



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม
ในแสมขาวในป่าชายเลนชายฝั่ง จังหวัดสมุทรปราการ
Plasticity of aboveground root traits in response to environmental
factors in *Avicennia alba* in a coastal mangrove forest
in Samut Prakarn Province

ชื่อนิสิต นางสาวนดา ยิ้มสชา เลขประจำตัว 5932031023

ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแสมขาว
ในป่าชายเลนชายฝั่ง จังหวัดสมุทรปราการ

Plasticity of aboveground root traits in response to environmental factors
in *Avicennia alba* in a coastal mangrove forest in Samut Prakarn Province

นางสาวนดา ยิ้มสชา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนาศนา

โครงการวิทยาสตรระดับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

โครงการวิทยาสตรระดับนี้ได้รับการสนับสนุนจาก

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ	: การเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแสมขาวในป่าชายเลนชายฝั่ง จังหวัดสมุทรปราการ
นิสิตผู้ดำเนินโครงการ	: นางสาวนดา ยิ้มัสชา
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนาศนา
ภาควิชา	: ชีววิทยา

บทคัดย่อ

ระบบนิเวศป่าชายเลนมีความสำคัญในการรักษาเสถียรภาพชายฝั่ง แต่ในปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่งในประเทศไทยเกิดความเสื่อมโทรมเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์และการรบกวนตามธรรมชาติภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ พืชในป่าชายเลนเจริญเติบโตในสภาพดินเลนอ่อนนุ่มที่มีการท่วมถึงของน้ำที่สม่ำเสมอและความเค็มสูง จึงมีการพัฒนาลักษณะพิเศษของรากส่วนเหนือดิน (pneumatophore) ที่พบในไม้สกุลแสม (*Avicennia* sp.) โดยมีบทบาทในการกักเก็บและแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนเพื่อให้พืชสามารถเจริญในสภาพที่ดินขาดออกซิเจนได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันตามระยะห่างจากทะเล ณ ป่าชายเลนชายฝั่งบางปู จังหวัดสมุทรปราการ โดยวางแนวศึกษา (line transect) จำนวนสามแนวจากริมทะเลจนถึงสุดเขตด้านในแผ่นดิน เก็บข้อมูลความหนาแน่นและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและปัจจัยสิ่งแวดล้อมตามแนวศึกษาในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูร้อน ผลการศึกษาพบว่า รากส่วนเหนือดินของแสมขาวมีความหนาแน่นระหว่าง 44-1,144 รากต่อตารางเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับรายงานในป่าชายเลนธรรมชาติ ความหนาแน่นรากส่วนเหนือดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะห่างจากทะเลในช่วงเริ่มฤดูมรสุม โดยระยะห่างจากทะเลที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อระดับความสูงของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาที่พื้นที่ถูกน้ำท่วมลดลง ซึ่งรากส่วนเหนือดินที่อยู่ในบริเวณริมทะเลที่ถูกน้ำท่วมนานกว่าจะมีความสูง พื้นที่ผิว และปริมาตรมากกว่า นอกจากนี้ความหนาแน่นรากส่วนเหนือดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนาแน่นของต้นไม้ในแนวศึกษา และพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากเหนือดินของแสมขาวมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของราก (root plasticity) ของแสมขาวที่มีบทบาทสำคัญทำให้รากสามารถคงทำหน้าที่ได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนปลูกป่าชายเลนที่ช่วยรักษาเสถียรภาพระบบนิเวศชายฝั่งได้อย่างยั่งยืนภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

คำสำคัญ: การฟื้นฟูป่าชายเลน, ความยืดหยุ่นของราก, ป่าชายเลนชายฝั่ง, เสถียรภาพชายฝั่ง, รากส่วนเหนือดิน

Research Title : Plasticity of aboveground root traits in response to environmental factors in *Avicennia alba* in a coastal mangrove forest in Samut Prakarn Province

Student name : Miss Nada Yimatsa

Advisor : Assistant Professor Pongchai Dumrongrojwatthana, Ph.D.

Co-Advisor : Chadtip Rodtassana Ph.D.

Department of : Biology

Abstract

Mangrove ecosystem is important for maintaining coastal stability but nowadays an area of coastal mangrove forest in Thailand has been degraded by anthropogenic activities and natural disturbances under climate change. Mangrove plants grow on soft muddy soil with high salinity and receive frequent inundation. Therefore, a special character of the aboveground root (pneumatophore) was developed in the genus *Avicennia* to supply and exchange oxygen for plants growing on anaerobic soil. This study aims to investigate the variations of aboveground root traits of *Avicennia alba* in relation to environmental gradients across the distance from the sea at Bangpu coastal mangrove forest, Samut Prakan Province. We established the three line-transects from the seashore landward then recorded density and morphological characters of *A. alba* aboveground-roots and environmental factors during the pre-monsoon and the monsoon periods. The results showed that the aboveground root density ranged from 44 to 1,144 roots/m² which is close to those reported in natural mangrove forests. Aboveground root density positively correlated to the distance from the sea in the pre-monsoon period. Increasing distance from the sea affected higher elevation causing a shorter inundation period. Aboveground roots in the areas closer to the sea with the longer inundation period showed the greater height, surface area, and volume. Moreover, the density of aboveground roots had a positive correlation with tree density along the transects. The values of root morphological traits decreased with increasing soil bulk density. These variations of aboveground root traits responding to environmental factors indicated the root plasticity of *A. alba*, which plays an important role in sustaining root function under different environmental regimes. These findings will benefit the mangrove restoration plan to sustainably stabilize coastal ecosystems under global climate change.

Keywords: mangrove restoration, root plasticity, coastal mangrove, coastal stability, aboveground root

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนาศนา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ตลอดจนข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตั้งแต่วิชาการเขียนแบบเสนอโครงร่างงานวิจัย จนถึงการปรับปรุงรายงานวิจัยฉบับนี้ให้สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนอบรมชี้แนะให้มีพื้นฐานของการเป็นนักวิจัยที่ดีและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัดและศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่า (บางปู)ฯ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณคุณคุณหทัย บำรุงศิลป์ ที่ช่วยประสานงานกับทางบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ตลอดจนเจ้าหน้าที่ ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่า (บางปู)ฯ ที่อำนวยความสะดวกในภาคสนามตลอดการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้อง ภาควิชาชีววิทยาทุกคนที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำต่าง ๆ มาโดยตลอด

ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว ที่คอยสนับสนุนในทุกด้าน และเป็นกำลังใจอันดีในการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณอาจารย์ผู้ประสานงานรายวิชาที่ให้คำแนะนำองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับโครงการ และนายเตชินท์ จันทรชัย เพื่อนนิสิตที่คอยประสานงานกับอาจารย์อย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณทุกบทเพลงที่คอยสร้างสีสันและเป็นกำลังใจตลอดการทำงานในห้องปฏิบัติการ และการจัดทำรูปเล่มให้ราบรื่นเสมอมา

ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ และการเก็บข้อมูลภาคสนาม รวมถึงความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน อาจารย์ ดร.สุธาทิพย์ อำนวยสิน (มหาวิทยาลัยศิลปากร) และเพื่อน ๆ พี่ ๆ สมาชิกหน่วยปฏิบัติการฯ ทุกคนที่ช่วยในการออกปฏิบัติการภาคสนาม ตลอดจนให้คำแนะนำในการดำเนินงานมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ จำกัด และโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาชีววิทยา และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับการทำโครงการในครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	4
2.1. ระบบนิเวศป่าชายเลน.....	4
2.1.1. ลักษณะและประเภทของป่าชายเลน	4
2.1.2. สภาพแวดล้อมในป่าชายเลน.....	6
2.1.3. ความสำคัญของระบบนิเวศป่าชายเลน	7
2.2. การปรับตัวและความยืดหยุ่นของลักษณะบางประการของพืชชายเลน.....	8
2.2.1. การปรับตัวของลำต้น ใบ และส่วนสืบพันธุ์.....	8
2.2.2. การปรับตัวของระบบราก	9
2.2.3. ความยืดหยุ่น (plasticity) ของลักษณะบางประการของพืชชายเลน	11
2.3. ปัญหาที่เกิดขึ้นกับป่าชายเลนและการฟื้นฟูป่าชายเลนในประเทศไทย	13
2.3.1. ปัญหาที่เกิดขึ้นกับป่าชายเลน	13
2.3.2. การฟื้นฟูป่าชายเลนในประเทศไทย	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	18
3.1. กำหนดพื้นที่ศึกษา	18
3.1.1. ลักษณะพื้นที่ศึกษา	18
3.1.2. ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา.....	20
3.2. เก็บข้อมูลภาคสนาม.....	21
3.2.1. เก็บข้อมูลรากส่วนเหนือดินของแสมขาว.....	21
3.2.2. เก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม	23
3.2.2.1. โครงสร้างพืชพรรณบริเวณแนวศึกษา.....	23

3.2.2.2. ระดับความสูงของพื้นที่ (elevation)	23
3.2.2.3. ระยะเวลาที่น้ำท่วม (inundation period)	24
3.2.2.4. ความหนาแน่นของดิน (bulk density).....	24
3.2.2.5. ความเค็มของน้ำในดิน	25
3.3. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	25
บทที่ 4 ผลการศึกษา	27
4.1. ลักษณะรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูมรสุม	27
4.1.1. ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว	27
4.1.2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว	29
4.1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว	30
4.2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อม (environmental factors)	31
4.2.1. โครงสร้างพืชพรรณในบริเวณแนวศึกษา	31
4.2.2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพในช่วงฤดูเริ่มมรสุมและฤดูมรสุม	33
4.2.3. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมในบริเวณศึกษา	35
4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม	39
4.3.1. ความสัมพันธ์ของรากส่วนเหนือดินกับโครงสร้างพืชพรรณในบริเวณศึกษา	39
4.3.2. ความสัมพันธ์ของรากส่วนเหนือดินกับระยะห่างจากทะเลและระดับความสูงของพื้นที่	40
4.3.3. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินกับระยะเวลาที่ถูกรบกวนน้ำทะเลท่วม	48
4.3.4. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินกับความหนาแน่นของดิน	48
4.3.5. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินกับความเค็มของน้ำในดิน	48
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา	49
5.1. ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของพืชสกุลแสม	49
5.2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาสะท้อนหน้าที่ของรากส่วนเหนือดินของพืชชายเลน	49
5.3. อิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดิน	51
5.3.1. ระยะห่างจากทะเล ภูมิลักษณะ และระยะเวลาที่น้ำท่วม	51
5.3.2. ความเค็มของน้ำในดิน.....	52
5.3.3. ความหนาแน่นของดิน.....	53
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	55
6.1. สรุปผลการศึกษา	55
6.2. ข้อเสนอแนะ	56

6.2.1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์.....	56
6.2.2. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาษาไทย.....	57
ภาษาอังกฤษ.....	59

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4-1 ข้อมูลรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในแต่ละแนวศึกษา บริเวณป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ.....	28
ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดิน ของแสมขาวในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและช่วงฤดูมรสุม ด้วยวิธี paired sample t-test.....	29
ตารางที่ 4-3 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในสองช่วงฤดู ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ	30
ตารางที่ 4-4 ข้อมูลโครงสร้างพีชพรรณที่พบบริเวณแนวศึกษาทั้งสามแนว ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ	31
ตารางที่ 4-5 ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละแนวศึกษาและค่าสถิติการวิเคราะห์ paired samples t-test เปรียบเทียบปัจจัยสิ่งแวดล้อมระหว่าง ช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูมรสุม.....	34
ตารางที่ 4-6 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) ระหว่างปัจจัย สิ่งแวดล้อมในสองฤดู ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ	36
ตารางที่ 4-7 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) ระหว่างลักษณะ ของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในสองฤดู	40

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 ประเภทของป่าชายเลน (ดัดแปลงจาก Kathiresan, 2004).....	5
ภาพที่ 2-2 พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย (สนิท อักษรแก้ว, 2545).....	6
ภาพที่ 2-3 ลักษณะของพันธุ์ไม้ในระบบนิเวศป่าชายเลนที่แสดงถึงการปรับตัว (ดัดแปลงจากอินเทอร์เน็ต ที่มา: https://km.dmcr.go.th/th , http://www.dnp.go.th/botany , และ http://pplay-maithai.blogspot.com).....	9
ภาพที่ 2-4 ระบบรากเหนื่อดินของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน ได้แก่ รากค้ำยัน (ก) รากพุดอง (ข) รากหัวเข่า (ค) และรากหายใจ (ง-จ) (ดัดแปลงจาก Göltzenboth and Schoppe, 2006)	10
ภาพที่ 2-5 ระบบรากของพันธุ์ไม้สกุลแสม (ก) (ดัดแปลงจาก Purnobasuki et al., 2017) ภาพตัดตามขวางแสดงโครงสร้างทางกายวิภาคภายใน รากส่วนเหนื่อดินของแสม (ข) (ดัดแปลงจาก Srikanth et al., 2016) lenticel บริเวณผิวของรากส่วนเหนื่อดินของแสม (ค) (ดัดแปลงจาก Purnobasuki et al., 2017).....	11
ภาพที่ 2-6 สถานะของป่าชายเลนในประเทศไทย พื้นที่ป่าชายเลนคงสภาพ ปี พ.ศ. 2557 (ก) พื้นที่ที่มีคดีการบุกรุกป่าชายเลน (ข) และบริเวณที่มีการกัดเซาะชายฝั่ง (ค) สีฟ้าแทนระดับปานกลาง สีแดงแทนระดับรุนแรง (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)	14
ภาพที่ 2-7 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่งระดับวิกฤติ (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)	15
ภาพที่ 3-1 ป่าชายเลนในพื้นที่ศูนย์ศึกษาระบบนิเวศกึ่งบก (บางปู) ที่มีการกระจายตัวเป็น แนวแคบตามชายฝั่งในปี พ.ศ.2547 (ก) และป่าชายเลนที่ได้รับการปลูกฟื้นฟูในปี พ.ศ.2562 (ข) (กรอบสี่เหลี่ยมแสดงขอบเขตแปลงศึกษาของหน่วยปฏิบัติการพฤษ นิเวศวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ตั้งขึ้นในปี พ.ศ.2561) (ที่มา: https://www.google.com/earth).....	19
ภาพที่ 3-2 พื้นที่ศึกษาป่าชายเลนอายุประมาณ 6-7 ปี ในพื้นที่ของศูนย์ศึกษาระบบนิเวศ กึ่งบก (บางปู) อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ (ที่มา: https://www.google.com/maps).....	19

ภาพที่ 3-3	การวางแผนศึกษาในพื้นที่ศึกษาป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ Y6 และ Y7 แสดงปีที่ปลูกของกล้าไม้ ในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ.2553 และ 2554 ตามลำดับ.....	20
ภาพที่ 3-4	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในช่วงเวลา 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2552-2562 จากสถานีตรวจอากาศ ใกล้เคียงบริเวณสถานตากอากาศบางปู จังหวัดสมุทรปราการ (กรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย, 2563A).....	21
ภาพที่ 3-5	quadrat สำหรับบันทึกข้อมูลรากส่วนเหนือดินของเสมชวา ภายในแบ่งเป็นช่องขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 16 ช่อง กำหนดให้รหัสแถวเป็น A, B, C, D และรหัสคอลัมน์เป็นเลข 1, 2, 3, 4 เพื่อบันทึกข้อมูลรากหายใจของต้นเสมชวาทั้งหมดในแต่ละช่อง.....	22
ภาพที่ 3-6	แผนผังแนวศึกษา (line transect) จากริมทะเลไปจนถึงเขตพันธุ์ไม้ ด้านในแผ่นดิน ตัวอักษร T1, T2 และ T3 แสดงหมายเลขแนวศึกษา และจุดเก็บข้อมูลรากหายใจ (quadrat) ตามแนวศึกษาแสดงด้วยตัวอักษร Q1, Q2, Q3 จนถึง QN.....	22
ภาพที่ 3-7	การเก็บข้อมูลรากหายใจของต้นเสมชวาใน quadrat บนแนวศึกษา บริเวณป่าชายเลนบางปู.....	23
ภาพที่ 3-8	การวัดระดับความสูงของพื้นที่แต่ละแนวศึกษาโดยใช้ instrumental sideline builders level และไม้วัดระดับ	24
ภาพที่ 3-9	การเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี soil coring.....	25
ภาพที่ 4-1	การกระจายตัวของไม้ต้นในบริเวณแนวศึกษาแสดงตำแหน่งตามระยะห่างจากทะเล และระยะห่างจากแนวศึกษาภายในระยะ 2 เมตร โดยแบ่งตามช่วงขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางระดับบอก ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ (สำรวจเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2562).....	32
ภาพที่ 4-2	ภูมิลักษณะ (topography) ในบริเวณที่ศึกษา ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัด สมุทรปราการ ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข) โดย T1, T2, T3 แสดงแนวศึกษาที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ	33
ภาพที่ 4-3	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมในบริเวณแนวศึกษา ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ ลูกศรทึบแสดงความสัมพันธ์เชิงบวก ลูกศรเส้นประแสดง ความสัมพันธ์เชิงลบ ค่า r แสดงค่าสัมประสิทธิ์ Pearson correlation ของข้อมูล ที่มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$	37

- ภาพที่ 4-4 ระดับความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่และระยะเวลาที่น้ำทะเลท่วมในหนึ่งวัน
ตามระยะห่างจากทะเลในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และในฤดูมรสุม (ข)
ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ38
- ภาพที่ 4-5 ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่
ตามระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน
(ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน)
ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)..... 41
- ภาพที่ 4-6 เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดินเฉลี่ยของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและ
ระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน
(ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก)
และช่วงฤดูมรสุม (ข) 42
- ภาพที่ 4-7 ความสูงเฉลี่ยของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่ตาม
ระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน
(ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน)
ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)..... 43
- ภาพที่ 4-8 พื้นที่ผิวของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะห่าง
จากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน
(ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน)
ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)..... 44
- ภาพที่ 4-9 พื้นที่ผิวรวมของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวต่อพื้นที่และระดับความสูงของพื้นที่
ตามระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน
(ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน)
ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)..... 45
- ภาพที่ 4-10 ปริมาตรของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่ตาม
ระยะห่างจากชายฝั่ง (0 เมตร) เข้าสู่แผ่นดิน
(ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน)
ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)..... 46
- ภาพที่ 4-11 ปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวต่อพื้นที่
และระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะห่างจากชายฝั่ง (0 เมตร) เข้าสู่แผ่นดิน

(ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน)

ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)47

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่เชื่อมโยงระบบนิเวศน้ำและระบบนิเวศบก (สรายุธ บัญเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554) อีกทั้งเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญด้านการป่าไม้ การประมง และการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม แต่ในปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนทั่วโลกถูกรุกทำลายและเสื่อมโทรมทำให้มีพื้นที่ลดลงเป็นอย่างมาก (Giri et al., 2011) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการรุกรานพื้นที่โดยมนุษย์ และสาเหตุจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกที่ส่งผลให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น (สรายุธ บัญเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554) ในประเทศไทยมีพื้นที่ป่าชายเลนหลายแห่งที่ประสบปัญหาการลดลงของพื้นที่เนื่องจากเข้าใช้ประโยชน์พื้นที่ของมนุษย์รวมถึงการกัดเซาะชายฝั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่ง (coastal mangrove forest) บริเวณตอนบนของอ่าวไทยซึ่งเป็นบริเวณที่มีการกัดเซาะชายฝั่งที่รุนแรงมากที่สุดในประเทศไทย โดยมีอัตราการถูกกัดเซาะมากกว่า 35 เมตรต่อปี และบางบริเวณถูกกัดเซาะไปมากกว่า 1 กิโลเมตร ในช่วงเวลา 30 ปีที่ผ่านมา (ธนวัฒน์ จารุงษ์สกุล และคณะ, 2549) ทำให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนตระหนักถึงความสำคัญของป่าชายเลนต่อชุมชนและความสำคัญเชิงระบบนิเวศ จึงดำเนินโครงการฟื้นฟูและปลูกป่าชายเลนตามพื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศไทย ซึ่งหนึ่งในโครงการปลูกป่าชายเลนที่ประสบความสำเร็จถูกจัดตั้งขึ้นที่ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) จังหวัดสมุทรปราการ ที่ดำเนินการโดยบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยมีการใช้กล้าไม้แสมขาว (*Avicennia alba*) เข้าไปปลูกในบริเวณหาดเลน (บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด, 2562)

พิชิต แก้วคีรีวงศ์ และคณะ (2540) กล่าวถึงการปลูกป่าชายเลนให้ได้ผลนั้นควรทำให้ระบบนิเวศมีความใกล้เคียงกับธรรมชาติของไม้ชนิดนั้นให้มากที่สุด การปลูกต้องเริ่มด้วยไม้เบิกนำ (pioneer species) ซึ่งเป็นไม้ชนิดแรก ๆ ที่จะช่วยปรับพื้นที่ให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับไม้ชนิดอื่นที่จะเจริญตามมา โดยป่าชายเลนในหลายพื้นที่ของประเทศไทย มักพบไม้แสมที่จัดอยู่ในวงศ์ Acanthaceae สกุล *Avicennia* เป็นไม้เบิกนำที่สามารถเจริญเติบโตได้เป็นกลุ่มแรกในพื้นที่ว่างเปล่า และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพพื้นที่และเจริญได้ดีกว่าไม้พันธุ์อื่น เนื่องจากมีลักษณะเด่นคือทนต่อความเค็มสูง (Liang et al., 2008) พันธุ์ไม้แสมจึงมีบทบาทสำคัญอย่างมากในระบบนิเวศป่าชายเลน

พืชสกุลแสมมีความสามารถในการปรับตัวและมีความยืดหยุ่น (plasticity) ในด้านสรีรวิทยา และสัณฐานวิทยาที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม (Dahdouh-Guebas et al., 2004) และมีการสร้างรากพิเศษที่อยู่เหนือดิน (above-ground roots) เพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนก๊าซ ทำให้สามารถอยู่รอดในสภาพที่มีน้ำท่วมขัง และสามารถเจริญเติบโตในเขตริมน้ำที่มีสภาพเป็นดินเลนเหลวที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลที่ท่วมถึงอย่างสม่ำเสมอ ระบบรากส่วนใต้ดินของแสมมีลักษณะเป็นรากแขนงแผ่ออกไปรอบลำต้นในดินที่ระดับตื้น ๆ และมีรากหายใจ (pneumatophore) ที่มีลักษณะเป็นแท่งเรียวยาวเล็กมีความสูงประมาณ 15–30 เซนติเมตรโผล่ขึ้นมาเหนือพื้นดินจากรากแขนง (Hogarth, 1999) เพื่อช่วยในการแลกเปลี่ยนก๊าซเมื่อพืชอยู่ในสภาพดินที่ขาดอากาศ (anoxia) (สรายุทธ บุญเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554)

ลักษณะของรากหายใจของพืชสกุลแสมแสดงให้เห็นถึงการตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากเหนือดินและจำนวนรากต่อพื้นที่ จากการศึกษาแสมทะเล (*Avicennia marina*) ในป่าชายเลนธรรมชาติ ประเทศเคนยา พบว่าในบริเวณติดกับแผ่นดิน (landward zone) ความสูงและความหนาแน่นของรากเหนือดินมีความสัมพันธ์กับภูมิลักษณะ (topography) ของพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระยะเวลาที่น้ำท่วม โดยรากเหนือดินมีความสูงมากกว่าเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่น้ำท่วมถึงเป็นระยะเวลานานกว่า และรากหายใจมีความหนาแน่นมากกว่าในบริเวณที่ใกล้ทะเล (Dahdouh-Guebas et al., 2007) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Toma และคณะ (1991) ที่ศึกษาอิทธิพลของระดับน้ำที่ท่วมขัง และความหนาแน่นของแสมทะเลต่อการเจริญเติบโตของรากเหนือดิน โดยทำการทดลองเพาะเมล็ดแสมทะเลในเรือนกระจก ณ ประเทศญี่ปุ่น พบว่ารากเหนือดินมีจำนวนและความสูงมากกว่าเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่ถูกน้ำท่วม และในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของต้นแสมทะเลน้อย พบว่าแสมทะเลมีจำนวนรากเหนือดินเฉลี่ยต่อต้นมากกว่าพื้นที่ที่มีความหนาแน่นมาก นอกจากนี้ในปี 1992 Saifullah และ Elahi ศึกษาความหนาแน่นและขนาดของรากเหนือดินของแสมทะเล ในป่าชายเลนธรรมชาติที่ประเทศปากีสถาน พบว่าความหนาแน่นของรากเหนือดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนาแน่นของต้นไม้และปริมาณโคลน (mud content) ส่วนความหนาแน่นของรากเหนือดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสูงของรากเหนือดิน นอกจากนี้รากเหนือดินของพันธุ์ไม้สกุลแสมยังมีบทบาทสำคัญในแง่ของการช่วยป้องกันการกัดเซาะพังทลายของชายฝั่งและแผ่นดินจากกระแสน้ำและการขึ้นลงของน้ำ (Ellison, 1999; Alongi et al., 2005) ซึ่งให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของป่าชายเลนชายฝั่งในการรักษาเสถียรภาพของระบบนิเวศชายฝั่ง

ดังที่กล่าวมาข้างต้น ระบบรากเหนือดินของพืชสกุลแสมมีการตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อให้พืชสามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีความสนใจศึกษาความสามารถในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว

(*A. alba*) ทั้งความหนาแน่น ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง พื้นที่ผิว และปริมาตร ที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปตามระยะห่างจากทะเล ได้แก่ ความลาดเอียงของพื้นที่ ความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่ และคุณสมบัติของดิน ณ บริเวณป่าชายเลนชายฝั่งในพื้นที่ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการดำเนินโครงการปลูกป่าชายเลนอย่างต่อเนื่อง โดยคาดว่าลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวจะมีตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่เอื้อต่อการทำหน้าที่ในการเป็นรากหายใจมากขึ้น ทั้งนี้ องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถนำข้อมูลความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงลักษณะรากเหนือดินของแสมขาวต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่พบมาใช้เป็นแนวทางประกอบการปลูกป่าชายเลนเพื่อให้ได้ผลดีในอนาคตต่อไป

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อศึกษาความสามารถในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมเมื่อระยะห่างจากทะเลเปลี่ยนแปลงไป
- เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและปัจจัยสิ่งแวดล้อมในป่าชายเลนชายฝั่ง จังหวัดสมุทรปราการ

บทที่ 2

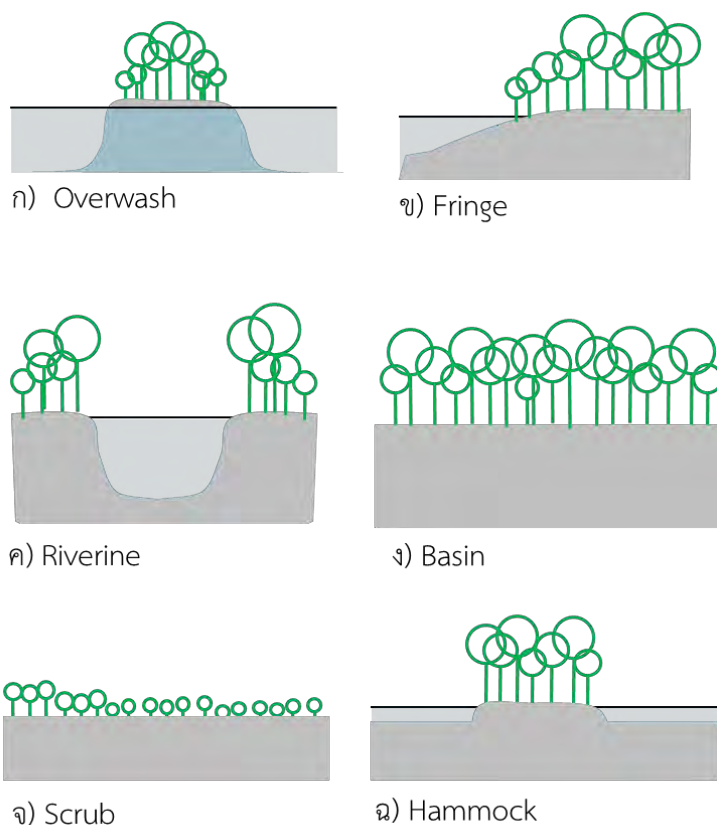
ทบทวนวรรณกรรม

2.1. ระบบนิเวศป่าชายเลน

2.1.1. ลักษณะและประเภทของป่าชายเลน

ระบบนิเวศป่าชายเลนครอบคลุมพื้นที่บริเวณชายฝั่งและปากแม่น้ำในเขตร้อน (tropics) และเขตกึ่งร้อน (subtropics) ทั่วโลกเป็นพื้นที่กว่า 2 แสนตารางกิโลเมตร (Duke et al., 2007) ลักษณะของสังคมพืชในระบบนิเวศป่าชายเลนประกอบด้วยไม้ต้น (tree) และไม้พุ่ม (shrub) ที่ไม่ผลัดใบเป็นหลัก โดยพืชชายเลนมีความพิเศษต่างจากพืชบกอื่นคือ สามารถเจริญได้ในบริเวณที่ถูกน้ำท่วมอยู่เป็นประจำ มีสภาพดินขาดออกซิเจน น้ำในดินมีความเค็มมาก และได้รับอิทธิพลของคลื่นลมอยู่เป็นประจำ (Srikanth et al., 2016) โดยปัจจัยสิ่งแวดล้อมดังกล่าวส่งผลต่อการปรับตัวของพืชชายเลนในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านสัณฐานวิทยา (morphology) กายวิภาคศาสตร์ (anatomy) และสรีรวิทยา (physiology) (Göltenboth and Schoppe, 2006) สิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศป่าชายเลนขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์และโครงสร้างสังคมพืช โดยสามารถแบ่งป่าชายเลนได้เป็น 6 ประเภท (Kathiresan, 2004) ได้แก่

- 1) Overwash forest เป็นป่าชายเลนขนาดเล็กที่อยู่บนเกาะซึ่งได้รับอิทธิพลจากคลื่นเป็นอย่างมาก และมีธาตุอาหารต่ำ ทำให้พืชชายเลนมีลักษณะต้นเตี้ย (ภาพที่ 2-1 ก)
- 2) Fringe forest เป็นป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งติดกับแผ่นดินใหญ่ ได้รับการท่วมถึงของน้ำทะเลอย่างสม่ำเสมอ และมีความอ่อนไหวต่อการถูกกัดเซาะ (ภาพที่ 2-1 ข)
- 3) Riverine forest เป็นป่าชายเลนที่ขึ้นริมฝั่งแม่น้ำขนาดใหญ่หรือติดบริเวณอ่าว ทำให้ได้รับการท่วมถึงของน้ำทะเลอย่างสม่ำเสมอ พันธุ์ไม้ที่พบ มีการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างดีเนื่องจากได้รับน้ำจืดและธาตุอาหารจากแม่น้ำในช่วงฤดูฝน (ภาพที่ 2-1 ค)
- 4) Basin forest เป็นป่าชายเลนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ต่ำ มีน้ำท่วมขัง มักพบอยู่บนฝั่งที่ติดกับป่าบกและได้รับน้ำจืดที่ไหลมาจากบนบก (ภาพที่ 2-1 ง)
- 5) Scrub forest เป็นป่าชายเลนที่ขึ้นบริเวณชายฝั่งที่ราบและเป็นบริเวณที่มีปัจจัยการเจริญที่จำกัด ทำให้พืชชายเลนมีลักษณะพุ่มเตี้ย (ภาพที่ 2-1 จ)
- 6) Hammock forest เป็นป่าชายเลนที่มีลักษณะคล้าย basin forests แต่ระดับความสูงของพื้นที่จะมากกว่าป่าชายเลนประเภทอื่น ๆ (ภาพที่ 2-1 ฉ)



ภาพที่ 2-1 ประเภทของป่าชายเลน (ดัดแปลงจาก Kathiresan, 2004)

ป่าชายเลนในประเทศไทยพบกระจายอยู่ตามบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทย (ภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ฝั่งตะวันออก) และฝั่งอันดามัน (ภาคใต้ฝั่งตะวันตก) ครอบคลุมพื้นที่รวม 24 จังหวัดดังแสดงในภาพที่ 2-2 ป่าชายเลนที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นป่าชายเลนชายฝั่งและป่าชายเลนปากแม่น้ำ พรรณไม้ที่พบมีประมาณ 74 ชนิด จัดอยู่ใน 35 วงศ์ (Santisuk, 1983) โดยส่วนใหญ่เป็นไม้ต้นไม่ผลัดใบ เช่น แสมขาว แสมทะเล โกงกางใบเล็ก โกงกางใบใหญ่ ป่าชายเลนในพื้นที่ศึกษา ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ จัดเป็นป่าชายเลนชายฝั่งลักษณะ fringe forest เนื่องจากตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยทำให้ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล อีกทั้งอยู่ใกล้กับปากแม่น้ำเจ้าพระยา และ พื้นที่มีสภาพเป็นดินเลนที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่มาจากแม่น้ำเจ้าพระยา ป่าชายเลนแห่งนี้ได้รับการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ทำให้เกิดความเสื่อมโทรม ต่อมาจึงมีการปลูกเสริมและฟื้นฟูตั้งแต่ปี พ.ศ.2552 จนถึงปัจจุบัน และพบพันธุ์ไม้เด่นคือแสมขาว (*A. alba*) กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวชายฝั่ง



ภาพที่ 2-2 พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย (สนิท อักษรแก้ว, 2545)

2.1.2. สภาพแวดล้อมในป่าชายเลน

ระบบนิเวศป่าชายเลนมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากป่าบกในด้านการได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลและการท่วมถึงของน้ำจืดจากปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง ทำให้ส่งผลต่อความเค็มของน้ำในดินและดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน (anoxia) อีกทั้งทำให้ดินมีสภาพเป็นเลนอ่อนนุ่ม ซึ่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ส่งผลต่อการกระจายตัวของพันธุ์ไม้ชายเลนขึ้นอยู่กับความสามารถในการเจริญและตั้งตัวของพืชแต่ละชนิด นอกจากนี้ในป่าชายเลนบางแห่งที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันจึงก่อให้เกิดการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ (zonation) ที่พันธุ์ไม้แต่ละชนิดจะเจริญและตั้งตัวได้ในบริเวณที่ต่างกันทำให้เกิดการแบ่งแนวเขตการกระจายของพืชแต่ละชนิดอย่างชัดเจน เช่น ป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งทะเลเปิดได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลอยู่เสมอและความเค็มสูง สามารถพบเขตไม้แสม (*Avicennia* zone) เจริญอยู่ตามแนวชายฝั่งติดริมทะเลเนื่องจากสามารถทนความเค็มสูงได้ ถัดเข้าไปในแผ่นดินจะมีเขตไม้โกงกาง (*Rhizophora* zone) (Göltenboth and Schoppe, 2006)

ระยะห่างจากทะเลหรือแหล่งน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ โดยระยะห่างจากทะเลมีอิทธิพลต่อระดับความสูงของพื้นที่ (elevation) เนื่องจากระบวนการทางกายภาพที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน เช่น การพัดพาของกระแสน้ำ การตกตะกอนของอนุภาคที่แขวนลอยในน้ำ โดยเมื่อระยะห่างจากแหล่งน้ำมากขึ้นจะเกิดการทับถมของตะกอนที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากเมื่อไม่มีการรบกวนจากกระแสน้ำ และในบริเวณใกล้แหล่งน้ำจะเกิดการทับถมของตะกอนขนาดใหญ่ (Norris et al., 2017) นอกจากนี้ระยะห่างจากทะเลหรือแหล่งน้ำส่งผลต่อโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืชที่ส่งผลต่อระดับความสูงของพื้นที่ผ่านกระบวนการทับถมของเศษซากอินทรีย์ต่าง ๆ ทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน (Krauss et al., 2014) การศึกษาในป่าชายเลนริมฝั่งแม่น้ำ จังหวัดตราด พบว่าเมื่อระยะห่างจากริมฝั่งแม่น้ำเพิ่มมากขึ้นระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากดินบริเวณที่อยู่ห่างจากแหล่งน้ำมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าและได้รับน้ำท่วมเป็นระยะเวลาสั้นกว่า ส่งผลให้จุลินทรีย์ในดินสามารถย่อยสลายเศษซากอินทรีย์ได้ช้ากว่าบริเวณที่อยู่ติดแหล่งน้ำ ทำให้อินทรีย์วัตถุและซากพืชถูกทับถมไว้มากและเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้น (Poungparn et al., 2009) นอกจากนี้ระดับความสูงของพื้นที่ยังส่งผลต่อการท่วมถึงและการหมุนเวียนของน้ำภายในป่าชายเลน

ในระบบนิเวศป่าชายเลนความเค็มเป็นปัจจัยสำคัญที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลตามปริมาณน้ำจืดที่ได้รับจากน้ำฝนและแม่น้ำ โดยระดับความเค็มของน้ำในดินจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของพืชชายเลน (Kathiresan, 2004; Komiyama et al., 2019) ถึงแม้พืชชายเลนจะมีลักษณะของพืชทนเค็ม (facultative halophytes) ที่สามารถเจริญเติบโตและตั้งตัวได้ในพื้นที่ที่มีความเค็มค่อนข้างสูง แต่พืชแต่ละชนิดมีช่วงความเค็มที่สามารถทนได้แตกต่างกันไป ดังนั้นความเค็มจึงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของพืชในป่าชายเลน เช่น ต้นกล้าของโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) สามารถทนความเค็มได้ที่ระดับความเค็มสูงถึง 30% ต้นลำพูทะเล (*Sonneratia alba*) สามารถเจริญได้ในช่วงความเค็ม 2-18% (Kathiresan, 2004)

