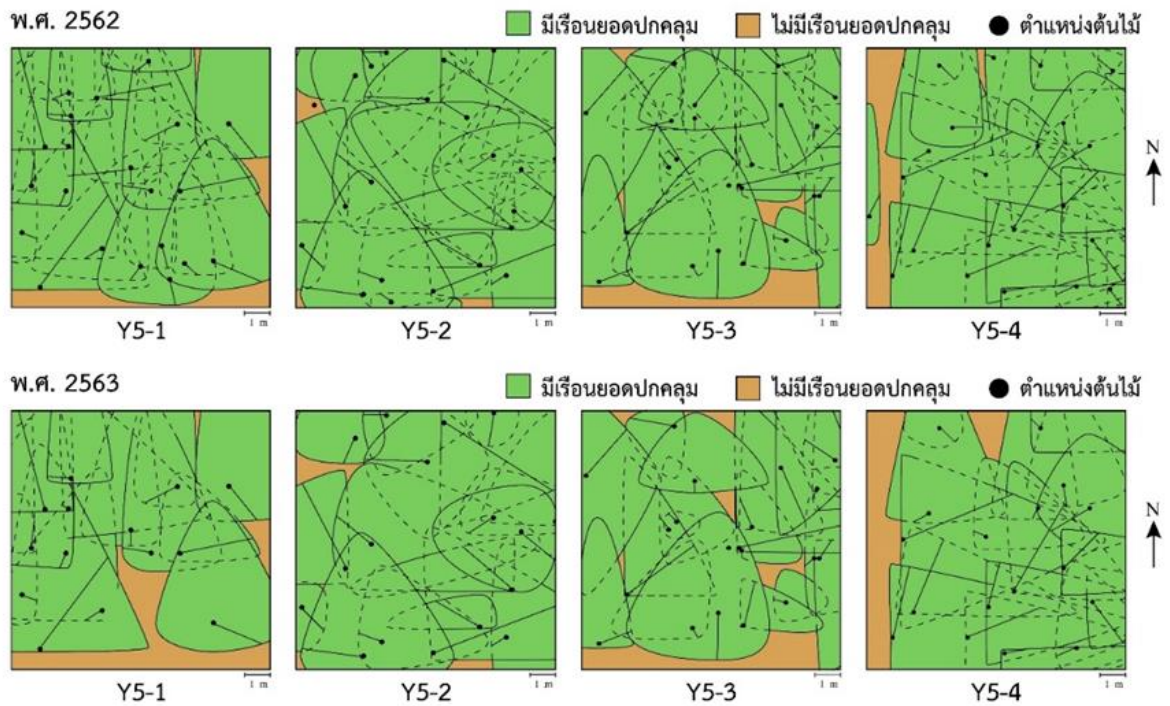
ตารางที่ 4 ร้อยละการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

แปลง	ร้อยละการปกคลุมเรือนยอดแต่ละปี (%)		ผลต่างร้อยละการปกคลุมเรือนยอด (%)
	ก.พ. - เม.ย. 62	มี.ค. และ มิ.ย. 63	
Y1	83.1 ± 2.7	83.1 ± 2.7	0.0 ± 5.4
Y5	94.3 ± 3.0	92.3 ± 4.2	2.0 ± 7.2
Y7	85.7 ± 5.5	83.5 ± 4.7	2.2 ± 10.2
Y9	82.9 ± 15.2	80.9 ± 16.1	2.0 ± 31.3

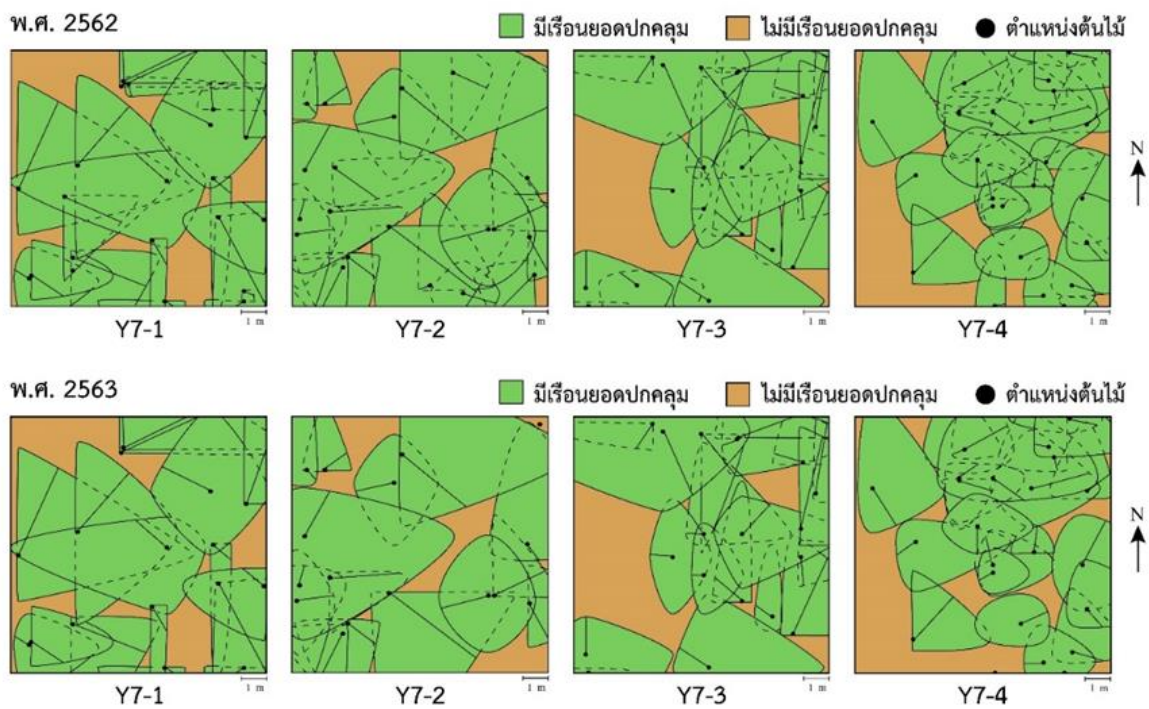


ภาพที่ 35 แผนภาพการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y1

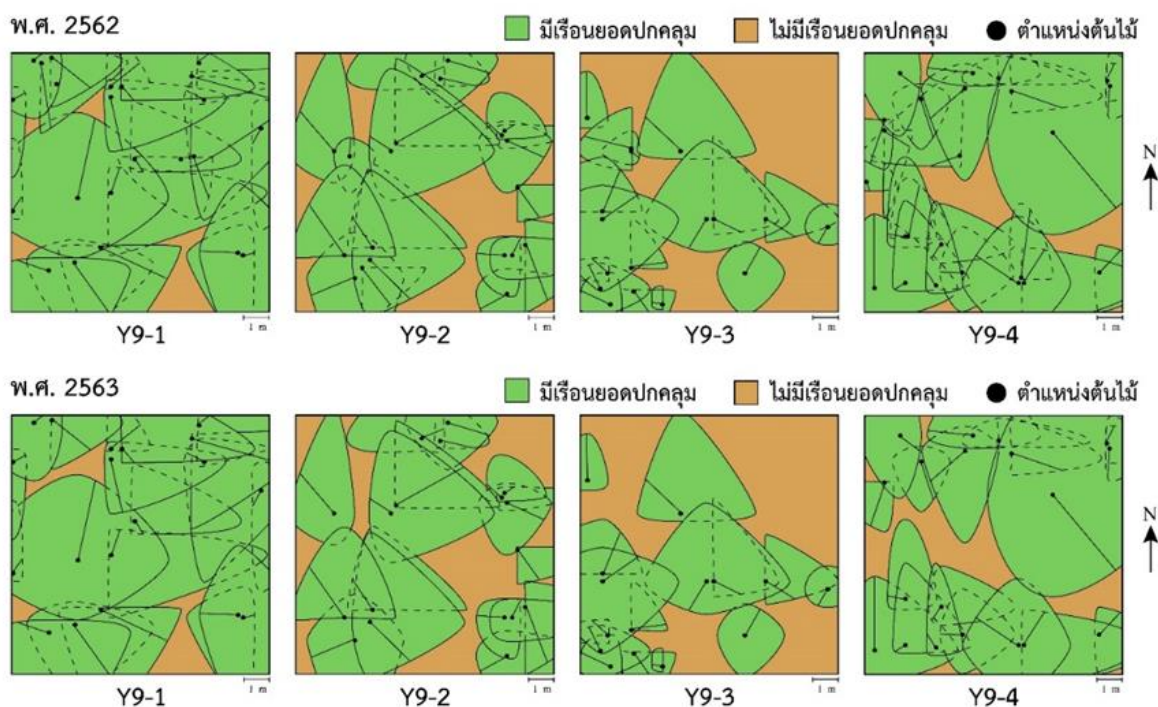
ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563



ภาพที่ 36 แผนภาพการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y5
ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563



ภาพที่ 37 แผนภาพการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y7
ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563



ภาพที่ 38 แผนภาพการปกคลุมเรือนยอดของแปลง Y9

ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

4.1.4 กล้าไม้ (seedling) และไม้หนุ่ม (sapling)

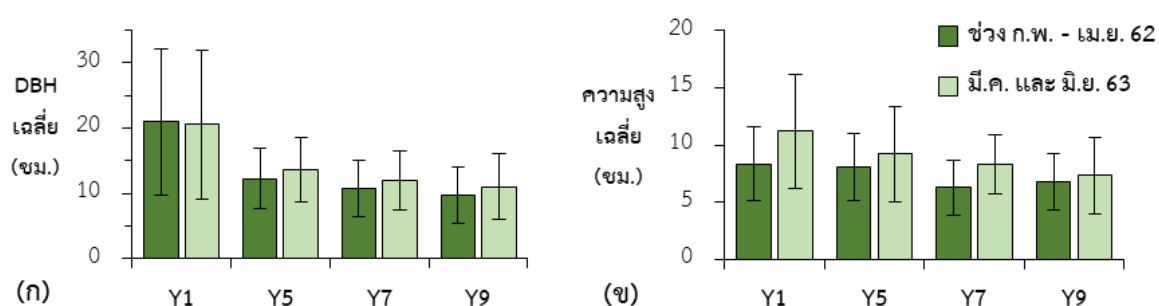
กล้าไม้และไม้หนุ่มที่พบในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 เป็นแสมขาว (*A. alba*) ทั้งหมด ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 มีความหนาแน่นกล้าไม้ 19.2, 12.4, 1.8 และ 0.2 ต้น/ตร.ม. ตามลำดับ ส่วนในเดือนมีนาคมและมิถุนายน ปี พ.ศ. 2563 มีความหนาแน่นกล้าไม้ 18.5, 21.2, 2.1 และ 3.2 ต้น/ตร.ม. ตามลำดับ ซึ่งแปลง Y5, Y7 และ Y9 มีความหนาแน่นกล้าไม้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะแปลง Y5 ที่มีความหนาแน่นกล้าไม้เพิ่มขึ้นประมาณ 70% ในขณะที่แปลง Y1 มีความหนาแน่นกล้าไม้ลดลง อย่างไรก็ตามพบไม้หนุ่มได้ในแปลง Y1 ซึ่งมีอายุมากที่สุดเพียงแปลงเดียวเท่านั้น โดยช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.4 และ 2.3 ต้น/ตร.ม. ตามลำดับ มี $D_{0.1h}$ เฉลี่ย 1.63 ± 0.324 และ 1.39 ± 0.101 ซม. ตามลำดับ และมีความสูงของไม้หนุ่มเฉลี่ย (h) 1.67 ± 0.118 และ 1.67 ± 0.061 ม. ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความหนาแน่นกล้าไม้และไม้ $D_{0.1h}$ เฉลี่ยและความสูงของไม้หนุ่ม (h) เฉลี่ย

แปลง	เดือน	พ.ศ.	ความหนาแน่น (ต้น/ตร.ม.)		$D_{0.1h}$ เฉลี่ย (ซม.)	h เฉลี่ย (ม.)
			กล้าไม้	ไม้หนุ่ม		
	มี.ค. และ มิ.ย.	2563	18.5	2.3	1.39 ± 0.101	1.67 ± 0.061
Y5	ก.พ. - เม.ย.	2562	12.4	ไม่พบ	-	-
	มี.ค. และ มิ.ย.	2563	21.2	ไม่พบ	-	-
Y7	ก.พ. - เม.ย.	2562	1.8	ไม่พบ	-	-
	มี.ค. และ มิ.ย.	2563	2.1	ไม่พบ	-	-
Y9	ก.พ. - เม.ย.	2562	0.2	ไม่พบ	-	-
	มี.ค. และ มิ.ย.	2563	3.2	ไม่พบ	-	-

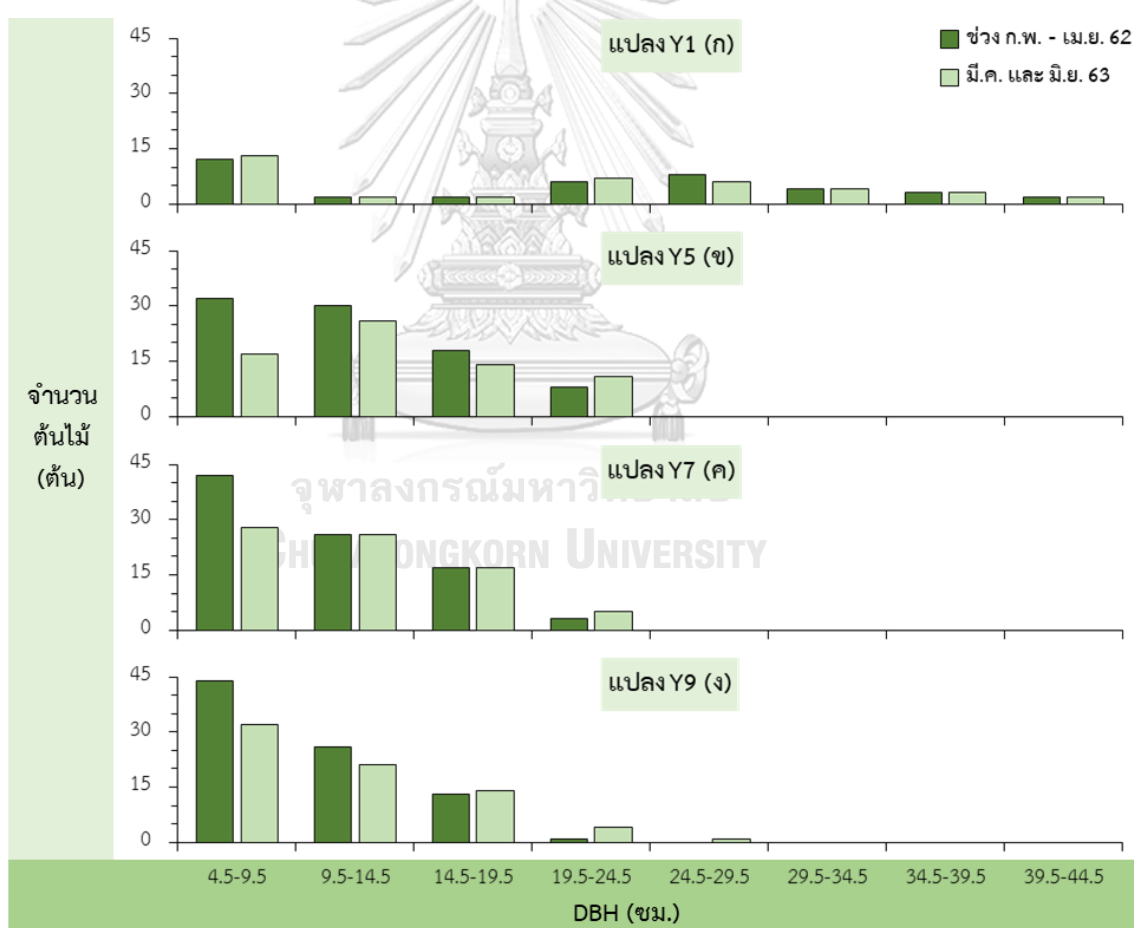
4.1.5 DBH เฉลี่ย, ความสูงเฉลี่ย และการกระจาย DBH

DBH เฉลี่ยของต้นไม้ทั้งหมดในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 มีค่าเท่ากับ 21.0, 12.2, 10.7 และ 9.8 ซม. ตามลำดับ ส่วนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 มี DBH เฉลี่ย 20.5, 13.6, 12.0 และ 11.0 ซม. ตามลำดับ โดยทั้งสองช่วงเวลา ต้นไม้ในแปลง Y1 มีค่า DBH เฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือแปลง Y5, Y7 และ Y9 ตามลำดับ และระหว่างสองช่วงเวลานี้ ในแปลง Y5, Y7 และ Y9 มี DBH เฉลี่ยเพิ่มขึ้น ขณะที่แปลง Y1 มี DBH เฉลี่ยลดลง นอกจากนี้ความสูงเฉลี่ยของต้นไม้ทั้งหมดในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 มีค่าเท่ากับ 8.4, 8.1, 6.3 และ 6.8 ม. ตามลำดับ ต่อมาในเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 ทุกแปลงมีความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 11.2, 9.2, 8.3 และ 7.3 ม. ตามลำดับ (ภาพที่ 39)



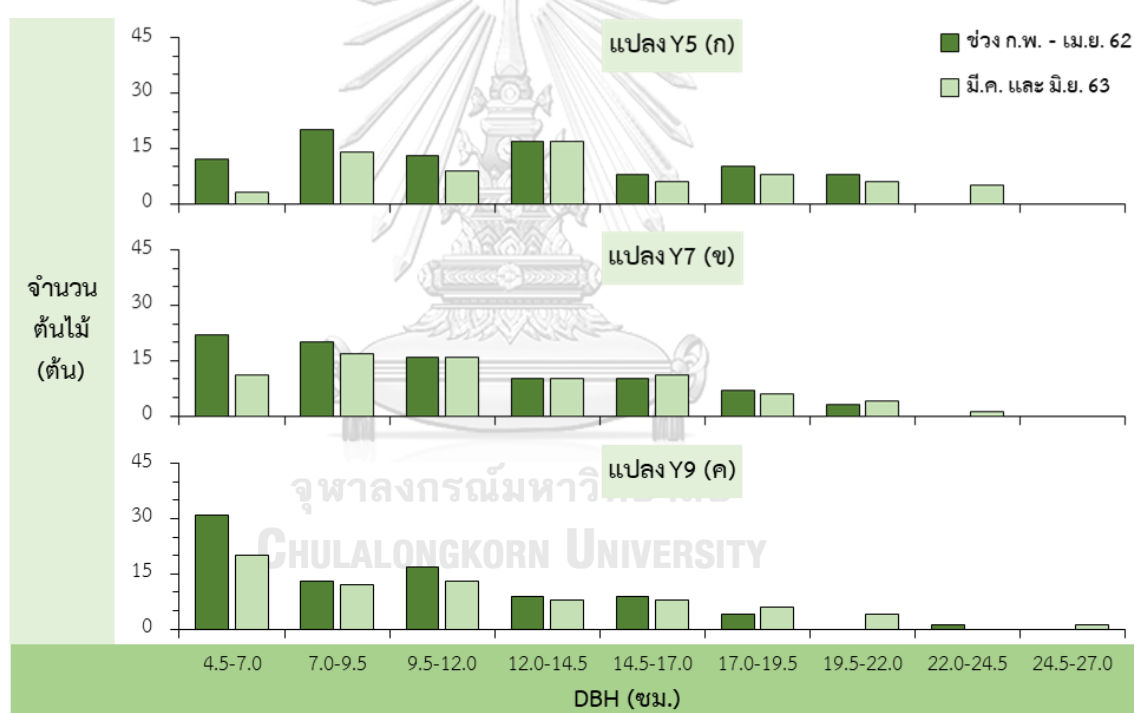
ภาพที่ 39 (ก) DBH เฉลี่ย (\pm SD) และ (ข) ความสูงเฉลี่ย (\pm SD) ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

เมื่อพิจารณาการกระจาย DBH ของต้นไม้ทุกต้นในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงเริ่มต้นการศึกษาในเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 โดยต้นไม้ที่มี DBH ขนาดเล็กในช่วง 4.5 - 14.5 ซม. ร้อยละ 35.9, 70.5, 77.3 และ 83.3 ตามลำดับ ในขณะที่ต้นไม้ที่มี DBH ขนาดตั้งแต่ 29.5 ซม. พบเฉพาะในแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดร้อยละ 23.1 ส่วนเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 ซึ่ง DBH มีค่าอยู่ในช่วง 4.5 - 42.6 ซม. พบว่าต้นไม้ที่มี DBH ขนาดเล็กในช่วง 4.5 - 14.5 ซม. ของแปลง Y1 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 38.5 แต่แปลงปลูก Y5, Y7 และ Y9 ลดลงเหลือร้อยละ 63.2, 71.1 และ 73.6 ตามลำดับ ส่วนต้นไม้ที่มี DBH ขนาดตั้งแต่ 29.5 ซม. ในแปลง Y1 มีจำนวนเท่าเดิม ด้วยเหตุนี้แปลง Y1 จึงมีลักษณะการกระจาย DBH แตกต่างจากแปลง Y5, Y7 และ Y9 ที่เป็นรูปแบบ L-shape เบ้ขวา แสดงให้เห็นว่าแปลงปลูกอายุมากมีจำนวนต้นไม้ที่มี DBH ขนาดเล็กน้อยกว่าแปลงปลูกอายุน้อย แต่แปลงปลูกอายุมากมีจำนวนต้นไม้ที่มี DBH ขนาดใหญ่มากกว่าแปลงปลูกอายุน้อย (ภาพที่ 40)



ภาพที่ 40 การกระจายของ DBH ของแปลง (ก) Y1, (ข) Y5, (ค) Y7 และ (ง) Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

เมื่อพิจารณาการกระจายของ DBH ของต้นไม้ทุกต้นเพิ่มเติมเฉพาะแปลง Y5, Y7 และ Y9 ช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 พบว่า DBH มีค่าอยู่ในช่วง 4.5 - 22.9 ซม. โดยต้นไม้ที่มี DBH อยู่ในช่วง 4.5 - 9.5 ซม. ร้อยละ 36.4, 47.7 และ 52.4 ตามลำดับ ขณะที่ต้นไม้ที่มี DBH ตั้งแต่ 19.5 ซม. เป็นต้นไป คิดเป็นร้อยละ 9.1, 3.4 และ 1.2 ตามลำดับ ส่วนในเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 DBH มีค่าอยู่ในช่วง 4.5 - 24.4 ซม. โดยที่ต้นไม้ที่มี DBH อยู่ในช่วง 4.5 - 9.5 ซม. ลดลงเหลือร้อยละ 25.0, 36.8 และ 44.4 ตามลำดับ แต่ต้นไม้ที่มี DBH ตั้งแต่ 19.5 ซม. เป็นต้นไป เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.2, 6.6 และ 6.9 ตามลำดับ จึงชี้ให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปหนึ่งปี แปลง Y5 เริ่มมีลักษณะการกระจาย DBH กว้างขึ้น ในขณะที่แปลง Y7 และ Y9 ยังคงเป็นรูปแบบ L-shape เบื้องต้น อย่างไรก็ตามอย่างไรก็ตามแปลง Y5, Y7 และ Y9 มีการกระจาย DBH เปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 41)

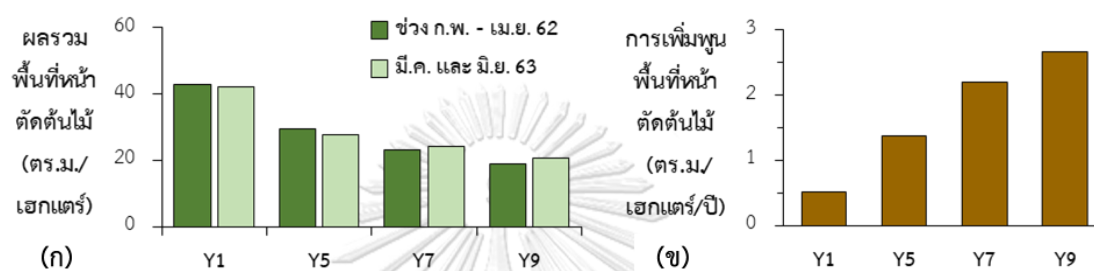


ภาพที่ 41 การกระจายของ DBH ของแปลง (ก) Y5, (ข) Y7 และ (ค) Y9 ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และเดือนมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

4.1.6 ผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ทั้งหมด (total basal area)

แปลง Y1 มีผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ทั้งหมดมากที่สุด รองลงมาคือแปลง Y5, Y7 และ Y9 ตามลำดับ ในเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 ผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ทั้งหมดเท่ากับ 43.0, 29.4, 23.2 และ 18.8 ตร.ม./เฮกแตร์ ตามลำดับ ส่วนเดือนมีนาคมและมิถุนายน ปี พ.ศ. 2563

แปลง Y1 และ Y5 มีผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ทั้งหมดลดลงเหลือ 42.0 และ 27.8 ตร.ม./เฮกแตร์ ขณะที่แปลง Y7 และ Y9 มีผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้มเพิ่มขึ้นเป็น 24.3 และ 20.8 ตร.ม./เฮกแตร์ (ภาพที่ 42 ก) ส่วนการเพิ่มพูนพื้นที่หน้าตัดต้นไม้อะหว่างช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และ มีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 (ไม่พิจารณาต้นไม้ตายในการคำนวณ) พบว่าแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 มีค่าเท่ากับ 0.52, 14.72, 20.59 และ 25.59 ตร.ม./เฮกแตร์ ตามลำดับ โดยแปลง Y9 มีการเพิ่มพูนพื้นที่หน้าตัดต้นไม้มากที่สุด รองลงมาคือแปลง Y7, Y5 และ Y1 ตามลำดับ (ภาพที่ 42 ข)

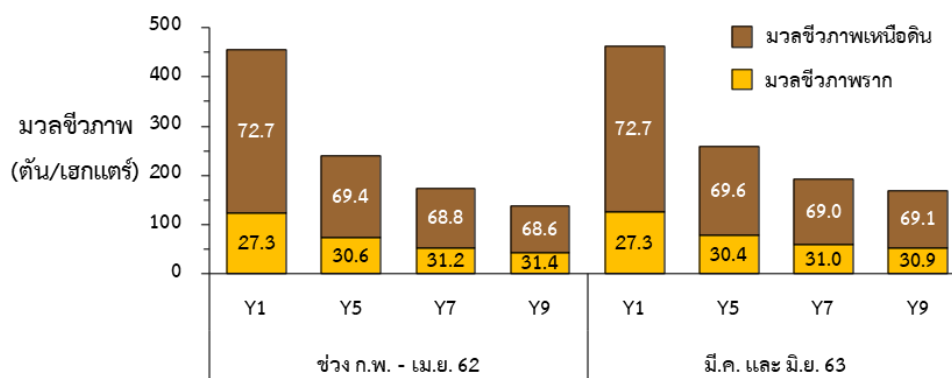


ภาพที่ 42 (ก) ผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้มและ (ข) การเพิ่มพูนพื้นที่หน้าตัดของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และ มีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

4.2 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP)

4.2.1 มวลชีวภาพ (biomass)

แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 มีมวลชีวภาพทั้งหมด (total biomass) 455.6, 239.2, 172.8 และ 137.9 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ ประกอบด้วยมวลชีวภาพเหนือดิน (aboveground biomass) 331.3, 165.9, 118.9 และ 94.5 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ และมวลชีวภาพราก (root biomass) 124.3, 73.3, 53.9 และ 43.3 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ ต่อมาในเดือน มีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 พบว่ามวลชีวภาพทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 461.9, 258.8, 193.4, 169.8 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ ประกอบด้วยมวลชีวภาพเหนือดิน 335.9, 180.2, 133.5 และ 117.4 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ และมวลชีวภาพราก 126.0, 78.6, 59.8 และ 52.5 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ โดยแปลง Y1 มีมวลชีวภาพมากที่สุด รองลงมาคือแปลง Y5, Y7 และ Y9 ตามลำดับ ซึ่งมวลชีวภาพเหนือดินคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 70 ของมวลชีวภาพทั้งหมดสูงกว่ามวลชีวภาพรากที่มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของมวลชีวภาพทั้งหมด (ภาพที่ 43)

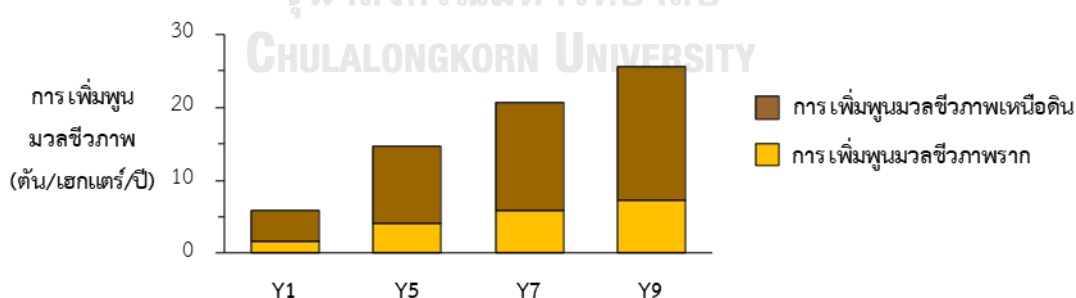


ภาพที่ 43 มวลชีวภาพของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9

ในช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน ปี พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน ปี พ.ศ. 2563 โดยตัวเลขที่แสดงในกราฟหมายถึงร้อยละมวลชีวภาพเหนียดินและรากของมวลชีวภาพพรากทั้งหมด

4.2.2 การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ (biomass increment)

เมื่อพิจารณาการเพิ่มพูนมวลชีวภาพระหว่างช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563 (โดยไม่พิจารณาต้นไม้ตาย) พบว่าแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 มีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ 5.8, 14.7, 20.6 และ 25.6 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ แบ่งเป็นการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนียดิน 4.3, 10.7, 14.7 และ 18.3 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 70 ของการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งหมด และการเพิ่มพูนมวลชีวภาพพราก 1.5, 4.0, 5.9 และ 7.3 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของการเพิ่มพูนมวลชีวภาพทั้งหมด ทั้งนี้แปลง Y9 ที่มีอายุน้อยที่สุดมีการเพิ่มพูนมวลชีวภาพมากที่สุด รองลงมาคือแปลง Y7, Y5 และ Y1 ตามลำดับ (ภาพที่ 44)