2.1.3. ความสำคัญของระบบนิเวศป่าชายเลน

ระบบนิเวศป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในการเป็นแนวเชื่อมต่อระหว่างระบบนิเวศบกและระบบนิเวศน้ำ อีกทั้งเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าต่อระบบนิเวศบริเวณชายฝั่ง ป่าชายเลนช่วยรักษาเสถียรภาพชายฝั่งโดยเป็นฉากกำบังคลื่นลมและพายุซึ่งช่วยลดความรุนแรงของคลื่นลมที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศบก ช่วยในการดักจับตะกอนและชะลอการกัดเซาะชายฝั่ง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, ม.ป.ป. A) ป่าชายเลนมีบทบาททางนิเวศวิทยาโดยเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญทางทะเลและชายฝั่ง (blue carbon sink) ในระยะยาวของโลก (Marchand, 2017) และเชื่อมต่อการหมุนเวียนทางนิเวศวิทยากับระบบนิเวศข้างเคียง เช่น การหมุนเวียนธาตุอาหารระหว่าง

ระบบนิเวศทางทะเลและระบบนิเวศปากแม่น้ำ (Göltenboth and Schoppe, 2006) นอกจากนี้ป่าชายเลนยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์หลากหลายชนิด เช่น ปลาตีน ปูแสม แม่หอบ หอยแครง นกยาง และลิงแสม จึงเป็นแหล่งอาหารและแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนที่สำคัญ อีกทั้งมีประโยชน์ต่อมนุษย์ในด้านสังคมและเศรษฐกิจ ด้านผลผลิตทางการประมง การทำไม้ชายเลนเพื่อเผาเอาถ่าน การใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพร (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, ม.ป.ป.า)

2.2. การปรับตัวและความยืดหยุ่นของลักษณะบางประการของพืชชายเลน

พืชในป่าชายเลนมีกลไกการปรับตัวและมีความยืดหยุ่นของลักษณะบางประการเพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ในสิ่งแวดล้อมที่มีความเครียดสูง เช่น ความเค็มสูง อุณหภูมิสูง ภาวะดินขาดออกซิเจนเนื่องจากถูกน้ำทะเลท่วมถึง สภาพดินเลนอ่อนนุ่ม รวมถึงความรุนแรงจากคลื่นลม ดังนั้นพืชชายเลนจำเป็นต้องปรับตัวและเปลี่ยนแปลงลักษณะบางประการของทั้งส่วนลำต้น ใบ ดอก ผล และระบบรากให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อม

2.2.1. การปรับตัวของลำต้น ใบ และส่วนสืบพันธุ์

ลำต้นและใบ

ในสภาพที่มีความเค็มสูงและมีน้ำจืดในปริมาณจำกัด พืชชายเลนบางชนิดมี vessel ที่แคบ และมีจำนวนเซลล์มากต่อพื้นที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลำเลียงน้ำให้ได้ปริมาณมากและรวดเร็ว เช่น แสมขาว ลำพู (เทียมใจ คมกฤส, 2536) ส่วนใบมีการปรับตัวแบบพืชทนแล้ง เช่น สารคิวตินเคลือบ ผิวใบ ค่าความนำปากใบต่ำ ปากใบอยู่ด้านท้องใบ ขนใบที่ปกคลุมแผ่นใบที่ช่วยกักไอน้ำระเหยจากใบ เพื่อลดอัตราการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ (Lovelock et al., 2016) นอกจากนี้ยังพบว่าใบแสมมีต่อมขับเกลือที่ผิวใบทั้งสองด้านสำหรับขับเกลือออกสู่ภายนอกเพื่อรักษาสมดุลของเกลือภายในไว้ (เทียมใจ คมกฤส, 2536)

ส่วนสืบพันธุ์ (ดอกและผล)

พืชชายเลนมีการปรับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอกให้มีความเหมาะสมต่อการถ่ายละอองเรณู เช่น ดอกลำพูที่มีขนาดใหญ่ มีเกสรเพศผู้จำนวนมากและบริเวณโคนก้านเกสรเพศผู้มีสีสด มีละอองเรณูขนาดเล็กจำนวนมากมีลักษณะเป็นฝุ่นแห้งและเหนียวเล็กน้อยทำให้สามารถแพร่กระจายไปกับลม แผลง และค้างคาวได้ดี (เทียมใจ คมกฤส, 2536) เมื่อดอกของพืชชายเลนได้รับการปฏิสนธิแล้วจะพัฒนาเป็นผลและงอกขณะที่ยังอยู่บนต้น (viviparous seed) (ภาพที่ 2-3) ก่อนที่จะร่วงลงสู่พื้นดิน เช่น โกงกาง ซึ่งฝักของพืชชายเลนสามารถลอยน้ำได้จึงสามารถแพร่กระจาย

ได้ในระยะไกล และเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสมจะมีการเจริญของรากหยั่งลงไปในดินเลนและพัฒนาเป็นต้นกล้าได้อย่างรวดเร็ว (Göltenboth and Schoppe, 2006)



ก) โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*)

ข) แสมขาว (*Avicennia alba*)

ค) ลำพูทะเล (*Sonneratia alba*)

ภาพที่ 2-3 ลักษณะของพันธุ์ไม้ในระบบนิเวศป่าชายเลนที่แสดงถึงการปรับตัว

(ดัดแปลงจากอินเทอร์เน็ต ที่มา: <https://km.dmcr.go.th/th>, <http://www.dnp.go.th/botany>,
และ <http://pplay-maithai.blogspot.com>)

2.2.2. การปรับตัวของระบบราก

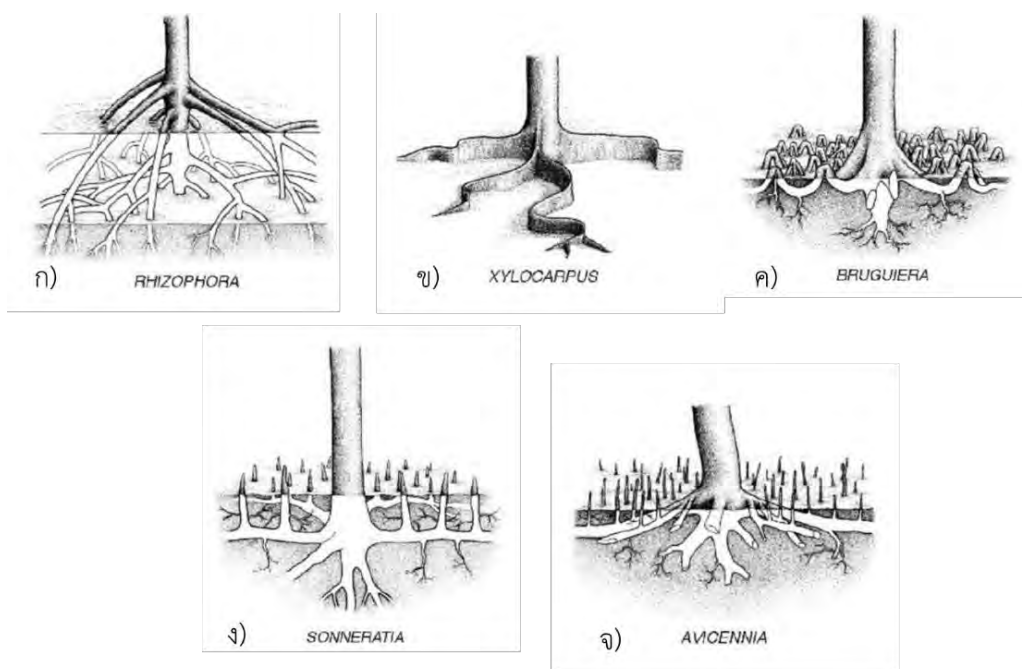
ระบบรากของพืชชายเลนประกอบด้วยส่วนใต้ดินและเหนือดิน สำหรับระบบรากส่วนใต้ดินของพืชชายเลนมีบทบาทในการดูดซึมน้ำและธาตุอาหาร ซึ่งมีกลไกสำคัญในการลำเลียงน้ำจืดในดินที่มีความเค็มสูง โดยการมีสารจำพวกซูเบอรินในผนังเซลล์ของเซลล์รากเพื่อผลักดันให้น้ำเข้าท่อลำเลียงผ่านเส้นทาง symplast และเซลล์รากยังมีความเข้มข้นของเกลือภายในแควคิวโอสโสมอยู่มากเพื่อเป็นการรักษาสมดุลศักย์ของน้ำ (water potential) ให้เหมาะสมต่อการดูดซึมน้ำจืดจากดิน (Lovelock et al., 2016) นอกจากนี้รากใต้ดินขนาดใหญ่ยังมีหน้าที่ช่วยค้ำจุนให้พืชตั้งตัวอยู่บนดินเลนได้ เช่น พืชสกุลแสมและลำพูที่มีรากแขนงเคเบิล (cable roots) ที่แผ่กระจายออกทางด้านข้างขนานไปกับผิวดินในชั้นดินตื้น ๆ (เทียมใจ คมกฤส, 2536) นอกจากนี้พืชชายเลนยังมีการสร้างรากส่วนเหนือดินซึ่งมีหน้าที่พิเศษที่มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดพืช (ภาพที่ 2-4) เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่เป็นดินอ่อนนุ่มและมีน้ำท่วมถึง (Srikanth et al., 2016) ได้แก่

1) รากค้ำจุนหรือรากค้ำยัน (prop root) เป็นรากที่แตกมาจากลำต้นแล้วโค้งลงสู่ดิน (ภาพที่ 2-4 ก) เพื่อให้พืชสามารถทรงตัวอยู่ในดินเลนได้ พบในพืชสกุลโกงกาง (*Rhizophora* sp.)

2) รากพุ่มพอน (buttress root) เจริญมาจากรากแขนงแบบเคเบิ้ลใต้ดินโผล่ขึ้นมาเหนือดินในแนวตั้งมีลักษณะเป็นแผ่นคดเคี้ยว (ภาพที่ 2-4 ข) ช่วยพยุงลำต้นและช่วยแลกเปลี่ยนก๊าซได้เนื่องจากมี lenticel (Srikanth et al., 2016) มักพบในพืชสกุลตะบูน (*Xylocarpus* sp.)

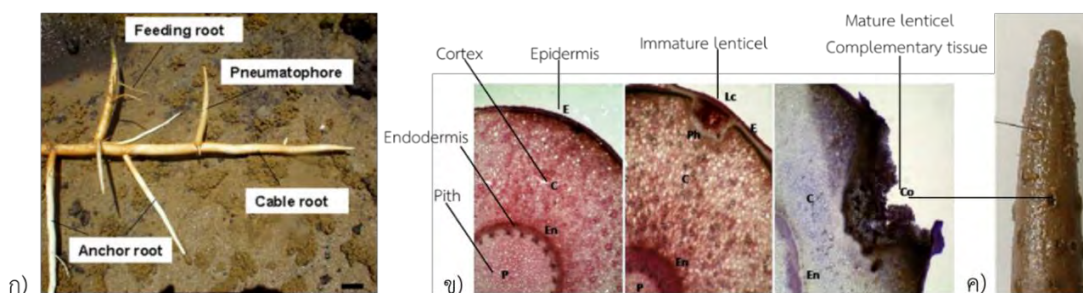
3) รากหัวเข่า (knee root) เป็นรากที่โผล่ขึ้นมาเหนือดินแล้วโค้งกลับลงไปในดินคล้ายหัวเข่า (ภาพที่ 2-4 ค) ช่วยในการแลกเปลี่ยนก๊าซ มักพบในพืชสกุลประสัก (*Bruguiera* sp.)

4) รากหายใจ (pneumatophore) เจริญตั้งฉากขึ้นมาจากรากแขนงแบบเคเบิ้ลใต้ดิน มีลักษณะเป็นแท่งปลายเรียวแหลมคล้ายดินสอ (ภาพที่ 2-4 ง และ จ) ทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนก๊าซเนื่องจากมี lenticel และสามารถสังเคราะห์ได้เนื่องจากเซลล์ผิวมีการสะสมคลอโรฟิลล์ มักพบรากชนิดนี้ในพืชสกุลแสม (*Avicennia* sp.) และลำพู (*Sonneratia* sp.) (เทียมใจ คมกฤษฎ, 2536) โดยมีขนาดและลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2-4 ระบบรากเหนือดินของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลน ได้แก่ รากค้ำยัน (ก) รากพุ่มพอน (ข) รากหัวเข่า (ค) และรากหายใจ (ง-จ) (ดัดแปลงจาก Göltenboth and Schoppe, 2006)

รากหายใจของพืชสกุลแสมเป็นรากส่วนเหนือดินมีลักษณะเป็นแท่งเรียวยาวเล็ก มีความสูงประมาณ 15–30 เซนติเมตรเจริญมาจากรากแขนงเคเบิลใต้ดินที่มีรากฝอยขนาดเล็กแตกออกมาจากส่วนใต้ดินของรากหายใจ (feeding roots) ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ นอกจากนี้ยังมีรากขนาดเล็กที่แตกแขนงออกทางด้านล่างของรากแขนงเคเบิลทำหน้าที่ยึดเกาะ (anchoring roots) ดังภาพที่ 2-5 ก รากหายใจที่อยู่เหนือระดับน้ำช่วยในการลำเลียงก๊าซออกซิเจนโดยอากาศจะแพร่เข้าทาง lenticel (ภาพที่ 2-5 ข และ ค) แล้วถูกเก็บไว้ในเนื้อเยื่อ aerenchyma ในชั้น cortex (ภาพที่ 2-5ข) และถูกลำเลียงไปยังรากส่วนใต้ดินหรือส่วนที่อยู่ในสภาวะขาดออกซิเจนผ่านการเชื่อมต่อกันของเนื้อเยื่อในระบบราก (root-root connection) ผ่านกลุ่มเซลล์ parenchyma ที่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ที่พบได้ในรากทุกชนิดของพืชสกุลแสม (Purnobasuki et al., 2017)



ภาพที่ 2-5 ระบบรากของพันธุ์ไม้สกุลแสม (ก) (ดัดแปลงจาก Purnobasuki et al., 2017)

ภาพตัดตามขวางแสดงโครงสร้างทางกายวิภาคภายในรากส่วนเหนือดินของแสม (ข)
(ดัดแปลงจาก Srikanth et al., 2016) lenticel บริเวณผิวของรากส่วนเหนือดินของแสม (ค)
(ดัดแปลงจาก Purnobasuki et al., 2017)

2.2.3. ความยืดหยุ่น (plasticity) ของลักษณะบางประการของพืชชายเลน

ความยืดหยุ่นของพืช (plant plasticity) คือ ความสามารถของพืชในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อม เนื่องจากพืชไม่สามารถหลบหนีหรือเคลื่อนย้ายออกจากบริเวณที่มีสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้เหมือนกับสัตว์ โดยความยืดหยุ่นของพืชเป็นความสามารถในการเปลี่ยนแปลงของลักษณะที่แสดงออกของพืช (phenotypic plasticity) ที่ถูกควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรมเพียง genotype เดียว (Gratani, 2014) ทั้งนี้นิยามของความยืดหยุ่นของพืชครอบคลุมถึงความยืดหยุ่นในด้านสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของพืช ซึ่งเกิดขึ้นได้กับทุกส่วนของพืชและสามารถเกิดได้ตลอดระยะเวลาการเจริญและพัฒนาและขึ้นอยู่กับต้นพืชแต่ละต้นในระดับปัจเจก (individual) การศึกษาจำนวนมากมุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนแปลงลักษณะของส่วนเหนือดินของพืช เช่น

ความยืดหยุ่นของสัณฐานวิทยาของใบพืช (leaf plasticity) ที่ตอบสนองต่อปริมาณแสงที่แต่ละใบได้รับ ทำให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งของใบ (specific leaf area, SLA) แตกต่างกัน โดยใบพืชที่อยู่ในที่ร่มจะมีค่า SLA ที่สูงกว่าเพื่อเพิ่มพื้นที่ใบสำหรับการรับแสงเพื่อเอื้อต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีประสิทธิภาพดี (Gratani, 2014) นอกจากนี้แล้วปัจจัยทางพันธุกรรมยังเป็นตัวกำหนดความยืดหยุ่นของพืช โดยเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์และการทำงานของสารเคมีต่าง ๆ เช่น ฮอริโมนพืช เอนไซม์ ที่ตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้รับซึ่งมีช่วงของการเปลี่ยนแปลงระดับและการทำงานของสารเคมีที่ต่างกัน (Fritz et al., 2018)

พืชชายเลนเจริญภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับความยืดหยุ่นของพืชชายเลนและลักษณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย แต่ปัจจุบันยังมีการศึกษาอยู่น้อยเนื่องจากปัจจัยจำกัดหลายอย่าง ตัวอย่างการศึกษาความยืดหยุ่นของพืชชายเลน เช่น Dahdouh-Guebas และคณะ (2004) รายงานว่าต้นแสมทะเล (*A. marina*) ที่เจริญในบริเวณที่ห่างจากทะเลถัดเข้ามาในแผ่นดิน (landward zone) และบริเวณใกล้ทะเล (seaward zone) จะมีกลไกทางสรีรวิทยาที่ต่างกัน และมีความแตกต่างทางพันธุกรรม (genetic differentiation) ของประชากรในแต่ละบริเวณ ส่งผลให้แสดงความยืดหยุ่นทางสัณฐานวิทยา (morphological plasticity) ได้แก่ ความสูงของต้นแสมทะเล ความหนาแน่นและความสูงของรากส่วนเหนือดิน และสัณฐานวิทยาของใบ นอกจากนี้ การศึกษาของ Vovides และคณะ (2014) พบว่าแสมชนิด *Avicennia germinans* ที่เจริญในพื้นที่ที่มีความเค็มของน้ำในดินมากขึ้นจะมีความสูงของต้นลดลง เนื่องจากค่าศักย์ (water potential) ลดลงเมื่อความเค็มสูงขึ้น ซึ่งจะลดประสิทธิภาพในการลำเลียงน้ำ พืชจึงตอบสนองโดยเพิ่มการสะสมมวลชีวภาพทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมากกว่าการเพิ่มความสูง นอกจากนี้พืชจะมีการเคลื่อนย้ายคาร์บอนไปยังระบบรากมากขึ้นเมื่อเจริญในดินที่มีความเค็มสูงเพื่อสร้างผนังเซลล์ของรากที่อยู่ชั้นนอกสุดให้หนาขึ้นเพื่อจำกัดการแพร่เข้ามาของเกลือและเพิ่มการเจริญของรากเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมน้ำ

นอกจากระบบรากใต้ดินของพืชชายเลนจะมีความยืดหยุ่นต่อสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันแล้ว Okello และคณะ (2020) ยังพบว่าระบบรากส่วนเหนือดินของแสมทะเล (*A. marina*) สามารถตอบสนองต่อการทับถมของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้นบนพื้นป่าโดยการสร้างรากแขนงเคเบิล (cable root) ให้สูงขึ้นจากระดับเดิมเพื่อให้รากหายใจ (pneumatophore) สามารถแทงขึ้นมาจากดินในระดับใหม่ที่ทับถมเพิ่มได้ แสดงถึงการมีความยืดหยุ่นของราก (root plasticity) ในการปรับตัวของรากทั้งส่วนใต้ดินและส่วนเหนือดินเมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปได้

อิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อการจัดสรรคาร์บอน (carbon allocation) เพื่อนำไปใช้สร้างมวลชีวภาพ (biomass) ในส่วนต่าง ๆ ของพืชชายเลน Torres และ