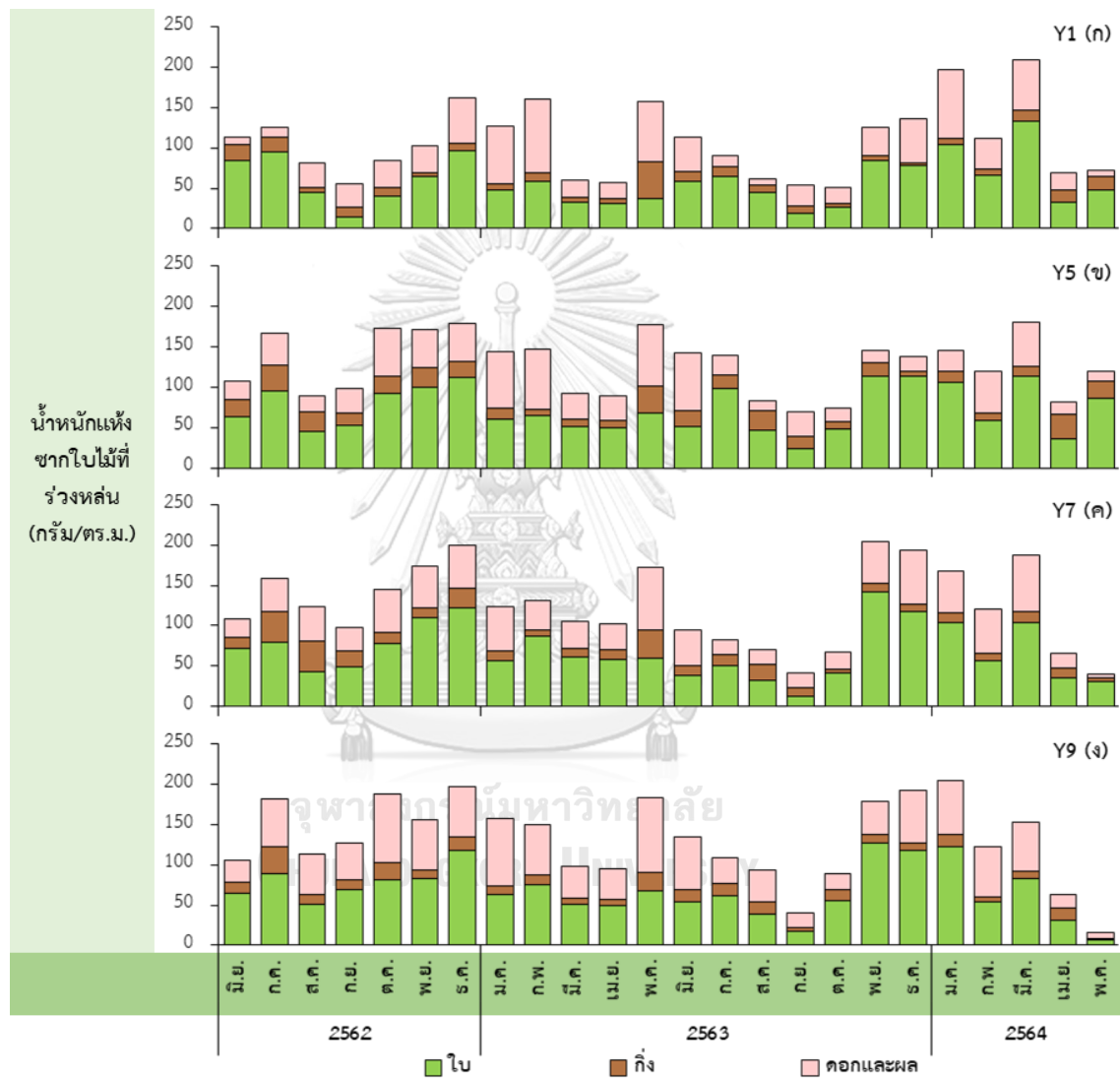
ภาพที่ 44 การเพิ่มพูนมวลชีวภาพของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9

ระหว่างช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 และมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

4.2.3 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall production)

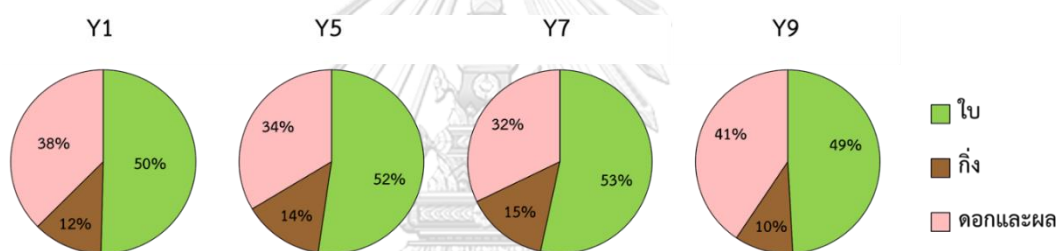
การศึกษาผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเป็นระยะเวลา 2 ปี ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่ามีแนวโน้มการผันแปรของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นรายเดือนใกล้เคียงกัน โดยมักมีผลผลิตซากพืชที่

ร่วงหล่นรายเดือนลดลงในช่วงสิงหาคม - กันยายน พ.ศ. 2562 ช่วงกุมภาพันธ์ - มีนาคม พ.ศ. 2563 พฤษภาคม - มิถุนายน พ.ศ. 2563 และช่วงมีนาคม - เมษายน พ.ศ. 2564 ขณะที่มียอดผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นรายเดือนเพิ่มขึ้นในช่วงตุลาคม พ.ศ. 2562 - มกราคม พ.ศ. 2563 ช่วงเมษายน - พฤษภาคม พ.ศ. 2563 ช่วงตุลาคม พ.ศ. 2563 - มกราคม พ.ศ. 2564 (ภาพที่ 45)



ภาพที่ 45 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นรายเดือนของแปลง (ก) Y1, (ข) Y5, (ค) Y7 และ (ง) Y9 ตั้งแต่มิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2564

เมื่อคำนวณผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นทั้งหมดของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ระหว่างช่วง มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2563 พบว่ามีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเท่ากับ 12.9, 16.4, 16.4 และ 17.5 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ ประกอบไปด้วยผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นส่วนใบ 6.5, 8.6, 8.8 และ 8.6 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ ส่วนกิ่ง 1.6, 2.3, 2.4 และ 1.8 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ และส่วนดอกและผล 4.8, 5.5, 5.3 และ 7.1 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ โดยแปลง Y1 มีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นต่ำที่สุด ถัดมาคือแปลง Y5, Y7 และ Y9 ที่มีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นสูงกว่าแปลง Y1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นส่วนใบมีสัดส่วนมากที่สุดประมาณ ร้อยละ 49-53 ของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นทั้งหมด รองลงมาคือส่วนดอกและผลและส่วนกิ่ง ตามลำดับ (ภาพที่ 46) โดยสัดส่วนผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นส่วนใบ กิ่ง และดอกและผลระหว่างแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (χ^2 test, $P = 0.846$)

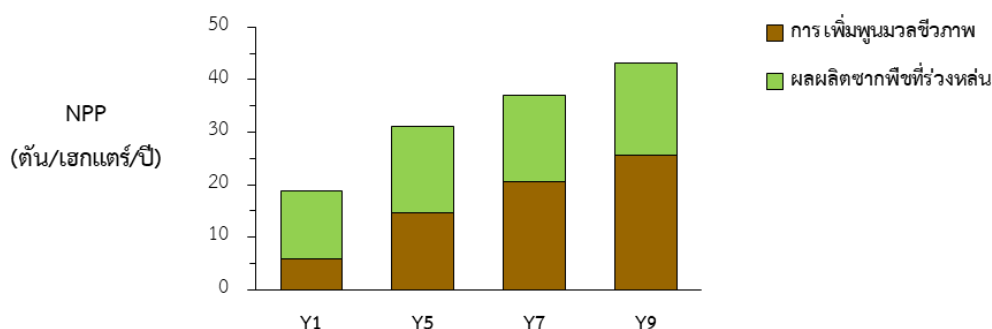


ภาพที่ 46 สัดส่วนผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นส่วนใบ กิ่ง และดอกและผลของแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2564

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

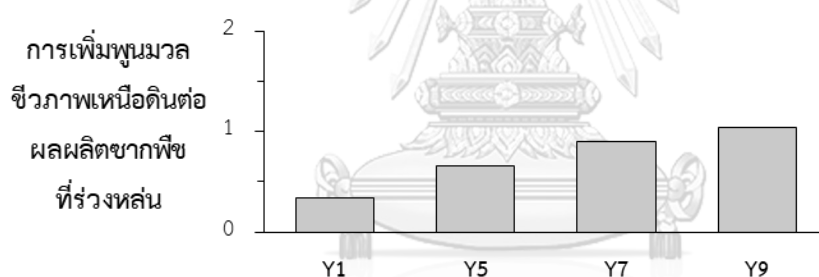
4.2.4 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary production, NPP)

เมื่อนำปริมาณการเพิ่มพูนมวลชีวภาพและผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นมารวมกันตามวิธี summation method ได้เป็นผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary production, NPP) ของแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละอายุ พบว่าแปลงปลูก Y1 มี NPP น้อยที่สุดเท่ากับ 18.7 ตัน/เฮกแตร์/ปี รองลงมาคือแปลง Y5, Y7 และ Y9 ซึ่งมี NPP เท่ากับ 31.1, 37.0 และ 43.1 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งสังเกตได้ว่าแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีค่า NPP น้อยที่สุดในขณะที่แปลง Y9 ที่มีอายุน้อยที่สุดมีค่า NPP สูงที่สุด (ภาพที่ 47)



ภาพที่ 47 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (NPP) ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ระหว่างช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน ปี พ.ศ. 2562 ถึงมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

อัตราส่วนการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนือดินต่อผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (ΔY เหนือดิน/L) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 มีค่าเท่ากับ 0.33, 0.65, 0.89 และ 1.04 ตามลำดับ โดยแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีค่าอัตราส่วนการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนือดินต่อผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นต่ำที่สุด รองลงมาคือแปลง Y5, Y7 และมีค่ามากที่สุดในการแปลง Y9 ตามลำดับ (ภาพที่ 48)



ภาพที่ 48 อัตราส่วนการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนือดินต่อผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (ΔY เหนือดิน/L) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ระหว่างช่วงกุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562 ถึงมีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563

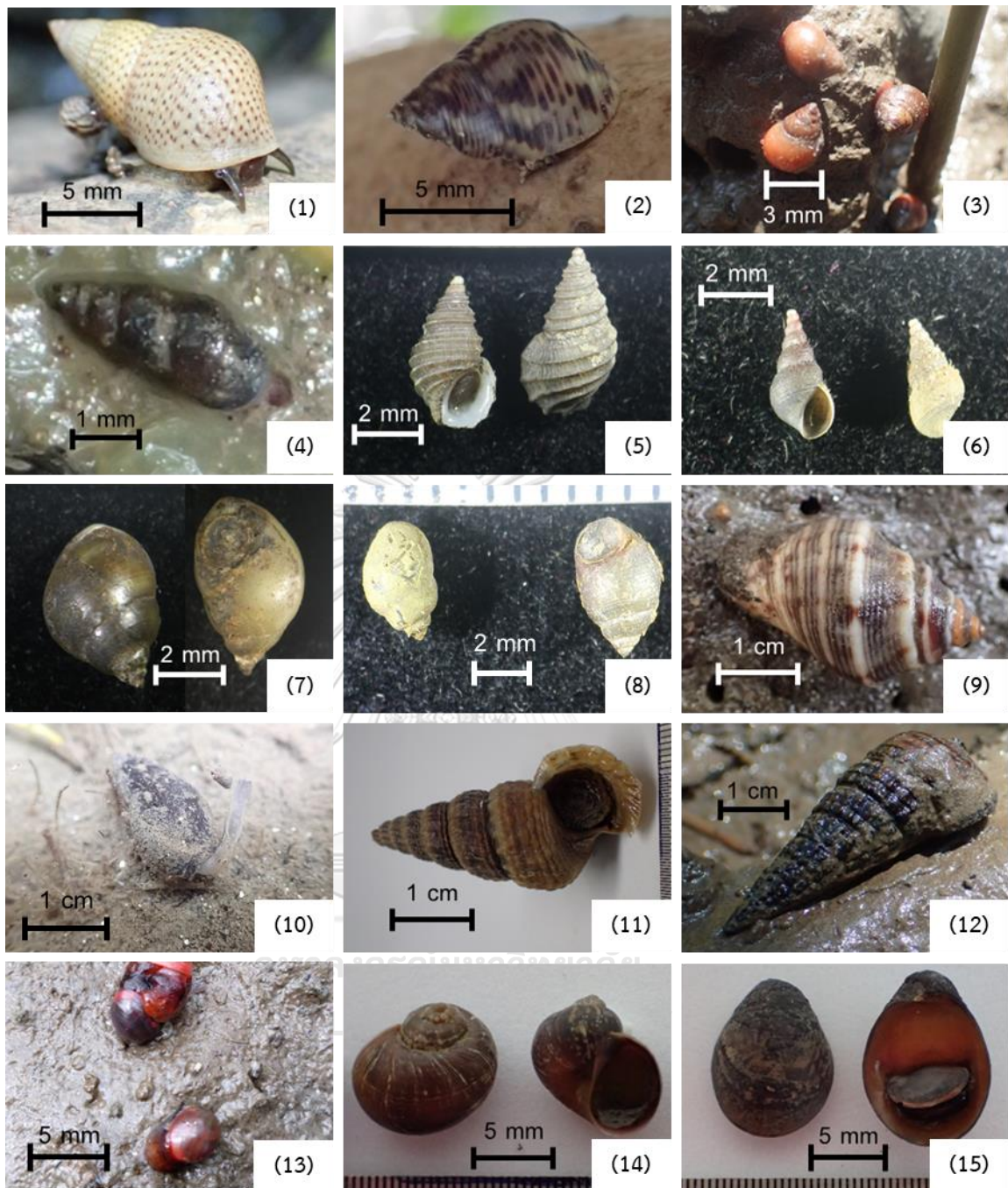
4.3 สังคมหอยฝาเดียว (gastropod community)

4.3.1 ชนิดหอยฝาเดียวที่พบ

ผลการศึกษาสังคมหอยฝาเดียวในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติ กองทัพบก (บางปู) ช่วงฤดูฝน (กรกฎาคม - กันยายน พ.ศ. 2563) พบหอยฝาเดียวทั้งหมด 14 ชนิด จัดอยู่ใน 6 อันดับ และ 10 วงศ์ ในขณะที่ช่วงฤดูแล้ง (มีนาคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2564) พบหอยฝาเดียวทั้งหมด 14 ชนิดเช่นเดียวกัน ซึ่งถูกจัดจำแนกได้เป็น 5 อันดับ (order) และ 9 วงศ์ (family) โดยหอยฝาเดียวที่พบเฉพาะในฤดูฝน ได้แก่ *Haminoea* sp. ส่วนที่พบได้เฉพาะฤดูแล้ง ได้แก่ *Iravadia* sp. 3 ส่วนหอยฝาเดียวชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้สามารถพบได้ทั้งสองฤดู

ตารางที่ 6 ชนิดหอยฝาเดียวที่พบในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

ชื่อวิทยาศาสตร์	ฤดูฝน				ฤดูแล้ง			
	Y1	Y5	Y7	Y9	Y1	Y5	Y7	Y9
วงศ์ Littorinidae								
<i>Littoraria melanostoma</i> (Gray, 1839)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Littoraria scabra</i> (Linnaeus, 1758)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
วงศ์ Assimineidae								
<i>Optediceros breviculum</i> (Pfeiffer, 1855)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
วงศ์ Irvadiidae								
<i>Irvadia</i> sp. 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Irvadia</i> sp. 2	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Irvadia</i> sp. 3	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
วงศ์ Stenothyridae								
<i>Stenothyra cf. polita</i> (A. Adams, 1851)	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓
<i>Stenothyra monilifera</i> Benson, 1856	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
วงศ์ Buccinidae								
<i>Euthria aracanensis</i> (Angas, 1873)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
วงศ์ Nassariidae								
<i>Nassarius olivaceus</i> (Bruguière, 1789)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
วงศ์ Potamididae								
<i>Cerithidea obtusa</i> (Lamarck, 1822)	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓
<i>Pirenella cingulata</i> (Gmelin, 1791)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
วงศ์ Haminoeidae								
<i>Haminoea</i> sp.	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
วงศ์ Amphibolidae								
<i>Salinator burmana</i> (Blanford, 1867)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
วงศ์ Neritidae								
<i>Neripteron violaceum</i> (Gmelin, 1791)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
รวมทั้งหมด (ชนิด)	11	12	14	13	11	14	12	13

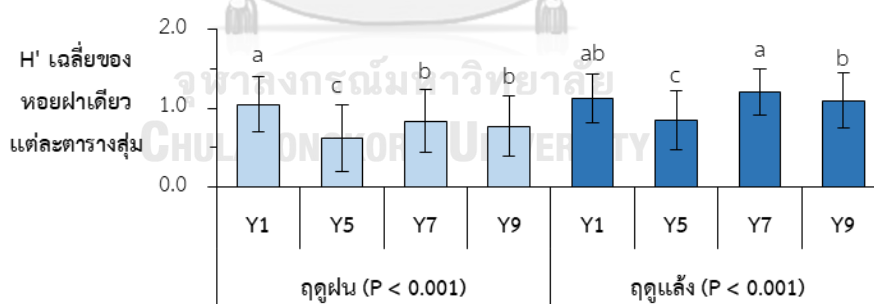


ภาพที่ 49 ชนิดหอยฝาเดียวที่พบในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ได้แก่
 (1) *L. melanostoma* (2) *L. scabra* (3) *O. breviculum* (4) *Iravadia* sp. 1 (5) *Iravadia* sp. 2
 (6) *Iravadia* sp. 3 (7) *S. cf. polita* (8) *S. monilifera* (9) *E. aracanensis* (10) *N. olivaceus*
 (11) *C. obtusa* (12) *P. cingulata* (13) *Haminoea* sp. (14) *S. burmana* (15) *N. violaceum*

ชนิดหอยฝาเดียวที่พบ (species richness) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนมีจำนวนชนิดเท่ากับ 11, 12, 14 และ 13 ชนิด ตามลำดับ โดยแปลง Y1 ไม่พบ *Iravadia* sp. 2, *Stenothyra* cf. *polita* และ *Stenothyra monilifera* แปลง Y5 ไม่พบ *S. monilifera* และ *Cerithidea obtusa* และแปลง Y9 ไม่พบ *C. obtusa* ในขณะที่ฤดูแล้งพบหอยฝาเดียวจำนวน 11, 14, 12 และ 13 ชนิด ตามลำดับ โดยแปลง Y1 ไม่พบ *Iravadia* sp. 3, *S. cf. polita* และ *C. obtusa* แปลง Y7 ไม่พบ *S. cf. polita* และ *C. obtusa* และแปลง Y9 ไม่พบ *Iravadia* sp. 3 (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 49)

4.3.2 ความหลากหลายชนิด (species diversity) ของหอยฝาเดียว

พิจารณาความหลากหลายชนิดของหอยฝาเดียวโดยใช้ค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (Shannon-Wiener Diversity Index, H') พบว่า H' เฉลี่ย ($n = 120$) ทั้งในฤดูฝน (ANOVA, $P < 0.001$) และฤดูแล้ง (ANOVA, $P < 0.001$) แตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในฤดูฝนแปลง Y1 มีค่า H' เฉลี่ยสูงที่สุดต่างจากแปลง Y7 และ Y9 และต่างจากแปลง Y5 ที่มีค่าต่ำที่สุด ส่วนฤดูแล้งแปลง Y7 มีค่า H' เฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือแปลง Y1 ซึ่งแปลง Y7 และ Y1 มีค่า H' เฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่แปลง Y7 มีค่า H' เฉลี่ยต่างจากแปลง Y9 และต่างจาก Y5 ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (ภาพที่ 50) นอกจากนี้ยังพบว่า H' เฉลี่ยของหอยฝาเดียวแต่ละตารางสุ่มแตกต่างกันระหว่างฤดู (t-test, $P < 0.001$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

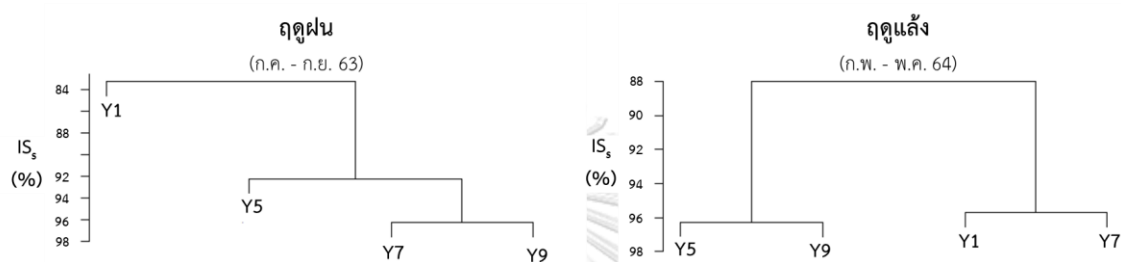


ภาพที่ 50 ค่า H' เฉลี่ยของหอยฝาเดียวแต่ละตารางสุ่ม ($n = 120$) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย

Post Hoc Test แบบ Duncan

4.3.3 ความคล้ายคลึงของความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียว

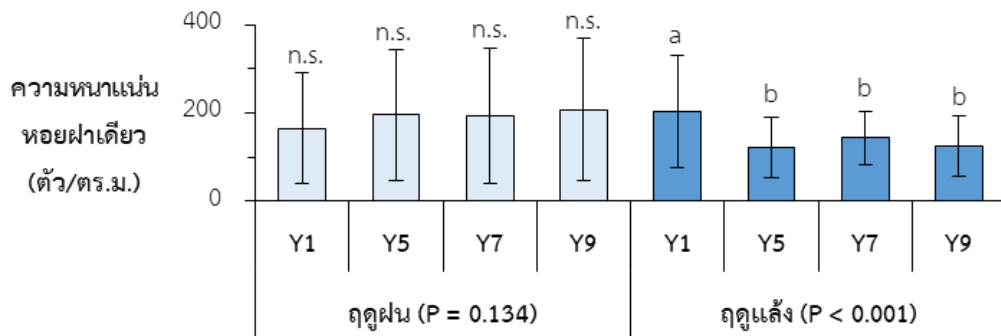
วิเคราะห์ดัชนีความคล้ายคลึง (similarity index) ความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียวระหว่างแต่ละแปลง โดยใช้ค่า Sørensen Similarity Index (IS_s) พบว่าช่วงฤดูฝนแปลง Y1 มีความคล้ายคลึงกับแปลงอื่น ๆ น้อยที่สุด ในขณะที่แปลง Y7 คล้ายคลึงกับ Y9 มากที่สุดถึงร้อยละ 96.3 ส่วนฤดูแล้งสามารถแบ่งความคล้ายคลึงได้เป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน ได้แก่ กลุ่มแปลง Y1 กับ Y7 และกลุ่มแปลง Y5 กับ Y9 (ภาพที่ 51)



ภาพที่ 51 Sørensen Similarity Index (IS_s) ของความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียว ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

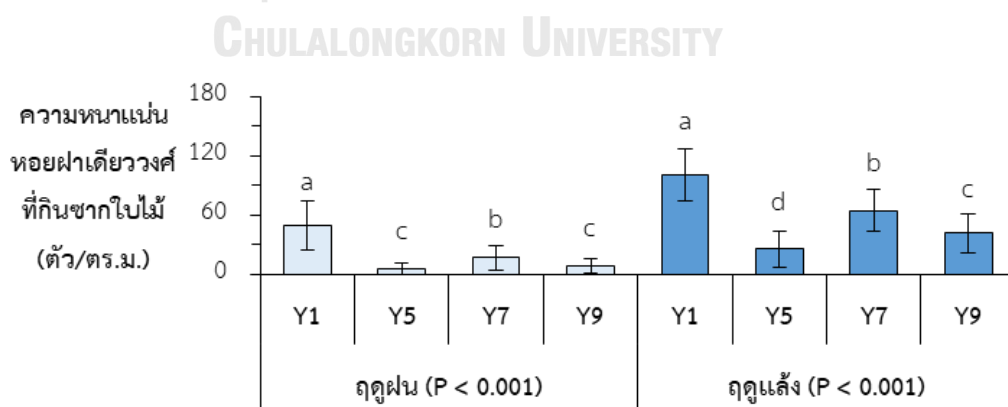
4.3.4 ความหนาแน่นหอยฝาเดียว (gastropod density)

ความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดเฉลี่ย ($n = 120$) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีความหนาแน่นเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมาคือแปลง Y7, Y5 และ Y9 ตามลำดับ แต่ความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดเฉลี่ยไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.797$) ในขณะที่ฤดูแล้งมีความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดเฉลี่ยแตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) โดยที่แปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดเฉลี่ยสูงที่สุดแตกต่างจากแปลง Y7, Y9 และ Y5 ที่มีความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดเฉลี่ยลดหลั่นลงมาตามลำดับ (ภาพที่ 52) นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดเฉลี่ยแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $P < 0.001$) โดยฤดูฝนมีความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดเฉลี่ยสูงกว่าฤดูแล้ง



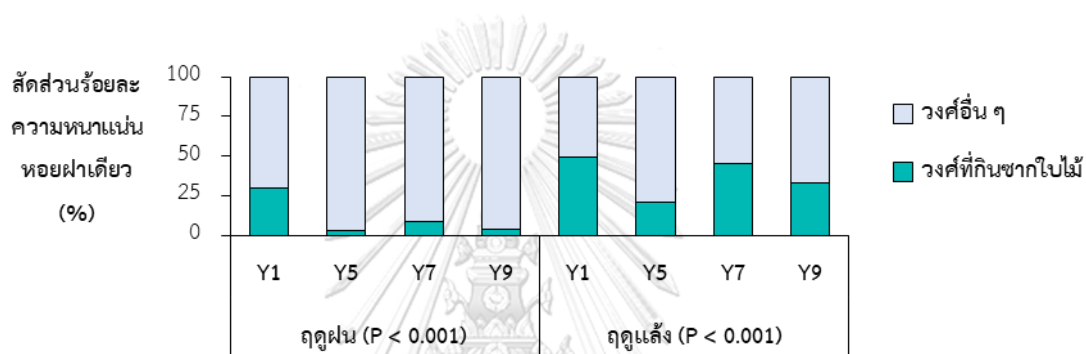
ภาพที่ 52 ความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.05$) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan และ n.s. คือ ค่าเฉลี่ยไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การสังเกตระหว่างการศึกษาสังคมหอยฝาเดียวในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 และรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว (Bharti & Shanker, 2020; Rosmilah et al., 2016; Rusnaningsih & Patria, 2020; Suratno et al., 2020) พบว่าหอยฝาเดียวบางวงศ์เป็นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ (leaf litter consumer) ที่สะสมบนพื้นป่า ได้แก่ วงศ์ Littorinidae จำนวน 2 ชนิด วงศ์ Iravadiidae จำนวน 3 ชนิด และวงศ์ Potamididae จำนวน 2 ชนิด ผลการศึกษาพบว่าในฤดูฝน (ANOVA, $P < 0.001$) และฤดูแล้ง (ANOVA, $P < 0.001$) มีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้แตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทั้งในสองฤดูที่แปลง Y1 มีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้สูงที่สุด ต่างจากแปลง Y7, Y9 และ Y5 ตามลำดับ (ภาพที่ 53) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



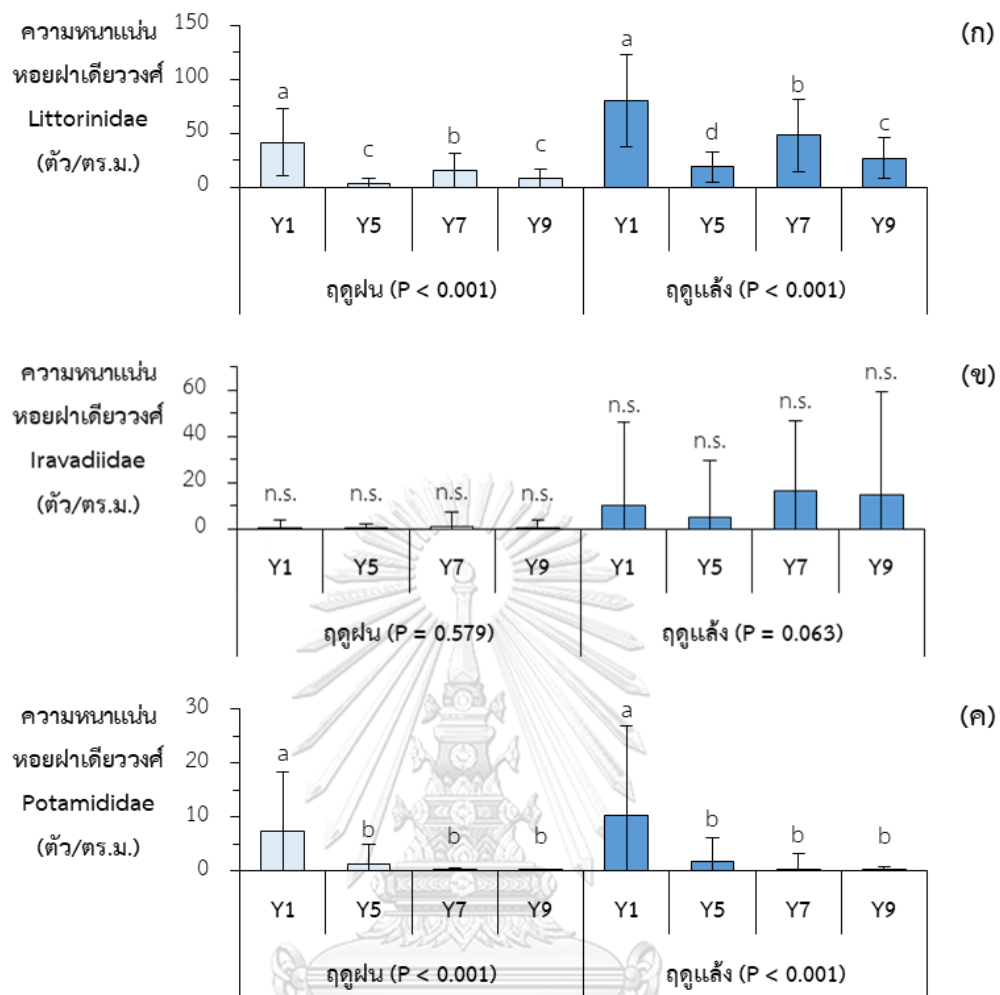
ภาพที่ 53 ความหนาแน่นหอยฝาเดียวเฉลี่ยที่กินซากใบไม้ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.0001$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan

ในฤดูฝน แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 มีสัดส่วนความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ ทั้ง 3 วงศ์นี้รวมกันร้อยละ 31.7, 2.9, 9.0 และ 4.3 ของความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดตามลำดับ ในขณะที่ฤดูแล้งมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 49.6, 21.0, 44.8 และ 33.8 ของความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้แตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $P < 0.001$) โดยฤดูแล้งมีความหนาแน่นหอยฝาเดียวที่กินซากใบไม้สูงกว่าฤดูฝน และพบว่าสัดส่วนหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้และหอยฝาเดียววงศ์อื่น ๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งฤดูฝน (χ^2 Test, $P < 0.001$) และฤดูแล้ง (χ^2 Test, $P < 0.001$) (ภาพที่ 54)



ภาพที่ 54 สัดส่วนความหนาแน่นหอยฝาเดียวระหว่างวงศ์ที่กินซากใบไม้และวงศ์อื่น ๆ ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

เมื่อพิจารณาเฉพาะความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้แต่ละวงศ์ ($n = 120$) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่าในฤดูฝนและฤดูแล้งความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae (ANOVA, $P < 0.001$ และ $P < 0.001$) และ Potamididae (ANOVA, $P < 0.001$ และ $P < 0.001$) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง โดยแปลง Y1 มีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae และ Potamididae สูงที่สุดทั้งสองฤดู ในขณะที่ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Iravadiidae ไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในฤดูฝน (ANOVA, $P = 0.761$) และฤดูแล้ง (ANOVA, $P = 0.316$) นอกจากนี้ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae และ Iravadiidae แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $P < 0.001$) โดยฤดูแล้งมีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae และ Iravadiidae สูงกว่าฤดูฝน (ภาพที่ 55)



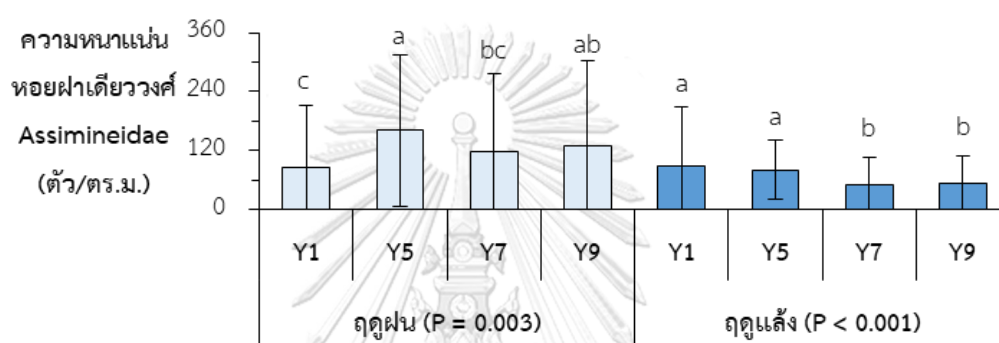
ภาพที่ 55 ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ (ก) Littorinidae, (ข) Iravadiidae และ (ค) Potamididae ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD)

ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan

และ n.s. คือ ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

หอยฝาเดียว *Optedicerus breviculum* วงศ์ Assimineidae มีความหนาแน่นสูงในระบบนิเวศป่าชายเลน (Imamsyah et al., 2020; Suzuki et al., 2002) ซึ่งผลการศึกษาคั้งนี้พบว่าแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 มีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae ร้อยละ 50.0, 78.4, 57.5 และ 62.8 ของความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดตามลำดับ ในขณะที่ฤดูแล้งมีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae ลดลงเหลือร้อยละ 43.2, 66.7, 36.9 และ 43.3 ของความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งร้อยละความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae มีค่าน้อย 1 ใน 3 ของความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมด เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียว

วงศ์ Assimineidae แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในฤดูฝน (ANOVA, $P = 0.003$) และฤดูแล้ง (ANOVA, $P < 0.001$) โดยแปลง Y1 มีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae ต่ำที่สุดในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 86.6 ± 126.9 ตัว/ตร.ม. แต่กลับมีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae สูงที่สุดในช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 87.9 ± 121.7 ตัว/ตร.ม. นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae แตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $P < 0.001$) โดยในฤดูฝนมีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae สูงกว่าฤดูแล้ง (ภาพที่ 56)



ภาพที่ 56 ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ย (\pm SD) ในฤดูเดียวกันที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan

4.3.5 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับหอยฝาเดียว

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหลากหลาย (H') ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Iravadiidae, Potamididae, Assimineidae, วงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด และหอยฝาเดียวทั้งหมดกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเค็มน้ำในดิน และความต่างศักย์ไฟฟ้า (Eh) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 รวมสองฤดู ($n = 96$) พบสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae ($P = 0.005$), Iravadiidae ($P = 0.013$) และ H' ($P = 0.008$) กับความเค็มน้ำในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae ($P = 0.002$) และหอยฝาเดียวทั้งหมด ($P = 0.005$) มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความเค็มน้ำในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae ($P = 0.045$), Iravadiidae ($P = 0.040$) และ H' ($P = 0.006$) กับอุณหภูมิอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae ($P = 0.012$) และหอยฝาเดียวทั้งหมด ($P = 0.043$) มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ และพบสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae กับอุณหภูมิดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.047$) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's correlation coefficient, r) ระหว่างความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Iravadiidae, Potamididae, Assimineidae, หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด, หอยฝาเดียวทั้งหมด และดัชนีความหลากหลายหอยฝาเดียว (H') กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเค็มน้ำในดิน และความต่างศักย์ไฟฟ้า (Eh) ของดินในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิดิน (°C)	Eh (eV)	ความเค็ม น้ำในดิน (ppt)
ความหนาแน่นของ				
- หอยฝาเดียวทั้งหมด	-0.207*	-0.261*	0.055	-0.287**
- หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด	0.240*	0.167	0.119	0.332**
- วงศ์ Littorinidae	0.205*	0.145	0.129	0.282**
- วงศ์ Iravadiidae	0.210*	0.100	-0.011	0.252*
- วงศ์ Potamididae	0.001	0.100	0.122	0.098
- วงศ์ Assimineidae	-0.256*	-0.270**	0.149	-0.308**
H'	0.280**	0.136	0.094	0.267**

* หรือ ** คือ สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Iravadiidae, Assimineidae, หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด, หอยฝาเดียวทั้งหมด และดัชนีความหลากหลายหอยฝาเดียว (H') กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความเค็มน้ำในดินในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 รวมสองฤดู ($n = 96$) พบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae ($P = 0.001$), Iravadiidae ($P = 0.009$) และหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด ($P = 0.008$) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็มน้ำในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Assimineidae ($P = 0.017$) และหอยฝาเดียวทั้งหมด ($P = 0.002$) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเค็มน้ำในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน H' มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเค็มน้ำในดินและอุณหภูมิอากาศ

($P = 0.003$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย B_0 และ B_2 ในสมการที่ 1 ($B_0, P = 0.009$; $B_2, P = 0.017$) และ 5 ($B_0, P = 0.007$; $B_2, P = 0.013$) ทำให้ B_0 ส่งผลเชิงบวก และความเค็มน้ำในดินส่งผลเชิงลบต่อความหนาแน่นของหอยฝาเดียวทั้งหมดและวงศ์ Assimineidae อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ ส่วน B_2 ในสมการที่ 2 ($P = 0.020$), 3 ($P = 0.046$) และ 4 ($P = 0.005$) ทำให้ความเค็มส่งผลเชิงบวกต่อความหนาแน่นของหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ วงศ์ Littorainidae และ Iravadiidae อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ ในขณะที่ B_1 ($P = 0.031$) และ B_2 ($P = 0.048$) ในสมการที่ 6 ทำให้อุณหภูมิอากาศและความเค็มน้ำในดินส่งผลเชิงบวกต่อ H' อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis) ระหว่างความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae, Iravadiidae, Assimineidae, หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด, หอยฝาเดียวทั้งหมด และดัชนีความหลากหลายหอยฝาเดียว (H') กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศและความเค็มน้ำในดิน ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

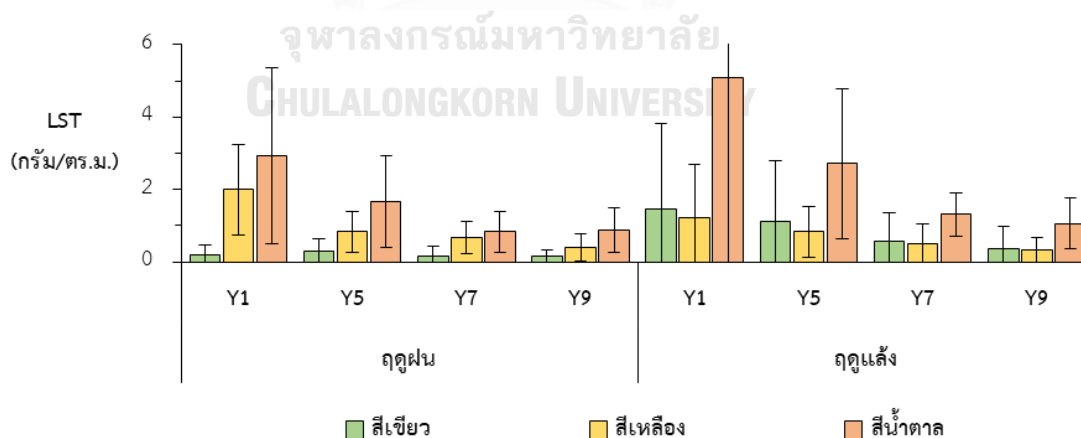
		สมการความสัมพันธ์	R^2	P
สมการที่	y	รูปแบบสมการ $= B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2$		
ความหนาแน่นของ				
1	- หอยฝาเดียวทั้งหมด	$= 479.440 - 8.081 \cdot x_1 - 3.611 \cdot x_2$	0.100	0.008
2	- หอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด	$= - 108.198 + 3.849 \cdot x_1 + 1.696 \cdot x_2$	0.133	0.001
3	- Littorinidae	$= - 71.834 + 2.671 \cdot x_1 + 1.172 \cdot x_2$	0.097	0.009
4	- Iravadiidae	$= - 40.507 + 1.278 \cdot x_1 + 0.435 \cdot x_2$	0.084	0.017
5	- Assimineidae	$= 520.103 - 11.601 \cdot x_1 - 3.978 \cdot x_2$	0.126	0.002
6	H'	$= - 0.533 + 0.043^* \cdot x_1 + 0.010^* \cdot x_2$	0.117	0.003

เมื่อ y_n หมายถึงตัวแปรตามแต่ละตัว, B_n หมายถึงค่าคงที่ ($n=0$) และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการแต่ละตัว, x_1 และ x_2 หมายถึงตัวแปรอุณหภูมิอากาศและความเค็มน้ำในดินตามลำดับ

4.4 การบริโภคซากใบไม้ที่ร่วงหล่นโดยหอยฝาเดียว

4.4.1 การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (leaf litter stock, LST)

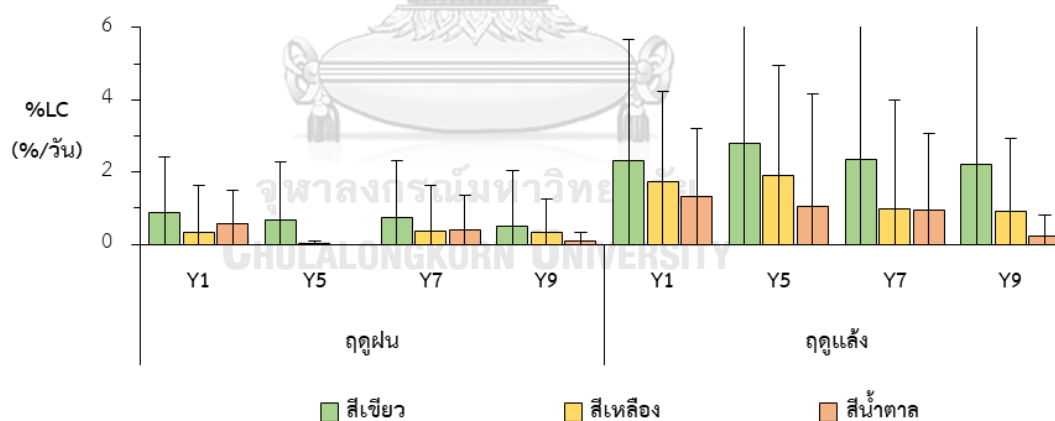
ผลการศึกษาการบริโภคซากใบไม้ที่ร่วงหล่นโดยหอยฝาเดียวในช่วงเวลาเดียวกับการศึกษาสังคมหอยฝาเดียว ในส่วนการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า ($n = 15$) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่าการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าทั้งหมดแตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในฤดูฝน (ANOVA, $P < 0.001$) และฤดูแล้ง (ANOVA, $P = 0.003$) โดยแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าทั้งหมดสูงที่สุดต่างจากแปลง Y5, Y7 และ Y9 ตามลำดับทั้งสองฤดู เมื่อพิจารณาการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าแต่ละสปีชีพบว่าฤดูฝนมีการสะสมซากใบไม้สี่เหลี่ยม (ANOVA, $P < 0.001$) และสีน้ำตาล (ANOVA, $P < 0.001$) บนพื้นป่าแตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับฤดูแล้งที่การสะสมซากใบไม้สี่เหลี่ยม (ANOVA, $P = 0.037$) สีน้ำตาล (ANOVA, $P = 0.028$) บนพื้นป่าแตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแปลง Y1 มีการสะสมซากใบไม้สี่เหลี่ยมและสีน้ำตาลบนพื้นป่าสูงที่สุดทั้งสองฤดู ส่วนการสะสมซากใบไม้สีเขียวบนพื้นป่าไม่แตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P = 0.457$) นอกจากนี้การสะสมซากใบไม้แต่ละสปีชีบนพื้นป่าแตกต่างกันทั้งในแปลง Y1 (ANOVA, $P = 0.002$), Y5 (ANOVA, $P < 0.001$), Y7 (ANOVA, $P < 0.001$) และ Y9 (ANOVA, $P < 0.001$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสะสมซากใบไม้สีน้ำตาลบนพื้นป่ามากที่สุดทุกแปลง การสะสมซากใบไม้สีเขียวเท่านั้นที่แตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $P = 0.001$) โดยฤดูแล้งมีการสะสมซากใบไม้สีเขียวบนพื้นป่าสูงกว่าฤดูฝน (ภาพที่ 57)



ภาพที่ 57 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) การสะสมซากใบไม้สีเขียว เหลือง และน้ำตาลบนพื้นป่า ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

4.4.2 ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (% leaf litter consumption, %LC)

ร้อยละซากใบไม้สีเขียว สีเหลือง และสีน้ำตาลที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวชุดควบคุมในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับศูนย์ทั้งหมดแตกต่างจากชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $P < 0.001$) ส่วนชุดทดลองในช่วงฤดูฝนร้อยละซากใบไม้ทั้งสีเขียว (ANOVA, $P = 0.945$) สีเหลือง (ANOVA, $P = 0.781$) สีน้ำตาล (ANOVA, $P = 0.144$) และเฉลี่ยทุกสี (ANOVA, $P = 0.824$) ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวไม่แตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับช่วงฤดูแล้งที่ร้อยละซากใบไม้ทั้งสีเขียว (ANOVA, $P = 0.988$) สีเหลือง (ANOVA, $P = 0.658$) สีน้ำตาล (ANOVA, $P = 0.540$) และเฉลี่ยทุกสี (ANOVA, $P = 0.970$) ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวไม่แตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาร้อยละซากใบไม้แต่ละสีที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว พบว่าร้อยละซากใบไม้แต่ละสีที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวในแปลง Y1 (ANOVA, $P = 0.551$), Y5 (ANOVA, $P = 0.389$), Y7 (ANOVA, $P = 0.231$) และ Y9 (ANOVA, $P = 0.151$) ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามร้อยละซากใบไม้ทั้งสีเขียว (t-test, $P = 0.008$) สีเหลือง (t-test, $P = 0.004$) สีน้ำตาล (t-test, $P = 0.044$) และเฉลี่ยทุกสี (t-test, $P = 0.002$) ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฤดูแล้งมีร้อยละซากใบไม้ทั้งสีเขียว สีเหลือง สีน้ำตาล และเฉลี่ยทุกสีที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวสูงกว่าฤดูฝน (ภาพที่ 58)

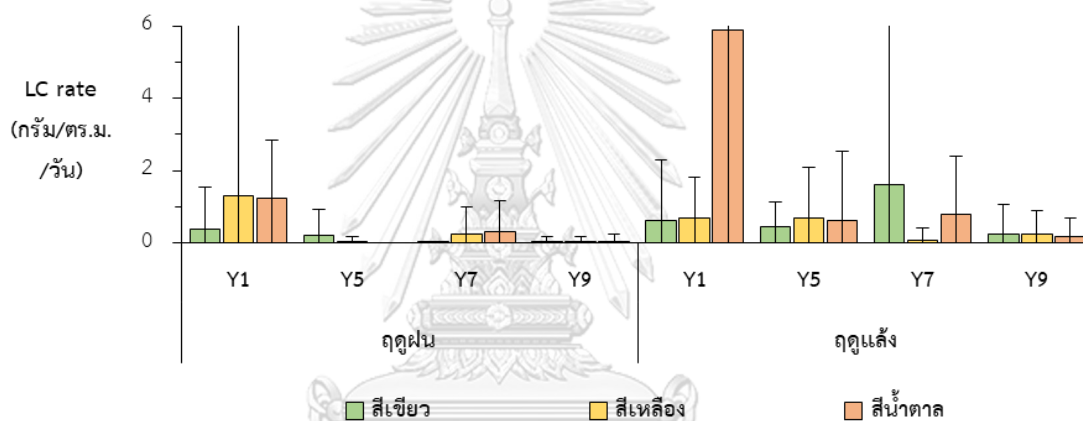


ภาพที่ 58 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) ร้อยละซากใบไม้สีเขียว เหลือง และน้ำตาลที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

4.4.3 อัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว (leaf litter consumption rate, LC rate)

ช่วงฤดูฝนอัตราการกินซากใบไม้ทั้งสีเขียว (ANOVA, $P = 0.520$) สีเหลือง (ANOVA, $P = 0.514$) และรวมทุกสี (ANOVA, $P = 0.085$) โดยหอยฝาเดียวไม่ต่างกันระหว่างแปลง แต่อัตราการกินซากใบไม้สีน้ำตาลโดยหอยฝาเดียวแตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(ANOVA, $P = 0.005$) โดยแปลง Y1 มีอัตราการกินซากใบไม้สีน้ำตาลโดยหอยฝาเดียวสูงที่สุดต่างจากแปลง Y5, Y7 และ Y9 ที่มีค่าลดหลั่นลงมาตามลำดับ ส่วนฤดูแล้งมีอัตราการกินซากใบไม้ทั้งสีเขียว (ANOVA, $P = 0.717$) สีเหลือง (ANOVA, $P = 0.221$) สีน้ำตาล (ANOVA, $P = 0.142$) และรวมทุกสี (ANOVA, $P = 0.121$) ไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวแต่ละสีพบว่าอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวในแปลง Y1 (ANOVA, $P = 0.168$), Y5 (ANOVA, $P = 0.975$), Y7 (ANOVA, $P = 0.581$) และ Y9 (ANOVA, $P = 0.962$) ไม่ต่างกันระหว่างสีของซากใบไม้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้อัตราการกินซากใบไม้ทั้งสีเขียว (t-test, $P = 0.221$) สีเหลือง (t-test, $P = 0.988$) สีน้ำตาล (t-test, $P = 0.172$) และรวมทุกสี (t-test, $P = 0.176$) โดยหอยฝาเดียวไม่ต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 59)



ภาพที่ 59 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) อัตราการกินซากใบไม้สีเขียว เหลือง และน้ำตาลโดยหอยฝาเดียว ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.4 อัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวและความหนาแน่นหอยฝาเดียว

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว และอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวกับความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดและหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ (Littorinidae, Irvadiidae และ Potamididae) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 รวมสองฤดู ($n = 30$) พบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงลบเฉพาะกับการสะสมซากใบไม้สีเหลือง ($P = 0.014$) บนพื้นป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 9)

ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับการสะสมซากใบไม้สีเขียว ($P = 0.033$) สีน้ำตาล ($P = 0.004$) และรวมทุกสี ($P = 0.005$) บนพื้นป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับร้อยละซากใบไม้สีเขียว ($P = 0.007$) สีเหลือง ($P = 0.020$) สีน้ำตาล ($P = 0.032$) และเฉลี่ยทุกสี

($P = 0.001$) ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ความหนาแน่นหอยฝาเดียว วงศ์ที่กินซากใบไม้มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการกินซากใบไม้สีน้ำตาล ($P = 0.007$) และรวมทุกสี ($P = 0.001$) โดยหอยฝาเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's correlation coefficient) ระหว่าง LST, %LC และ LC rate กับความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดและหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้ง 3 วงศ์ ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ทั้งสองฤดู ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

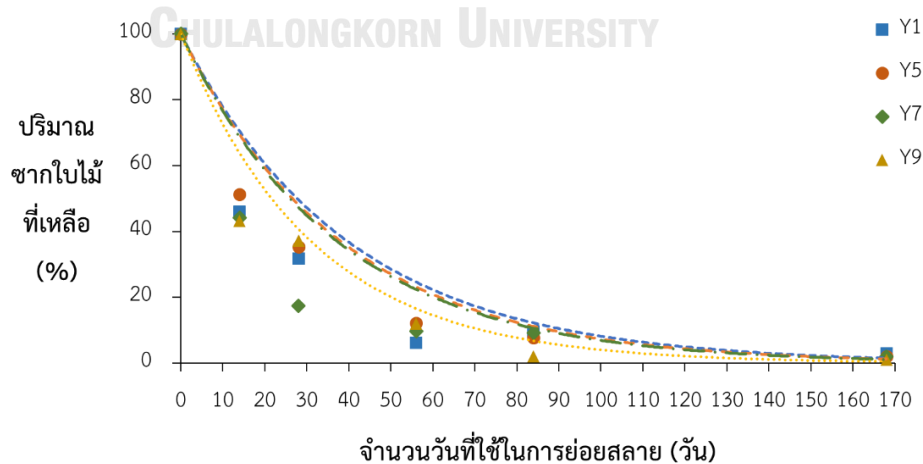
ความหนาแน่นของหอยฝาเดียว (ตัว/ตร.ม.)					
	วงศ์ Littorinidae	วงศ์ Iravadiidae	วงศ์ Potamididae	วงศ์ที่กิน ซากใบไม้	ทั้งหมด
LST (กรัม/ตร.ม.)					
- สีเขียว	0.206*	0.028	0.134	0.195*	-0.120
- สีเหลือง	0.204*	-0.104	0.244**	0.163	-0.224*
- สีน้ำตาล	0.280**	-0.002	0.235**	0.259**	-0.113
- รวมทุกสี	0.278**	-0.015	0.238**	0.253**	-0.149
%LC (%/วัน)					
- สีเขียว	0.203*	0.268**	-0.007	0.262**	0.141
- สีเหลือง	0.213*	0.095	0.074	0.216*	-0.022
- สีน้ำตาล	0.210*	0.068	0.074	0.203*	-0.002
- เฉลี่ยทุกสี	0.324**	0.213*	0.008	0.345**	0.109
LC rate (กรัม/ตร.ม./วัน)					
- สีเขียว	0.098	-0.041	0.033	0.071	-0.045
- สีเหลือง	0.234*	-0.054	0.012	0.168	-0.097
- สีน้ำตาล	0.303**	-0.010	0.105	0.252**	-0.098
- รวมทุกสี	0.402**	-0.066	0.116	0.324**	-0.138

* และ ** คือ สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้แยกย่อยแต่ละวงศ์พบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Littorinidae มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับการสะสมซากใบไม้สีเขียว ($P = 0.024$) สีเหลือง ($P = 0.025$) สีนํ้าตาล ($P = 0.002$) และรวมทุกสี ($P = 0.002$) บนพื้นป่า ร้อยละซากใบไม้สีเขียว ($P = 0.038$) สีเหลือง ($P = 0.022$) สีนํ้าตาล ($P = 0.027$) และเฉลี่ยทุกสี ($P = 0.001$) โดยหอยฝาเดียว และอัตราการกินซากใบไม้สีเหลือง ($P = 0.011$) สีนํ้าตาล ($P = 0.001$) และรวมทุกสี ($P < 0.001$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Irvadiidae มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับร้อยละซากใบไม้สีเขียว ($P = 0.006$) และเฉลี่ยทุกสี ($P = 0.037$) ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ Potamididae มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับการสะสมซากใบไม้สีเหลือง ($P = 0.007$) สีนํ้าตาล ($P = 0.010$) และรวมทุกสี ($P = 0.009$) บนพื้นป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น (ตารางที่ 9)

4.5 อัตราการย่อยสลายซากใบไม้

การย่อยสลายซากใบไม้ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่าเกิดการย่อยสลายซากใบไม้อย่างรวดเร็วมากกว่าร้อยละ 60-80 ในช่วงประมาณ 4 สัปดาห์แรกของการทดลอง (25 พฤษภาคม - 22 มิถุนายน พ.ศ. 2563) โดยมีปริมาณซากใบไม้ที่เหลือในถุงซากพืชร้อยละ 31.67, 35.37, 17.37 และ 37.18 ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ตามลำดับ หลังจากผ่านไป 8 สัปดาห์ (25 พฤษภาคม - 22 สิงหาคม พ.ศ. 2563) ปริมาณซากใบไม้ที่เหลือจากการย่อยสลายของแต่ละแปลงลดลงเหลือร้อยละ 6.13, 12.12, 9.62 และ 12.06 ตามลำดับ หลังจากนั้นการย่อยสลายซากใบไม้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จนมีปริมาณซากใบไม้เหลือเพียงร้อยละ 2.97, 1.99, 1.96 และ 0.98 ในสัปดาห์ที่ 24 (14 ธันวาคม พ.ศ. 2563) ตามลำดับ (ภาพที่ 60)



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซากใบไม้ที่เหลือในถุงซากพืช (%) กับจำนวนวันที่ใช้ย่อยสลายซากใบไม้ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซากใบไม้ที่เหลือในถุงซากพืช (y) กับจำนวนวันที่ใช้ย่อยสลายซากใบไม้ (t) โดยการสร้างสมการถดถอยแบบ negative single exponential จนได้สมการการย่อยสลายซากใบไม้บนผิวดินของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่าสัมประสิทธิ์อัตราการย่อยสลายซากใบไม้ (k) มีค่าเท่ากับ 0.025 ($R^2 = 0.8077$, $P = 0.015$), 0.026 ($R^2 = 0.9507$, $P = 0.001$), 0.027 ($R^2 = 0.8900$, $P = 0.005$) และ 0.032 ($R^2 = 0.8927$, $P = 0.004$) ตามลำดับ โดยแปลง Y9 ซึ่งมีอายุน้อยที่สุดมีอัตราการย่อยสลายซากใบไม้เร็วที่สุด ในขณะที่แปลง Y7, Y5 และ Y1 มีอัตราการย่อยสลายซากใบไม้เร็วลดหลั่นลงมาตามลำดับ (ตารางที่ 10)

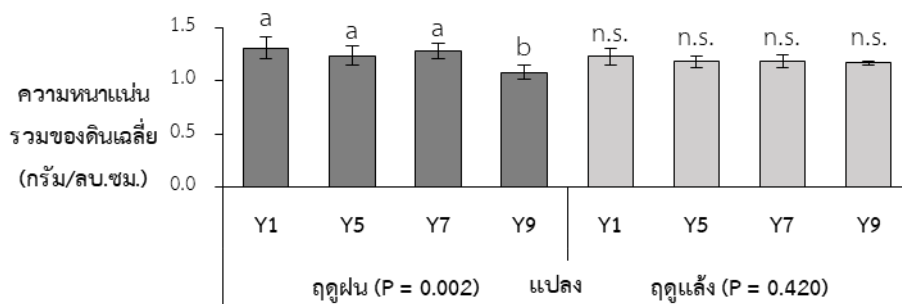
ตารางที่ 10 สมการการย่อยสลายซากใบไม้บนผิวดินของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในรูปสมการทั่วไปซึ่ง $y = 100 \cdot e^{-kt}$ เมื่อ y คือ ปริมาณซากใบไม้ที่เหลือ, t คือ จำนวนวันที่ใช้ในการย่อยสลาย และ k คือ สัมประสิทธิ์อัตราการย่อยสลายซากใบไม้

แปลง	สมการการย่อยสลายซากใบไม้	R^2	P
Y1	$y = 100 \cdot e^{-0.025t}$	0.808	0.015
Y5	$y = 100 \cdot e^{-0.026t}$	0.951	0.001
Y7	$y = 100 \cdot e^{-0.027t}$	0.890	0.005
Y9	$y = 100 \cdot e^{-0.032t}$	0.893	0.004