คณะ (2019) ระบุว่าความผันแปรของผลผลิตและมวลชีวภาพของรากใต้ดินและรากส่วนเหนือดิน ถูกควบคุมโดยระยะเวลาที่ถูกล้างน้ำท่วม ค่าศักย์รีดอกซ์ของดิน (redox potential) ความหนาแน่นของต้นไม้ (tree density) และความชื้นในดิน (soil moisture content) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชชายเลนสามารถตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้งปัจจัยทางดินและน้ำเพื่อการเจริญและความอยู่รอดได้ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาเรื่องความยืดหยุ่นของพืชชายเลนภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลายนั้นยังมีอยู่จำกัด ดังนั้นการศึกษาค่าความยืดหยุ่นของพืชชายเลนจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถเข้าใจกลไกการตอบสนองดังกล่าวที่ทำให้พืชชายเลนสามารถอยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

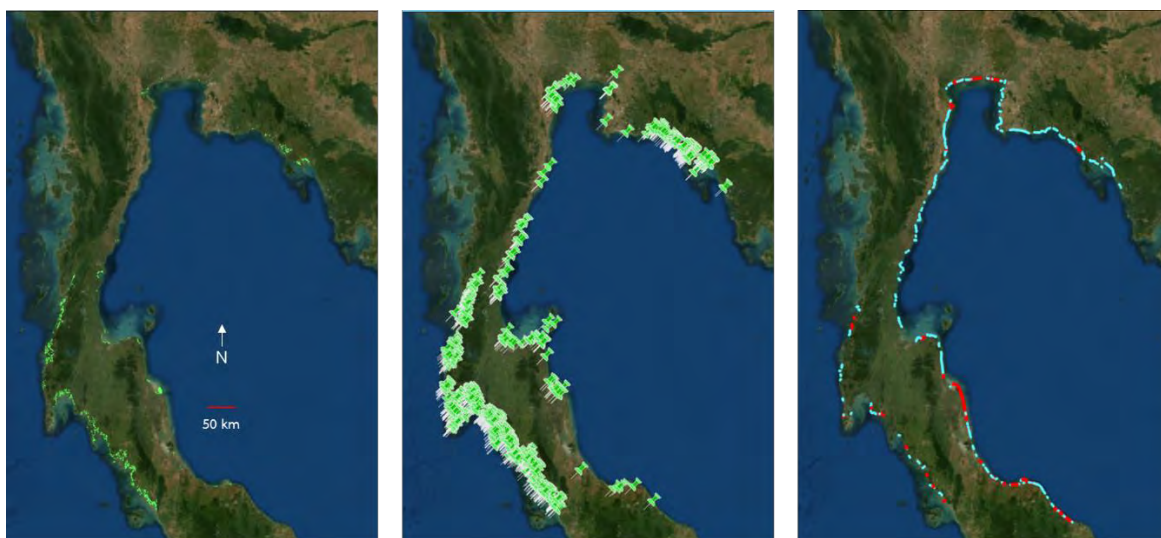
2.3. ปัญหาที่เกิดขึ้นกับป่าชายเลนและการฟื้นฟูป่าชายเลนในประเทศไทย

2.3.1. ปัญหาที่เกิดขึ้นกับป่าชายเลน

ปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนทั่วโลกลดลงเนื่องจากการทำลายป่าชายเลนเพื่อการใช้ประโยชน์ของมนุษย์โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรกรรม เช่น การทำสวนปาล์มน้ำมันในประเทศมาเลเซียที่ทำให้พื้นที่ป่าชายเลนมีอัตราการลดลง 0.41 % ต่อปี (Friess et al., 2020) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนนี้ส่งผลทำให้ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศป่าชายเลนลดลง เนื่องจากจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของป่า อีกทั้งการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนทำให้สูญเสียแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบนิเวศชายฝั่งเนื่องจากพื้นที่ที่สามารถช่วยบรรเทาความรุนแรงจากภัยพิบัติทางธรรมชาติต่าง ๆ ลดลง (Duke et al., 2007) และคาดว่าภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกป่าชายเลนทั่วโลกจะได้รับผลกระทบอย่างต่อเนื่องในอนาคต

พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยลดลงเป็นอย่างมากเช่นเดียวกับแนวโน้มการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนของโลก โดยมีสาเหตุจากการบุกรุกพื้นที่ของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและการเกิดภัยธรรมชาติ (สรายุทธ บุญเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี, 2554) แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ป่าชายเลนโดยรวมในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการจัดการและฟื้นฟูป่าชายเลนของประเทศไทยที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและได้รับความร่วมมือจากหลายภาคส่วน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, ม.ป.ป.อ) การสำรวจพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยเริ่มในปี พ.ศ. 2504 พบว่ามีพื้นที่ป่าชายเลนประมาณ 2,299,375 ไร่ และลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและการที่รัฐบาลอนุญาตให้เอกชนทำสัมปทานไม้ป่าชายเลน จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2547 พบว่าทั้งประเทศมีพื้นที่ป่าชายเลนรวมทั้งสิ้น 1,460,622 ไร่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, ม.ป.ป.อ) เมื่อพิจารณาพื้นที่ป่าชายเลนที่คงสภาพหรือไม่มีการถูกทำลาย

ให้เสื่อมโทรมในปี พ.ศ. 2557 และ พื้นที่ที่มีการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลน ดังแสดงในภาพที่ 2-6 ก และ ข ซึ่งชี้ให้เห็นถึงพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยมีหลายประการ ได้แก่ การใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (31.1%) การแผ้วถางทำลาย (21.7%) การใช้เป็นพื้นที่ปลูกพืชผล (17.0%) การทำรีสอร์ต ร้านอาหาร (0.9%) และอื่น ๆ (18.9%) (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563A)



ก) พื้นที่ป่าชายเลนคงสภาพ ปี พ.ศ. 2557

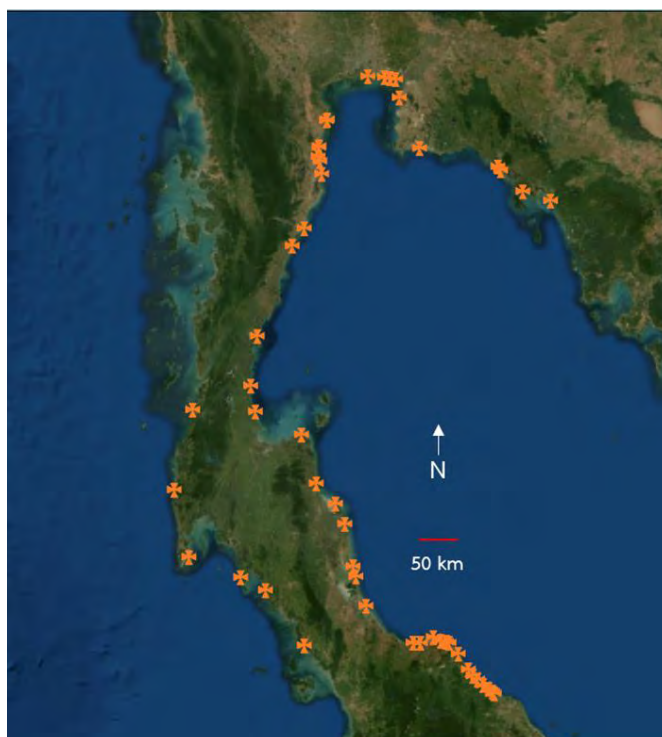
ข) ป่าชายเลนที่มีศักยภาพการปลูก

ค) แนวกีดขวางชายฝั่ง 50 ปี (พ.ศ. 2504-2554)

ภาพที่ 2-6 สถานะของป่าชายเลนในประเทศไทย พื้นที่ป่าชายเลนคงสภาพ ปี พ.ศ. 2557 (ก) พื้นที่ที่มีศักยภาพการปลูกป่าชายเลน (ข) และบริเวณที่มีการกีดขวางชายฝั่ง (ค) สีฟ้าแทนระดับปานกลาง สีแดงแทนระดับรุนแรง (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)

นอกจากนี้การรบกวนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้พื้นที่ป่าชายเลนเสื่อมโทรมและลดลง เช่น การเกิดภัยพิบัติคลื่นยักษ์สึนามิเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันส่งผลให้พื้นที่ป่าชายเลนเสียหายประมาณ 1,912 ไร่ (ส่วนบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2, 2551) นอกจากนี้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น การกีดขวางชายฝั่ง ก็เป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทย (ภาพที่ 2-6 ค) ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ (2549) รายงานว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเลในประเทศไทยที่ประสบปัญหาการกีดขวางชายฝั่งคิดเป็นร้อยละ 22.4 ของชายฝั่งทะเลทั้งประเทศ และพบว่าในช่วงปี พ.ศ.2495-2547 พื้นที่แนวชายฝั่งปากแม่น้ำเจ้าพระยาถอยร่นเข้าไปถึง 1 กิโลเมตร ซึ่งสาเหตุของ

การกัดเซาะชายฝั่งมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ทำให้ปริมาณตะกอนทดแทนมีปริมาณน้อยลง คลื่นลมรุนแรงผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำและกระแสนลม (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ปัจจุบันพื้นที่ป่าชายเลนมีสภาพความสมบูรณ์แตกต่างกันในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน โดยพื้นที่ป่าชายเลนฝั่งอันดามันหรือภาคใต้ฝั่งตะวันตกเป็นพื้นที่ที่ป่าชายเลนยังคงมีสภาพสมบูรณ์กว่าภูมิภาคอื่น และมีแนวโน้มที่ถูกบุกรุกเพื่อใช้ประโยชน์มากกว่าป่าชายฝั่งอ่าวไทย (ภาพที่ 2-6 ข) ส่วนป่าชายเลนในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนแปลงเพื่อการทำประมงชายฝั่ง การทำนาเกลือ และการทำไม้ อีกทั้งได้รับผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งมากกว่าพื้นที่ชายฝั่งอันดามัน (ส่วนส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน, 2556) ดังแสดงในภาพที่ 2-7 โดยพื้นที่ชายฝั่งทางอ่าวไทยตอนบนหรืออ่าวรูปตัว ก ครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม เป็นพื้นที่ที่ชายฝั่งถูกกัดเซาะมากที่สุดในประเทศไทย (ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ, 2552)



ภาพที่ 2-7 พื้นที่กัดเซาะชายฝั่งระดับวิกฤติ
(ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556)

2.3.2. การฟื้นฟูป่าชายเลนในประเทศไทย

สถานะของป่าชายเลนในประเทศไทยในปัจจุบัน พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนในความรับผิดชอบของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่สำรวจในปี พ.ศ. 2552 มีพื้นที่ 2.9 ล้านไร่ ซึ่งมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากอดีต โดยมีพื้นที่ที่คงสภาพเป็นป่าชายเลนที่สมบูรณ์ประมาณ 1.5 ล้านไร่ และมีพื้นที่ป่าชายเลนอีกประมาณ 3.5 แสนไร่ที่สามารถฟื้นฟูให้กลับเป็นพื้นที่สีเขียวได้ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, ม.ป.ป.บ)

ปัจจุบันกิจกรรมการปลูกป่าและฟื้นฟูป่าชายเลนได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากหลายภาคส่วนที่เล็งเห็นความสำคัญของป่าชายเลนในด้านต่าง ๆ ซึ่งสามารถดำเนินการได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การจัดพื้นที่อนุรักษ์ การสร้างสวนป่า การปลูกป่าบนหาดเลนที่งอกใหม่ โดยการฟื้นฟูที่ประสบความสำเร็จจะส่งผลให้ต้นไม้มีการเจริญเติบโตเต็มที่ เกิดความหลากหลายและคงสภาพตามธรรมชาติได้อย่างยั่งยืนซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อธรรมชาติและมนุษย์ได้ (Mangroves for the Future Secretariat, 2020)

การฟื้นฟูป่าชายเลนด้วยการปลูกป่าชายเลนเป็นวิธีที่นิยมแพร่หลาย ทำได้โดยการนำต้นกล้าพืชชายเลนไปปลูกบริเวณหาดเลนงอกใหม่ หรือปลูกเสริมในป่าชายเลนที่เสื่อมโทรมเพื่อให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศป่าชายเลนชายฝั่ง รวมถึงสามารถฟื้นฟูพื้นที่จากการทำประมงชายฝั่งที่ถูกทิ้งร้าง (ส่วนบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2, 2552) รากฐานสำคัญของแนวทางการฟื้นฟูป่าชายเลนให้มีประสิทธิภาพจากการศึกษาของ Lewis (2005) มี 2 ประการ ได้แก่

- 1) ศึกษาลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของพื้นที่ที่จะฟื้นฟู และเมื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่เกิดขึ้นก็สามารถปรับปรุงพื้นที่ให้มีลักษณะเหมาะสมโดยอิงจากสภาพธรรมชาติ เช่น การปรับระดับพื้นดินและฟื้นฟูระบบน้ำเข้า-ออก รวมถึงการฟื้นฟูสภาพร่องน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เหมาะกับพื้นที่ป่าชายเลนที่ได้รับการรบกวนมากจนเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ เช่น พื้นที่นาุ้งทิ้งร้าง

- 2) ตรวจสอบให้แน่ใจว่าสภาพเศรษฐกิจและสังคมบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ที่จะฟื้นฟูเอื้อต่อการฟื้นฟูป่าชายเลน กล่าวคือต้องได้รับความร่วมมือจากชุมชนโดยต้องมีการกำหนดความเป็นเจ้าของและสิทธิในการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ ซึ่งการดำเนินการฟื้นฟูป่าชายเลนที่ได้รับความร่วมมือจากชุมชนที่มีความเข้มแข็งนั้นเป็นสิ่งสำคัญในการฟื้นฟูอย่างยั่งยืน เช่น ชุมชนหัวเขา อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ที่คนในชุมชนมีส่วนร่วม ในการฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนให้กลับมามีความอุดมสมบูรณ์และสามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้อย่างยั่งยืน (พิไลวรรณ ประพฤติ และพรพิมล เชื้อดวงผุย, 2559)

การดำเนินการปลูกป่าชายเลนในประเทศไทยพบว่ามีการใช้กล้าไม้โกงกางใบใหญ่ (*R. mucronata*) เป็นจำนวนมากที่สุดซึ่งนิยมนำไปปลูกในบริเวณหาดเลน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563B) ซึ่งอาจให้ผลหลังการปลูกฟื้นฟูได้ไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจาก สภาพแวดล้อมในพื้นที่หาดเลนนั้นไม่สอดคล้องกับสภาพที่โกงกางใบใหญ่จะเจริญได้ตามธรรมชาติและไม่เป็นไปตามเขตพันธุ์ไม้ (zonation) ของป่าชายเลน (Mangroves for the Future Secretariat, 2020) ทั้งนี้ การปลูกป่าชายเลนในพื้นที่ที่เป็นดินเลนงอกใหม่ที่เกิดจากการทับถมของตะกอนดิน สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงคือการเลือกชนิดกล้าไม้ชายเลน พืชชนิด ก้าวคีรีวงศ์ และคณะ (2540) ได้ระบุว่าการปลูกป่าชายเลนให้ได้ผลนั้นควรสร้างระบบนิเวศให้มีความใกล้เคียงกับธรรมชาติของไม้ชนิดนั้นให้มากที่สุด การปลูกต้องเริ่มด้วยไม้เบิกนำ (pioneer species) ซึ่งเป็นไม้ชนิดแรก ๆ ที่จะช่วยปรับพื้นที่ให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับไม้ชนิดอื่นที่จะสามารถเจริญตามมาในระยะต่อไป โดยป่าชายเลนในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมักพบไม้สกุลแสม (*Avicennia* sp.) เป็นไม้เบิกนำที่สามารถเจริญเติบโตได้เป็นกลุ่มแรกในพื้นที่ว่างเปล่า สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพพื้นที่ และเจริญได้ดีกว่าพันธุ์ไม้อื่น ในการปลูกป่าชายเลนหลายพื้นที่ในประเทศไทยมีการนำกล้าไม้แสมมาปลูกในพื้นที่หาดเลนงอกใหม่ เช่น “โครงการเครือข่ายรักษ่อ่าวอาสา ปลูกป่าเฉลิมพระเกียรติฯ” ณ ศูนย์การเรียนรู้ไม้ไผ่ชะลอคลิ้น จังหวัดสมุทรสาคร (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2561) รวมถึงโครงการ “โตโยต้า ปลูกป่าชายเลน” ณ ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) จังหวัดสมุทรปราการ ที่ใช้กล้าไม้แสมขาว (*A. alba*) (บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด, 2562) ดังนั้นการศึกษาเรื่องความสามารถในการปรับตัวของพันธุ์ไม้แสมต่อสภาพสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งเพื่อเพิ่มองค์ความรู้ในการเลือกพืชที่มีความเหมาะสมในการปลูกป่าชายเลน จึงเป็นส่วนสำคัญต่อการวางแผนฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลนที่ยั่งยืนในอนาคต

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

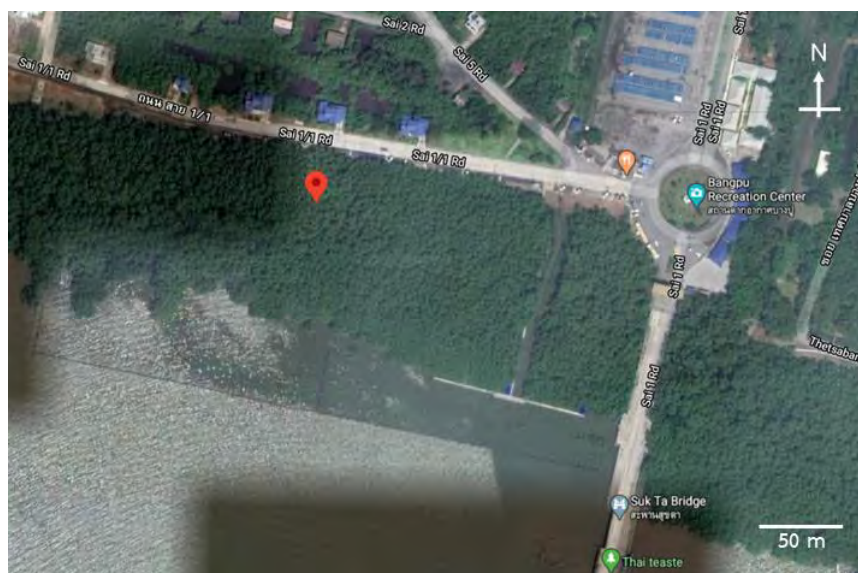
3.1. กำหนดพื้นที่ศึกษา

3.1.1. ลักษณะพื้นที่ศึกษา

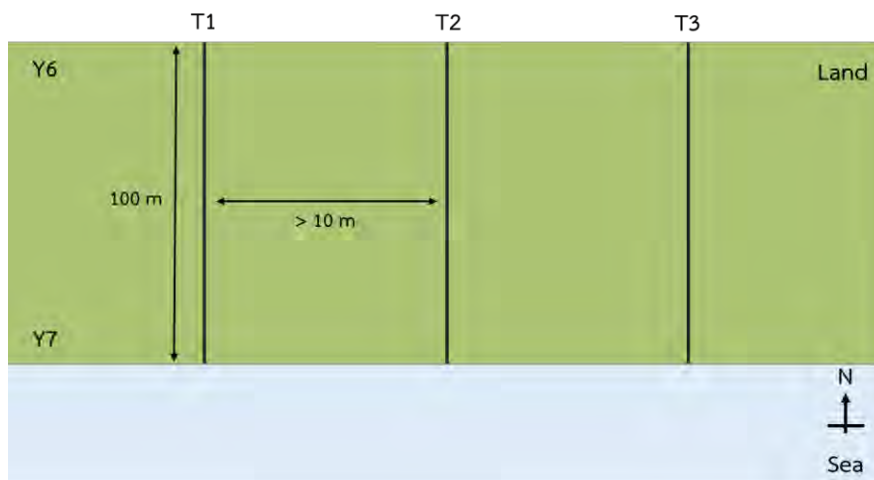
พื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณป่าชายเลนชายฝั่งตั้งอยู่ในพื้นที่ของศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ (N13°30'59", E100°39'23") มีพื้นที่ประมาณ 900 ไร่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557) ซึ่งป่าชายเลนในบริเวณนี้ได้รับผลกระทบจากการขยายตัวของเมืองและถูกตัดทำลายทำให้เหลือกระจายตัวเป็นแนวแคบตามชายฝั่ง (ภาพที่ 3-1 ก) ต่อมาพื้นที่ป่าชายเลนบางปูได้รับการฟื้นฟูป่าชายเลนภายใต้โครงการ "โตโยต้าปลูกป่าชายเลน" โดยเป็นความร่วมมือระหว่าง บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด กรมพลาธิการทหารบก และมูลนิธิสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (ประเทศไทย) ที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง ปัจจุบัน มีการใช้กล้าไม้หลัก 3 กลุ่มในการปลูกบริเวณหาดเลน ได้แก่ แสมขาว (*Avicennia alba* Blume) โกงกาง (*Rhizophora* spp.) และ ลำพู (*Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.) (บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด, 2562) โดยแปลงปลูกที่ทำการศึกษามีการปลูกกล้าไม้ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2553-2554 มีอายุของหมู่ไม้ประมาณ 6-7 ปี (ภาพที่ 3-2) วางแนวศึกษาโดยใช้วิธี line transect (Dahdouh-Guebas et al., 2007) เริ่มจากจุดอ้างอิงริมทะเลจนถึงสุดเขตพันธุ์ไม้ดำนในแผ่นดินเป็นระยะทางประมาณ 100 เมตร จำนวน 3 แนว แต่ละแนวห่างกันอย่างน้อย 10 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-1 ป่าชายเลนในพื้นที่ศูนย์ศึกษารวมชาติกองทัพบก (บางปู) ที่มีการกระจายตัวเป็นแนว
 แคบตามชายฝั่งในปี พ.ศ.2547 (ก) และป่าชายเลนที่ได้รับการปลูกฟื้นฟู
 ในปีพ.ศ.2562 (ข) (กรอบสี่เหลี่ยมแสดงขอบเขตแปลงศึกษาของหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยา
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สร้างขึ้นในปี พ.ศ.2561) (ที่มา: <https://www.google.com/earth>)



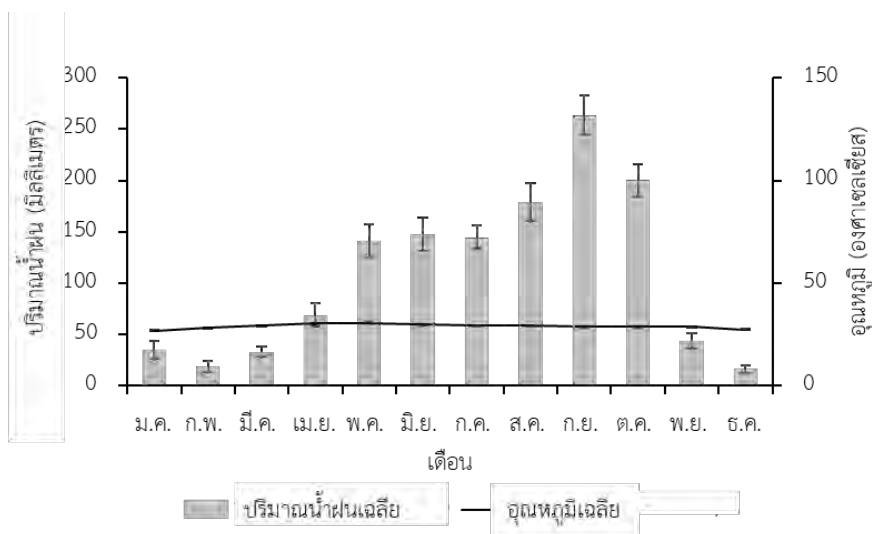
ภาพที่ 3-2 พื้นที่ศึกษาป่าชายเลนอายุประมาณ 6-7 ปี ในพื้นที่ของศูนย์ศึกษารวมชาติกองทัพบก
 (บางปู) อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ (ที่มา: <https://www.google.com/maps>)



ภาพที่ 3-3 การวางแผนศึกษาในพื้นที่ศึกษาป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ Y6 และ Y7 แสดงปีที่ปลูกของกล้าไม้ในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ.2553 และ 2554 ตามลำดับ

3.1.2. ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดสมุทรปราการมีภูมิประเทศติดกับชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนใน (Inner Gulf of Thailand) ทำให้ได้รับอิทธิพลจากลมทะเลและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทะเลอ่าวไทย ส่งผลให้มีความชื้นในอากาศสูงในฤดูร้อนและมีฝนตกมากในฤดูฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 28.91 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 30.53 องศาเซลเซียส ในเดือนพฤษภาคม และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 27.24 องศาเซลเซียส ในเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ศึกษาได้รับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,283 มิลลิเมตรต่อปี (อ้างอิงจากข้อมูล 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2562 จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา, 2563) ช่วงฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม โดยมีปริมาณน้ำฝนในฤดูฝนคิดเป็นร้อยละ 76.83 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี (ภาพที่ 3-4)



ภาพที่ 3-4 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในช่วงเวลา 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2552-2562 จากสถานีตรวจอากาศใกล้เคียงบริเวณสถานตากอากาศบางปู จังหวัดสมุทรปราการ (กรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย, 2563)

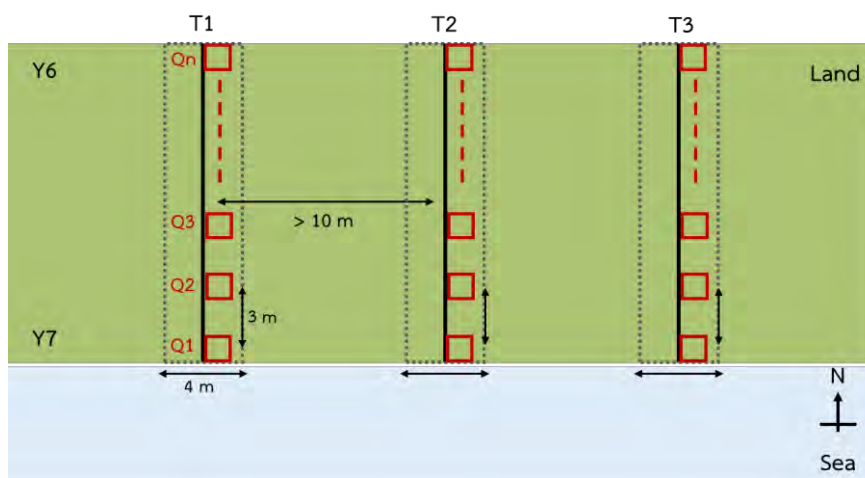
3.2. เก็บข้อมูลภาคสนาม

3.2.1. เก็บข้อมูลรากส่วนเหนือดินของแสมขาว

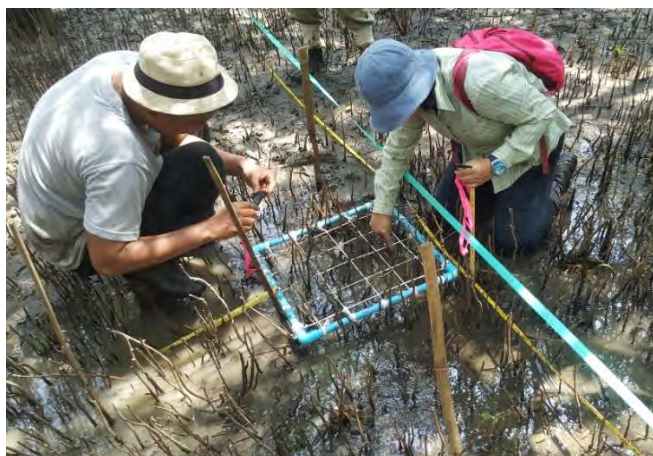
กำหนดจุดเก็บข้อมูลรากหายใจของต้นแสมขาวด้วยการวาง quadrat ที่ทำจากท่อพีวีซี ขนาดพื้นที่ 0.4×0.4 ตารางเมตร (ภาพที่ 3-5) ทูกระยะ 3 เมตรตามแนวศึกษาแต่ละแนว เริ่มจากบริเวณริมทะเลจนถึงสุดเขตพันธุ์ไม้ในบริเวณติดแผ่นดินเป็นระยะทางประมาณ 100 เมตร ทำการวาง quadrat ทั้งสามแนวศึกษา (ภาพที่ 3-6) ทำการเก็บข้อมูลรากหายใจของต้นแสมขาว เมื่อเวลาน้ำลงจนสามารถเห็นพื้นดินได้ โดยบันทึกข้อมูลรากหายใจทุกรากที่อยู่ใน quadrat บนแนวศึกษา ตั้งแต่ระยะ 0 เมตร (จุดอ้างอิงติตริมทะเล) ไปจนถึงระยะ 99 เมตร (จุดที่อยู่ด้านในแผ่นดินมากที่สุด) ทั้งสามแนวศึกษา ประกอบด้วยจำนวนรากในแต่ละ quadrat ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรากที่ระดับพื้นดิน (D_0) และความสูงจากระดับพื้นดิน (H) (ภาพที่ 3-7) ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง คือ ช่วงเริ่มฤดูมรสุม (วันที่ 21-22 พฤษภาคม และ 1 มิถุนายน พ.ศ.2562) และช่วงฤดูมรสุม (วันที่ 12, 17 และ 18 สิงหาคม พ.ศ.2562) เนื่องจากรากพืชอาจมีรูปแบบการเจริญเติบโตที่ต่างกันขึ้นกับปริมาณน้ำฝนและอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกันในช่วงฤดู



ภาพที่ 3-5 quadrat สำหรับบันทึกข้อมูลรากส่วนเหนือดินของเสมชขาว ภายในแบ่งเป็นช่องขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 16 ช่อง กำหนดให้รหัสแถวเป็น A, B, C, D และรหัสคอลัมน์เป็นเลข 1, 2, 3, 4 เพื่อบันทึกข้อมูลรากหายใจของต้นเสมชขาวทั้งหมดในแต่ละช่อง



ภาพที่ 3-6 แผนผังแนวศึกษา (line transect) จากริมทะเลไปจนถึงเขตพันธุ์ไม้ด้านในแผ่นดิน ตัวอักษร T1, T2 และ T3 แสดงหมายเลขแนวศึกษา และจุดเก็บข้อมูลรากหายใจ (quadrat) ตามแนวศึกษาแสดงด้วยตัวอักษร Q1, Q2, Q3 จนถึง Qn



ภาพที่ 3-7 การเก็บข้อมูลรากหายใจของต้นแสมขาวใน quadrat บนแนวศึกษา บริเวณป่าชายเลนบางปู

3.2.2. เก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม

3.2.2.1. โครงสร้างพืชพรรณบริเวณแนวศึกษา

เก็บข้อมูลพันธุ์ไม้บริเวณแนวศึกษาด้วยวิธี belt transect โดยมีระยะห่างจากแนว line transect ด้านละ 2 เมตร (ภาพที่ 3-6) ทำการบันทึกข้อมูลไม้ต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (Diameter at Breast Height, DBH) ตั้งแต่ 1 เซนติเมตรขึ้นไป ตลอดแนวศึกษา ได้แก่ ชนิดของพันธุ์ไม้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก จำนวนต้น และตำแหน่งที่พบตามแนว belt transect เพื่อสร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวของไม้ต้นบริเวณแนวศึกษา ทำการบันทึกข้อมูลในวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2562

3.2.2.2. ระดับความสูงของพื้นที่ (elevation)

ระดับความสูงของพื้นที่ (elevation) ของแต่ละแนวศึกษาในช่วงน้ำลงในสองฤดูโดยใช้ Instrumental sideline builders level (ภาพที่ 3-8) โดยกำหนดจุดอ้างอิง (datum point) จากนั้นวัดความสูงของพื้นที่ตามแนวศึกษาแต่ละแนวทุก ๆ 3 เมตรตั้งแต่ตำแหน่ง 0 เมตรถึง 100 เมตร จากระดับทะเลเข้าสู่แผ่นดิน แล้วเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงที่กำหนด จากนั้นนำความสูงสัมพัทธ์ที่วัดได้มาสร้างเป็นเส้น contour เพื่อแสดงถึงลักษณะภูมิลักษณะ (topography) ของพื้นที่ศึกษา ในฤดูเริ่มมรสุม (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562) และฤดูมรสุม (เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562)



ภาพที่ 3-8 การวัดระดับความสูงของพื้นที่แต่ละแนวศึกษาโดยใช้
Instrumental sideline builders level และไม้วัดระดับ

3.2.2.3. ระยะเวลาที่น้ำท่วม (inundation period)

เก็บข้อมูลระยะเวลาที่น้ำท่วมพื้นที่ในช่วงน้ำขึ้นโดยบันทึกเวลาเมื่อน้ำเข้าท่วมแต่ละตำแหน่งตามแนวศึกษาจากตำแหน่งแรกที่ระยะ 0 เมตร (จุดอ้างอิง) จนถึงระยะ 60 เมตร และบันทึกหมายเลขต้นไม้ที่อยู่บริเวณ belt transect ทุก 30 นาที (เก็บข้อมูลวันที่ 12 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562) จากนั้นนำเวลาที่บันทึก ตำแหน่ง และค่าระดับความสูงสัมพันธ์ของพื้นที่ตามแนวศึกษาที่ได้มาคำนวณเปรียบเทียบกับข้อมูลตารางน้ำขึ้นน้ำลงรายวัน (กรมอุทกศาสตร์, กองทัพเรือ) เพื่อหาระยะเวลาที่แต่ละจุดเก็บข้อมูลรากหายใจถูกน้ำท่วม ในหน่วยชั่วโมงต่อวัน (ธนพล พงศ์สุวโรจน์, 2560) ทำการคำนวณทั้งช่วงเดือนพฤษภาคมและสิงหาคม พ.ศ. 2562

3.2.2.4. ความหนาแน่นของดิน (bulk density)

สุ่มเก็บตัวอย่างดินตามแนวศึกษาด้วยวิธี soil coring (Saintilan, 1997) โดยใช้ soil core (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร) เก็บดินที่ทุกระยะ 3 เมตร จำนวน 3 จุด ใกล้กับแต่ละ quadrat (ภาพที่ 3-9) จากทั้งสามแนวศึกษา จากนั้นนำตัวอย่างดินมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนักแห้งเมื่อน้ำหนักคงที่เพื่อคำนวณความหนาแน่นของดินในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)



ภาพที่ 3-9 การเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธี soil coring

3.2.2.5. ความเค็มของน้ำในดิน

วัดระดับความเค็มของน้ำในดินโดยใช้เครื่องวัดความเค็ม (YK-31Sa, Sato Tech, Kawasaki, Japan) และอุณหภูมิของดินด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร ทุก ๆ ระยะ 3 เมตร ในแต่ละแนวศึกษา ทำการวัดทั้งในเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562

3.3. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติทั้งหมดโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22 ดังนี้

- เปรียบเทียบลักษณะรากหายใจและปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละจุดเก็บข้อมูลในสองช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเริ่มฤดูมรสุมและช่วงฤดูมรสุมด้วยวิธี Paired sample t-test
- ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละลักษณะของรากหายใจ (ความหนาแน่นต่อพื้นที่ ความสูงจากพื้นดิน เส้นผ่านศูนย์กลางระดับพื้นดิน พื้นที่หน้าตัดรวม พื้นที่ผิวรวม และปริมาตรของรากส่วนเหนือดิน) ด้วยวิธี Pearson correlation
- ศึกษาความสัมพันธ์ของระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม (ระยะห่างจากทะเล โครงสร้างพืชพรรณ ระดับความสูงของพื้นที่ ระยะเวลาที่พื้นที่ศึกษาถูกน้ำท่วม และสมบัติของดิน) ด้วยวิธี Pearson correlation
- ศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะรากหายใจ (ความหนาแน่นรากต่อพื้นที่ ความสูงจากพื้นดิน เส้นผ่านศูนย์กลางระดับพื้นดิน พื้นที่หน้าตัดรวม พื้นที่ผิวรวม และปริมาตรของรากส่วนเหนือดิน) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม (ระยะห่างจากทะเล ขนาด DBH และความหนาแน่นของต้นไม้ ระดับความสูงของพื้นที่ ระยะเวลาที่พื้นที่ศึกษาถูกน้ำท่วม) ด้วยวิธี Pearson correlation

- ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากหายใจกับสมบัติของดิน (ความหนาแน่นของดิน และความเค็มของน้ำในดิน) ด้วยวิธี Pearson correlation

บทที่ 4 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 4.1 ลักษณะรากส่วนเหนือดิน (pneumatophore) ของแสมขาวในช่วงเริ่มฤดูมรสุม และฤดูมรสุม ประกอบด้วยความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดิน และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน ความสูง พื้นที่ผิว และปริมาตรของรากส่วนเหนือดิน รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในทั้งสองช่วงฤดู

ส่วนที่ 4.2 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม (environmental factors) ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ โครงสร้างพืชพรรณ ระดับความสูงของพื้นที่ (elevation) ความหนาแน่นของดิน และความเค็มของน้ำในดิน รวมถึงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมในบริเวณศึกษา

ส่วนที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ โครงสร้างพืชพรรณ ระดับความสูงของพื้นที่ (elevation) ความหนาแน่นของดิน และความเค็มของน้ำในดิน ในทั้งสองช่วงฤดู

4.1. ลักษณะรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูมรสุม

4.1.1. ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว

ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินในทั้งสองช่วงฤดูไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยรากส่วนเหนือดินในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562) มีความหนาแน่นของตั้งแต่ 81 ถึง 1,144 รากต่อตารางเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 320 ± 146 รากต่อตารางเมตร และรากส่วนเหนือดินในช่วงฤดูมรสุม (เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562) มีความหนาแน่นของตั้งแต่ 44-956 รากต่อตารางเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 319 ± 133 รากต่อตารางเมตร (ตารางที่ 4-1) นอกจากนี้ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินต่อแปลงเก็บตัวอย่างในแต่ละแนวศึกษาในแต่ละฤดูไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในแต่ละแนวศึกษาบริเวณป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ

ข้อมูลรากส่วนเหนือดิน	แนวศึกษาที่ 1						แนวศึกษาที่ 2						แนวศึกษาที่ 3					
	ช่วงเริ่มฤดูมรสุม			ช่วงฤดูมรสุม			ช่วงเริ่มฤดูมรสุม			ช่วงฤดูมรสุม			ช่วงเริ่มฤดูมรสุม			ช่วงฤดูมรสุม		
	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD	Min	Max	Mean \pm SD
ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดิน (ราก/ตร.ม.)	131	744	333 \pm 120	106	956	331 \pm 154	81	1144	301 \pm 120	44	606	304 \pm 125	94	625	324 \pm 118	69	544	324 \pm 116
เส้นผ่านศูนย์กลางระดับพื้นดินของรากส่วนเหนือดิน (มม.)	1.2	14	5.94 \pm 1.97	0.3	15.5	5.35 \pm 2.28	1.5	14.2	6.65 \pm 2.05	0.60	13.40	5.18 \pm 2.19	0.40	14.00	5.97 \pm 2.26	0.40	15.00	5.10 \pm 2.24
ความสูงของรากส่วนเหนือดิน (ซม.)	1	56.3	10.98 \pm 7.38	0.9	99.8	9.72 \pm 7.00	1	63	11.06 \pm 7.04	0.30	39.20	9.53 \pm 6.40	0.10	56.50	10.14 \pm 7.76	0.50	52.30	9.56 \pm 7.87
พื้นที่ผิวต่อรากส่วนเหนือดิน (ตร.ซม.)	0.8	181.2	23.97 \pm 22.23	0.25	144.14	19.60 \pm 19.50	1.01	149.29	25.96 \pm 21.53	0.10	109.74	18.44 \pm 17.52	0.38	250.04	22.92 \pm 27.85	0.14	248.23	19.65 \pm 22.40
ปริมาตรต่อรากส่วนเหนือดิน (ลบ.ซม.)	0.04	48.2	4.38 \pm 5.44	0.0004	37.09	3.47 \pm 4.67	0.05	47	5.09 \pm 5.64	0.001	29.27	3.12 \pm 4.07	0.01	86.97	4.44 \pm 6.68	0.001	92.42	3.41 \pm 5.42
พื้นที่ผิวรวมของรากส่วนเหนือดินต่อพื้นที่ (ตร.ซม./ตร.ม.)	304.53	5,002.65	1,270.10 \pm 900.61	352.98	2,375.72	1,064.66 \pm 519.21	276.84	8,528.59	1,248.90 \pm 1,378.02	130.54	2,429.50	895.87 \pm 526.15	181.20	4,302.02	1,180.27 \pm 806.88	307.87	3,765.31	1,035.45 \pm 801.41
ปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินต่อพื้นที่ (ลบ.ซม./ต.น.ม.)	42.17	1,001.25	231.77 \pm 186.78	49.58	414.04	189.00 \pm 99.46	52.07	1,838.86	244.70 \pm 296.55	13.60	541.81	151.53 \pm 103.20	48.96	730.09	184.26 \pm 158.57	31.42	981.00	229.40 \pm 183.91

หมายเหตุ Min หมายถึง ค่าที่น้อยที่สุด Max หมายถึง ค่าที่มากที่สุด และ Mean \pm SD แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินทั้งสองฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับพื้นดิน ความสูง พื้นที่ผิวเฉลี่ยต่อราก พื้นที่ผิวรวม และปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดิน (ตารางที่ 4-2) ในขณะที่ปริมาตรเฉลี่ยต่อรากของรากส่วนเหนือดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองฤดู โดยพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากทุกค่าที่วัดในช่วงเริ่มฤดูมรสุมมีค่ามากกว่าช่วงฤดูมรสุม (ตารางที่ 4-1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดินของรากส่วนเหนือดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.19 และ 5.29 มิลลิเมตรในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูมรสุมตามลำดับ ความสูงของรากส่วนเหนือดินในช่วงเริ่มฤดูมรสุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.24 เซนติเมตรในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและ 9.65 เซนติเมตรในช่วงฤดูมรสุม พื้นที่ผิวของรากส่วนเหนือดินมีค่าเฉลี่ย 23.06 และ 19.67 ตารางเซนติเมตรในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูมรสุมตามลำดับ พื้นที่ผิวของรากส่วนเหนือดินรวมต่อพื้นที่ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,233.09 และ 998.66 ตารางเซนติเมตรต่อตารางเมตรในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูมรสุมตามลำดับ และปริมาตรของรากส่วนเหนือดินรวมต่อพื้นที่ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 220.24 และ 189.98 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูมรสุมตามลำดับ ส่วนปริมาตรของรากส่วนเหนือดินในทั้งสองฤดูมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.073 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในช่วงเริ่มฤดูมรสุมและช่วงฤดูมรสุม ด้วยวิธี paired sample t-test

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดิน	t	P
เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน	9.285*	0.000
ความสูง	2.159*	0.033
พื้นที่ผิว	3.44*	0.001
ปริมาตร	0.037	0.971
พื้นที่ผิวรวมต่อพื้นที่	2.781*	0.006
ปริมาตรรวมต่อพื้นที่	3.180*	0.002

หมายเหตุ สัญลักษณ์ * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว

ความหนาแน่นของรากมีความสัมพันธ์กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ได้จากการคำนวณ (พื้นที่ผิวรวมและปริมาตรรวม) ของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในทั้งสองฤดู ในขณะที่ความหนาแน่นของรากมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความสูงของรากที่วัดได้ในช่วงฤดูเริ่มมรสุมเท่านั้น ส่วนลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินอื่น ๆ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-3) โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกในทั้งสองฤดู ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดินและความสูงแสดงถึงการเจริญเติบโตของรากส่วนเหนือดินที่เกิดขึ้นทั้งสองทิศทาง ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวและปริมาตรของรากส่วนเหนือดิน

ตารางที่ 4-3 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินของแสมขาวในสองช่วงฤดู ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ

ฤดู	ลักษณะของรากส่วนเหนือดิน	ความหนาแน่นของราก	เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน	ความสูง	พื้นที่ผิว	ปริมาตร	พื้นที่ผิวรวม	ปริมาตรรวม
ช่วงฤดูมรสุม	ความหนาแน่นของราก	1.000	0.024	0.316*	0.228*	0.240*	0.857*	0.818*
	เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน	0.024	1.000	0.619*	0.770*	0.623*	0.352*	0.421*
	ความสูง	0.316*	0.619*	1.000	0.957*	0.740*	0.663*	0.677*
	พื้นที่ผิว	0.228*	0.770*	0.957*	1.000	0.720*	0.601*	0.639*
	ปริมาตร	0.240*	0.623*	0.740*	0.720*	1.000	0.592*	0.615*
	พื้นที่ผิวรวม	0.857*	0.352*	0.663*	0.601*	0.592*	1.000	0.994*
	ปริมาตรรวม	0.818*	0.421*	0.677*	0.639*	0.615*	0.994*	1.000
ช่วงฤดูแล้ง	ความหนาแน่นของราก	1.000	-0.158	0.082	-0.034	-0.210*	0.629*	0.540*
	เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน	-0.158	1.000	0.576*	0.683*	0.457*	0.393*	0.498*
	ความสูง	0.082	0.576*	1.000	0.862*	0.398*	0.761*	0.768*
	พื้นที่ผิว	-0.034	0.683*	0.862*	1.000	0.516*	0.684*	0.732*
	ปริมาตร	-0.210*	0.457*	0.398*	0.516*	1.000	0.196*	0.252*
	พื้นที่ผิวรวม	0.629*	0.393*	0.761*	0.684*	0.196*	1.000	0.981*
	ปริมาตรรวม	0.540*	0.498*	0.768*	0.732*	0.252*	0.981*	1.000

หมายเหตุ สัญลักษณ์ * หมายถึงข้อมูลมีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

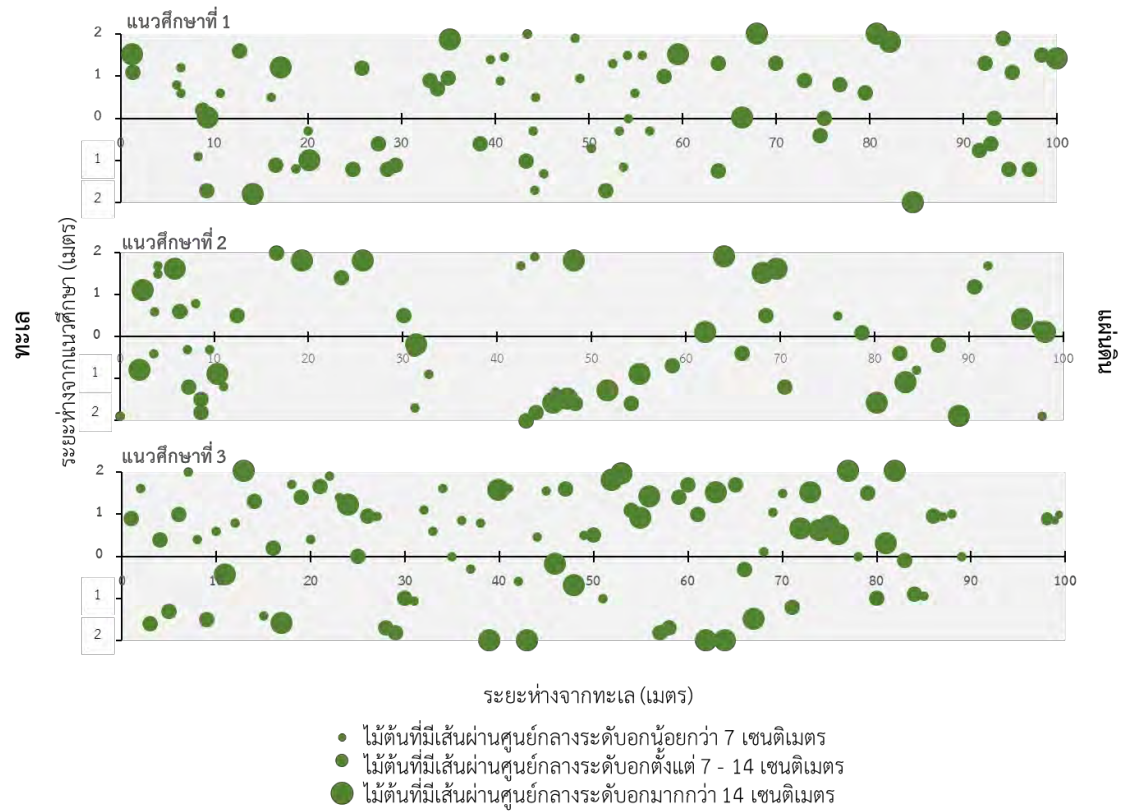
4.2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อม (environmental factors)

4.2.1. โครงสร้างพืชพรรณในบริเวณแนวศึกษา

จากการศึกษาพบไม้ต้นทั้งหมด 225 ต้นในบริเวณแนวศึกษาทั้งสามแนว ชนิดของไม้ต้นที่พบ ได้แก่ แสมขาว (*Avicennia alba*) โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) ลำพู (*Sonneratia caseolaris*) และ ลำพูทะเล (*Sonneratia alba*) โดยคิดเป็นร้อยละ 86.22, 11.11, 1.78 และ 0.89 ของจำนวนไม้ต้นทั้งหมดที่พบในบริเวณแนวศึกษาตามลำดับ (ตารางที่ 4-4) แสดงให้เห็นว่าต้นแสมขาวเป็นไม้เด่นที่พบได้มากในบริเวณแนวศึกษา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก (DBH) และความหนาแน่นต้นไม้ต่อพื้นที่ (tree density) ของไม้ต้นที่พบในแต่ละแนวศึกษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย DBH เท่ากับ 10.3 เซนติเมตร และมีความหนาแน่นของต้นไม้ต่อพื้นที่เฉลี่ย 0.74 ต้นต่อตารางเมตร โดยไม้ต้นในบริเวณแนวศึกษามีการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดแนวศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4-1

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลโครงสร้างพืชพรรณที่พบบริเวณแนวศึกษาทั้งสามแนว ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ

ชนิดไม้ต้น	แนวศึกษาที่ 1			แนวศึกษาที่ 2			แนวศึกษาที่ 3		
	จำนวนต้น	ความหนาแน่น (ต้น/ตร.ม.)	DBH ± SD (ซม.)	จำนวนต้น	ความหนาแน่น (ต้น/ตร.ม.)	DBH ± SD (ซม.)	จำนวนต้น	ความหนาแน่น (ต้น/ตร.ม.)	DBH ± SD (ซม.)
แสมขาว (<i>A. alba</i>)	63	0.62	10.5±4.8	63	0.62	10.7±5.7	68	0.67	11.9±5.3
โกงกางใบใหญ่ (<i>R. mucronata</i>)	14	0.14	2.3±0.5	1	0.01	1.9±0.0	10	0.10	4.49±1.0
ลำพู (<i>S. caseolaris</i>)	4	0.04	13.2±1.8	0	0.00	-	0	0.00	-
ลำพูทะเล (<i>S. alba</i>)	0	0.00	-	0	0.0	-	2	0.02	13.9±1.1
รวม	81	0.80	9.3±5.3	64	0.63	10.5±5.8	80	0.79	11.1±5.5



ภาพที่ 4-1 การกระจายตัวของไม้ต้นในบริเวณแนวศึกษาแสดงตำแหน่งตามระยะห่างจากทะเลและระยะห่างจากแนวศึกษาภายในระยะ 2 เมตร โดยแบ่งตามช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับออก ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ (สำรวจเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2562)

4.2.2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพในช่วงฤดูเริ่มมรสุมและฤดูมรสุม

ระดับความสูงของพื้นที่ (elevation) ในทั้งสองฤดูไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่บริเวณที่ศึกษาเห็นได้ว่าช่วงฤดูเริ่มมรสุมมีความสูงสัมพัทธ์มากกว่าช่วงฤดูมรสุม โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 109 เมตร อีกทั้งมีความชันของพื้นที่มากกว่า ดังแสดงในภาพที่ 4-2 ระยะเวลาที่แปลงเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่งถูกน้ำท่วม ความหนาแน่นของดิน และความเค็มของน้ำในดินในทั้งสองฤดูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-5) โดยระยะเวลาที่แปลงเก็บตัวอย่างถูกน้ำท่วมและความหนาแน่นของ ดินในช่วงเริ่มฤดูมรสุมมีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูมรสุม แต่ค่าเฉลี่ยของความเค็มของน้ำในดินช่วงเริ่มฤดูมรสุมมีค่ามากกว่าช่วงฤดูมรสุม (ตารางที่ 4-5)

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม



ข) ช่วงฤดูมรสุม



ภาพที่ 4-2 ภูมิลักษณะ (topography) ในบริเวณที่ศึกษา ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข) โดย T1, T2, T3 แสดงแนวศึกษาที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-5 ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละแนวศึกษาและค่าสถิติการวิเคราะห์ Paired samples t-test เปรียบเทียบปัจจัยสิ่งแวดล้อมระหว่างช่วงเริ่มฤดูมรสุมและฤดูมรสุม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	แนวศึกษาที่ 1						แนวศึกษาที่ 2						แนวศึกษาที่ 3						ค่าสถิติ paired sample t-test	
	ช่วงเริ่มฤดูมรสุม			ช่วงฤดูมรสุม			ช่วงเริ่มฤดูมรสุม			ช่วงฤดูมรสุม			ช่วงเริ่มฤดูมรสุม			ช่วงฤดูมรสุม			t	P
	Min	Max	Mean±SD	Min	Max	Mean±SD	Min	Max	Mean±SD	Min	Max	Mean±SD	Min	Max	Mean±SD	Min	Max	Mean±SD		
ระดับความสูงของพื้นที่ (ซม.)	15.0	109.0	-	2.5	75.0	-	0.0	89.0	-	0.0	71.0	-	19.0	108.0	-	5.6	73.9	-	1.669	0.098
ระยะเวลาที่ถูกรั่วท่วม (ชม.)	5.3	15.2	8.3±3.1	9.0	14.1	11.0±1.6	5.3	15.7	8.8±3.3	6.6	11.7	9.0±1.7	0.0	15.5	3.9±4.4	7.2	14.7	10.5±1.9	-8.349*	0.000
ความหนาแน่นของดิน (กรัม/ลบ.ซม.)	0.74	2.29	1.9±0.38	1.63	2.13	1.93±0.11	0.22	3.11	0.82±0.51	1.67	2.12	1.97±0.11	1.15	2.14	1.85±0.20	1.58	2.23	2.02±0.17	-7.194*	0.000
ความเค็มของน้ำในดิน (%)	1.13	2.28	1.53±0.30	1.03	2.17	1.32±0.20	1.16	3.75	2.19±0.71	1.05	2.30	1.39±0.28	1.09	2.66	1.47±0.35	0.85	2.25	1.22±0.27	7.811*	0.000

หมายเหตุ * แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ Min หมายถึง ค่าที่น้อยที่สุด Max หมายถึง ค่าที่มากที่สุด และ Mean \pm SD แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.3. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมในบริเวณศึกษา

ความหนาแน่นต้นไม้และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของไม้ยืนต้นที่พบในทั้งสามแนวศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ในทั้งสองฤดู (ระยะห่างจากทะเล ระดับความสูงของพื้นที่ ระยะเวลาที่ถูกรบกวนน้ำท่วมในหนึ่งวัน ความหนาแน่นของดิน และความเค็มของน้ำในดิน)

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่วัดได้ในแต่ละฤดูมีความสัมพันธ์กันดังแสดงในตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-3 ระยะห่างจากทะเลมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ โดยระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากทะเลมากขึ้น นอกจากนี้ระยะห่างจากทะเลและระดับความสูงของพื้นที่แปรผกผันกับระยะเวลาที่พื้นที่ถูกรบกวนน้ำท่วม (ภาพที่ 4-3 และ 4-4) เมื่อห่างจากทะเลมากขึ้นและมีระดับความสูงของพื้นที่มากขึ้นพื้นที่จะมีระยะเวลาที่พื้นที่ถูกรบกวนน้ำท่วมน้อยลง

ความหนาแน่นของดินในช่วงเริ่มฤดูมรสุมมีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากทะเล แต่แปรผกผันกับระยะเวลาที่ถูกรบกวนน้ำท่วม โดยความหนาแน่นของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อห่างจากทะเลมากขึ้น และถูกรบกวนน้ำท่วมเป็นระยะเวลาน้อยลง นอกจากนี้พบว่าในฤดูมรสุมความหนาแน่นของดินแปรผกผันกับความเค็มของน้ำในดิน โดยเมื่อมีความหนาแน่นของดินมากขึ้นจะพบว่าความเค็มของน้ำในดินมีค่าลดลง