4.6 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน

4.6.1 ความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดินในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝน (สิงหาคม พ.ศ. 2563) มีความหนาแน่นรวมของดินแตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P = 0.002$) โดยความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยในแปลง Y9 มีค่าต่ำที่สุดต่างจากแปลง Y1, Y5 และ Y7 ขณะที่ฤดูแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2564) มีความหนาแน่นรวมของดินไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P = 0.420$) นอกจากนี้ความหนาแน่นรวมของดินไม่ต่างกันระหว่างฤดู (t-test, $P = 0.265$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 61)

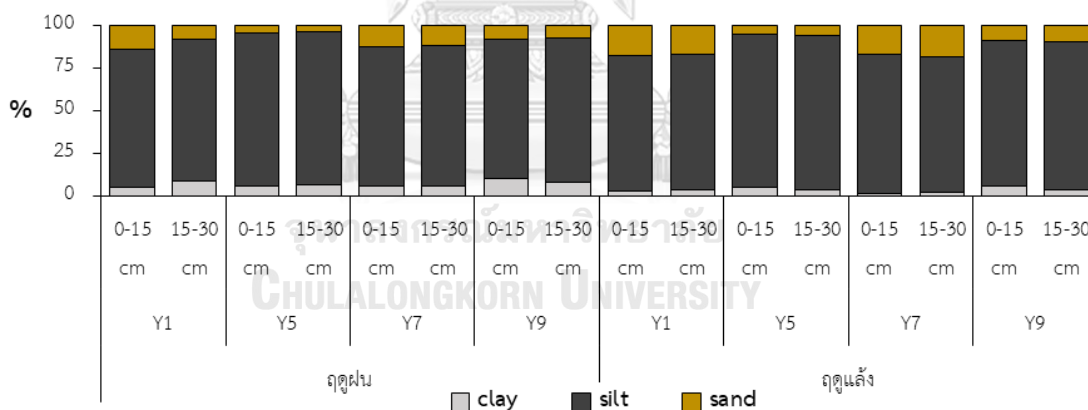


ภาพที่ 61 ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ย (\pm SD)

ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

4.6.2 ลักษณะเนื้อดิน

เมื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดินด้วยภาพสามเหลี่ยมแสดงเนื้อดิน (soil texture triangle) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่าในฤดูฝนดินมีลักษณะเนื้อดินประเภทดินทรายแป้ง (silt) ทั้งหมด ส่วนในฤดูแล้งดินส่วนใหญ่ยังคงมีลักษณะเนื้อดินประเภทดินทรายแป้ง (silt) ยกเว้นดินแปลง Y1 ความลึก 0-15 ซม. และแปลง Y7 ความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ที่มีลักษณะเนื้อดินประเภทดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) (ภาพที่ 62)



ภาพที่ 62 สัดส่วนอนุภาค ดินเหนียว (clay) ทรายแป้ง (silt) และทราย (sand)

ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อดินจากสัดส่วนอนุภาค ดินเหนียว (clay) ทรายแป้ง (silt) และทราย (sand) ระหว่างระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. พบว่าช่วงฤดูฝนแปลง Y1 มีสัดส่วนอนุภาค clay (t-test, $P = 0.006$) และ sand (t-test, $P = 0.011$) แตกต่างกันระหว่างความลึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแปลง Y1 สัดส่วนอนุภาค clay ที่ระดับความลึก 15-30 ซม. สูงกว่า 0-15 ซม. แต่สัดส่วนอนุภาค sand ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. สูงกว่า 15-30 ซม. ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งมี

สัดส่วนอนุภาค clay, silt และ sand ทุกแปลงไม่ต่างระหว่างระดับความลึก (ตารางที่ 11 และภาพที่ 62)

ตารางที่ 11 สัดส่วนอนุภาค clay, silt และ sand ระหว่างดินความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 และผลทดสอบความแตกต่างสัดส่วนอนุภาคดินระหว่างระดับความลึก ด้วย t-test

แปลง	อนุภาค	สัดส่วนอนุภาคเฉลี่ย (%) ฤดูฝน			สัดส่วนอนุภาคเฉลี่ย (%) ฤดูแล้ง		
		0-15 ซม.	15-30 ซม.	P	0-15 ซม.	15-30 ซม.	P
Y1	clay	4.96 ± 1.10	8.60 ± 1.89	0.006*	2.64 ± 1.65	3.12 ± 1.74	0.667
	silt	81.46 ± 1.17	83.52 ± 3.64	0.263	80.00 ± 4.26	80.30 ± 2.03	0.891
	sand	13.62 ± 1.46	7.94 ± 3.57	0.011*	17.36 ± 3.12	16.58 ± 2.34	0.666
Y5	clay	5.90 ± 1.10	6.68 ± 1.79	0.430	4.66 ± 1.23	3.54 ± 2.53	0.399
	silt	89.78 ± 2.30	89.48 ± 4.14	0.891	90.40 ± 3.24	90.46 ± 3.61	0.979
	sand	4.34 ± 3.06	3.86 ± 2.96	0.807	4.98 ± 3.13	5.98 ± 4.21	0.681
Y7	clay	6.04 ± 1.37	5.90 ± 0.81	0.849	1.18 ± 0.84	1.82 ± 1.55	0.440
	silt	81.86 ± 2.37	82.64 ± 2.64	0.637	82.12 ± 2.92	80.08 ± 1.21	0.188
	sand	12.10 ± 2.24	11.48 ± 2.98	0.719	16.70 ± 3.03	18.12 ± 1.49	0.375
Y9	clay	9.92 ± 3.27	8.14 ± 0.90	0.274	5.46 ± 2.82	3.62 ± 1.72	0.249
	silt	82.14 ± 3.66	84.66 ± 3.77	0.315	85.44 ± 5.71	87.10 ± 6.59	0.682
	sand	7.92 ± 2.85	7.20 ± 2.96	0.705	9.08 ± 5.70	9.30 ± 6.96	0.958

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างสัดส่วนอนุภาค clay, silt และ sand ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่าช่วงฤดูฝนสัดส่วนอนุภาค clay, silt และ sand ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอนุภาค clay ที่ความลึก 0-15 ซม. แปลง Y1, Y5 และ Y7 มีค่าเฉลี่ยไม่ต่างกัน แต่ต่างจาก Y9 ที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ส่วนที่ความลึก 15-30 ซม. แปลง Y7 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดต่างจากแปลง Y1 และ Y9 รองลงมาคือแปลง Y5 ที่ไม่ต่างจากทั้งแปลง Y1, Y7 และ Y9 ต่อมาอนุภาค silt ทั้งความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. แปลง Y5 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดต่างจากแปลง Y1, Y7 และ Y9 สุดท้ายอนุภาค sand ที่ความลึก 0-15 ซม. แปลง Y5 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด รองลงมาคือแปลง Y9 ถัดมาคือแปลง Y1 และ Y7 โดยทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน ส่วนที่ความลึก 15-30 ซม. แปลง Y5 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด

เช่นกันต่างจากแปลง Y7 ที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ในขณะที่แปลง Y1 และ Y9 มีค่าเฉลี่ยไม่ต่างกันและไม่ต่างจาก Y5 และ Y7 (ตารางที่ 12 และภาพที่ 62)

ส่วนในฤดูแล้งสัดส่วนอนุภาค clay, silt และ sand ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. แตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นสัดส่วนอนุภาค clay ที่ความลึก 15-30 ซม. และอนุภาค silt ที่ความลึก 0-15 ซม. โดยสัดส่วนอนุภาค clay ความลึก 15-30 ซม. ของแปลง Y9 มากที่สุดและแปลง Y1 น้อยที่สุด ส่วนอนุภาค silt ที่ความลึก 0-15 ซม. ของแปลง Y1 และ Y7 อยู่ในกลุ่มเดียวกันซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าแปลง Y5 และ Y9 ส่วนอนุภาค sand ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ของแปลง Y1 และ Y7 อยู่ในกลุ่มเดียวกันซึ่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าแปลง Y5 และ Y9 (ตารางที่ 12 และภาพที่ 62)

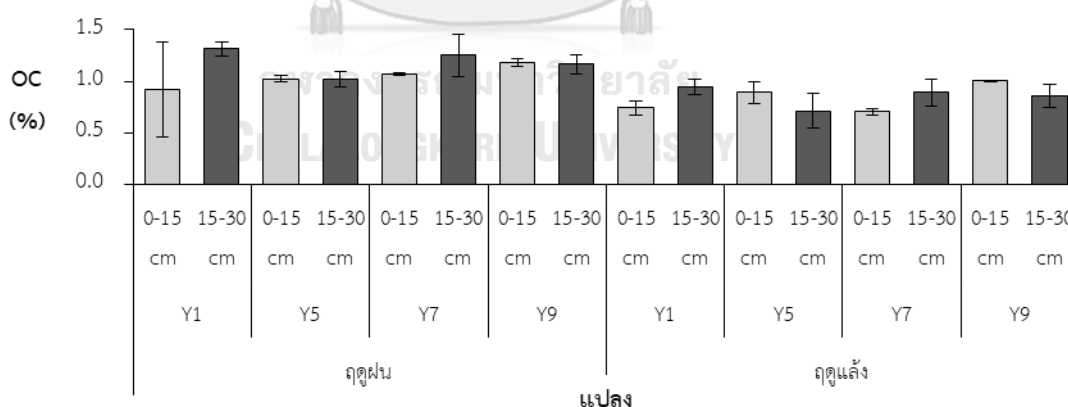
ตารางที่ 12 สัดส่วนอนุภาค clay, silt และ sand ระหว่างแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในดินที่ความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งด้วย One-way ANOVA โดย a, b และ c คือค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test แบบ Duncan และ n.s. คือ ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ฤดู	อนุภาค	ความลึก (ซม.)	สัดส่วนอนุภาคเฉลี่ย (%)				P
			Y1	Y5	Y7	Y9	
ฝน	clay	0-15	4.96±1.10 ^b	5.90±1.10 ^b	6.04±1.37 ^b	9.92±3.27 ^a	0.005
		15-30	8.60±1.89 ^a	6.68±1.79 ^{ab}	5.90±0.81 ^b	8.14±0.90 ^a	0.030
	silt	0-15	81.46±1.17 ^b	89.78±2.30 ^a	81.86±2.37 ^b	82.14±3.66 ^b	<0.001
		15-30	83.52±3.64 ^b	89.48±4.14 ^a	82.64±2.64 ^b	84.66±3.77 ^b	0.037
	sand	0-15	13.62±1.46 ^a	4.34±3.06 ^c	12.10±2.24 ^a	7.92±2.85 ^b	<0.001
		15-30	7.94±3.57 ^{ab}	3.86±2.96 ^b	11.48±2.98 ^a	7.20±2.96 ^{ab}	0.012
แล้ง	clay	0-15	2.64±1.65 ^{bc}	4.66±1.23 ^{ab}	1.18±0.84 ^c	5.46±2.82 ^a	0.007
		15-30	3.12±1.74 ^{n.s.}	3.54±2.53 ^{n.s.}	1.82±1.55 ^{n.s.}	3.62±1.72 ^{n.s.}	0.445
	silt	0-15	80.00±4.26 ^{n.s.}	90.40±3.24 ^{n.s.}	82.12±2.92 ^{n.s.}	85.44±5.71 ^{n.s.}	0.103
		15-30	80.30±2.03 ^b	90.46±3.61 ^a	80.08±1.21 ^b	87.10±6.59 ^a	0.001
	sand	0-15	17.36±3.12 ^a	4.98±3.13 ^b	16.70±3.03 ^a	9.08± 5.70 ^b	<0.001
		15-30	16.58±2.34 ^a	5.98±4.21 ^b	18.12±1.49 ^a	9.30 ± 6.96 ^b	0.001

4.6.3 ร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon, %OC)

ร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดินของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ในฤดูฝนที่ระดับความลึก 0-15 ซม. มีค่าเท่ากับ 0.92, 1.02, 1.07, และ 1.18 % ตามลำดับ ส่วนระดับความลึก 15-30 ซม. มีค่าเท่ากับ 1.32, 1.02, 1.25, และ 1.17 % ตามลำดับ ขณะที่ฤดูแล้งที่ความลึก 0-15 ซม. มีค่าเท่ากับ 0.74, 0.89, 0.70, และ 1.00 % ตามลำดับ ส่วนระดับความลึก 15-30 ซม. มีค่าเท่ากับ 0.94, 0.71, 0.89, และ 0.86 % ตามลำดับ (ภาพที่ 63)

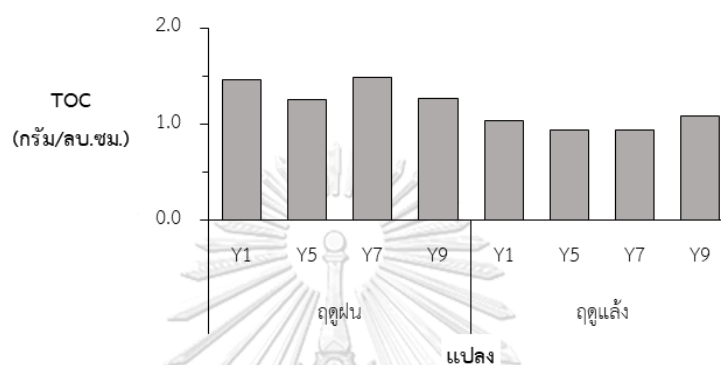
เมื่อพิจารณา %OC ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. พบว่าช่วงฤดูฝน %OC ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. (ANOVA, $P = 0.607$) และ 15-30 ซม. (ANOVA, $P = 0.080$) ไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนฤดูแล้ง %OC ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. แตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P = 0.002$) โดย %OC มีปริมาณสูงและต่ำที่สุดในแปลง Y9 และ Y7 ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณ %OC ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. (t-test, $P = 0.009$) และ 15-30 ซม. (t-test, $P < 0.001$) แตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยฤดูฝนมีค่า %OC เฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. เท่ากับ 1.05 % และ 1.19 % ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าฤดูแล้งที่มีค่า %OC เฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. เท่ากับ 0.83 % และ 0.85 % ตามลำดับ สำหรับในฤดูแล้ง แปลง Y1 มี %OC แตกต่างระหว่างความลึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $P = 0.024$) โดย %OC ที่ระดับความลึก 15-30 ซม. มีค่าสูงกว่าความลึก 0-15 ซม. (ภาพที่ 63)



ภาพที่ 63 ร้อยละสารประกอบอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon, %OC) ค่าเฉลี่ย (\pm SD) ที่ความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

4.6.4 สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน (total organic carbon, TOC)

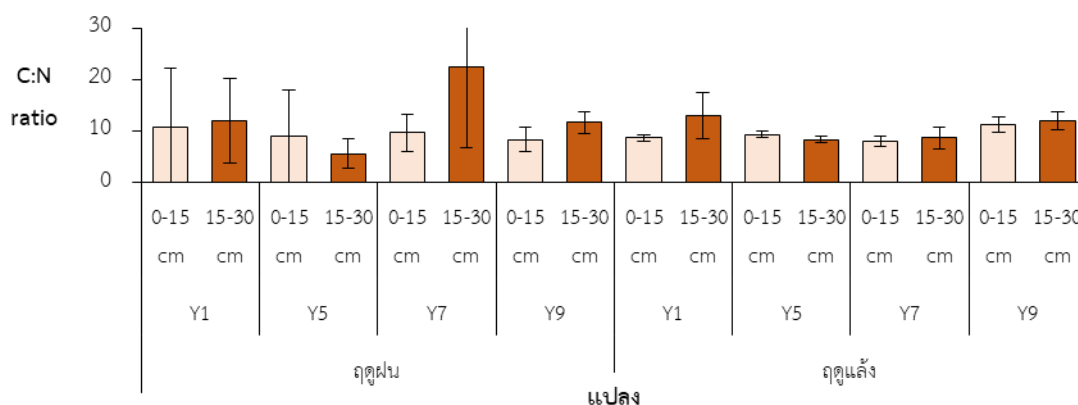
สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 เฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-30 ซม. ในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 1.47, 1.26, 1.49 และ 1.27 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ ขณะที่ในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 1.04, 0.95, 0.95 และ 1.09 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของทุกแปลงในฤดูฝนเท่ากับ 1.37 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งมากกว่าในฤดูแล้งที่มี TOC เฉลี่ยของทุกแปลงเท่ากับ 1.00 กรัม/ลบ.ซม. (ภาพที่ 64)



ภาพที่ 64 สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินเฉลี่ย (\pm SD) ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 เฉลี่ยที่ระดับความลึก 0-30 ซม. ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

4.6.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน (C:N ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนที่ระดับความลึก 0-15 ซม. มีค่าเท่ากับ 10.67, 9.00, 9.67, และ 8.33 ตามลำดับ ส่วนระดับความลึก 15-30 ซม. มีค่าเท่ากับ 12.00, 5.67, 22.33, และ 11.67 ตามลำดับ ขณะที่ช่วงฤดูแล้งที่ระดับความลึก 0-15 ซม. มีค่าเท่ากับ 8.67, 9.33, 8.00, และ 11.33 ตามลำดับ ส่วนระดับความลึก 15-30 ซม. มีค่าเท่ากับ 13.00, 8.33, 8.67, และ 12.00 ตามลำดับ โดยช่วงฤดูฝนมีค่า C:N ratio ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. (ANOVA, $P = 0.983$) และ 15-30 ซม. (ANOVA, $P = 0.226$) ไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนช่วงฤดูแล้งมีค่า C:N ratio ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. แตกต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P = 0.017$) ซึ่ง C:N ratio มีค่ามากที่สุดใ้แปลง Y9 เท่ากับ 11.33 ต่างจากแปลง Y5, Y1 และ Y7 ที่มีค่าลดลงมาเท่ากับ 9.33, 8.67 และ 8.33 ตามลำดับ นอกจากนี้ C:N ratio ไม่ต่างกันระหว่างระดับความลึกและระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 65)

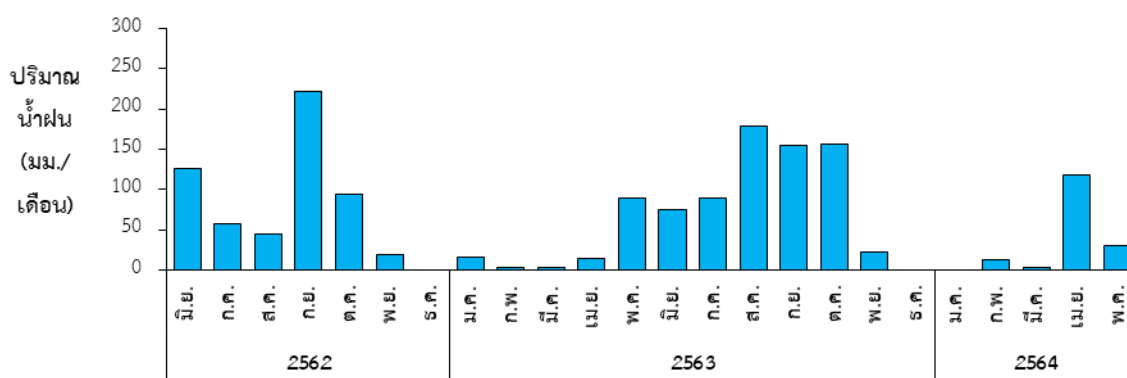


ภาพที่ 65 อัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน (C:N ratio) ค่าเฉลี่ย (\pm SD) ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

4.7 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

4.7.1 ปัจจัยสภาพภูมิอากาศ

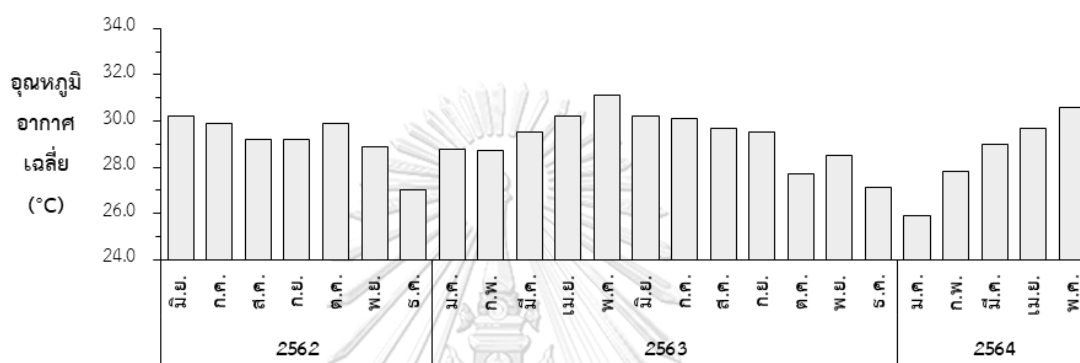
ปริมาณน้ำฝนรายเดือนตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม พ.ศ. 2564 ที่สอดคล้องกับช่วงเวลาการศึกษาผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นมีค่าอยู่ในช่วง พ.ศ. โดยปี พ.ศ. 2562 มีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุดในเดือนกันยายนเท่ากับ 222.5 มม. และลดลงต่ำที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เท่ากับ 3.1 มม. ซึ่งระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 - เมษายน พ.ศ. 2563 มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 30 มม. จากนั้นจึงมีแนวโน้มสูงขึ้นระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุดเท่ากับ 179 มม. และลดลงอย่างช้า ๆ ในเดือนกันยายนและตุลาคม พ.ศ. 2563 ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 150 มม. แต่มีปริมาณลดลงเหลือ 23.1 มม. ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ซึ่งปริมาณน้ำฝนจะมีค่าต่ำกว่า 30 มม. ไปจนถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 สุดท้ายปริมาณน้ำฝนมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งในเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 ที่มีปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 118.2 มม. (ภาพที่ 66)



ภาพที่ 66 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม พ.ศ. 2564

(สถานีตรวจอากาศนาร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

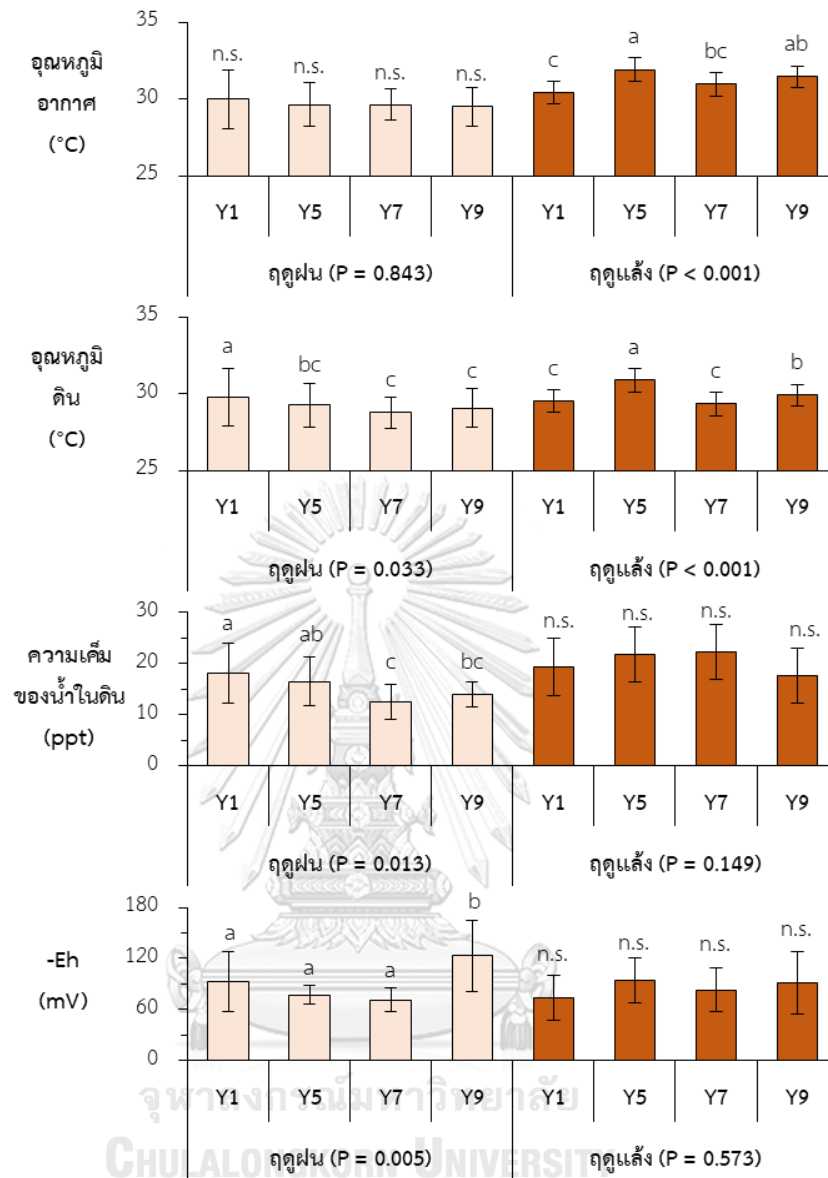
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม พ.ศ. 2563 พบว่ามีการกระจายในช่วง 25.9 - 31.1 °C โดยช่วงเดือนมิถุนายน - ธันวาคม ทั้งใน พ.ศ. 2562 และ 2563 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีแนวโน้มต่ำลง ทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 28 °C ในช่วงเดือน ธันวาคมหรือจนถึงมกราคมของปีถัดไป ในขณะที่เดือนมกราคม - พฤษภาคม ทั้งใน พ.ศ. 2563 และ 2564 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นจนมีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนพฤษภาคมเท่ากับ 31.1 และ 30.6 °C (ภาพที่ 67)



ภาพที่ 67 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 - พฤษภาคม พ.ศ. 2564 (สถานีตรวจอากาศนาร่อง กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

4.7.2 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมขณะที่ทำการศึกษาสังคมหอยฝาเดียว

การศึกษารุ่นนี้ได้วัดอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเค็มของน้ำในดิน และ Eh ขณะที่ทำการศึกษาสังคมหอยฝาเดียวในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่าในฤดูฝนอุณหภูมิดิน (ANOVA, $P = 0.033$) ความเค็มน้ำในดิน (ANOVA, $P = 0.013$) และ Eh (ANOVA, $P = 0.005$) แตกต่างระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อุณหภูมิอากาศ (ANOVA, $P = 0.843$) ไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในฤดูแล้งมีอุณหภูมิอากาศ (ANOVA, $P < 0.001$) และอุณหภูมิดิน (ANOVA, $P < 0.001$) แตกต่างระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความเค็มน้ำในดิน (ANOVA, $P = 0.149$) และ Eh (ANOVA, $P = 0.573$) ไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกเหนือจากนี้อุณหภูมิอากาศ (t-test, $P < 0.001$) อุณหภูมิดิน (t-test, $P < 0.001$) และความเค็มของน้ำในดิน (t-test, $P < 0.001$) แตกต่างระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในฤดูแล้งมีอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความเค็มของน้ำในดินสูงกว่าฤดูฝน ในขณะที่ Eh ไม่ต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 68)



ภาพที่ 68 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความเค็มของน้ำในดิน และ Eh ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.05$) เมื่อเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Post Hoc Test และ n.s. คือ ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา

5.1 โครงสร้างพืชพรรณในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน

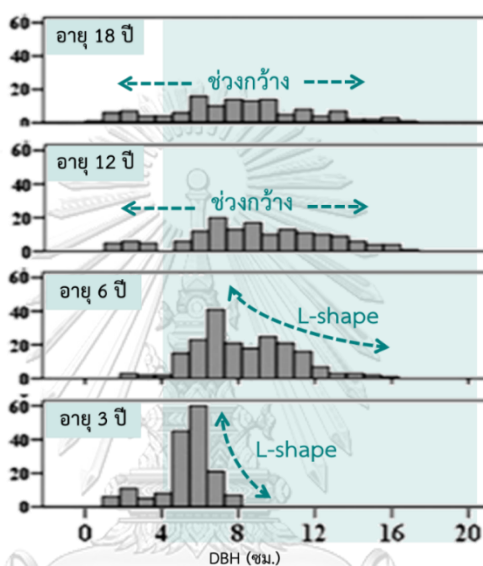
แสมขาว (*Avicennia alba* Blume) และลำพู (*Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.) เป็นพืชชนิดเด่น (dominant species) ในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุต่างกันจำนวน 4 แปลง ได้แก่ Y1, Y5, Y7 และ Y9 โดยพืชสกุล *Avicennia* และ *Sonneratia* จัดเป็นพืชเบิกนำ (pioneer species) ของระบบนิเวศป่าชายเลน (Li et al., 2012) โดยกล้าไม้ (seedling) ทั้งสองชนิดนี้เติบโตได้รวดเร็ว และมีอัตราการรอดสูง (Balke et al., 2011; Balke et al., 2013) เนื่องจากสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่สูง (Barik et al., 2018; Dasgupta et al., 2017; Kirui et al., 2008) และสามารถตั้งตัวได้ภายใต้พื้นที่ที่มีการท่วมถึงของน้ำทะเล ความเข้มแสง และอุณหภูมิที่สูง (Krauss et al., 2008) ด้วยเหตุนี้จึงมักนิยมใช้พืชสกุล *Avicennia* และ *Sonneratia* ในการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนในหลาย ๆ พื้นที่ เช่น การปลูกฟื้นฟูด้วย *Avicennia marina* ที่ปัจจุบันมีอายุ 16-27 ปี บริเวณชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศอินเดีย (Kandasamy et al., 2021) การปลูกฟื้นฟูด้วย *S. caseolaris* และ *S. apetala* บริเวณป่าชายเลนทางตอนใต้ของประเทศจีน (Chen et al., 2012) ซึ่งพบว่ามักประสบความสำเร็จในการฟื้นฟูเป็นอย่างดี เช่นเดียวกับการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ดังจะอภิปรายต่อไป

ในช่วงระยะเวลาหนึ่งปีที่ทำการศึกษาคโครงสร้างพืชพรรณของแต่ละแปลงปลูกมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นต้นไม้อาจลดลงเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนมีอายุมากขึ้น (ภาพที่ 33) กล่าวคือ แปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นต้นไม้ของแปลง Y1 ต่ำกว่าแปลง Y5, Y7 และแปลง Y9 ทั้งนี้อาจเป็นผลจากกระบวนการตัดสางโดยธรรมชาติ (self-thinning) ซึ่งมักเกิดขึ้นในป่าชายเลนที่มีความหนาแน่นต้นไม้อายุสูง ทำให้เกิดการตายของต้นไม้ในป่าชายเลนจากการแข่งขันเพื่อแย่งชิงพื้นที่การปกคลุมเรือนยอดเมื่อปริมาณแสงเป็นปัจจัยจำกัด (Kamara & Kamruzzaman, 2020b; Westoby, 1984) สอดคล้องกับรูปแบบอัตราการรอดชีวิต (survivorship curve) ของสังคมพืชที่มีอัตราการรอดที่ต่ำในช่วงแรกตอนเริ่มตั้งตัว และมีความหนาแน่นสูง (Fernandez et al., 2006) สังเกตได้จากจำนวนต้นตายในแปลง Y5, Y7 และ Y9 ที่มากกว่า 10 ต้น ขณะที่แปลง Y1 จำนวนต้นไม้ตาย 1 ต้น (ภาพที่ 34) แสดงให้เห็นว่าแปลงปลูกอายุมากมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่าแปลงปลูกอายุน้อย (Kamara & Kamruzzaman, 2020b) ทำให้ความหนาแน่นต้นไม้อาจมีแนวโน้มลดลงเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนมีอายุมากขึ้น (Salmo et al., 2013; Sharma et al., 2017; Thi Kim Cuc & Thi Hien, 2021; G. Wang et al., 2021)

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นต้นไม้อันมีสาเหตุจากการตายของต้นไม้ที่พบในแปลง Y5, Y7 และแปลง Y9 (ภาพที่ 34) ทำให้เกิดช่องว่างเรือนยอด (canopy gap) ดังจะเห็นได้ว่าในช่วงหนึ่งปีที่ทำการศึกษา ไม่มีการเปลี่ยนแปลงร้อยละการปกคลุมเรือนยอดในแปลง Y1 แต่แปลง Y5, Y7 และ Y9 มีพื้นที่ปกคลุมเรือนยอดลดลง (ตารางที่ 4) โดยพื้นที่ปกคลุมเรือนยอดที่ลดลงทำให้เรือนยอดของต้นไม้ที่เหลืออยู่ได้รับปริมาณแสงทั่วถึงมากขึ้น ส่งผลต่อการเติบโตด้านข้างของต้นไม้ในป่าชายเลน (Peng et al., 2021) ดังจะเห็นได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ความสูง 1.3 ม. จากพื้นดิน (diameter at breast height, DBH) เฉลี่ยและผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ในแปลง Y1 เปลี่ยนแปลงไม่มาก แต่กลับมีค่าเพิ่มขึ้นในแปลง Y5, Y7 และ Y9 (ภาพที่ 39 ก และ ภาพที่ 42 ก) (Thi Kim Cuc & Thi Hien, 2021; G. Wang et al., 2021) นอกจากนี้ปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงมายังพื้นป่าที่เพิ่มขึ้นยังเอื้อต่อการตั้งตัวของกล้าไม้ (Clarke, 2004; Clarke & Allaway, 1993; Krauss et al., 2008; Udomluck et al., 2002) สอดคล้องกับผลการศึกษาคั้งนี้ที่พบว่ามีความหนาแน่นกล้าไม้สูงขึ้นในแปลง Y5, Y7 และ Y9 ขณะที่แปลง Y1 มีจำนวนกล้าไม้ลดลงในช่วงหนึ่งปีที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 5) อย่างไรก็ตามการที่ในแปลง Y1 มีความหนาแน่นกล้าไม้เฉลี่ยสูงสุดประกอบกับมีช่องว่างเรือนยอดเพียงพอให้แสงส่องลงมาถึงพื้นป่า ส่งผลให้การแข่งขันระหว่างกล้าไม้ เมื่อระยะเวลาผ่านไปกล้าไม้ที่รอดชีวิตจึงเติบโตเป็นไม้หนุ่ม (sapling) ที่พบเฉพาะในแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดเท่านั้น โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อความชุกชุมของสังคมหอยฝาดเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลน

รูปแบบการกระจาย DBH ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 (ซึ่งแปลงดังกล่าวมีอายุ 14, 10, 8 และ 6 ปี ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2562) ทั้งในช่วงเริ่มต้นการศึกษา (กุมภาพันธ์ - เมษายน พ.ศ. 2562) และสิ้นสุดการศึกษา (มีนาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2563) พบว่าแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีการกระจาย DBH ในช่วงกว้าง ขณะที่แปลง Y5, Y7 และ Y9 ที่อายุลดหลั่นกันลงมามีการกระจาย DBH แบบ L-shape เบ้ทางด้านขวา (ภาพที่ 40) สอดคล้องกับการกระจาย DBH ในป่าชายเลนแสมทะเล (*A. marina*) ที่เกิดจากฟื้นฟูตัวเองตามธรรมชาติ (natural regeneration) ทางใต้ของประเทศมาเลเซีย พบว่าป่าชายเลนอายุ 18 และ 12 ปี มี DBH กระจายในช่วงกว้าง ขณะที่ป่าชายเลนอายุ 6 และ 3 ปี มีการกระจาย DBH รูปแบบ L-shape เบ้ด้านขวา แสดงให้เห็นว่าป่าชายเลนมีอายุมากจะประกอบไปด้วยต้นไม้ที่มี DBH ขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นต้นไม้ต่ำ ขณะที่ป่าชายเลนอายุน้อยประกอบไปด้วยต้นไม้ที่มี DBH ขนาดเล็กและมีความหนาแน่นต้นไม้สูง (Azman et al., 2021) (ภาพที่ 69) นอกจากนี้ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าการลดลงของจำนวนต้นไม้ที่มี DBH ขนาดเล็ก (4.5-9.5 ซม.) อันเกิดจากการตายในแปลง Y5, Y7 และ Y9 จึงเป็นโอกาสให้ต้นไม้ที่มี DBH ขนาดเล็กที่เหลือเติบโตจนมี DBH มากกว่า 9.5 ซม. ขณะที่แปลง Y1 กลับมีจำนวนต้นไม้ที่มี DBH ขนาดเล็กเพิ่มขึ้นจากไม้หนุ่มที่เริ่มเติบโตจนมี DBH มากกว่า 4.5 ซม. ในช่วงระหว่างเริ่มต้นและสิ้นสุดการศึกษา (ภาพ

ที่ 40) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถอธิบายถึงการเกิดกระบวนการตัดสางตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศป่าชายเลน (Kamara & Kamruzzaman, 2020b; Li et al., 2000; Westoby, 1984) อันส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพีชพรรณเมื่อป่าชายเลนมีอายุมากขึ้นก่อนเข้าสู่สังคมสิ่งมีชีวิตขั้นสุด (climax community) สรุปได้ว่าแปลงปลูกอายุมากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและจำนวนกล้าไม้และไม้หนุ่มที่สูง ในขณะที่แปลงปลูกอายุน้อยมีความหนาแน่นต้นไม้ที่สูงและการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่รวดเร็ว



ภาพที่ 69 รูปแบบการกระจาย DBH ในป่าชายเลนที่มีอายุ 18, 12, 6, และ 3 ปี

บริเวณทางใต้ของประเทศไทยที่มีแสมทะเล (*A. marina*) เป็นพืชเด่น (Azman et al., 2021)

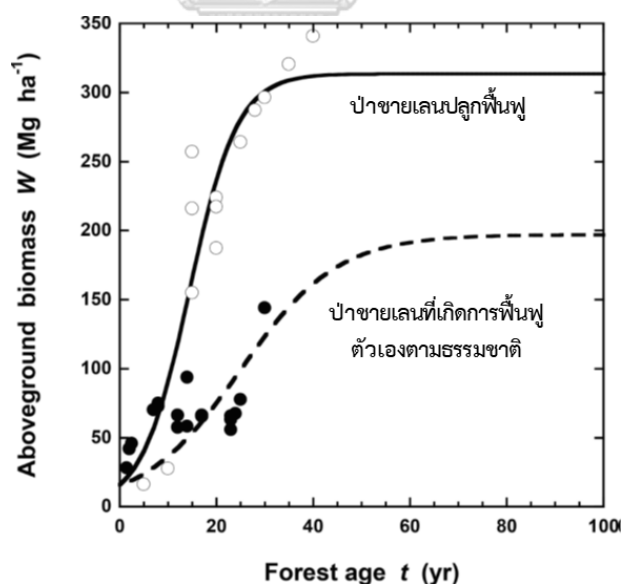
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 มวลชีวภาพ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ และการนำเข้าคาร์บอนในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน

การประมาณมวลชีวภาพด้วยการใช้สมการแอลโลเมตรีซึ่งมักประกอบไปด้วยตัวแปรที่มาจากข้อมูลพีชพรรณส่วนต่าง ๆ เช่น ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความหนาแน่นเนื้อไม้ เป็นต้น (Komiyama et al., 2008; Komiyama et al., 2005; Kusmana et al., 2018; Phan et al., 2019; Prasanna et al., 2017; Vinh et al., 2019; Zhu et al., 2021) ด้วยเหตุนี้การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างพีชพรรณเมื่อป่าชายเลนอายุมากขึ้นย่อมส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพของป่าชายเลน ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าแปลงปลูกอายุมากมีมวลชีวภาพสูงกว่าแปลงปลูกอายุน้อย (ภาพที่ 43) แสดงให้เห็นว่ามวลชีวภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อแปลงปลูกอายุมากขึ้น สอดคล้องกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย ความสูงเฉลี่ย หรือผลรวมพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อแปลงปลูกอายุมากขึ้น (ภาพที่ 39 และภาพที่ 42 ก) (Azman et al., 2021; Kamruzzaman, Ahmed, et

al., 2017; G. Wang et al., 2021; Yudha et al., 2021) แต่มีแนวโน้มผกผันกับความหนาแน่น ต้นไม้และการเพิ่มพูนพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อแปลงปลูกอายุมากขึ้น (ภาพที่ 33 และ ภาพที่ 42 ข) (Azman et al., 2021; Salmo et al., 2013)

การศึกษาป่าชายเลนแสมทะเล (*A. marina*) ที่ฟื้นฟูตัวเองตามธรรมชาติทางใต้ของประเทศไทย มาเลเซีย คาดการณ์ว่ามวลชีวภาพเหนือดิน (aboveground biomass) ของป่าชายเลนที่ฟื้นฟูตัวเองตามธรรมชาติ (naturally regenerated mangrove forest) และป่าชายเลนปลูกฟื้นฟู (restored mangrove forest) ช่วงตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึง 40 ปี พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอายุ แต่มวลชีวภาพเหนือดินของป่าชายเลนช่วงอายุตั้งแต่ 40 ปี เป็นต้นไป มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยป่าชายเลนที่ฟื้นฟูตัวเองตามธรรมชาติมีมวลชีวภาพเหนือดินสูงสุดประมาณ 190 ตัน/เฮกแตร์ ต่ำกว่าป่าชายเลนปลูกฟื้นฟูที่มีมวลชีวภาพสูงสุดประมาณ 310 ตัน/เฮกแตร์ (Azman et al., 2021) (ภาพที่ 70) ซึ่งแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ (อายุ 14 ปี ขณะเริ่มต้นการศึกษา) มีมวลชีวภาพเหนือดินสูงถึง 331.3 ตัน/เฮกแตร์ (ภาพที่ 43) เทียบเท่ากับป่าชายเลนอายุประมาณ 40 ปี ด้วยเหตุนี้อาจชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบมวลชีวภาพที่สูง (Liu et al., 2014; Nguyen et al., 2004; Yong et al., 2011) เมื่อเปรียบเทียบกับป่าชายเลนที่ทราบอายุอื่น ๆ ที่มีอายุใกล้เคียงกันและป่าชายเลนธรรมชาติ (ตารางที่ 13)



ภาพที่ 70 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือดิน (aboveground biomass) และอายุป่าชายเลน ในป่าชายเลนที่เกิดการฟื้นฟูตัวเองตามธรรมชาติ (naturally regenerated mangrove forest) และป่าชายเลนปลูกฟื้นฟู (restored mangrove forest) (Azman et al., 2021)

ตารางที่ 13 พืชเด่น, อายุ (ปี), มวลชีวภาพเหนือดิน (ต้น/เฮกเตอร์), มวลชีวภาพราก (ต้น/เฮกเตอร์), มวลชีวภาพทั้งหมด (ต้น/เฮกเตอร์) ในป่าชายเลนที่ทราบอายุและป่าชายเลนธรรมชาติ

พืชเด่น	อายุ	มวลชีวภาพ เหนือดิน	มวลชีวภาพ ราก	มวลชีวภาพ ทั้งหมด
<u>ป่าชายเลนที่ทราบอายุ</u>				
แปลง Y1 ในการศึกษาครั้งนี้				
<i>A. alba</i> และ <i>S. caseolaris</i>	14	331.3	124.3	455.6
การศึกษาของ Azman et al. (2021) ในประเทศมาเลเซีย				
<i>A. marina</i>	18	49.3	30.3	79.6
การศึกษาของ Arif et al. (2017) ในประเทศอินโดนีเซีย				
<i>Rhizophora</i> spp. และ <i>Bruguiera</i> spp.	20	98.6	55.2	153.8
การศึกษาของ Kandasamy et al. (2021) ในประเทศอินเดีย				
<i>A. marina</i>	16	18.3	13.4	31.7
การศึกษาของ Kathiresan et al. (2013) ในประเทศอินเดีย				
<i>A. marina</i> และ <i>Rhizophora mucronata</i>	17	350.5	57.0	407.5
การศึกษาของ Lunstrum and Chen (2014) ในประเทศจีน				
<i>Sonneratia apetela</i>	20	258.0	58.0	316.0
<u>ป่าชายเลนธรรมชาติ</u>				
การศึกษาของ Ohtsuka et al. (2019) ในประเทศญี่ปุ่น				
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> และ <i>Rhizophora stylosa</i>	-	161.3	-	-
การศึกษาของ Kamruzzaman, Ahmed, et al. (2017) ในประเทศบังกลาเทศ				
<i>Heritiera fomes</i>	-	154.8	84.2	239.0

แม้จะมีการกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบมวลชีวภาพที่สูงในป่าชายเลนที่อายุมาก แต่มีการนำเข้าคาร์บอนส่วนผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP) การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ (biomass increment, ΔY) และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litter production, L) ลดลงเมื่อป่าชายเลนอายุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 47) โดยการลดลงของ ΔY สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพืชพรรณในช่วงที่ทำการศึกษา เช่น แปลง Y1 ที่มี DBH เฉลี่ยเปลี่ยนแปลงต่ำมากสะท้อนถึง DBH ของต้นไม้แต่ละต้นมีขนาดเพิ่มขึ้นไม่มาก ขณะที่แปลง Y5, Y7 และ Y9 มีขนาด DBH เฉลี่ย

เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ภาพที่ 39) ซึ่ง DBH เป็นตัวแปรในการคำนวณมวลชีวภาพด้วยสมการแอลโลเมตรีแบบทั่วไปจึงทำให้แปลง Y1 มี ΔY ต่ำที่สุด (ภาพที่ 44) อีกประการหนึ่งคือ ΔY ที่มีค่าต่ำในแปลง Y1 แสดงให้ถึงมวลชีวภาพที่เริ่มมีค่าคงตัวใกล้เคียงกับป่าชายเลนปลูกฟื้นฟูที่มีอายุประมาณ 30-40 ปี (ภาพที่ 70) เนื่องจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นทรัพยากรสำคัญต่อการเติบโตและกักเก็บคาร์บอน เช่น ปริมาณธาตุอาหารในดิน ปริมาณแสง ความลาดชันของพื้นที่ ความเค็ม เป็นต้น (Chowdhury et al., 2019; Mitra et al., 2011; Sherman et al., 2003; Virgulino-Júnior et al., 2020; G. Wang et al., 2021) เริ่มไม่เพียงพอหรือส่งผลเชิงลบต่อความสามารถในการรองรับความจุมวลชีวภาพของต้นไม้ (Azman et al., 2021)

การลดลงของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเมื่อป่าชายเลนอายุมากขึ้น (ภาพที่ 47) เป็นผลมาจากความหนาแน่นต้นไม้ที่ลดลงเมื่อป่าชายเลนมีอายุมากขึ้น (ภาพที่ 39) (Mulya & Arlen, 2018) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาป่าชายเลน *A. alba*, *R. mucronata* และ *S. caseolaris* ต. คลองโคน จ. สมุทรสาคร ที่พบว่าป่าชายเลนอายุน้อยมีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นสูงกว่าป่าชายเลนอายุมาก (Srisunont et al., 2017) และการศึกษาป่าชายเลน *Kandelia obovata* เกาะ Okinawa ประเทศญี่ปุ่น ที่พบการลดลงของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น เมื่อความหนาแน่นไม้ลดลงจากการตัดสาบเทียม (artificial thinning) (Kamara & Kamruzzaman, 2020a) นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิอากาศมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นอย่างมาก เนื่องจากอุณหภูมิอากาศสูงทำให้พืชเกิดการคายน้ำสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการทิ้งใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ในขณะที่ความเค็มมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (Dewiyanti et al., 2021; Dewiyanti et al., 2019)

เมื่อพิจารณา NPP, ΔY และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นของแปลงปลูกป่าอายุต่าง ๆ กันในการศึกษาครั้งนี้ (ภาพที่ 47) โดยเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น ๆ (ตารางที่ 14) พบว่ามีปัจจัยสิ่งแวดล้อมนอกเหนือจากอายุของป่าชายเลนที่ส่งผลต่อค่า NPP เช่น ที่ตั้งของป่าชายเลนที่แตกต่างกัน โดยแปลง Y1 ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่ง (fringe mangrove forest) ที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเค็มและอุณหภูมิที่สูง คลื่นลมที่รุนแรง ปริมาณแสงแดดที่มาก ซึ่งล้วนเป็นข้อจำกัดของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ไม่เอื้อต่อการเติบโตของพืชหลายชนิด (เช่น *R. mucronata*) จึงมีเพียงกล้าไม้ของไม้เบิกนำ ได้แก่ *A. alba* และ *S. caseolaris* เท่านั้นที่สามารถเติบโตได้ในแปลงปลูกป่าชายเลนในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับการศึกษา NPP ในป่าชายเลนธรรมชาติที่ตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำ (estuarine mangrove forest) トラด ประเทศไทย (Poungparn et al., 2020) พบว่าแม้ว่าแปลง Y1 ของการศึกษานี้จะมีอายุน้อยกว่าในป่าชายเลนธรรมชาติ แต่กลับมีค่า NPP ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากป่าชายเลนธรรมชาติบริเวณปากแม่น้ำมีโอกาสได้รับปัจจัยที่ต่างจากป่าชายเลนบริเวณชายฝั่ง เช่น การผันแปรความเค็มที่น้อยกว่า ปริมาณสารอาหารตามฤดูกาลจากแม่น้ำที่มากกว่า เป็นต้น นอกจากนี้ในป่าชายเลนธรรมชาติบริเวณปากแม่น้ำยังสามารถพบต้นไม้ชนิดอื่น

นอกเหนือจากไม้เบิกนำ ด้วยเหตุนี้อาจชี้ให้เห็นว่าปัจจัยด้านที่ตั้งของป่าชายเลนอาจส่งผลต่อชนิดพืชที่พบในระบบนิเวศป่าชายเลนแต่ละแห่งที่มีชนิดต่างกัน และส่งผลต่อค่า NPP ของระบบนิเวศ ดังจะเห็นได้จากแปลง Y1 (อายุ 14 ปี) ในการศึกษาครั้งนี้ *A. alba* และ *S. caseolaris* ที่เป็นไม้เบิกนำของระบบนิเวศป่าชายเลนซึ่งมีอัตราการเติบโตที่รวดเร็ว ส่งผลให้แม้ว่าแปลง Y1 จะมีอายุมากกว่าป่าชายเลนอายุ 8-10 ปี บริเวณปากแม่น้ำ Perancak ประเทศอินโดนีเซียที่พบ *Rhizophora* และ *Bruguiera* เป็นพืชเด่น (Sidik et al., 2019) แต่แปลง Y1 กลับมีค่า NPP สูงกว่า เนื่องจากในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำที่อินโดนีเซียมีพันธุ์ไม้สกุลโกงกางเข้ามาตั้งตัวและเติบโต ซึ่งพันธุ์ไม้เหล่านี้มักอัตราการเติบโตช้ากว่าไม้เบิกนำ

ตารางที่ 14 พืชเด่น, อายุ (ปี), ΔY และ $\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}$ (ตัน/เฮกแตร์/ปี), L (ตัน/เฮกแตร์/ปี), NPP และ $\text{NPP}_{\text{เหนือดิน}}$ (ตัน/เฮกแตร์/ปี) และ $\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}/L$ ในป่าชายเลนที่ทราบอายุและป่าชายเลนธรรมชาติ

พืชเด่น	อายุ	ΔY	$\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}$	L	NPP	$\text{NPP}_{\text{เหนือดิน}}$	$\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}/L$
<u>ป่าชายเลนที่ทราบอายุ</u>							
แปลง Y1 ในการศึกษาครั้งนี้							
<i>A. alba</i> และ <i>S. caseolaris</i>	14	5.8	4.3	12.9	17.2	18.7	0.33
การศึกษาของ Sidik et al. (2019) ในประเทศอินโดนีเซีย							
<i>Avicennia</i> , <i>Rhizophora</i> และ <i>Bruguiera</i>	8-10	11.9	10.0	4.4	14.4	16.2	2.27
การศึกษาของ Sukardjo and Yamada (1992) ในประเทศอินโดนีเซีย							
<i>R. mucronata</i>	7	-	14.0	8.3	22.3	-	1.69
<u>ป่าชายเลนธรรมชาติ</u>							
การศึกษาของ Ohtsuka et al. (2019) ในประเทศญี่ปุ่น							
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> และ <i>Rhizophora stylosa</i>	-	-	3.1	7.6	10.7	-	0.41
การศึกษาของ Pongpam et al. (2020) ในประเทศไทย							
<i>Rhizophora</i> , <i>Avicennia</i> และ <i>Xylocarpus</i>	-	12.9	6.8	9.3	16.1	22.2	0.73
การศึกษาของ Kamruzzaman, Ahmed, et al. (2017) ในประเทศบังกลาเทศ							
<i>Heritiera fomes</i>	-	10.9	7.1	10.1	17.2	21.0	0.70

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนระหว่างการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนือดินและผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น ($\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}/L$) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการสร้างมวลชีวภาพเหนือดินจากปริมาณผลผลิตใบหนึ่งหน่วย ซึ่งผลผลิตใบนี้ถือเป็นปริมาณส่วนใหญ่ที่สุดที่มีสัดส่วนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 49-53 ของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (ภาพที่ 46) โดยผลการศึกษาค้นคว้าพบว่า $\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}/L$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อแปลงปลูกมีอายุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 48) แสดงให้เห็นว่าแม้แปลงปลูกอายุมากจะมีสัดส่วนผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นใน NPP เหนือดินเพิ่มขึ้น แต่กลับสร้างมวลชีวภาพเหนือดินของ NPP เหนือดินได้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบ $\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}/L$ ของป่าชายเลนที่มีอายุต่าง ๆ กัน พบว่าป่าชายเลนจากการศึกษาของ Sidik และคณะ (2019) และจากการศึกษาของ Sukardjo และ Yamada (1992) ในประเทศอินโดนีเซียที่มีอายุอยู่ในช่วง 7-10 ปี มีค่า $\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}/L$ สูงกว่า 1.0 ขณะที่แปลง Y1 ในการศึกษาครั้งนี้ที่มีอายุ 14 ปี และป่าชายเลนธรรมชาติทั้ง 3 แห่ง มีค่า $\Delta Y_{\text{เหนือดิน}}/L$ ต่ำกว่า 1.0 (ตารางที่ 14) อาจชี้ให้เห็นว่าแปลงปลูกอายุน้อยมีประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตมวลชีวภาพเหนือดินสูงกว่าแปลงปลูกอายุมาก นอกจากนี้อาจเป็นผลจากแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากที่เริ่มมีโครงสร้างป่าอยู่ในช่วงท้ายของการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (late successional stage) แสดงให้เห็นความสามารถสูงสุดในการรองรับมวลชีวภาพต้นไม้ต่อพื้นที่ (Ohtsuka et al., 2019) อย่างไรก็ตามสัดส่วนผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นของ NPP เหนือดินที่เพิ่มขึ้น ชี้ให้เห็นว่าเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากขึ้นจะยังมีบทบาทสำคัญในการส่งผ่านคาร์บอนไปยังผู้บริโภค ตลอดจนการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าชายเลน

5.3 ความหลากหลายชนิดและความหนาแน่นของหอยฝาเดียวในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน

หอยฝาเดียวทั้งหมด 15 ชนิด ที่พบในแปลงปลูกป่าชายเลนแห่งนี้ (ตารางที่ 6) สอดคล้องกับผลการศึกษาหอยฝาเดียวของ Printragoon และคณะ (2008) บริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ คลองโคน บางหญ้าแพรก อ่างศิลา แหลมฉบัง บ้านน้ำเชี่ยว ที่รายงานว่ามีหอยฝาเดียวชนิดเดียวกันกับที่พบในการศึกษาค้นคว้านี้เป็นจำนวนถึง 13 ชนิด ยกเว้น *Euthria aracanensis* และ *Nassarius olivaceus* ผลการศึกษานี้ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งมีสัดส่วนความหนาแน่นหอยฝาเดียว *Optediceros breviculum* ในวงศ์ Assimneidae คิดเป็น 36.9-78.4% ของความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดจึงนับเป็นหอยฝาเดียวชนิดเด่นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ (ภาพที่ 56) สอดคล้องกับการศึกษาในหลาย ๆ บริเวณ เช่น ป่าชายเลน *Sonneratia alba* และ *Rhizophora apiculata* ประเทศอินโดนีเซีย (Imamsyah et al., 2020) ป่าชายเลน *Avicennia* และ *Rhizophora* ต. บางตะบูน จ. เพชรบุรี (Premcharoen et al., 2016) และแปลงปลูก *K. obovata* อายุ 6-8 ปีบนเกาะ Maoyan (Q. Wang, C. Duarte, et al., 2021) และอายุ 2-11 ปีบนเกาะ Ximen ประเทศจีน (Q. Wang, L. Song, et al., 2021) ซึ่งมีความหนาแน่นหอยฝาเดียว *O.*

breviculum สูงเช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้แปลงปลูกป่าชายเลน *R. mucronata* อ่าว Lingayen ประเทศฟิลิปปินส์ (Salmo et al., 2017) พบ *Littoraria scabra*, *N. olivaceus*, *Cerithidea obtusa* และ *Pirenella cingulata* ซึ่งเป็นชนิดหอยฝาเดียวที่พบในการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าชนิดหอยฝาเดียวที่พบในการศึกษาครั้งนี้คล้ายกับการศึกษาอื่นในประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ในฤดูแล้ง ความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดในแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีค่าสูงกว่าแปลง Y5, Y7 และ Y9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 52) และความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับมวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มขึ้นเมื่อแปลงปลูกอายุมากขึ้น (ภาพที่ 43) โดยผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Salmo และคณะ (2017) ในแปลงปลูกป่าชายเลน *R. mucronata* อ่าว Lingayen ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าความมากมายของหอยฝาเดียวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน เนื่องจากมวลชีวภาพส่วนเหนือดินนี้มีบทบาทในการเพิ่มถิ่นอาศัยของหอยฝาเดียวทั้งหมดและหอยฝาเดียวที่กินซากใบไม้ ซึ่งเป็นผลจากลำต้นที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีปริมาณอาหารของหอยฝาเดียวมากขึ้นจากปริมาณมวลชีวภาพใบไม้ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีความหนาแน่นต้นไม้ (ภาพที่ 33) มีแนวโน้มสอดคล้องไปในทางเดียวกันกับความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดในฤดูฝน แต่ผกผันกับความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดในฤดูแล้ง (ภาพที่ 52) ซึ่งผลการศึกษาคั้งนี้ในฤดูฝนสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Nurfitriani และคณะ (2019) ในแปลงปลูกป่าชายเลน *Rhizophora stylosa* และ *A. marina* บริเวณตอนเหนือของหมู่เกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย ที่พบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนาแน่นต้นไม้ ถึงแม้ว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดในฤดูฝนของการศึกษาครั้งนี้ไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 52)

เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดระหว่างฤดู พบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญ โดยแปลง Y5, Y7 และ Y9 ที่มีความหนาแน่นในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้งมากกว่า 50% (ภาพที่ 52) ซึ่งอาจเป็นผลจากความหนาแน่น *O. breviculum* ในแปลง Y5, Y7 และ Y9 ที่ลดลงมากกว่า 60% ในช่วงฤดูแล้ง (ภาพที่ 56) เนื่องจากอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความเค็มน้ำในดินที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในฤดูแล้ง (ภาพที่ 68) สหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความหนาแน่น *O. breviculum* กับอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความเค็มน้ำในดิน (ตารางที่ 7) และการลดลงของร้อยละการปกคลุมเรือนยอดระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง (ตารางที่ 4) ในขณะที่แปลง Y1 มีความหนาแน่น *O. breviculum* เปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งไม่มากนัก (ลดลง 4.1%) เช่นเดียวกับความหนาแน่นรวมทั้งหมดของหอยฝาเดียว (เพิ่มขึ้น 1.7%) (ภาพที่ 56)

ผลการศึกษาของ Premcharoen, Witirawat และ Tharapoom (2016) ที่รายงานว่ามี ความหนาแน่นของ *O. breviculum* ในเดือนกันยายน (ฤดูฝน) และมีนาคม (ฤดูแล้ง) คิดเป็น 26.3% และ 12.1% ของความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดตามลำดับ ซึ่ง *O. breviculum* มีความอ่อนไหว ต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดิน เนื่องจาก *O. breviculum* เป็นหอยฝาเดียวที่กินเศษซากอินทรีย์วัตถุในดินตะกอน (deposit feeder) (Imamsyah et al., 2020) ด้วยเหตุนี้ร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่ลดลงในฤดูแล้ง (ภาพที่ 63) อาจจะทำให้ความหนาแน่นของ *O. breviculum* ลดลงเช่นกัน นอกจากนี้การลดลงของความหนาแน่นของ *O. breviculum* อาจมีสาเหตุมาจาก *O. breviculum* ที่พบในฤดูฝนเป็นหอยฝาเดียวขนาดเล็กที่ยัง อยู่ระยะวัยรุ่น (juveniles) ที่เพิ่งตั้งตัวได้ไม่นานเป็นจำนวนมาก โดยหอยฝาเดียวในฤดูฝนนี้บางส่วน จะรอดชีวิตและเติบโตจนเป็นตัวเต็มวัย (< 4 มม.) ในฤดูแล้งถัดไป ซึ่งหอยฝาเดียวตัวเต็มวัยจะ สืบพันธุ์และวางไข่ในช่วงต้นของฤดูแล้ง และหอยฝาเดียวรุ่นใหม่จะกลับมาตั้งตัวในป่าชายเลนอีกครั้ง ในฤดูฝนถัดไป (Maia & Coutinho, 2016; Suzuki et al., 2002)

ดัชนีความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียวของการศึกษานี้ พบว่าในแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อย กว่าหรือเท่ากับ 10 ปี (แปลง Y5, Y7 และ Y9) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.75 ในฤดูฝน และเท่ากับ 1.06 ใน ฤดูแล้ง ในขณะที่แปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุมากกว่า 10 ปี (แปลง Y1) มีดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 1.05 ในฤดูฝนและ 1.13 ในฤดูแล้ง จะเห็นว่าดัชนีความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียวในฤดูแล้งสูง กว่าฤดูฝน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wang, Song และคณะ (2021) ที่รายงานว่าดัชนีความ หลากชนิดของสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดใหญ่สูงสุดในฤดูร้อน นอกจากนี้ดัชนีความหลากหลายชนิดหอยฝา เดียวของการศึกษานี้ยังมีค่าต่ำกว่าผลการศึกษาของ Hookham และคณะ (2014) ที่ศึกษาในแปลง ปลูกป่าชายเลนบริเวณเกาะ Langkawi ประเทศมาเลเซีย ที่พบว่าแปลงปลูก *Rhizophora* อายุ ประมาณ 5-10 ปี มีดัชนีความหลากหลายชนิดของหอยฝาเดียวเฉลี่ยเท่ากับ 0.96 และแปลงปลูก *R. apiculata* กับ *Bruguiera parviflora* อายุประมาณ 30 ปี แต่มีดัชนีความหลากหลายชนิดเฉลี่ยสูงถึง 1.23 แสดงให้เห็นว่าป่าชายเลนอายุมากมีแนวโน้มดัชนีความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียวสูงกว่าแปลงปลูก ป่าชายเลนอายุน้อย

ส่วนผลการวิเคราะห์ดัชนีความคล้ายคลึงด้านชนิดของหอยฝาเดียวโดยใช้ Sørensen Similarity Index (IS_s) ในแปลงศึกษาที่ป่าชายเลนบางปูครั้งนี้ พบว่าในฤดูฝนแปลง Y1 มีอายุมาก ที่สุดมีความคล้ายคลึงกับแปลงอื่นต่ำที่สุดแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอายุป่าชายเลนที่ทำให้แปลง Y1 มีความหลากหลายชนิดของหอยฝาเดียวสูงที่สุดต่างจากแปลงอื่น ขณะที่ในฤดูแล้งแปลง Y1 มีความคล้าย กับ Y7 ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของสะพานสุขตา ซึ่งเป็นแปลงปลูกที่สามารถถูกรบกวนจาก นักท่องเที่ยวได้ แต่แปลง Y5 มีความคล้ายกับ Y9 ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของสะพานสุขตาเป็น แปลงที่ไม่ถูกรบกวนจากนักท่องเที่ยว (ภาพที่ 14 และ ภาพที่ 51) ซึ่งอาจจะชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลจาก

สถานที่ตั้งและกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างด้านตะวันออกและตะวันตกของ สะพานสุขลา ในหลายกรณีไม่ว่าจะเป็นการไม่ถูกรบกวนจากนักท่องเที่ยวในแปลง Y5 และ Y9 อาจ ส่งผลให้มีนกทะเลที่อพยพมาทุกในช่วงฤดูแล้ง (ตุลาคม - เมษายน) (ภาพที่ 66) ที่บริเวณหอยฝาเดียวเป็นอาหารชุกชุมกว่าแปลง Y1 และ Y7 จนทำให้ความหนาแน่นหอยฝาเดียวบางชนิดลดลงอย่างมากในช่วงฤดูแล้ง รวมถึงการจับหอยฝาเดียว เช่น *C. obstusa* ที่มีรายงานว่าเป็นหอยฝาเดียวที่นิยม นำมาบริโภค (Patria, 2020)

การศึกษาครั้งนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาการส่งผ่านคาร์บอนส่วนหนึ่งผ่านการบริโภคซากใบไม้โดย หอยฝาเดียว โดยมีหอยฝาเดียว 3 วงศ์ ได้แก่ Littorinidae, Irvadiidae และ Potamididae ซึ่งมี รายงานว่าเป็นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าชายเลน (ตารางที่ 6) (Bharti & Shanker, 2020; Lee & Williams, 2002; Misnan et al., 2016; Patria, 2020) ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า แปลง Y1 มีความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมดสูงกว่าแปลงอื่นอย่างมี นัยสำคัญทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง (ภาพที่ 53 และภาพที่ 55) ประกอบกับความหนาแน่นหอยฝาเดียว วงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (ตารางที่ 9 และภาพ ที่ 57) อาจชี้ให้เห็นว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้และการสะสมซากใบไม้บนพื้น ป่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อป่าชายเลนอายุมากขึ้น เนื่องจากแปลงปลูกอายุมากที่มีการสะสมซากใบไม้ บนพื้นป่าสูง ทำให้หอยฝาเดียวได้รับอาหารและถิ่นอาศัยที่เหมาะสมทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ จากพืชพรรณในป่าชายเลน (Salmo et al., 2017) นอกจากนี้แปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดในการ ศึกษาครั้งนี้ยังมีไม้หนุ่มปกคลุมพื้นป่าค่อนข้างหนาแน่นต่างจากแปลงอื่น ทำให้มีพื้นที่ถิ่นอาศัย ของหอยฝาเดียวเพิ่มขึ้น อยู่ในช่วงตั้งแต่พื้นป่าจนถึง 1.3 ม. จากพื้นป่า และมีซากใบไม้จากไม้หนุ่ม เป็นส่วนหนึ่งของซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าที่มีรายงานว่าใบไม้จากไม้หนุ่มมีคุณค่าทางโภชนาการของ หอยฝาเดียวสูงกว่าใบไม้จากต้นไม้ (Ashton et al., 2003)

ผลการศึกษาของ Salmo และคณะ (2017) ในแปลงปลูกป่าชายเลน *R. macronata* อ่าว Lingayen ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่า *P. cingulata* เป็นหอยฝาเดียวชนิดเด่นที่สามารถหากินบนพื้น ป่า (epifauna) และปีนขึ้นต้นไม้ (arboreal) ที่มักพบในป่าชายเลนอายุน้อยกว่า 10 ปี และพบหอย ฝาเดียวชนิด *Nerita planospira* ที่อาศัยเกาะอยู่ตามต้นไม้เป็นหลัก ซึ่งเป็นหอยฝาเดียวชนิดเด่นที่ พบในป่าชายเลนอายุมากกว่า 15 ปี ต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ที่แปลงปลูกมี *A. alba* และ *S. caseolaris* เป็นพืชเด่น ที่พบว่าแปลง Y1 (อายุ 14 ปี) มีความหนาแน่นของ *P. cingulata* สูง ที่สุดทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน แต่ไม่พบ *N. planospira* (ภาพที่ 55) ซึ่งอาจชี้ให้เห็นถึงระบบรากพืชที่ แตกต่างกันอาจส่งผลต่อความหนาแน่นของหอยฝาเดียวที่มีถิ่นอาศัยเกาะอยู่ตามต้นไม้ เนื่องจากราก ค้ำยันช่วยเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะสำหรับหอยฝาเดียวที่อาศัยเกาะอยู่ตามต้นไม้ ด้วยเหตุนี้จึงอาจส่งผลให้ เกิดความแตกต่างกันระหว่างชนิดหอยฝาเดียวแม้ว่าป่าชายเลนจะมีอายุใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของหอยฝาเดียวระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งในการศึกษารั้วนี้ พบว่าความหนาแน่นของหอยฝาเดียวในวงศ์ Littorinidae ในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 55 ก) ประกอบกับความหนาแน่นของหอยฝาเดียวในวงศ์ Littorinidae มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและความเค็มน้ำในดิน (ตารางที่ 7 และภาพที่ 68) อาจชี้ให้เห็นว่าผลการศึกษานี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen และคณะ (2007) ในแปลงปลูกป่าชายเลน *K. candell* อายุ 4 ปี บริเวณปากแม่น้ำ Jiulongjiang ประเทศจีน ที่พบว่าความหนาแน่นของ *L. melanostroma* ในวงศ์ Littorinidae สูงที่สุดในฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูง รองลงมาคือ ฤดูใบไม้ผลิ และฤดูใบไม้ร่วงตามลำดับ

โดยสรุปจึงอาจกล่าวได้ว่าการเติบโตของโครงสร้างพืชพรรณทั้งในด้านความหนาแน่นต้นไม้ มวลชีวภาพเหนือดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนมีอายุมากขึ้น ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณแสง อุณหภูมิ ความเค็ม ลักษณะถิ่นอาศัย สารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดิน เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อความชุกชุมของสัตว์ทะเลหน้าดิน ขนาดใหญ่ รวมถึงหอยฝาเดียวที่บริโภคซากใบไม้มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูและอายุของแปลงปลูกป่าชายเลน อย่างไรก็ตามอาจมีผลการศึกษางานบางส่วนที่ยังไม่สามารถอธิบายตามแนวโน้มของอายุแปลงปลูกป่าชายเลนได้ เนื่องจากการปลูกป่าชายเลนโดยหน่วยงานในพื้นที่ทับซ้อนกับบริเวณแปลงย่อยที่กำลังศึกษา (แปลง Y1 และ Y5) และความแตกต่างทางพื้นที่ระหว่างด้านตะวันตก (แปลง Y1 และ Y7) และตะวันออก (แปลง Y5 และ Y9) ของสะพานสุขตา (ภาพที่ 10) ซึ่งอาจส่งผลต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมดังกล่าวรวมถึงสังคมหอยฝาเดียวที่ทำการศึกษา

5.4 การกินซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่าโดยหอยฝาเดียวและการส่งผ่านคาร์บอนในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุต่างกัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวทำให้เกิดส่งผ่านคาร์บอนจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคลำดับถัดไป โดยตรงประมาณ 46.2% (Wu et al., 2020) โดยแหล่งอาหารของหอยฝาเดียวที่กินซากใบไม้ได้แก่ ซากใบไม้ที่สะสมบนพื้นป่า โดยผลการศึกษารั้วนี้พบว่า การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่ามีความแตกต่างระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน โดยแปลง Y1 มีการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าสูงที่สุด (ภาพที่ 57) ซึ่งการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าส่วนหนึ่งมีที่มาจากผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (ภาพที่ 6) โดยแม้ว่าแปลง Y1 มีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นต่ำที่สุด (ภาพที่ 47) แต่กลับมีการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าสูงกว่าแปลงอื่น เนื่องจากปริมาณผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นนี้ยังไม่นับรวมซากใบไม้ที่ร่วงหล่นจากไม้หนุ่มซึ่งพบเฉพาะในแปลง Y1 ซึ่งกระบะรองรับซากพืชที่ใช้ในการศึกษาผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นไม่สามารถรองรับซากพืชจากไม้หนุ่มที่มีความสูงไม่ถึง 1.6 ม. ประกอบกับความหนาแน่นไม้หนุ่ม 2.3-2.4 ต้น/ตร.ม. และความหนาแน่นกล้าไม้ 18.5-19.2 ต้น/ตร.ม. ทำให้แปลง Y1 มีความหนาแน่นต้นไม้ (ภาพที่ 33) ไม้หนุ่ม และกล้าไม้รวมกันสูงกว่าแปลงอื่น (ตารางที่ 5) ส่งผลให้

เพิ่มโอกาสในการดักจับกักเก็บซากพืชที่ร่วงหล่นหรือซากใบไม้ที่ถูกพัดพามาโดยน้ำขึ้นน้ำลงไว้บนพื้นป่า

ในฤดูแล้งมีการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าสูงกว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 57) อาจเป็นผลจากฤดูแล้งมีอุณหภูมิอากาศและดินสูงกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เกิดการทิ้งใบมากขึ้น รวมถึงใบสีเขียวแม้ว่าจะมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้เต็มประสิทธิภาพอยู่ ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำและส่งผลให้ลดการดูดซึมความเค็มเพื่อป้องกันไม่ให้ใบสะสมความเค็มที่สูงเกินไปจากความเค็มในน้ำทะเลที่สูงขึ้นในช่วงฤดูแล้ง (Dewiyanti et al., 2019) นอกจากซากใบไม้บนพื้นป่าจะเป็นแหล่งอาหาร ซากใบไม้ยังเป็นถิ่นอาศัยให้กับหอยฝาเดียวเช่นเดียวกับกับลำไม้หรือรากหายใจแบบแห้งดินสอ (Chapman et al., 2005) โดยพบว่ามีการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ทั้งหมด ยกเว้นวงศ์ *Iravadiidae* (ตารางที่ 7) เนื่องจากหอยฝาเดียววงศ์ *Iravadiidae* มักมีถิ่นอาศัยในบริเวณที่มีน้ำท่วมขัง

ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวไม่ต่างกันระหว่างแปลงอย่างมีนัยสำคัญและไม่พบแนวโน้มเมื่อป่าชายเลนอายุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 58) แต่กลับพบว่าในฤดูแล้งมีร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียวสูงกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญในทุกแปลง อาจชี้ให้เห็นว่าในฤดูแล้งหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้มีการกินซากใบไม้มากกว่าฤดูฝน เนื่องจากอุณหภูมิดินและอุณหภูมิอากาศในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 68) ประกอบกับมีรายงานว่าอุณหภูมิน้ำที่สูงขึ้นทำให้ระบบเผาผลาญในร่างกายหอยฝาเดียวสูงขึ้น (Imamsyah et al., 2020) ด้วยเหตุนี้หอยฝาเดียวอาจมีความต้องการอาหารจากซากใบไม้ในฤดูแล้งมากกว่าในฤดูฝน นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าร้อยละซากใบไม้สีเขียวที่ถูกกินมีแนวโน้มสูงกว่าร้อยละซากใบไม้สีเหลืองและสีน้ำตาลที่ถูกกิน อาจชี้ให้เห็นว่าหอยฝาเดียวมีแนวโน้มที่จะเลือกกินซากใบไม้สีเขียวที่มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าซากใบไม้สีเหลืองที่เป็นใบแก่และซากใบไม้สีน้ำตาลที่ผ่านการย่อยสลายบางส่วน (Kristensen et al., 2008) ต่างจากกลุ่มปูที่เลือกกินซากใบไม้เริ่มเกิดการย่อยสลายก่อน (Hogarth, 2015)

ผลการศึกษาอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวในการศึกษารังนี้ไม่แตกต่างกันระหว่างแปลงทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง (ภาพที่ 59) ถึงกระนั้นกลับพบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวรวมทุกสี (ตารางที่ 9) เมื่อพิจารณาหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้เฉพาะวงศ์ *Littorinidae* ที่เป็นหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้ที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด (ภาพที่ 55) พบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียววงศ์ *Littorinidae* มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวรวมทุกสี (ตารางที่ 9) แสดงให้เห็นถึงบทบาทที่สำคัญของหอยฝาเดียววงศ์ *Littorinidae* ต่อการกินซากใบไม้ในแปลงปลูกป่าชายเลนแห่งนี้ อย่างไรก็ตามหอยฝาเดียววงศ์ *Littorinidae* มักมีขนาดตัวประมาณ 10 มม. ซึ่งนับว่ามีขนาดเล็กส่งผลให้อัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวสีเขียว สีเหลือง และสีน้ำตาลที่คำนวณได้ในการศึกษา

ครั้งนี้อยู่ในช่วง 0.0030-0.0120, 0.0018-0.0089 และ 0.0024-0.0601 กรัม/ตร.ม./วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 59) ซึ่งมีค่าไม่สูงนัก ต่างจากการศึกษาในป่าชายเลน *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* และ *Laguncularia racemosa* ที่รายงานว่าหอยฝาเดียว *Melampus coffeus* ที่มีขนาดประมาณ 5-19 มม. สามารถกินซากใบไม้ได้ 40.5 % ของซากใบไม้ทั้งหมด (Proffitt & Devlin, 2005; Tavares et al., 2015) และการศึกษาในป่าชายเลน *Rhizophora* ที่รายงานว่าหอยฝาเดียว *Terebralia palustris* ที่มีขนาดมากกว่า 13 มม. สามารถกินซากใบไม้ได้ประมาณ 0.65 กรัม/ตัว และยังสามารถหาซากใบไม้กินได้ขณะที่น้ำทะเลท่วมถึง (Fratini et al., 2004)

5.5 การย่อยสลายซากใบไม้และการปลดปล่อยคาร์บอนในแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละอายุ

การย่อยสลายซากใบไม้เป็นหนึ่งในกระบวนการปลดปล่อยคาร์บอนในรูป CO₂ กลับสู่บรรยากาศควบคู่กับการปลดปล่อยธาตุอาหารคืนสู่ดินจึงอธิบายได้ว่าอัตราการย่อยสลายที่สูงจะทำให้มีการปลดปล่อย CO₂ และธาตุอาหารในปริมาณสูงเช่นเดียวกัน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการย่อยสลายในแปลงปลูกป่าชายเลนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะ 4 สัปดาห์แรกของการทดลอง (ภาพที่ 60) เนื่องจากในช่วงแรกสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของซากพืชที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เช่น cyclitols, tannins และสารประกอบ phenolic อื่น ๆ เป็นต้น จะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วและละลายหรือถูกพัดพาไปกับกระแสลำน้ำทำให้มวลของซากใบไม้ที่เพิ่งร่วงหล่นลดลงประมาณ 20-40% ของมวลเริ่มต้นจนเหลือเพียงสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น lignin เป็นต้น ส่งผลให้การย่อยสลายซากพืชในช่วงท้ายเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (ภาพที่ 60) (Kristensen et al., 2008; Pradisty et al., 2021)

แปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมีอัตราการย่อยสลายซากใบไม้ (leaf decomposition rate, k) ช้าที่สุด (ตารางที่ 10) โดยค่า k ทุกแปลงในการศึกษาครั้งนี้สูงกว่าค่า k ของป่าชายเลนธรรมชาติบริเวณปากน้ำตราดที่มี *A. alba* เป็นพืชเด่น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.023 (Suchewaboripont et al., 2011) แสดงให้เห็นว่าอัตราการย่อยสลายซากใบไม้ในแปลง Y1 (k = 0.025) (ตารางที่ 10) ซึ่งเป็นแปลงศึกษาที่มีอายุมากที่สุดมีค่าใกล้เคียงกับป่าชายเลนธรรมชาติมากที่สุด นอกจากนี้ผลการศึกษาครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Li และ Ye (2014) ที่ศึกษาในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มี *K. obovata* เป็นพืชเด่นทางตะวันออกของประเทศจีน โดยพบว่าเมื่อแปลงปลูกมีอายุมากขึ้นจะมีค่า k ลดลง ทั้งนี้ป่าชายเลนอายุมากมักมีเรือนยอดปกคลุมหนาจะลดปริมาณแสงที่ส่องลงถึงพื้นป่า ทำให้พื้นดินมีอุณหภูมิสูงขึ้นน้อยกว่าป่าชายเลนอายุน้อย ซึ่งมีรายงานที่สอดคล้องกันว่าอุณหภูมิดินภายใต้เรือนยอดของป่าชายเลนที่อายุมากมักต่ำกว่าป่าชายเลนอายุน้อย (Salmo et al., 2013) อุณหภูมิดินนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลอย่างยิ่งต่อการเร่งอัตราการย่อยสลายซากพืชโดยสังคมจุลชีพในดิน (Aguilar-Cruz et al., 2020; Pongpam et al., 2009) ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่สนับสนุนผลการศึกษาที่พบว่า

ป่าชายเลนอายุมากจะมีอัตราการย่อยสลายช้ากว่าป่าชายเลนอายุน้อย ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่านอกจากป่าชายเลนอายุมากจะมีประสิทธิภาพการนำเข้าคาร์บอนที่ต่ำอันเนื่องมาจากค่า NPP ที่น้อยกว่าป่าชายเลนอายุน้อย ป่าชายเลนอายุมากยังมีการปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการย่อยสลายซากใบไม้ในอัตราที่ต่ำกว่าป่าชายเลนอายุน้อยด้วยเช่นกัน สรุปได้ว่าแปลงปลูกอายุมากมีอัตราของพลวัตคาร์บอนทั้งในด้านการนำเข้าและปลดปล่อยช้ากว่าแปลงปลูกอายุน้อย จึงชี้ให้เห็นถึงเสถียรภาพทางนิเวศวิทยาในเชิงสมดุลคาร์บอนและศักยภาพในการเก็บกักคาร์บอนของแปลงปลูกป่าชายเลนที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนมีอายุมากขึ้น

5.6 คุณสมบัติดินและสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดินของแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละอายุ

จากการวิเคราะห์ร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon, %OC) พบว่าเฉพาะในแปลง Y1 ช่วงฤดูแล้ง %OC มีความแตกต่างกันระหว่างความลึก โดยความลึก 15-30 ซม. มี %OC มากกว่าที่ระดับ 0-15 ซม. (ภาพที่ 63) โดยในแปลง Y1 ที่มีอายุมากที่สุดมี %OC สะสมอยู่ในดินปริมาณมาก และยังเป็นแปลงที่มีปริมาณการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าสูงที่สุด (ภาพที่ 57) ซึ่งเป็นผลจากการสะสมซากพืชทั้งจากแหล่งต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาานาน อย่างไรก็ตามการสะสมซากใบไม้บนพื้นป่าและผลผลิตส่วนรากใต้ดินเป็นแหล่งกำเนิดของคาร์บอนในดินที่สำคัญมากในระบบนิเวศป่าชายเลน (Sarker, Masud-Ul-Alam, et al., 2021) ซึ่งแปลง Y1 มีโอกาสสร้างผลผลิตส่วนรากเพิ่มขึ้นอีกในอนาคตเนื่องจากมีมวลชีวภาพรากที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งประกอบกับการมีอัตราการย่อยสลายซากพืชที่ต่ำ (ภาพที่ 60)

แม้ว่าป่าชายเลนอายุมากจะมี NPP ต่ำกว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อย แต่มีแนวโน้มการสะสมคาร์บอนที่ในดินที่มากขึ้นสอดคล้องกับรายงานที่ว่าประมาณ 7% ของปริมาณสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน (total organic carbon, TOC) ที่ความลึกไม่เกิน 1 ม. ได้รับมาจากมวลชีวภาพรากและมวลซากพืชตาย (necromass) (Alongi, 2020; Hongwiset et al., 2021) และสอดคล้องการศึกษาอื่นที่รายงานว่าคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกับอายุป่าชายเลน (Arif et al., 2017; Marchand, 2017)

นอกจากนี้ยังพบว่าผลการวิเคราะห์ร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดินทั้งในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 63) เช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินในแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละแปลงที่พบว่าในช่วงฤดูฝนมีปริมาณสูงกว่าฤดูแล้ง (ภาพที่ 64) โดยอาจสอดคล้องกับรายงานที่ว่า *A. alba* มีสัดส่วนการเติบโต เช่น อัตราการเติบโตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น อัตราการผลิใบ และมวลชีวภาพรากฝอย เป็นต้น ในฤดูฝนที่มากกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากในฤดูฝนมีความเค็มของน้ำในดินที่ต่ำกว่าฤดูแล้งทำให้พืชดูดซึมน้ำจืดเพื่อใช้สำหรับการเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าในฤดูแล้ง (Hongwiset et

al., 2021; Kankong et al., 2021; Komiyama et al., 2019) ซึ่งการเติบโตของพืชและสร้างผลผลิตทั้งซากพืชที่ร่วงหล่นและรากในดินของป่าชายเลนเป็นแหล่งที่มาของสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ส่วนใหญ่ในดิน (Kristensen et al., 2008) ประกอบกับอุณหภูมิอากาศในฤดูฝนต่ำกว่าฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 68) อาจทำให้มีอัตราการย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนในฤดูฝนต่ำกว่าฤดูแล้ง ด้วยเหตุนี้จึงอาจส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในดินในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้ง

ในส่วนผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ที่บ่งบอกได้ถึงสถานะของการย่อยสลาย หากมีค่า C:N ratio สูงแสดงว่ามีอัตราการย่อยสลายที่ช้า เนื่องจากมีคาร์บอนปริมาณมากที่ยังไม่ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูป CO₂ ผลการศึกษาพบว่าดินที่ความลึก 15-30 ซม. มีแนวโน้มค่า C:N ratio สูงกว่าที่ความลึก 0-15 ซม. ซึ่งให้เห็นว่าดินที่ระดับความลึกเพิ่มขึ้นจะมีโอกาสเกิดการกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่าบริเวณผิวดิน นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงฤดูแล้งดินที่ความลึก 15-30 ซม. ในแปลง Y1 มี C:N ratio ที่สูงกว่าแปลง Y5, Y7 และ Y9 อย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 65) สอดคล้องกับค่า Eh ในดินที่ต่ำที่สุดแตกต่างจากแปลงอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 68) สะท้อนให้เห็นว่าดินที่มีระดับความลึกมากขึ้นทำให้ออกซิเจนสามารถแพร่ลงไปได้น้อย เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินที่สูงในป่าชายเลน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ต่ำลง อีกประการหนึ่งเมื่อพิจารณา C:N ratio ทั้งที่ความลึก 0-15 และ 15-30 ซม. พบว่าฤดูแล้งมี C:N ratio เฉลี่ยทั้งสองความลึกต่ำกว่า C:N ratio ในฤดูฝนเล็กน้อย (ภาพที่ 65) โดยอาจเป็นผลจากอุณหภูมิดินและอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 68) ทำให้ฤดูแล้งมีอัตราการย่อยสลายเร็วขึ้นส่งผลให้ C:N ratio ในฤดูแล้งมีค่าลดลงเล็กน้อย

5.7 การประยุกต์ผลการศึกษาสำหรับปลูกฟื้นฟูป่าชายเลน

ผลการศึกษาด้านโครงสร้างพืชพรรณ มวลชีวภาพ และผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิในแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีแสมขาว (*A. alba*) เป็นไม้เด่นแห่งนี้ พบว่าแม้แปลงปลูกป่าชายเลนอายุมาก (แปลง Y1) มีการกักเก็บคาร์บอนที่สูงมาก ในขณะที่พืชพรรณมีอัตราการเติบโตที่ช้า ทำให้มีประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิต่ำกว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อย ซึ่งแปลงปลูกอายุน้อยมักมีความหนาแน่นและอัตราการเติบโตของต้นไม้ที่สูงกว่า ด้วยเหตุนี้จึงสามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนบนหาดเลนได้ โดยใช้พันธุ์ไม้เบิกนำ ได้แก่ แสมขาว หรือ ลำพู (*S. caseolaris*) ในการเริ่มปลูกบนหาดเลนงอกใหม่ เนื่องจากมักมีอัตราการรอดตายที่สูงกว่าชนิดอื่น (Balke et al., 2011; Balke et al., 2013) โดยเริ่มปลูกที่ความหนาแน่นสูงเพื่อให้ต้นไม้มีการเติบโตที่รวดเร็วในช่วงที่แปลงปลูกยังมีอายุน้อย จากนั้นเมื่อแปลงปลูกมีอายุมากขึ้นและเริ่มมีประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิลดลง (ดังเช่นที่พบในแปลง Y1 ของการศึกษารั้งนี้) อาจพิจารณาการดำเนินการตัดสาบเทียม (artificial thinning) ในแปลงปลูกชายเลน เพื่อเร่งการเปลี่ยนแปลงแทนที่

และกระตุ้นให้เกิดการแข่งขันระหว่างกล้าไม้ทำให้แปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากกลับเริ่มมีการสร้างผลผลิตที่สูงขึ้น (Jenke et al., 2021) อีกทั้งยังเป็นโอกาสให้กล้าไม้ชนิดอื่นได้เข้ามาตั้งตัวเติบโต และมีความหลากหลายชนิดต้นไม้เพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มความหลากหลายของถิ่นอาศัยในป่าชายเลน ทำให้มีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลนสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน แสงสว่างที่ส่องลงมาถึงพื้นป่า จะช่วยให้เกิดกิจกรรมของสัตว์หน้าดินชนิดต่าง ๆ ซึ่งรวมทั้งสัตว์หน้าดินที่หากินกับเศษซากพืช เช่น หอยฝาเดียว ปู เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาดำเนินการปล่อยหอยฝาเดียววงศ์ที่กินซากใบไม้โดยเฉพาะหอยจู้บแจง (*Cerithidea obtusa*) ที่มีสัดส่วนความหนาแน่นของ *C. obtusa* ค่อนข้างต่ำที่เป็นหอยฝาเดียวขนาดใหญ่ที่สุดที่พบในการศึกษาครั้งนี้ควบคู่กับการตัดสาขเทียม (ภาพที่ 49) ทำให้สามารถกินซากใบไม้ค่อนข้างมาก (Hassan et al., 2021) ซึ่งส่งเสริมให้เกิดพลวัตการย่อยสลายรวดเร็วขึ้นและการปล่อยธาตุอาหารกลับสู่ดินสูงขึ้นในแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมาก ตลอดจนเกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ระบบนิเวศป่าชายเลนมีเสถียรภาพสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม นอกจากนี้มนุษย์ยังสามารถนำเนื้อไม้ที่ได้จากการตัดสาขเทียมและความหนาแน่นของ *C. obtusa* ที่เพิ่มขึ้นไปใช้ประโยชน์ เช่น การก่อสร้าง ประดิษฐ์อุปกรณ์ประมง เครื่องเรือน เชื้อเพลิง การประกอบอาหาร เป็นต้น ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลได้จากการศึกษาในครั้งนี้มาใช้ในการวางแผนปลูกฟื้นฟูและปล่อยสัตว์น้ำเพื่อจัดการป่าชายเลนได้อย่างเหมาะสม จะส่งผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนในด้านต่าง ๆ ได้อย่างยั่งยืนในอนาคต