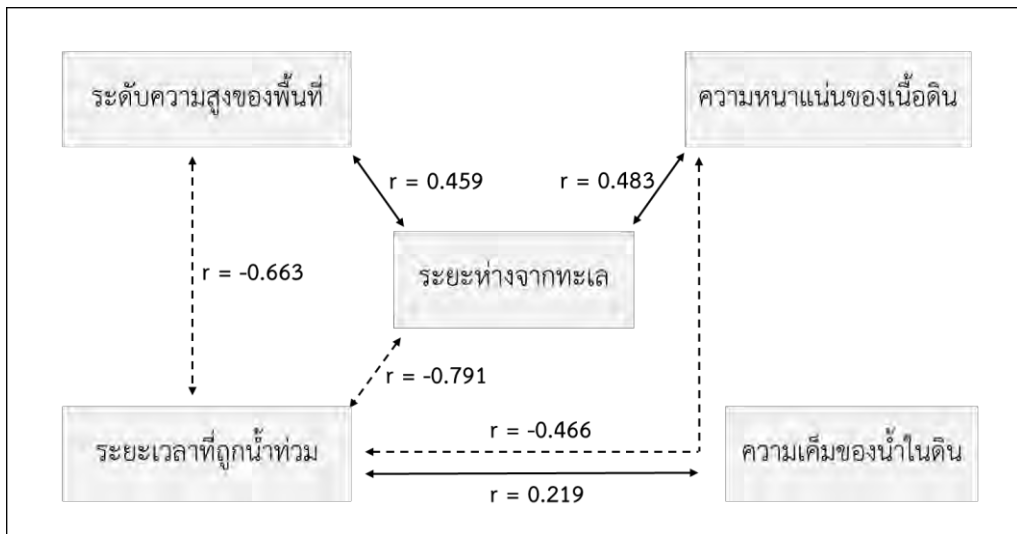
ความเค็มของน้ำในดินในช่วงเริ่มฤดูมรสุมแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ถูกรบกวนน้ำท่วม โดยความเค็มของน้ำในดินเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ถูกรบกวนน้ำท่วมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ในฤดูมรสุมความเค็มของน้ำในดินแปรผกผันกับระยะเวลาที่ถูกรบกวนน้ำท่วมและความหนาแน่นของดิน และแปรผันตรงกับระยะห่างจากทะเล โดยความเค็มของน้ำในดินเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ถูกรบกวนน้ำท่วมน้อยลง ความหนาแน่นของดินลดลง และระยะห่างจากทะเลเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-6 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม
ในสองฤดู ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ

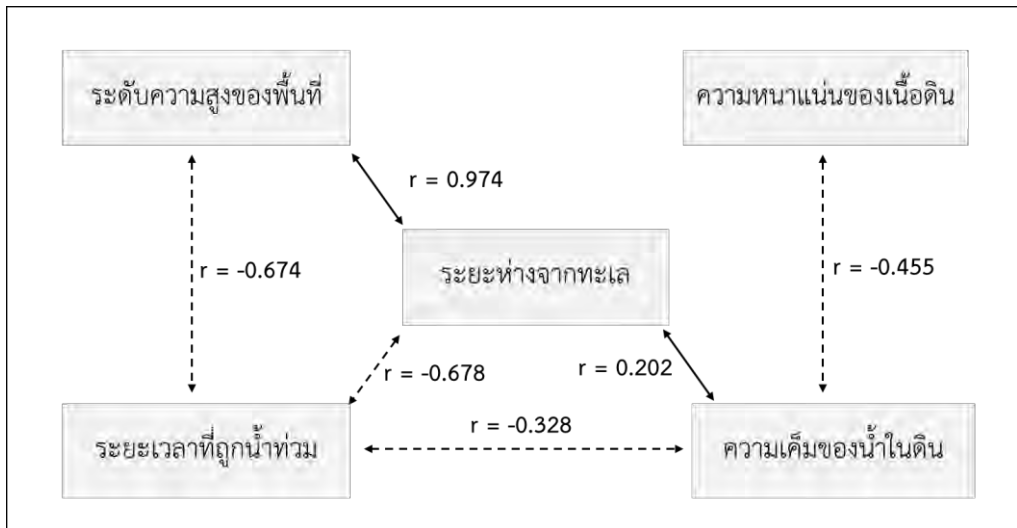
ฤดู	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	ความหนาแน่นต้นไม้	DBH	ระยะห่างจากทะเล	ระดับความสูงของพื้นที่	ระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วมในหนึ่งวัน	ความหนาแน่นของเนื้อดิน	ความเค็มของน้ำในดิน
ช่วงเริ่มฤดูมรสุม	ความหนาแน่นต้นไม้	1.000	0.150	-0.112	-0.127	0.082	-0.165	-0.173
	DBH	0.150	1.000	0.162	0.128	-0.185	0.760	-0.151
	ระยะห่างจากทะเล	-0.112	0.162	1.000	0.459*	-0.791*	0.483*	0.064
	ระดับความสูงของพื้นที่	-0.127	0.128	0.459*	1.000	-0.663*	0.165	0.135
	ระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วมในหนึ่งวัน	0.082	-0.185	-0.791*	-0.663*	1.000	-0.466*	0.219*
	ความหนาแน่นของเนื้อดิน	-0.165	0.760	0.483*	0.165	-0.466*	1.000	-0.190
	ความเค็มของน้ำในดิน	-0.173	-0.151	0.064	0.135	0.219*	-0.190	1.000
ช่วงฤดูมรสุม	ความหนาแน่นต้นไม้	1.000	0.150	-0.112	-0.131	0.156	-0.178	-0.096
	DBH	0.150	1.000	0.162	0.156	-0.107	0.079	-0.072
	ระยะห่างจากทะเล	-0.112	0.162	1.000	0.974*	-0.687*	0.000	0.202*
	ระดับความสูงของพื้นที่	-0.131	0.156	0.974*	1.000	-0.674*	0.091	0.144
	ระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วมในหนึ่งวัน	0.156	-0.107	-0.687*	-0.674*	1.000	0.034	-0.328*
	ความหนาแน่นของเนื้อดิน	-0.178	0.079	0.000	0.091	0.034	1.000	-0.455*
	ความเค็มของน้ำในดิน	-0.096	-0.072	0.202*	0.144	-0.328*	-0.455*	1.000

หมายเหตุ สัญลักษณ์ * หมายถึงข้อมูลมีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม



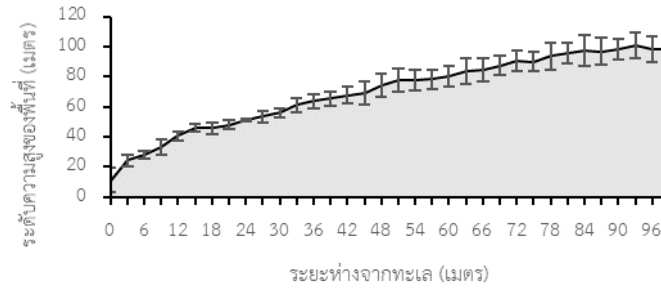
ข) ช่วงฤดูมรสุม



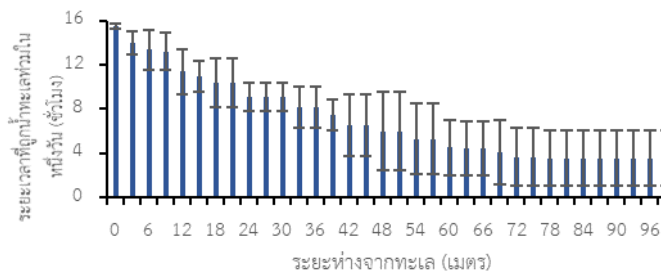
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมในบริเวณแนวศึกษา ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ ลูกศรที่บ่งชี้แสดงความสัมพันธ์เชิงบวก ลูกศรเส้นประแสดงความสัมพันธ์เชิงลบ ค่า r แสดงค่าสัมประสิทธิ์ Pearson correlation ของข้อมูล ที่มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม

ระดับความสูงของพื้นที่

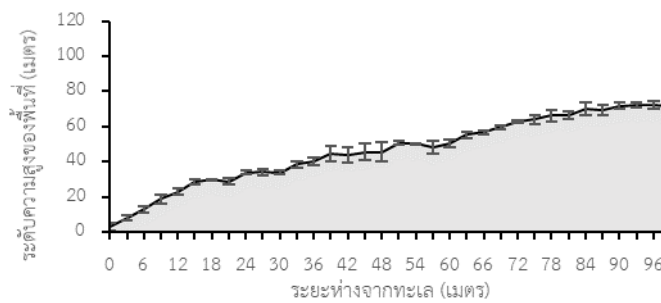


ระยะเวลาที่ถูกน้ำทะเลท่วมในหนึ่งวัน

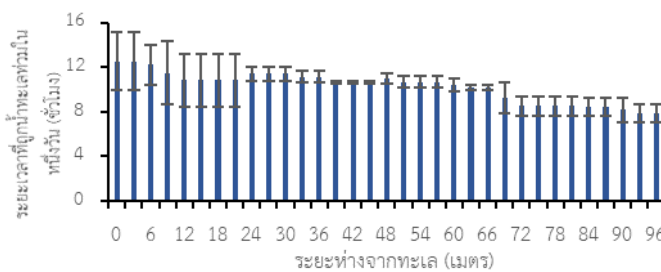


ข) ช่วงฤดูมรสุม

ระดับความสูงของพื้นที่



ระยะเวลาที่ถูกน้ำทะเลท่วมในหนึ่งวัน



ภาพที่ 4-4 ระดับความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่และระยะเวลาที่น้ำทะเลท่วมในหนึ่งวันตามระยะห่างจากทะเลในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และในฤดูมรสุม (ข) ณ ป่าชายเลนบางปู จังหวัดสมุทรปราการ

4.3.ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมชากับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

4.3.1. ความสัมพันธ์ของรากส่วนเหนือดินกับโครงสร้างพีชพรรณในบริเวณศึกษา

ความหนาแน่นของต้นไม้ในบริเวณแนวศึกษามีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวรวมและปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินต่อพื้นที่ในทั้งสองฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-7) โดยพื้นที่ผิวรวมและปริมาตรรวมของรากต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของต้นไม้เพิ่มขึ้น ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกเฉลี่ยของไม้ต้นในบริเวณแนวศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของรากและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากในทั้งสองฤดู

ช่วงเริ่มฤดูมรสุมความหนาแน่นของต้นไม้มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความหนาแน่นของและปริมาตรของรากส่วนเหนือดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-7) โดยเมื่อความหนาแน่นของต้นไม้เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของและปริมาตรของรากส่วนเหนือดินจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ช่วงฤดูมรสุม ความหนาแน่นของต้นไม้มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน ความสูง และพื้นที่ผิวของรากส่วนเหนือดิน (ตารางที่ 4-7) นั่นคือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน ความสูง และพื้นที่ผิวของรากส่วนเหนือดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของต้นไม้มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-7 ค่าสถิติจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) ระหว่างลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมชากับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในสองฤดู

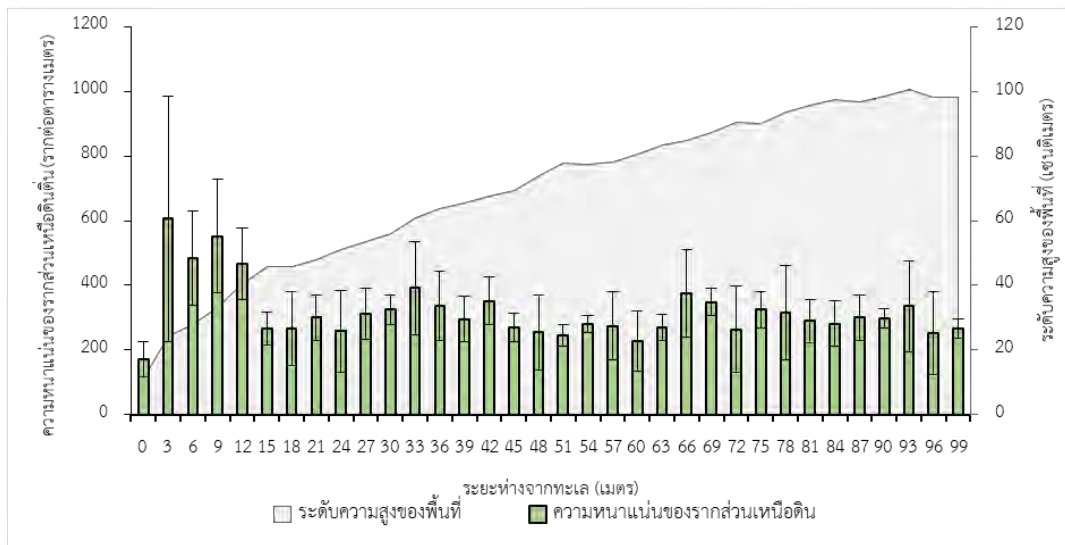
ฤดู	ลักษณะของรากส่วนเหนือดิน ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	ความหนาแน่นของราก	เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน	ความสูง	พื้นที่ผิว	ปริมาตร	พื้นที่ผิวรวมต่อพื้นที่	ปริมาตรรวมต่อพื้นที่
		ความหนาแน่นของต้นไม้	DBH เฉลี่ย	ระยะห่างจากทะเล	ระดับความสูงของพื้นที่	ระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วม	ความหนาแน่นของเนื้อดิน	ความเค็มของน้ำในดิน
ช่วงเริ่มฤดูมรสุม	ความหนาแน่นของต้นไม้	0.259*	0.024	0.240	0.187	0.213*	0.319*	0.326*
	DBH เฉลี่ย	-0.064	-0.164	-0.151	-0.142	-0.055	-0.129	-0.126
	ระยะห่างจากทะเล	-0.236*	-0.396*	-0.596*	-0.575*	-0.489*	-0.450*	-0.489*
	ระดับความสูงของพื้นที่	-0.166	-0.057	-0.372*	-0.295*	-0.245*	-0.257*	-0.238*
	ระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วม	0.184	0.478*	0.649*	0.617*	0.562*	0.443*	0.442*
	ความหนาแน่นของเนื้อดิน	-0.162	-0.321*	-0.551*	-0.520*	-0.430*	-0.389*	-0.394*
	ความเค็มของน้ำในดิน	0.103	0.322*	0.142	0.201*	0.260*	0.087	0.203*
ช่วงฤดูมรสุม	ความหนาแน่นของต้นไม้	0.171	0.221*	0.341*	0.284*	0.184	0.362*	0.375*
	DBH เฉลี่ย	0.081	-0.092	-0.053	-0.037	-0.091	0.025	0.035
	ระยะห่างจากทะเล	-0.144	-0.257*	-0.564*	-0.482*	-0.365*	-0.492*	-0.454*
	ระดับความสูงของพื้นที่	-0.184	-0.250*	-0.597*	-0.486*	-0.391*	-0.527*	-0.480*
	ระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วม	0.136	0.378*	0.491*	0.489*	0.449*	0.462*	0.458*
	ความหนาแน่นของเนื้อดิน	-0.152	-0.121	-0.238*	-0.194	-0.007	-0.262*	-0.259*
	ความเค็มของน้ำในดิน	0.214*	-0.089	-0.103	-0.152	-0.229*	-0.009	-0.033

หมายเหตุ สัญลักษณ์ * หมายถึงข้อมูลมีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

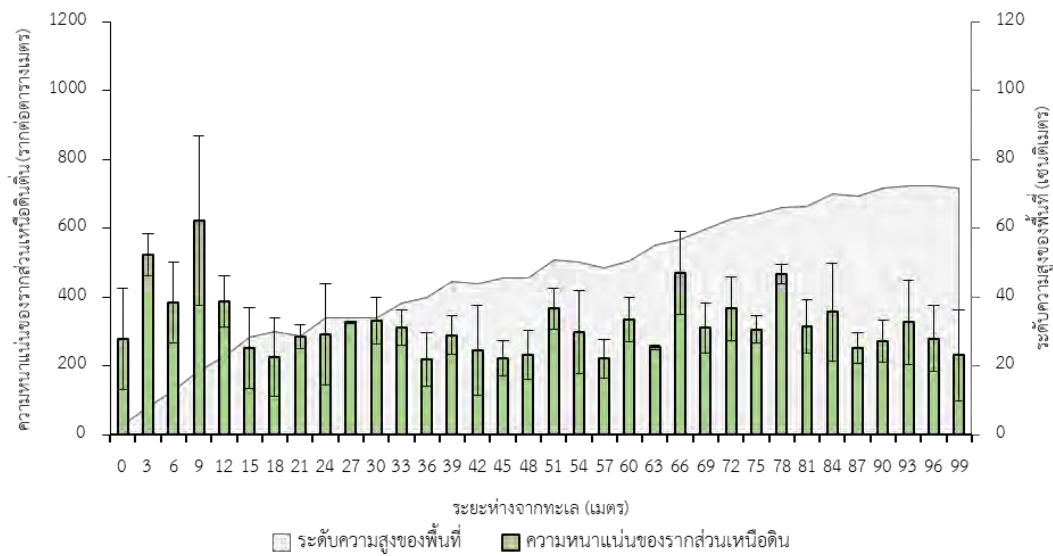
4.3.2. ความสัมพันธ์ของรากส่วนเหนือดินกับระยะห่างจากทะเลและระดับความสูงของพื้นที่

ในช่วงเริ่มฤดูมรสุมความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินลดลงเมื่อระยะห่างจากทะเลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-7 และภาพที่ 4-5) แต่ในช่วงฤดูมรสุมไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินกับระยะห่างจากทะเล เส้นผ่านศูนย์กลางของรากที่ระดับพื้นดินมีขนาดลดลงเมื่อระยะห่างจากทะเลเพิ่มมากขึ้นในทั้งสองฤดู (ภาพที่ 4-6) ในขณะที่ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินและเส้นผ่านศูนย์กลางรากที่ระดับพื้นดินไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ในทั้งสองฤดู เมื่อพิจารณาลักษณะของรากส่วนเหนือดินในด้านความสูง พื้นที่ผิว พื้นที่ผิวรวม ปริมาตร และปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินพบว่ามีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากทะเลและระดับความสูงของพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4-7 โดยค่าที่วัดได้มีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากทะเลและระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้นในทั้งสองฤดู (ภาพที่ 4-7, 4-8, 4-9, 4-10 และ 4-11 ตามลำดับ)

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม

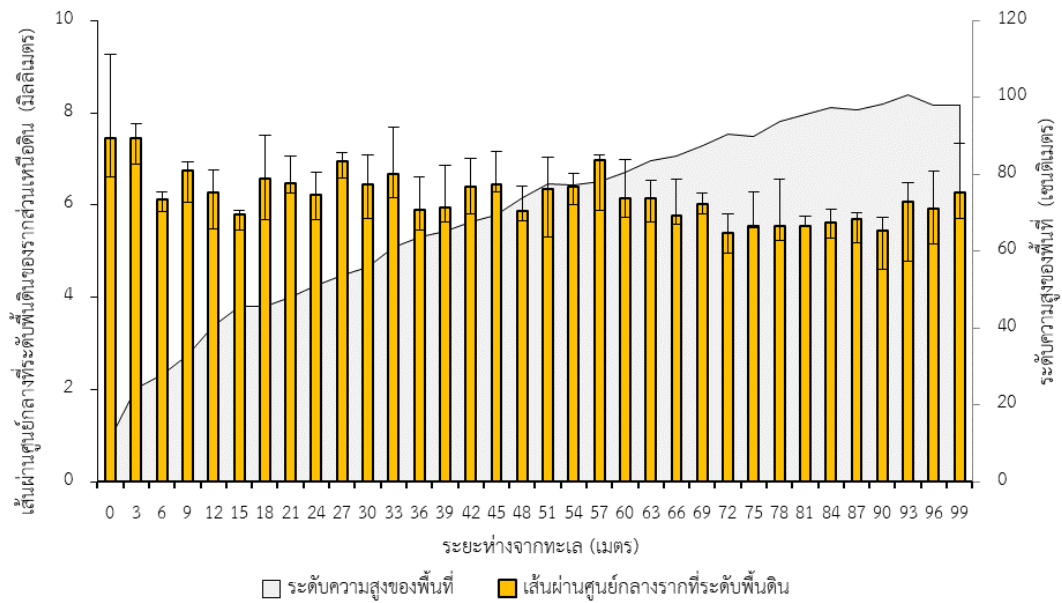


ข) ช่วงฤดูมรสุม

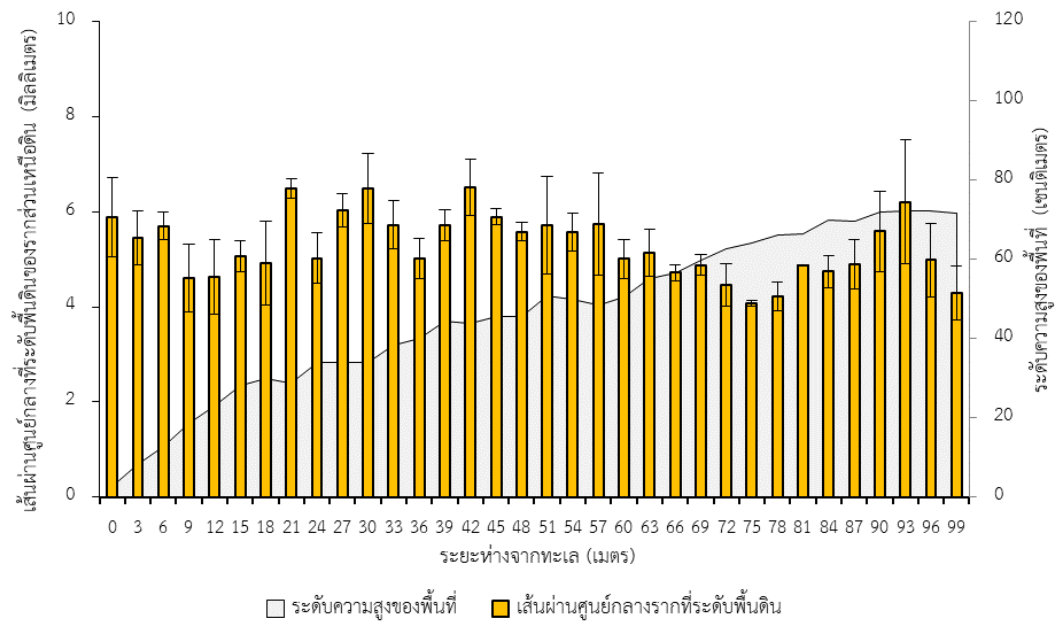


ภาพที่ 4-5 ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาตามาตรฐาน) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม

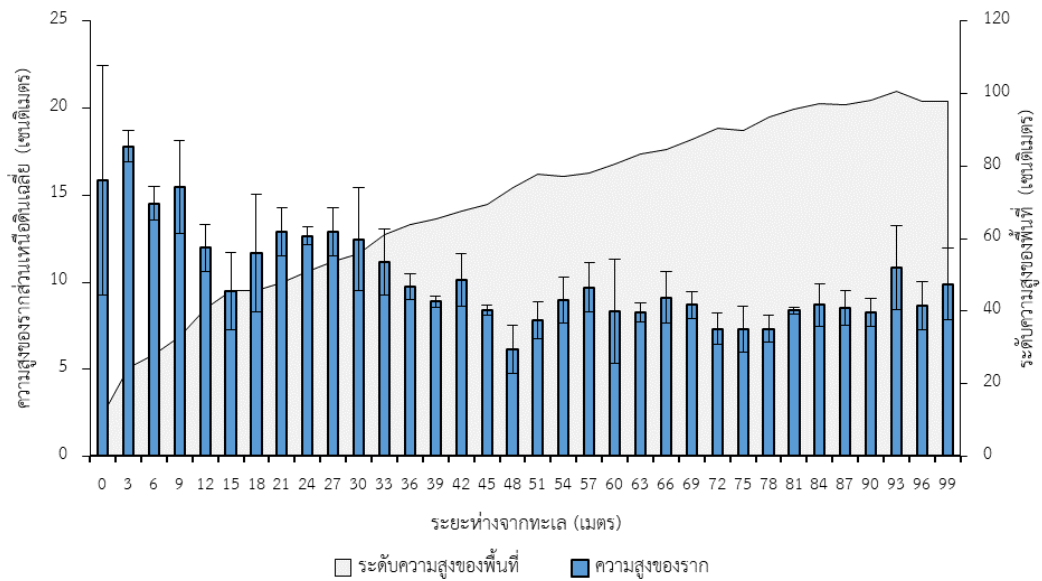


ข) ช่วงฤดูมรสุม

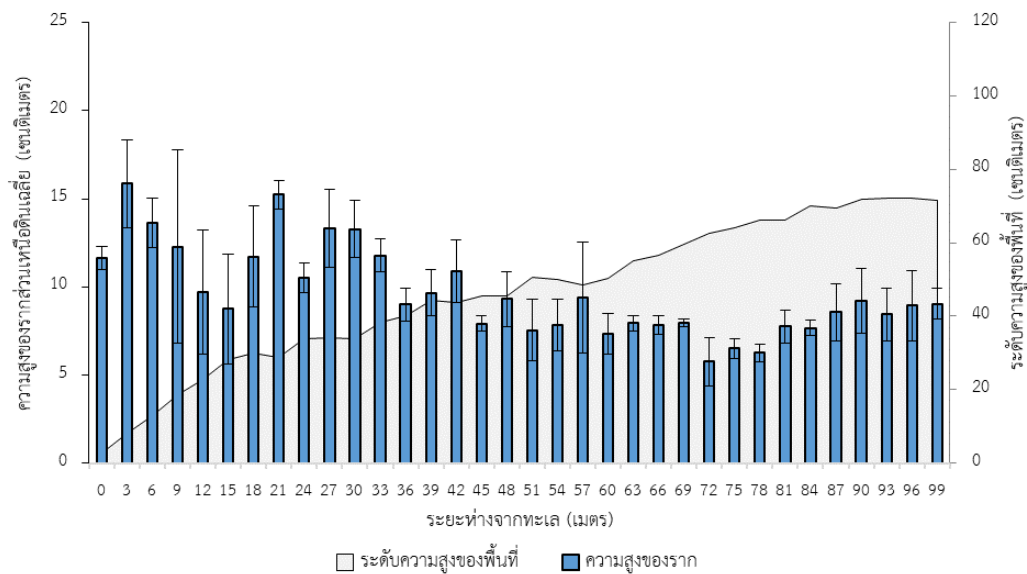


ภาพที่ 4-6 เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดินเฉลี่ยของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความเคลื่อนคลาดมาตรฐาน) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม

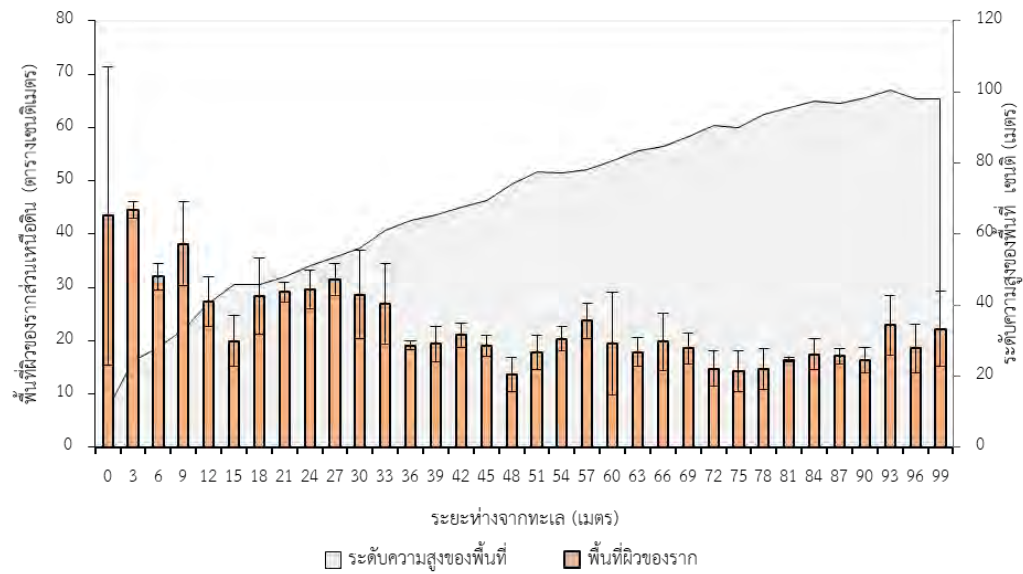


ข) ช่วงฤดูมรสุม

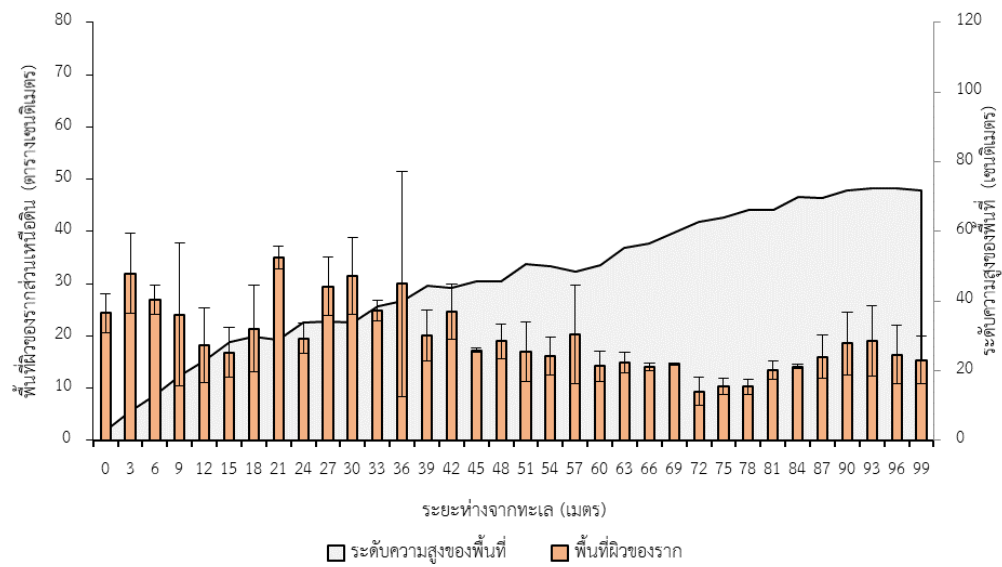


ภาพที่ 4-7 ความสูงเฉลี่ยของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม

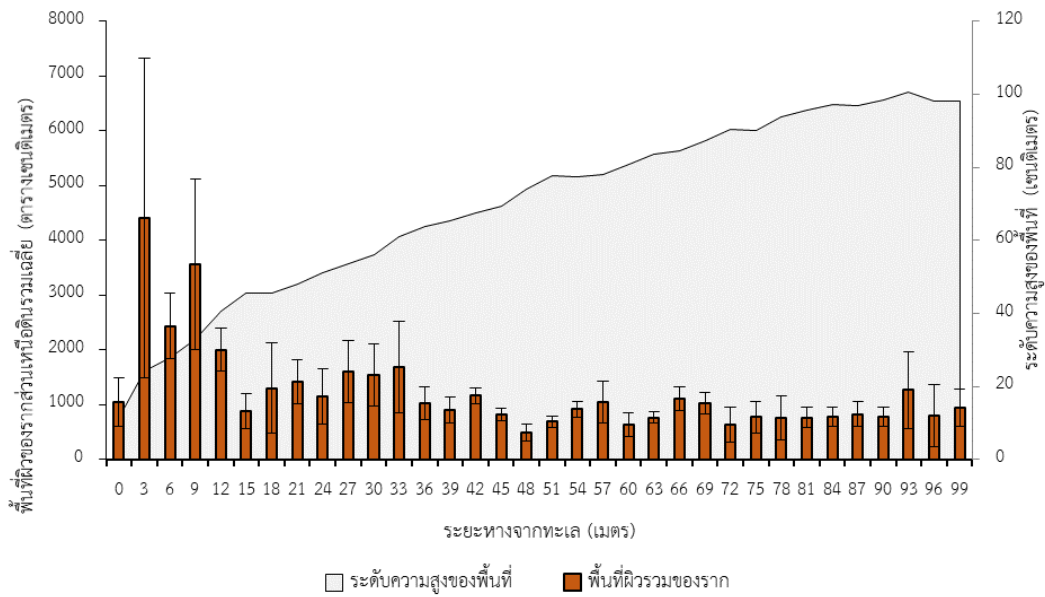


ข) ช่วงฤดูมรสุม

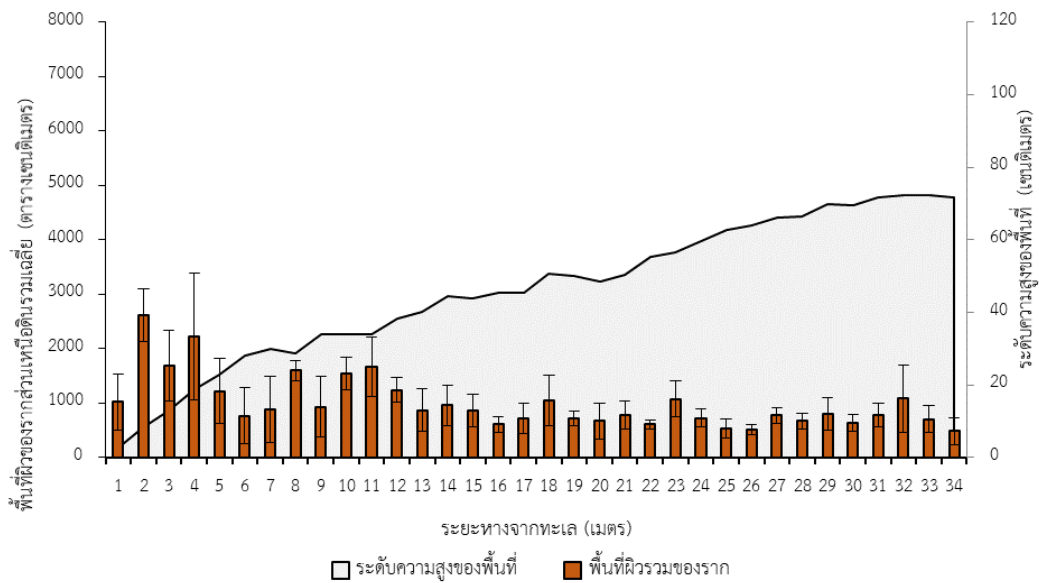


ภาพที่ 4-8 พื้นที่ผิวของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะห่างจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม

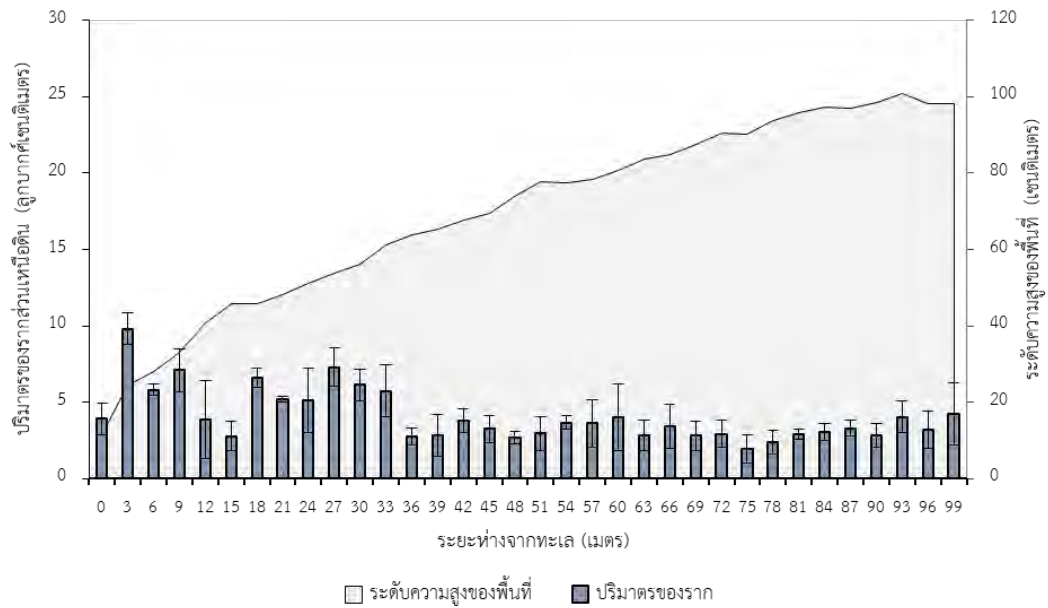


ข) ช่วงฤดูมรสุม

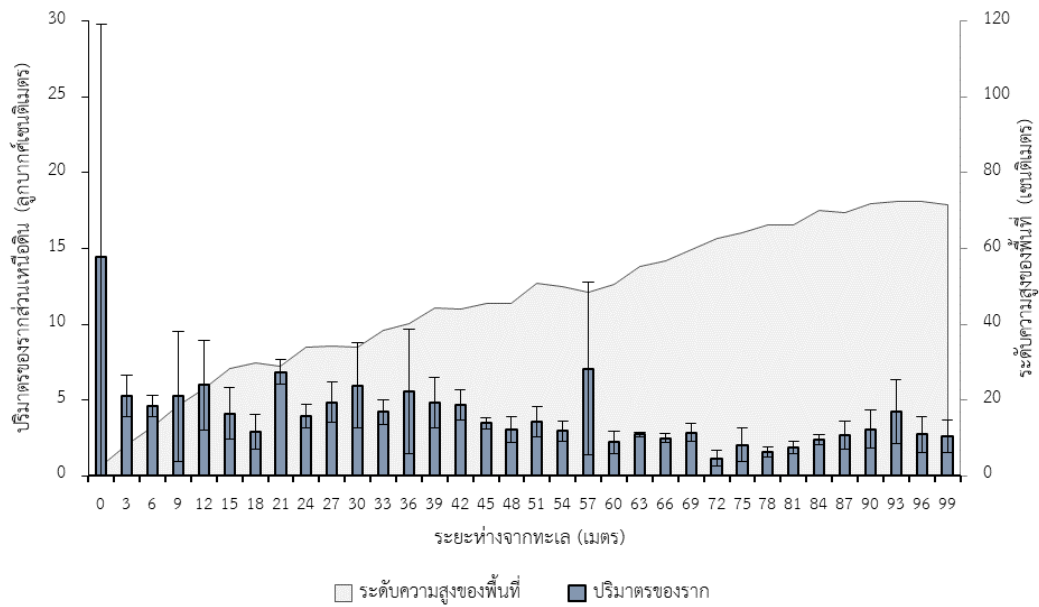


ภาพที่ 4-9 พื้นที่ผิวรวมของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวต่อพื้นที่และระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะทางจากชายฝั่งเริ่มที่ 0 เมตรเข้าสู่แผ่นดิน (ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม