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

โครงสร้างพืชพรรณด้านต่าง ๆ ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ที่มีอายุ 14, 10, 8 และ 6 ปี ตามลำดับ ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ตำบลบางปูใหม่ จังหวัดสมุทรปราการ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปตามอายุของแปลงปลูกป่าชายเลน โดยแปลงปลูกอายุมากมีความโดดเด่นในด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก (diameter at breast height, DBH) จำนวนกล้าไม้ ไม้หนุม ในขณะที่ยุคแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อยมีความโดดเด่นด้านความหนาแน่นต้นไม้ที่มี DBH ขนาดเล็กซึ่งมีการเติบโตที่รวดเร็ว ทำให้ความสามารถการนำเข้คาร์บอนในรูปผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity, NPP) ในแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 มีค่าเท่ากับ 5.8, 14.7, 20.6 และ 25.6 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า NPP อันประกอบด้วย การเพิ่มพูนมวลชีวภาพ (biomass increment, ΔY) และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litter production, L) ของแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากมีค่าต่ำกว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อย ซึ่งผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นนี้สามารถส่งคาร์บอนจากพืชไปสู่ดินเพื่อเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายซากพืชต่อไป

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพืชพรรณในแปลงปลูกป่าชายเลนอันเนื่องมาจากอายุป่าที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้เกิดความแตกต่างของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในถิ่นอาศัยของหอยฝาเดียวที่ศึกษาด้วย เช่น อุณหภูมิดิน อุณหภูมิอากาศ และความเค็มของน้ำในดิน ที่พบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหล่านี้มีแนวโน้มแตกต่างกันระหว่างแปลงและฤดู ซึ่งส่งผลต่อหอยฝาเดียวแต่ละชนิด ได้แก่ *Optedicerus breviculum* ที่เป็นชนิดเด่นในการศึกษาครั้งนี้ หอยฝาเดียวในวงศ์ Littorinidae, Iravadiidae และ Potamididae ที่เป็นวงศ์ที่กินซากใบไม้ ให้มีความหนาแน่นแตกต่างกันระหว่างแปลงและฤดูกาล กล่าวคือแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากที่มีขนาดต้นไม้ใหญ่และมวลชีวภาพสูงมีความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดสูงกว่าแปลงปลูกป่าชายเลนที่มีอายุน้อย นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าความหนาแน่นหอยฝาเดียวทั้งหมดทุกแปลงค่อนข้างสูงสม่ำเสมอในฤดูฝนและลดลงโดยรวมในช่วงฤดูแล้ง หากแต่ดัชนีความหลากหลายชนิดหอยฝาเดียวในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝน อย่างไรก็ตามความหนาแน่นหอยฝาเดียวและดัชนีความหลากหลายชนิดยังมีแนวโน้มตามอายุแปลงปลูกที่ไม่ชัดเจน จึงอาจทำให้ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (percent leaf litter consumption, %LC) และอัตราการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียว (leaf litter consumption rate, LC rate) ไม่ต่างกันระหว่างแปลงและไม่สังเกตเห็นแนวโน้มที่ชัดเจนเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนอายุเพิ่มขึ้นแต่ถึงกระนั้นการกินซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวนั้นเป็นกลไกหนึ่งของการส่งผ่านคาร์บอนที่อยู่ในรูปของมวลซากพืชไปยังผู้บริโภคซากใบไม้ ซึ่งซากใบไม้ที่ถูกกินจะแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ทำให้เกิดย่อยสลายและการปลดปล่อยธาตุอาหารในอัตราเร็วที่สูงขึ้นส่งผลให้พืชสามารถนำธาตุอาหารกลับไปใช้สร้างผลผลิตได้

จากผลการศึกษากการย่อยสลายซากใบไม้พบว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากมีอัตราการย่อยสลายซากใบไม้ (k) ต่ำกว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อย แสดงให้เห็นว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากมีการปลดปล่อย CO₂ จากกระบวนการย่อยสลายซากใบไม้โดยจุลินทรีย์ในดินต่ำกว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อย ในทำนองเดียวกันแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากมีอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารต่ำกว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อ NPP ที่ค่อนข้างต่ำในแปลงปลูกอายุมาก ถึงแม้ว่าแปลงปลูกป่าชายเลนป่าชายเลนอายุมากจะมี NPP และอัตราการย่อยสลายต่ำ แต่กลับมีการสะสมในรูปมวลชีวภาพสูงถึง 455.6 ตัน/เฮกแตร์ ขณะที่การสะสมคาร์บอนในดินที่พิจารณาจากร้อยละสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon, %OC) และสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน (total organic carbon, TOC) ของแปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 พบว่าในฤดูฝนมีค่า %OC และ TOC สูงกว่าฤดูแล้ง แสดงให้เห็นถึงอัตราการกักเก็บคาร์บอนที่แตกต่างกันระหว่างฤดู

สรุปได้ว่าแปลงปลูกป่าชายเลน Y1, Y5, Y7 และ Y9 ที่มีอายุต่างกันมีการกักเก็บคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพและสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน โครงสร้างพืชพรรณ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ สังคมหอยฝาเดียว และอัตราการย่อยสลายซากใบไม้แตกต่างกันสอดคล้องกับสมมติฐาน ยกเว้นอัตราการกักเก็บซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวที่ไม่ต่างกันระหว่างแปลงปลูกที่มีอายุต่างกัน แสดงให้เห็นว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากมีอัตราการเกิดพลวัตคาร์บอนที่ช้ากว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อยในด้านการนำเข้าและปลดปล่อยคาร์บอนซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก NPP และ k ขณะที่ในการส่งผ่านคาร์บอนซึ่งพิจารณาจากร้อยละซากใบไม้โดยหอยฝาเดียวไม่ต่างกันระหว่างแปลงปลูกป่าชายเลนแต่ละอายุ ตลอดจนด้านการกักเก็บคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพในแปลงปลูกป่าชายเลนอายุมากที่สูงกว่าแปลงปลูกป่าชายเลนอายุน้อย จึงชี้ให้เห็นถึงเสถียรภาพทางนิเวศวิทยาในเชิงสมดุลคาร์บอนและศักยภาพในการเก็บกักคาร์บอนของแปลงปลูกป่าชายเลนที่เพิ่มขึ้นเมื่อแปลงปลูกป่าชายเลนมีอายุมากขึ้น ทั้งนี้สามารถนำข้อมูลไปใช้วางแผนการปลูกป่าชายเลนเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกได้อย่างยั่งยืน

บรรณานุกรม

- Aguilar-Cruz, Y., García-Franco, J. G., & Zotz, G. (2020). Microsites and early litter decomposition patterns in the soil and forest canopy at regional scale. *Biogeochemistry*, 151(1), 15-30. <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00705-3>
- Alongi, D. M. (2009). Paradigm shifts in mangrove biology. *Coastal Wetlands an Integrated Ecosystem Approach*. Elsevier. Amsterdam, Paises Bajos p, 615-640.
- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3), 313-322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>
- Alongi, D. M. (2014). Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *Annual Review of Marine Science*, 6(1), 195-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Alongi, D. M. (2018). Mangrove Forests. In D. M. Alongi (Ed.), *Blue Carbon: Coastal Sequestration for Climate Change Mitigation* (pp. 23-36). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91698-9_3
- Alongi, D. M. (2020). Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation. *Sci*, 2(3), 67. <https://www.mdpi.com/2413-4155/2/3/67>
- Arif, A. M., Guntur, G., Ricky, A. B., Novianti, P., & Andik, I. (2017). Mangrove ecosystem C-stocks of Lamongan, Indonesia and its correlation with forest age. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 21(8), 1-9.
- Ashton, E. C., Macintosh, D. J., & Hogarth, P. J. (2003). A baseline study of the diversity and community ecology of crab and molluscan macrofauna in the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, 19(2), 127-142. <https://doi.org/10.1017/S0266467403003158>
- Azman, M. S., Sharma, S., Shaharudin, M. A. M., Hamzah, M. L., Adibah, S. N., Zakaria, R. M., & MacKenzie, R. A. (2021). Stand structure, biomass and dynamics of naturally regenerated and restored mangroves in Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 482, 118852. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118852>
- Balke, T., Bouma, T. J., Horstman, E. M., Webb, E. L., Erftemeijer, P. L. A., & Herman, P.

- M. J. (2011). Windows of opportunity: thresholds to mangrove seedling establishment on tidal flats. *Marine Ecology Progress Series*, 440, 1-9.
<https://www.int-res.com/abstracts/meps/v440/p1-9/>
- Balke, T., Webb, E. L., van den Elzen, E., Galli, D., Herman, P. M. J., & Bouma, T. J. (2013). Seedling establishment in a dynamic sedimentary environment: a conceptual framework using mangroves. *Journal of Applied Ecology*, 50(3), 740-747.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1365-2664.12067>
- Barik, J., Mukhopadhyay, A., Ghosh, T., Mukhopadhyay, S. K., Chowdhury, S. M., & Hazra, S. (2018). Mangrove species distribution and water salinity: an indicator species approach to Sundarban. *Journal of Coastal Conservation*, 22(2), 361-368.
<https://doi.org/10.1007/s11852-017-0584-7>
- Bärlocher, F., & Gessner, M. O. (2020). *Methods to study litter decomposition*. Springer.
- Berger, U., Hildenbrandt, H., & Grimm, V. (2004). Age-Related Decline in Forest Production: Modelling the Effects of Growth Limitation, Neighbourhood Competition and Self-Thinning. *Journal of Ecology*, 92(5), 846-853.
<http://www.jstor.org/stable/3599383>
- Bharti, D. K., & Shanker, K. (2020). Environmental correlates of distribution across spatial scales in the intertidal gastropods *Littoraria* and *Echinolittorina* of the Indian coastline. *Journal of Molluscan Studies*, 87(1).
<https://doi.org/10.1093/mollus/eyaa029>
- Blanco, J. F., & Cantera, J. R. (1999). The vertical distribution of mangrove gastropods and environmental factors relative to tide level at Buenaventura Bay, Pacific Coast of Colombia. *Bulletin of Marine Science*, 65(3), 617-630.
- Bouillon, S., Borges, A. V., Castañeda-Moya, E., Diele, K., Dittmar, T., Duke, N. C., Kristensen, E., Lee, S. Y., Marchand, C., Middelburg, J. J., Rivera-Monroy, V. H., Smith Iii, T. J., & Twilley, R. R. (2008). Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates [<https://doi.org/10.1029/2007GB003052>]. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2007GB003052>
- Bouyoucos, G. J. (1926). Estimation of the colloidal material in soils. *Science*, 64(1658), 362-362.
- Bradford, M. A., Tordoff, G. M., Eggers, T., Jones, T. H., & Newington, J. E. (2002).

- Microbiota, Fauna, and Mesh Size Interactions in Litter Decomposition. *Oikos*, 99(2), 317-323. <http://www.jstor.org/stable/3547913>
- Cannicci, S., Burrows, D., Fratini, S., Smith III, T. J., Offenberg, J., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: a review. *Aquatic Botany*, 89(2), 186-200.
- Chapman, M. G., Michie, K., & Lasiak, T. (2005). Responses of gastropods to changes in amounts of leaf litter and algae in mangrove forests. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 85(6), 1481-1488. <https://doi.org/10.1017/S0025315405012671>
- Chen, G.-C., Ye, Y., & Lu, C.-Y. (2007). Changes of macro-benthic faunal community with stand age of rehabilitated *Kandelia candel* mangrove in Jiulongjiang Estuary, China. *Ecological Engineering*, 31(3), 215-224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.07.002>
- Chen, J., Chen, G., Gu, Y., Zhu, H., & Ye, Y. (2020). Fate of leaf litter in restored *Kandelia obovata* (S. L.) mangrove forests with different ages in Jiulong River Estuary, China. *Restoration Ecology*, 28(2), 369-377. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/rec.13079>
- Chen, L., Zeng, X., Tam, N. F. Y., Lu, W., Luo, Z., Du, X., & Wang, J. (2012). Comparing carbon sequestration and stand structure of monoculture and mixed mangrove plantations of *Sonneratia caseolaris* and *S. apetala* in Southern China. *Forest Ecology and Management*, 284, 222-229. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.058>
- Chowdhury, R., Sutradhar, T., Begam, M. M., Mukherjee, C., Chatterjee, K., Basak, S. K., & Ray, K. (2019). Effects of nutrient limitation, salinity increase, and associated stressors on mangrove forest cover, structure, and zonation across Indian Sundarbans. *Hydrobiologia*, 842(1), 191-217. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04036-9>
- Clark, D. A., Brown, S., Kicklighter, D. W., Chambers, J. Q., Thomlinson, J. R., & Ni, J. (2001). Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*, 11(2), 356-370.
- Clarke, K. R., Gorley, R., Somerfield, P. J., & Warwick, R. (2014). Change in marine

communities: an approach to statistical analysis and interpretation.

- Clarke, P. J. (2004). Effects of Experimental Canopy Gaps on Mangrove Recruitment: Lack of Habitat Partitioning May Explain Stand Dominance. *Journal of Ecology*, 92(2), 203-213. <http://www.jstor.org/stable/3599586>
- Clarke, P. J., & Allaway, W. G. (1993). The regeneration niche of the grey mangrove (*Avicennia marina*): effects of salinity, light and sediment factors on establishment, growth and survival in the field. *Oecologia*, 93(4), 548-556. <https://doi.org/10.1007/BF00328964>
- Crawford, R. M. M. (1992). Oxygen Availability as an Ecological Limit to Plant Distribution. In M. Begon & A. H. Fitter (Eds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 23, pp. 93-185). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60147-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60147-6)
- Das, S. K., Patra, J. K., & Thatoi, H. (2016). Antioxidative response to abiotic and biotic stresses in mangrove plants: A review. *International Review of Hydrobiology*, 101(1-2), 3-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/iroh.201401744>
- Dasgupta, S., Sobhan, I., & Wheeler, D. (2017). The impact of climate change and aquatic salinization on mangrove species in the Bangladesh Sundarbans. *Ambio*, 46(6), 680-694.
- Day, J. W., Coronado-Molina, C., Vera-Herrera, F. R., Twilley, R., Rivera-Monroy, V. H., Alvarez-Guillen, H., Day, R., & Conner, W. (1996). A 7 year record of above-ground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. *Aquatic Botany*, 55(1), 39-60. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3770\(96\)01063-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3770(96)01063-7)
- Dewiyanti, I., ElRahimi, S., Damora, A., & Ulfah, M. (2021). Mangrove litter production in correlation to environmental properties of water in Pusong Cium, Seruway, Aceh Tamiang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*,
- Dewiyanti, I., Nurfadillah, N., Setiawati, T., Yanti, F., & Elrahimi, S. A. (2019). Litter production and decomposition of mangrove in the Northern Coast of Aceh Besar district, Aceh province. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 567, 012025. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/567/1/012025>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature*

- Geoscience*, 4(5), 293-297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Fernandez, P., Guadelli, J.-L., & Fosse, P. (2006). Applying dynamics and comparing life tables for Pleistocene Equidae in anthropic (Bau de l'Aubesier, Combe-Grenal) and carnivore (Fouvent) contexts with modern feral horse populations (Akagera, Pryor Mountain). *Journal of Archaeological Science*, 33(2), 176-184.
- Field, C. D. (1999). Rehabilitation of Mangrove Ecosystems: An Overview. *Marine Pollution Bulletin*, 37(8), 383-392. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00106-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00106-X)
- Fratini, S., Vigiani, V., Vannini, M., & Cannicci, S. (2004). Terebralia palustris (Gastropoda; Potamididae) in a Kenyan mangal: size structure, distribution and impact on the consumption of leaf litter. *Marine Biology*, 144(6), 1173-1182. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1282-6>
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Guest, M. A., Connolly, R. M., & Loneragan, N. R. (2004). Carbon movement and assimilation by invertebrates in estuarine habitats at a scale of metres. *Marine Ecology Progress Series*, 278, 27-34.
- Hamilton, S. E. (2020). Botany of Mangroves. In *Mangroves and Aquaculture: A Five Decade Remote Sensing Analysis of Ecuador's Estuarine Environments* (pp. 1-40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22240-6_1
- Hamilton, S. E., & Casey, D. (2016). Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*, 25(6), 729-738. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/geb.12449>
- Hassan, N., Salleh, S., & Wong, N. (2021). Gut content of mangrove gastropod, Cerithidea obtusa (Lamarck, 1822) from Kuala Selangor Nature Park, Selangor and Tanjung Piai National Park, Johor, Peninsular Malaysia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Hogarth, P. J. (2015). *The biology of mangroves and seagrasses*. Oxford University Press.

Hongwiset, S., Rodtassana, C., Pongparn, S., Umnouysin, S., & Komiyama, A. (2021). Spatiotemporal Heterogeneity of Mangrove Root Sphere under a Tropical Monsoon Climate in Eastern Thailand. *Forests*, 12(8), 966.

<https://www.mdpi.com/1999-4907/12/8/966>

Hookham, B., Shau-Hwai, A. T., Dayrat, B., & Hintz, W. (2014). A baseline measure of tree and gastropod biodiversity in replanted and natural mangrove stands in malaysia: langkawi island and sungai merbok. *Tropical life sciences research*, 25(1), 1-12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25210584>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4156469/>

Imamsyah, A., ARTHANA, I. W., & ASTARINI, I. A. (2020). The influence of physicochemical environment on the distribution and abundance of mangrove gastropods in Ngurah Rai Forest Park Bali, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(7).

Inoue, T. (2019). Carbon sequestration in mangroves. In *Blue carbon in shallow coastal ecosystems* (pp. 73-99). Springer.

Jahid, A., & Singh, H. (2018). Diversity and distribution of the mangrove gastropods of Kuala Selangor Nature Park Selangor. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(414), 86-90.

Jenke, M., Pranchai, A., Peters, R., & Berger, U. (2021). Silvicultural options for the transformation of even-aged *Rhizophora apiculata* stands to irregular and diverse mangroves – A simulation experiment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248, 106886. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106886>

Kamara, M., & Kamruzzaman, M. (2020a). Effects of Thinning on Aboveground Net Primary Productivity in Overcrowded Mangrove *Kandelia obovata* Stands. *Journal of Coastal Research*, 37(1), 75-81. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-20-00025.1>

Kamara, M., & Kamruzzaman, M. (2020b). Self-thinning process, dynamics of aboveground biomass, and stand structure in overcrowded mangrove *Kandelia obovata* stand. *Regional Studies in Marine Science*, 38, 101375.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101375>

- Kamruzzaman, M., Ahmed, S., & Osawa, A. (2017). Biomass and net primary productivity of mangrove communities along the Oligohaline zone of Sundarbans, Bangladesh. *Forest Ecosystems*, 4(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0104-0>
- Kamruzzaman, M., Osawa, A., Deshar, R., Sharma, S., & Mouctar, K. (2017). Species composition, biomass, and net primary productivity of mangrove forest in Okukubi River, Okinawa Island, Japan. *Regional Studies in Marine Science*, 12, 19-27.
- Kandasamy, K., Rajendran, N., Balakrishnan, B., Thiruganasambandam, R., & Narayanasamy, R. (2021). Carbon sequestration and storage in planted mangrove stands of *Avicennia marina*. *Regional Studies in Marine Science*, 43, 101701. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101701>
- Kankong, P., Pongpan, S., Komiyama, A., Rodtassana, C., & Pravinvongvuthi, T. (2021). Leaf phenology and trunk growth of *Avicennia alba* (Blume) under a seasonally fluctuating saline environment in the tropical monsoon area of eastern Thailand. *Ecological Research*, 36(5), 854-865.
- Karberg, N. J., Scott, N. A., & Giardina, C. P. (2008). Methods for estimating litter decomposition. In *Field measurements for forest carbon monitoring* (pp. 103-111). Springer.
- Kathiresan, K., Anburaj, R., Gomathi, V., & Saravanakumar, K. (2013). Carbon sequestration potential of *Rhizophora mucronata* and *Avicennia marina* as influenced by age, season, growth and sediment characteristics in southeast coast of India. *Journal of Coastal Conservation*, 17(3), 397-408. <https://doi.org/10.1007/s11852-013-0236-5>
- Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems.
- Kira, T., & Shidei, T. (1967). Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. *Japanese Journal of Ecology*, 17(2), 70-87.
- Kirui, B. Y. K., Huxham, M., Kairo, J., & Skov, M. (2008). Influence of species richness and environmental context on early survival of replanted mangroves at Gazi bay, Kenya. *Hydrobiologia*, 603(1), 171. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9270-3>
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpan, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 128-137.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>

- Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4), 471-477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Komiyama, A., Pongpan, S., Umnouysin, S., Rodtassana, C., Pravinvongvuthi, T., Noda, T., & Kato, S. (2019). Occurrence of seasonal water replacement in mangrove soil and the trunk growth response of *Avicennia alba* related to salinity changes in a tropical monsoon climate. *Ecological Research*, 34(3), 428-439.
- Krauss, K. W., & Ball, M. C. (2013). On the halophytic nature of mangroves. *Trees*, 27(1), 7-11. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0767-7>
- Krauss, K. W., Lovelock, C. E., McKee, K. L., López-Hoffman, L., Ewe, S. M. L., & Sousa, W. P. (2008). Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 105-127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.014>
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., & Marchand, C. (2008). Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 201-219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>
- Kusmana, C., Hidayat, T., Tiryana, T., Rusdiana, O., & Istomo. (2018). Allometric models for above- and below-ground biomass of *Sonneratia* spp. *Global Ecology and Conservation*, 15, e00417. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00417>
- Lee, O. H. K., & Williams, G. A. (2002). LOCOMOTOR ACTIVITY PATTERNS OF THE MANGROVE LITTORINIDS, *LITTORARIA ARDOUINIANA* AND *L. MELANOSTOMA*, IN HONG KONG. *Journal of Molluscan Studies*, 68(3), 235-241. <https://doi.org/10.1093/mollus/68.3.235>
- Lee, O. H. K., Williams, G. A., & Hyde, K. D. (2001). The diets of *Littoraria ardouiniana* and *L. melanostoma* in Hong Kong mangroves. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81(6), 967-973. <https://doi.org/10.1017/S002531540100491X>
- Lee, S. Y. (2008). Mangrove macrobenthos: Assemblages, services, and linkages. *Journal of Sea Research*, 59(1), 16-29.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seares.2007.05.002>

Li, B.-L., Wu, H.-i., & Zou, G. (2000). Self-thinning rule: a causal interpretation from ecological field theory. *Ecological Modelling*, 132(1), 167-173.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00313-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00313-6)

Li, T., & Ye, Y. (2014). Dynamics of decomposition and nutrient release of leaf litter in *Kandelia obovata* mangrove forests with different ages in Jiulongjiang Estuary, China. *Ecological Engineering*, 73, 454-460.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.102>

Li, Z., Saito, Y., Mao, L., Tamura, T., Li, Z., Song, B., Zhang, Y., Lu, A., Sieng, S., & Li, J. (2012). Mid-Holocene mangrove succession and its response to sea-level change in the upper Mekong River delta, Cambodia. *Quaternary Research*, 78(2), 386-399.

<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2012.07.001>

Liu, H., Ren, H., Hui, D., Wang, W., Liao, B., & Cao, Q. (2014). Carbon stocks and potential carbon storage in the mangrove forests of China. *Journal of Environmental Management*, 133, 86-93.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.037>

Lunstrum, A., & Chen, L. (2014). Soil carbon stocks and accumulation in young mangrove forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 223-232.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.008>

Macintosh, D. J., Ashton, E. C., & Havanon, S. (2002). Mangrove Rehabilitation and Intertidal Biodiversity: a Study in the Ranong Mangrove Ecosystem, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(3), 331-345.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0896>

Maia, R. C., & Coutinho, R. (2016). The effects of salinity on the density, shell size and survival of a mangrove gastropod: laboratory and field evidence. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(6), 1191-1199.

<https://doi.org/10.1017/S0025315415000715>

Marchand, C. (2017). Soil carbon stocks and burial rates along a mangrove forest chronosequence (French Guiana). *Forest Ecology and Management*, 384, 92-99.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.030>

McMahon, R. F. (1988). Respiratory response to periodic emergence in intertidal

- molluscs. *American Zoologist*, 28(1), 97-114.
- McMahon, R. F. (2003). Acute hypo-and hypersaline activity responses relative to zonation of intertidal rocky shore and mangrove gastropods from the Burrup Peninsula, Western Australia. *The marine flora and fauna of Dampier, Western Australia. Western Australian Museum, Perth*, 131-146.
- Misnan, R., Salahudin Abdul Aziz, N., Mohd Yadzir, Z. H., Abdullah, N., Bakhtiar, F., & Murad, S. (2016). COMPARISON OF ALLERGENIC PROTEINS OF SEA SNAIL (CERITHIDEA OBTUSA) AND FRESHWATER SNAIL (POMACEA CANALICULATA). *Jurnal Teknologi*, 78(11). <https://doi.org/10.11113/v78.7940>
- Mitra, A., Sengupta, K., & Banerjee, K. (2011). Standing biomass and carbon storage of above-ground structures in dominant mangrove trees in the Sundarbans. *Forest Ecology and Management*, 261(7), 1325-1335. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.01.012>
- Muliawan, R. E., Prartono, T., & Bengen, D. G. (2020). Productivity and decomposition rate of *Rhizophora mucronata* and *Avicennia alba* litter based on environment characteristics in Muara Gembong. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429, 012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/012057>
- Mulya, M. B., & Arlen, H. J. (2018). Production of litter and detritus related to the density of mangrove. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 130, 012033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/130/1/012033>
- Nagelkerken, I., Blaber, S., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L., Meynecke, J.-O., Pawlik, J., Penrose, H., & Sasekumar, A. (2008). The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. *Aquatic Botany*, 89(2), 155-185.
- Naskar, S., & Palit, P. K. (2015). Anatomical and physiological adaptations of mangroves. *Wetlands ecology and management*, 23(3), 357-370.
- Nguyen, H. T., Yoneda, R., Ninomiya, I., Harada, K., Dao, T. V., Sy, T. M., & Phan, H. N. (2004). The effects of stand-age and inundation on carbon accumulation in mangrove plantation soil in Namdinh, Northern Vietnam. *Tropics*, 14(1), 21-37. <https://doi.org/10.3759/tropics.14.21>
- Noor, T., Batool, N., Mazhar, R., & Ilyas, N. (2015). Effects of siltation, temperature and

- salinity on mangrove plants. *European Academic Research*, 2(11), 14172-14179.
- Nurfitriani, S., Lili, W., Hamdani, H., & Sahidin, A. (2019). Density Effect of Mangrove Vegetation on Gastropods on Pandansari Mangrove Ecotourism Forest, Kaliwlingi Village, Brebes Central Java. *World Scientific News*, 133, 98-120.
- Ohtsuka, T., Tomotsune, M., Suchewaboripont, V., Iimura, Y., Kida, M., Yoshitake, S., Kondo, M., & Kinjo, K. (2019). Stand dynamics and aboveground net primary productivity of a mature subtropical mangrove forest on Ishigaki Island, south-western Japan. *Regional Studies in Marine Science*, 27, 100516.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100516>
- Ouyang, X., & Guo, F. (2020). Patterns of Mangrove Productivity and Support for Marine Fauna. *Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture*, 1-20.
- Parida, A. K., & Jha, B. (2010). Salt tolerance mechanisms in mangroves: a review. *Trees*, 24(2), 199-217. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0417-x>
- Patria, M. (2020). Population studies of *Cerithidea obtusa* (Lamarck 1822) in mangrove forest Pangkal Babu, Tanjung Jabung Barat, Jambi. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,
- Peng, D., Guo, H., Armitage, A. R., & Pennings, S. C. (2021). Competition and abiotic stress affect the size of mangroves near their geographic range limit. *Journal of Plant Ecology*. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtab079>
- Phan, S. M., Nguyen, H. T. T., Nguyen, T. K., & Lovelock, C. (2019). Modelling above ground biomass accumulation of mangrove plantations in Vietnam. *Forest Ecology and Management*, 432, 376-386.
- Poungparn, S., Komiyama, A., Tanaka, A., Sangtiewan, T., Maknual, C., Kato, S., Tanapermpool, P., & Patanaponpaiboon, P. (2009). Carbon dioxide emission through soil respiration in a secondary mangrove forest of eastern Thailand. *Journal of Tropical Ecology*, 25(4), 393-400.
<https://doi.org/10.1017/S0266467409006154>
- Poungparn, S., Komiyama, A., Umnouysin, S., Rodtassana, C., Sangtiewan, T., Maknual, C., Pravinongvuthi, T., Suchewaboripont, V., & Kato, S. (2020). Ten-year estimation of net primary productivity in a mangrove forest under a tropical monsoon

- climate in Eastern Thailand: Significance of the temperature environment in the dry season. *Forests*, 11(9), 987.
- Pradisty, N. A., Amir, A. A., & Zimmer, M. (2021). Plant species- and stage-specific differences in microbial decay of mangrove leaf litter: the older the better? *Oecologia*, 195(4), 843-858. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-04865-3>
- Prasanna, J., Anand, M., Vijayasekaran, D., & Kumaraguru, A. (2017). Allometric model for estimating above ground biomass and carbon storage in Karankadu mangrove swamp, Palk bay, Southeast coast of India.
- Premcharoen, S., Witirawat, S., & Tharapoom, P. (2016). Molluscan Fauna in Bang Taboon Mangrove Estuary, Inner Gulf of Thailand: Implications for conservation and sustainable use of coastal resources. MATEC Web of Conferences,
- Primavera, J. H., Friess, D. A., Van Lavieren, H., & Lee, S. Y. (2019). Chapter 1 - The Mangrove Ecosystem. In C. Sheppard (Ed.), *World Seas: an Environmental Evaluation (Second Edition)* (pp. 1-34). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00001-2>
- Printrakoon, C., Wells, F. E., & Chitramvong, Y. (2008). Distribution of molluscs in mangroves at six sites in the upper Gulf of Thailand. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 18(18), 247-257.
- Proffitt, C. E., & Devlin, D. J. (2005). Grazing by the intertidal gastropod *Melampus coffeus* greatly increases mangrove leaf litter degradation rates. *Marine Ecology Progress Series*, 296, 209-218.
- Proffitt, C. E., Johns, K. M., Cochrane, C. B., Devlin, D. J., Reynolds, T. A., Payne, D. L., Jeppesen, S., Peel, D. W., & Linden, D. D. (1993). Field and laboratory experiments on the consumption of mangrove leaf litter by the macrodetritivore *Melampus coffeus* L.(Gastropoda: Pulmonata). *Florida Scientist*, 211-222.
- Reef, R., Feller, I. C., & Lovelock, C. E. (2010). Nutrition of mangroves. *Tree Physiology*, 30(9), 1148-1160. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq048>
- Reef, R., & Lovelock, C. E. (2015). Regulation of water balance in mangroves. *Annals of botany*, 115(3), 385-395.
- Reis, A., Alves, A. T., Dórea, A., Beneli, T. M., Santos Freitas, T. S., & Barros, F. (2021).

- Distribution and movement of the mangrove gastropod *Littoraria angulifera*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 250, 107145.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107145>
- Ren, H., Chen, H., Li, Z. A., & Han, W. (2010). Biomass accumulation and carbon storage of four different aged *Sonneratia apetala* plantations in Southern China. *Plant and Soil*, 327, 279-291. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0053-7>
- Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E., Barr, J. G., Engel, V., Fuentes, J. D., Troxler, T. G., Twilley, R. R., Bouillon, S., Smith, T. J., & O'Halloran, T. L. (2013). Current methods to evaluate net primary production and carbon budgets in mangrove forests. *Methods in biogeochemistry of wetlands*, 243-288.
- Robertson, A., Alongi, D., & Boto, K. (1993). Food chains and carbon fluxes. *Coastal and estuarine studies*, 293-293.
- Rosmilah, M., Norazlin Salahudin Abd, A., Zailatul Hani Mohamad, Y., Faizal, B., Noormalin, A., & Shahnaz, M. (2016). Impacts of Thermal Treatments on Major and Minor Allergens of Sea Snail, *Cerithidea obtusa* (Obtuse Horn Shell). *Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology*, 15(4).
<https://ijaai.tums.ac.ir/index.php/ijaai/article/view/748>
- Rusnaningsih, & Patria, M. P. (2020). Population studies of *Cerithidea obtusa* (Lamarck 1822) in mangrove forest Pangkal Babu, Tanjung Jabung Barat, Jambi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 481, 012035.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/481/1/012035>
- Russell-Hunter, W., MEADOWS, R. T., APLEY, M. L., & BURKY, A. J. (1968). On the use of a 'wet-oxidation' method for estimates of total organic carbon in mollusc growth studies. *Journal of Molluscan Studies*, 38(1), 1-12.
- Saenger, P., & Snedaker, S. (1993). Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *School of Environmental Science and Management Papers*, 96. <https://doi.org/10.1007/BF00317496>
- Sahu, S. K., & Kathiresan, K. (2019). The age and species composition of mangrove forest directly influence the net primary productivity and carbon sequestration potential. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101235.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101235>

- Salmo, S. G., Lovelock, C., & Duke, N. C. (2013). Vegetation and soil characteristics as indicators of restoration trajectories in restored mangroves. *Hydrobiologia*, 720(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1617-3>
- Salmo, S. G., Tibbetts, I., & Duke, N. C. (2017). Colonization and shift of mollusc assemblages as a restoration indicator in planted mangroves in the Philippines. *Biodiversity and Conservation*, 26(4), 865-881.
- Sarker, S., Masud-UL-Alam, M., Hossain, M. S., Rahman Chowdhury, S., & Sharifuzzaman, S. M. (2021). A review of bioturbation and sediment organic geochemistry in mangroves [<https://doi.org/10.1002/gj.3808>]. *Geological Journal*, 56(5), 2439-2450. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/gj.3808>
- Sarker, S., Masud-UL-Alam, M., Hossain, M. S., Rahman Chowdhury, S., & Sharifuzzaman, S. (2021). A review of bioturbation and sediment organic geochemistry in mangroves. *Geological Journal*, 56(5), 2439-2450.
- Scharler, U. (2012). Whole food webs studies – Mangroves. In.
- Sharma, S., Nadaoka, K., Nakaoka, M., Uy, W. H., MacKenzie, R. A., Friess, D. A., & Fortes, M. D. (2017). Growth performance and structure of a mangrove afforestation project on a former seagrass bed, Mindanao Island, Philippines. *Hydrobiologia*, 803(1), 359-371. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3252-x>
- Sherman, R. E., Fahey, T. J., & Martinez, P. (2003). Spatial Patterns of Biomass and Aboveground Net Primary Productivity in a Mangrove Ecosystem in the Dominican Republic. *Ecosystems*, 6(4), 384-398. <http://www.jstor.org/stable/3659037>
- Shokita, S. (2004). The role of aquatic animals in mangrove ecosystems. Mangrove management and conservation workshop, Okinawa, Japan, 2000.,
- Sidik, F., Fernanda Adame, M., & Lovelock, C. E. (2019). Carbon sequestration and fluxes of restored mangroves in abandoned aquaculture ponds. *Journal of the Indian Ocean Region*, 15(2), 177-192. <https://doi.org/10.1080/19480881.2019.1605659>
- Sippo, J. Z., Lovelock, C. E., Santos, I. R., Sanders, C. J., & Maher, D. T. (2018). Mangrove mortality in a changing climate: An overview. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 215, 241-249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.011>

- Sippo, J. Z., Sanders, C. J., Santos, I. R., Jeffrey, L. C., Call, M., Harada, Y., Maguire, K., Brown, D., Conrad, S. R., & Maher, D. T. (2020). Coastal carbon cycle changes following mangrove loss [<https://doi.org/10.1002/lno.11476>]. *Limnology and Oceanography*, 65(11), 2642-2656. <https://doi.org/10.1002/lno.11476>
- Srikanth, S., Lum, S. K. Y., & Chen, Z. (2016). Mangrove root: adaptations and ecological importance. *Trees*, 30(2), 451-465.
- Srisunont, C., Jaiyen, T., Tenrung, M., Likitchaikul, M., & Srisunont, T. (2017). Nutrient Accumulation by Litterfall in Mangrove Forest at Klong Khone, Thailand. *Science & Technology Asia*, 22(1), 9-18. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/SciTechAsia/article/view/80818>
- Suchewaboripont, V., Pongparn, S., & Patanaponpaiboon, P. (2011). Zonal variation in leaf-litter decomposition in a secondary mangrove forest. *Tropics*, 20(1), 1-10. <https://doi.org/10.3759/tropics.20.1>
- Sukardjo, S., & Yamada, I. (1992). Biomass and productivity of a *Rhizophora mucronata* Lamarck plantation in Tritih, Central Java, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 49(3), 195-209. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(92\)90135-V](https://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90135-V)
- Suratno, S., SUSILO, V. E., DOVIYANA, V., & MUJIONO, N. (2020). The diversity of Gastropoda in Meru Betiri National Park.
- Suzuki, T., Nishihira, M., & Paphavasit, N. (2002). Size structure and distribution of *Ovassiminea brevicula* (Gastropoda) in a Thai mangrove swamp. *Wetlands ecology and management*, 10(3), 265-271. <https://doi.org/10.1023/A:1020115411316>
- Swennen, C., Moolenbeek, R., Ruttanadakul, N., Hobbelink, H., Dekker, H., & Hajisamae, S. (2001). The molluscs of the southern Gulf of Thailand. *Thai studies in biodiversity*(4).
- Tavares, D. S., Maia, R. C., Rocha-Barreira, C., & Matthews-Cascon, H. (2015). Ecological relations between mangrove leaf litter and the spatial distribution of the gastropod *Melampus coffeus* in a fringe mangrove forest. *Iheringia. Série Zoologia*, 105, 35-40.
- Then, A. Y.-H., Adame, M. F., Fry, B., Chong, V. C., Riekenberg, P. M., Mohammad Zakaria, R., & Lee, S. Y. (2021). Stable Isotopes Clearly Track Mangrove Inputs and Food

Web Changes Along a Reforestation Gradient. *Ecosystems*, 24(4), 939-954.

<https://doi.org/10.1007/s10021-020-00561-0>

Thi Kim Cuc, N., & Thi Hien, H. (2021). Stand structure and above ground biomass of *Kandelia obovata* Sheue, H.Y. Liu & J. Yong mangrove plantations in Northern, Viet Nam. *Forest Ecology and Management*, 483, 118720.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118720>

Twilley, R. R., Castañeda-Moya, E., Rivera-Monroy, V. H., & Rovai, A. (2017). Productivity and Carbon Dynamics in Mangrove Wetlands. In V. H. Rivera-Monroy, S. Y. Lee, E. Kristensen, & R. R. Twilley (Eds.), *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services* (pp. 113-162). Springer International Publishing.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4_5

Twilley, R. R., Pozo, M., García, V. H., Rivera-Monroy, V. H., Zambrano, R., & Boderó, A. (1997). Litter dynamics in riverine mangrove forests in the Guayas River estuary, Ecuador. *Oecologia*, 111(1), 109-122.

Udomluck, T., Jan, E. V., & Carlos, M. D. (2002). Colonization success of common Thai mangrove species as a function of shelter from water movement. *Marine Ecology Progress Series*, 237, 111-120. <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v237/p111-120/>

Vinh, T. V., Marchand, C., Linh, T. V. K., Vinh, D. D., & Allenbach, M. (2019). Allometric models to estimate above-ground biomass and carbon stocks in *Rhizophora apiculata* tropical managed mangrove forests (Southern Viet Nam). *Forest Ecology and Management*, 434, 131-141.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.017>

Virgulino-Júnior, P. C. C., Carneiro, D. N., Nascimento, W. R., Jr., Cougo, M. F., & Fernandes, M. E. B. (2020). Biomass and carbon estimation for scrub mangrove forests and examination of their allometric associated uncertainties. *PLOS ONE*, 15(3), e0230008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230008>

Wang, G., Yu, C., Singh, M., Guan, D., Xiong, Y., Zheng, R., & Xiao, R. (2021). Community structure and ecosystem carbon stock dynamics along a chronosequence of mangrove plantations in China. *Plant and Soil*, 464(1), 605-620.

<https://doi.org/10.1007/s11104-021-04973-2>

- Wang, Q., Duarte, C., Song, L., Christakos, G., Agusti, S., & Wu, J. (2021). Effects of Ecological Restoration Using Non-Native Mangrove *Kandelia obovata* to Replace Invasive *Spartina alterniflora* on Intertidal Macrobenthos Community in Maoyan Island (Zhejiang, China). *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 788. <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/8/788>
- Wang, Q., Song, L., Agusti, S., Duarte, C., Christakos, G., & Wu, J. (2021). Changes of the Macrobenthos Community with Non-native Mangrove Rehabilitation (*Kandelia obovata*) and Salt Marsh Invasion (*Spartina alterniflora*) in Ximen Island, Zhejiang, China. *Ocean Science Journal*. <https://doi.org/10.1007/s12601-021-00037-2>
- Wanthongchai, P., & Pongruktham, O. (2019). Mangrove Cover, Biodiversity, and Carbon Storage of Mangrove Forests in Thailand. In B. Gul, B. Böer, M. A. Khan, M. Clüsener-Godt, & A. Hameed (Eds.), *Sabkha Ecosystems: Volume VI: Asia/Pacific* (pp. 459-467). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04417-6_28
- Wells, F. E., Sanpanich, K., Tan, S. K., & Duangdee, T. (2021). The Marine and Estuarine Molluscs of Thailand. In: Lee Kong Chian Natural History Museum, National University of Singapore
- Westoby, M. (1984). The Self-Thinning Rule. In A. MacFadyen & E. D. Ford (Eds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 14, pp. 167-225). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60171-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60171-3)
- Woodroffe, C. D., Lovelock, C. E., & Rogers, K. (2015). Mangrove shorelines. *Coastal environments and global change*, 251-267.
- Wu, Z., Xie, L., Chen, B., Dhamawan, I. W. E., Sastrosuwondo, P., Chen, S., Rianta, P., Ernawati, W., & Chen, G. (2020). Carbon Sources of Sediment and Epifaunal Food Sources in a Tropical Mangrove Forest in North Sulawesi, Indonesia. *Journal of Ocean University of China*, 19(5), 1169-1176. <https://doi.org/10.1007/s11802-020-4401-9>
- Yong, Y., Baipeng, P., Guangcheng, C., & Yan, C. (2011). Processes of organic carbon in mangrove ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 31(3), 169-173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2011.03.008>

- Yudha, R. P., Sugito, Y. S., Sillanpää, M., & Nurvianto, S. (2021). Impact of logging on the biodiversity and composition of flora and fauna in the mangrove forests of Bintuni Bay, West Papua, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 488, 119038. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119038>
- Zhu, D., Hui, D., Wang, M., Yang, Q., Li, Z., Huang, Z., Yuan, H., & Yu, S. (2021). Allometric growth and carbon storage in the mangrove *Sonneratia apetala*. *Wetlands ecology and management*, 29(1), 129-141. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09772-7>
- Zvonareva, S., & Kantor, Y. (2016). Checklist of gastropod molluscs in mangroves of Khanh Hoa province, Vietnam. *Zootaxa*, 4162, 401-437. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4162.3.1>
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556). สถานภาพป่าชายเลนรายเขต. Retrieved 24 กุมภาพันธ์ 2563 from https://km.dmcr.go.th/th/c_11/d_4721
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2561). ข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง จังหวัดสมุทรปราการ. ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- มูลนิธิสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน. (2555). ศูนย์ศึกษาระบบนิเวศกึ่งน้ำ (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ ๗๒ พรรษา มหาราชินี. Retrieved 24 กุมภาพันธ์ 2563 from <http://www.feedthailand.org/our-charities/bangpoo/>

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายชนิด โดยใช้ Shannon-Wiener Diversity Index (H')

สูตรคำนวณ

$$H' = - \sum_{i=1}^s [p_i (\ln p_i)]$$

เมื่อ H' คือ ดัชนีความหลากหลายชนิด

s คือ จำนวนชนิดทั้งหมด

p_i คือ ความหนาแน่นของสิ่งมีชีวิตชนิด a_i ต่อความหนาแน่นสิ่งมีชีวิตทั้งหมด
(กำหนดให้ $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ คือ ชนิดของสิ่งมีชีวิต)

วิเคราะห์ดัชนีความคล้ายคลึง (similarity index) โดยใช้ Sørensen Similarity Index (IS_s)

สูตรคำนวณ

$$IS_s = \frac{2C}{A+B} \times 100$$

เมื่อ IS_s คือ ดัชนีความคล้ายคลึงของ Sørensen

C คือ จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบทั้งสองสังคม $A \cap B$

A คือ จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตในสังคม A

B คือ จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตในสังคม B

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. sedimental cylinder
2. dispersing apparatus
3. hydrometer
4. thermometer
5. plunger
6. flask 125 มล.
7. wash bottle
8. นาฬิกาจับเวลา

สารเคมี

1. สารละลาย calgon 5% จากการละลาย sodium hexameta phosphate 50 กรัม และ sodium carbonate 8.3 ในสารละลาย 1 ลิตร
2. amyl alcohol

วิธีการ

ชั่งดิน (ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดตา 2 มม.) หนัก 50 กรัม ใส่ flask 125 มล. แล้วเติมสารละลาย calgon 5% 100 มล. แช่ทิ้งไว้ค้างคืน ถ่ายสารละลายดินลงไปใน dispersion cup ใช้ขวดฉีดน้ำล้างดินที่ติดใน flask ออกให้หมด ปั่น 3 นาที ถ่ายสารละลายติดที่ปั่นแล้วลงใน sedimental cylinder ล้างดินที่อยู่ใน cup ให้หมดด้วยขวดฉีดน้ำ เติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดกลางของ sedimental cylinder ที่ปริมาตร 1130 มล. โดยในขณะนี้มี hydrometer ลอยอยู่ด้วย เอา hydrometer ออกแล้วใช้ plunger กวนประมาณ 1 นาที ให้ได้สารแขวนดินที่สมบูรณ์อีกครั้งหนึ่ง (ในขณะนี้มีฟองเกิดขึ้นมากให้กำจัดฟองโดยหยด amyl alcohol 2-3 หยด) จากนั้นค่อย ๆ หย่อน hydrometer ลงไป อ่านค่าบนก้าน hydrometer เมื่อครบ 40 วินาที สมมุติอ่านได้เท่ากับ Rt 40s (กรัม/ลิตร) และวัดอุณหภูมิของสารละลายดินด้วย สมมุติให้อ่านได้ T 40s (°C) ทำ blank คือ ส่วนของสารละลาย calgon 5% ดำเนินวิธีการคล้ายข้างต้นจนทั้งหมด (แต่ไม่มีตัวอย่างดิน) ดังนั้นจะได้ค่าที่อ่านได้จาก hydrometer อีก 1 ค่า สมมุติให้อ่านค่าได้เท่ากับ Cr 40s (กรัม/ลิตร) อ่านอุณหภูมิได้ r 40s (°C) ปลดปล่อยทิ้งไว้และวัดค่าสารละลายเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชม. ค่า hydrometer ที่วัดได้ในครั้งนี้ สมมุติให้อ่านได้ Rt 2h (กรัม/ลิตร) วัดอุณหภูมิเท่ากับ T 2h (°C) ให้อ่านค่า hydrometer ใน blank ที่ 2 ชั่วโมงด้วย สมมุติให้อ่านได้ Cr 2h (กรัม/ลิตร) อ่านอุณหภูมิ r 2h (°C) แล้วจึงนำค่าไปคำนวณ

การคำนวณ

ให้ Rs 40s = กลุ่มอนุภาคดินตะกอน + กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัม/ลิตร

$$\text{จะได้ Rs 40s} = [\text{Rt 40s} + 0.36(\text{t 40s}-20)] + [\text{Cr 40s} + 0.5(\text{r 40s}-20)] \dots\dots\dots (1)$$

ให้ Rs 2h = กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัม/ลิตร

$$\text{จะได้ Rs 2h} = [\text{Rt 2h} + 0.36(\text{t 2h}-20)] - [\text{Cr 2h} + 0.5(\text{r 2h}-20)] \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{กลุ่มอนุภาคดินตะกอน} = (1) - (2) \text{ กรัม/ลิตร} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{กลุ่มอนุภาคดินทราย} = (1) - (2) \text{ กรัม/ลิตร} \dots\dots\dots (4)$$

เนื่องจากสารละลายดิน 1130 มล. ได้จากดิน 50 กรัม

ดังนั้น

$$\% \text{ ของดินเหนียว} = 2 \times (2)$$

$$\% \text{ ของดินเหนียว} = 2 \times (3)$$

$$\% \text{ ของดินเหนียว} = 2 \times (4)$$

นำ % ที่ได้มาอ่านชื่อลักษณะเนื้อดินจากแผนภาพสามเหลี่ยมจำแนกชนิดดิน

ตารางที่ ผ.1 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อพื้นที่ใบของซากใบไม้เฉลี่ย (\pm SD)

สีซากใบไม้	อัตราส่วนน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อพื้นที่ใบของซากใบไม้เฉลี่ย
สีเขียว	0.011 \pm 0.002
สีเหลือง	0.013 \pm 0.002
สีน้ำตาล	0.010 \pm 0.002

ตารางที่ ผ.2 การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (leaf litter stock, LST) แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ครั้งที่ 1

แปลง	ซ้ำ ที่	การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (กรัม/ตร.ม.)							
		ฤดูฝน				ฤดูแล้ง			
		เขียว	เหลือง	น้ำตาล	ทั้งหมด	เขียว	เหลือง	น้ำตาล	ทั้งหมด
Y1	1	0.00	0.52	0.78	1.30	2.39	1.45	6.19	10.03
	2	0.28	0.75	0.42	1.45	3.40	1.42	6.37	11.19
	3	0.16	3.18	1.61	4.95	2.65	1.53	6.60	10.78
	4	0.42	3.89	2.97	7.28	6.00	5.98	18.87	30.85
	5	0.01	1.57	1.52	3.10	7.10	1.85	26.45	35.40
Y5	1	0.15	0.54	0.89	1.58	4.75	2.01	5.71	12.47
	2	0.00	1.30	1.06	2.36	4.85	2.13	6.46	13.44
	3	0.00	2.09	1.41	3.50	2.73	1.11	3.07	6.91
	4	0.15	1.28	0.57	2.00	0.81	0.90	4.86	6.57
	5	0.00	0.73	0.18	0.91	1.51	1.43	3.61	6.55
Y7	1	0.00	0.60	0.05	0.65	0.95	0.59	0.98	2.52
	2	0.00	0.17	0.22	0.39	2.31	0.84	2.34	5.49
	3	0.02	1.38	0.53	1.93	1.52	0.93	1.41	3.86
	4	0.00	1.51	1.12	2.63	0.87	0.64	1.43	2.94
	5	0.00	0.84	1.10	1.94	2.04	1.21	2.41	5.66
Y9	1	0.00	0.36	0.44	0.80	1.79	0.51	2.23	4.53
	2	0.07	0.00	1.14	1.21	0.71	0.08	0.41	1.20
	3	0.00	0.28	0.98	1.26	0.09	0.42	0.96	1.47
	4	0.00	0.16	0.43	0.59	0.10	0.22	0.40	0.72
	5	0.00	1.23	1.09	2.32	1.74	1.36	2.39	5.49

ตารางที่ ผ.3 การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (leaf litter stock, LST) แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ครั้งที่ 2

แปลง	ซ้ำ ที่	การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (กรัม/ตร.ม.)							
		ฤดูฝน				ฤดูแล้ง			
		เขียว	เหลือง	น้ำตาล	ทั้งหมด	เขียว	เหลือง	น้ำตาล	ทั้งหมด
Y1	1	0.19	1.11	1.83	3.13	0.00	0.20	0.22	0.42
	2	0.11	2.24	9.53	11.88	0.00	0.69	1.63	2.32
	3	0.19	3.56	3.10	6.85	0.07	0.84	1.12	2.03
	4	0.17	2.95	5.83	8.95	0.15	0.00	0.83	0.98
	5	1.12	1.31	5.25	7.68	0.07	0.21	0.89	1.17
Y5	1	0.76	1.42	2.41	4.59	0.42	0.38	0.65	1.45
	2	0.25	1.22	2.90	4.37	0.08	0.17	0.95	1.20
	3	0.23	0.59	4.05	4.87	0.00	0.22	0.62	0.84
	4	0.45	0.77	2.96	4.18	0.07	0.25	0.54	0.86
	5	1.26	0.39	3.83	5.48	0.00	0.08	0.31	0.39
Y7	1	0.00	0.42	0.48	0.90	0.10	0.00	0.72	0.82
	2	0.44	1.02	0.65	2.11	0.00	0.56	1.26	1.82
	3	0.00	0.27	1.28	1.55	0.00	0.00	0.55	0.55
	4	0.96	0.86	1.66	3.48	0.00	0.00	0.63	0.63
	5	0.31	1.14	2.08	3.53	0.00	0.00	0.60	0.60
Y9	1	0.23	0.72	0.73	1.68	0.33	0.17	1.24	1.74
	2	0.50	0.76	0.85	2.11	0.00	0.00	0.46	0.46
	3	0.17	0.35	2.10	2.62	0.00	0.15	0.00	0.15
	4	0.32	0.00	0.58	0.90	0.00	0.12	0.60	0.72
	5	0.61	1.04	2.18	3.83	0.00	0.59	0.46	1.05

ตารางที่ ผ.4 การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (leaf litter stock, LST) แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ครั้งที่ 3

แปลง	ซ้ำ ที่	การสะสมซากใบไม้บนพื้นป่า (กรัม/ตร.ม.)							
		ฤดูฝน				ฤดูแล้ง			
		เขียว	เหลือง	น้ำตาล	ทั้งหมด	เขียว	เหลือง	น้ำตาล	ทั้งหมด
Y1	1	0.13	0.52	0.55	1.20	0.00	0.40	0.54	0.94
	2	0.00	3.80	2.56	6.36	0.01	0.38	2.19	2.58
	3	0.15	0.55	1.27	1.97	0.16	2.03	2.06	4.25
	4	0.00	1.51	3.80	5.31	0.00	0.49	1.33	1.82
	5	0.08	2.44	2.99	5.51	0.04	0.85	1.16	2.05
Y5	1	0.00	0.12	0.86	0.98	0.45	1.41	4.97	6.83
	2	0.47	0.06	0.46	0.99	0.27	1.09	3.81	5.17
	3	0.41	1.24	1.86	3.51	0.00	0.32	1.63	1.95
	4	0.15	0.30	0.81	1.26	0.81	0.94	2.25	4.00
	5	0.22	0.50	0.61	1.33	0.00	0.06	1.19	1.25
Y7	1	0.08	0.00	0.18	0.26	0.10	0.40	0.95	1.45
	2	0.18	0.12	0.43	0.73	0.57	0.53	2.13	3.23
	3	0.02	0.57	1.11	1.70	0.00	0.00	1.35	1.35
	4	0.11	0.48	0.58	1.17	0.16	0.00	1.40	1.56
	5	0.45	0.73	1.02	2.20	0.00	1.80	1.49	3.29
Y9	1	0.00	0.17	0.18	0.35	0.00	0.37	1.85	2.22
	2	0.00	0.21	0.05	0.26	0.00	0.12	1.33	1.45
	3	0.02	0.31	1.04	1.37	0.00	0.34	0.97	1.31
	4	0.00	0.00	0.29	0.29	0.67	0.07	1.01	1.75
	5	0.28	0.52	0.90	1.70	0.22	0.61	1.65	2.48

ตารางที่ ผ.5 ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (percent leaf litter consumption, %LC) แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ครั้งที่ 1

แปลง	ซ้ำ ที่	ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (%)					
		ฤดูฝน (4 วัน)			ฤดูแล้ง (2 วัน)		
		เขี้ยว	เหลือ	น้ำตาล	เขี้ยว	เหลือ	น้ำตาล
Y1	1	16.92	0.00	-	4.85	0.00	5.95
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	8.55	20.01	1.63	0.00	0.00	6.03
	5	0.29	0.00	11.79	0.00	0.00	0.00
Y5	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	7.02	0.91	0.00	-	0.38	0.00
	4	2.83	-	-	-	10.50	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	2.41	0.00	0.00
Y7	1	17.15	18.05	0.00	0.00	0.00	0.65
	2	0.00	0.00	0.00	20.77	2.94	0.00
	3	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	13.61	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00
Y9	1	0.00	0.00	-	0.45	0.00	0.00
	2	22.27	12.09	0.00	0.00	0.00	0.54
	3	0.00	8.13	2.82	0.00	0.00	4.11
	4	0.00	0.34	-	2.17	0.00	0.00
	5	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ผ.6 ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (percent leaf litter consumption, %LC) แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ครั้งที่ 2

แปลง	ซ้ำ ที่	ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (%)					
		ฤดูฝน (2 วัน)			ฤดูแล้ง (3 วัน)		
		เขี้ยว	เหลืออง	น้ำตาล	เขี้ยว	เหลืออง	น้ำตาล
Y1	1	0.00	0.00	3.77	-	22.27	0.94
	2	0.00	0.00	0.00	6.04	14.17	2.06
	3	-	0.00	-	27.17	9.98	7.99
	4	0.00	0.00	-	21.08	15.39	15.24
	5	7.33	0.00	0.25	-	10.12	14.79
Y5	1	0.00	0.00	0.00	0.00	21.43	0.85
	2	0.00	0.00	0.00	54.57	7.47	1.91
	3	0.79	0.00	0.00	-	26.99	35.89
	4	12.11	0.00	0.00	12.07	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	10.10	12.93	8.78
Y7	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.97
	2	-	0.00	0.00	0.00	0.00	7.65
	3	0.00	0.00	0.00	31.70	34.93	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	11.08	0.00	1.47
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	5.36	7.27
Y9	1	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	0.00
	2	-	0.00	0.00	3.87	0.00	0.00
	3	-	0.00	0.00	0.00	21.40	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	-	0.00	3.02
	5	0.00	0.00	0.00	56.06	0.00	0.00

ตารางที่ ผ.7 ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (percent leaf litter consumption, %LC) แปลง Y1, Y5, Y7 และ Y9 ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ครั้งที่ 3

แปลง	ซ้ำ ที่	ร้อยละซากใบไม้ที่ถูกกินโดยหอยฝาเดียว (%)					
		ฤดูฝน (2 วัน)			ฤดูแล้ง (2 วัน)		
		เขี้ยว	เหลืออง	น้ำตาล	เขี้ยว	เหลืออง	น้ำตาล
Y1	1	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00
	2	2.78	0.00	1.26	0.46	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	-	0.00	1.71	13.78	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00
Y5	1	0.00	0.00	0.00	2.41	0.00	0.00
	2	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
	3	0.73	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	3.16	0.00	0.35
	5	-	0.00	0.00	7.87	0.00	0.00
Y7	1	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00
	2	1.03	-	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	-	0.00	0.00	9.30	0.00	0.00
	4	-	0.00	4.73	4.00	0.00	0.99
	5	-	0.00	5.96	8.07	0.00	0.00
Y9	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	1.12	10.52	1.61	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	9.21	2.04	0.00
	5	1.90	0.00	0.00	0.00	7.93	0.00

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนพล พงศ์สุวรรณ
วัน เดือน ปี เกิด	18 กันยายน 2538
สถานที่เกิด	เขตป้อมปราบฯ กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพฤษศาสตร์ ภาควิชาพฤษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี การศึกษา 2560
ที่อยู่ปัจจุบัน	252/41 ตรอกสีดา ถนนหลวง แขวงป้อมปราบ เขตป้อมปราบฯ กรุงเทพฯ 10100



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY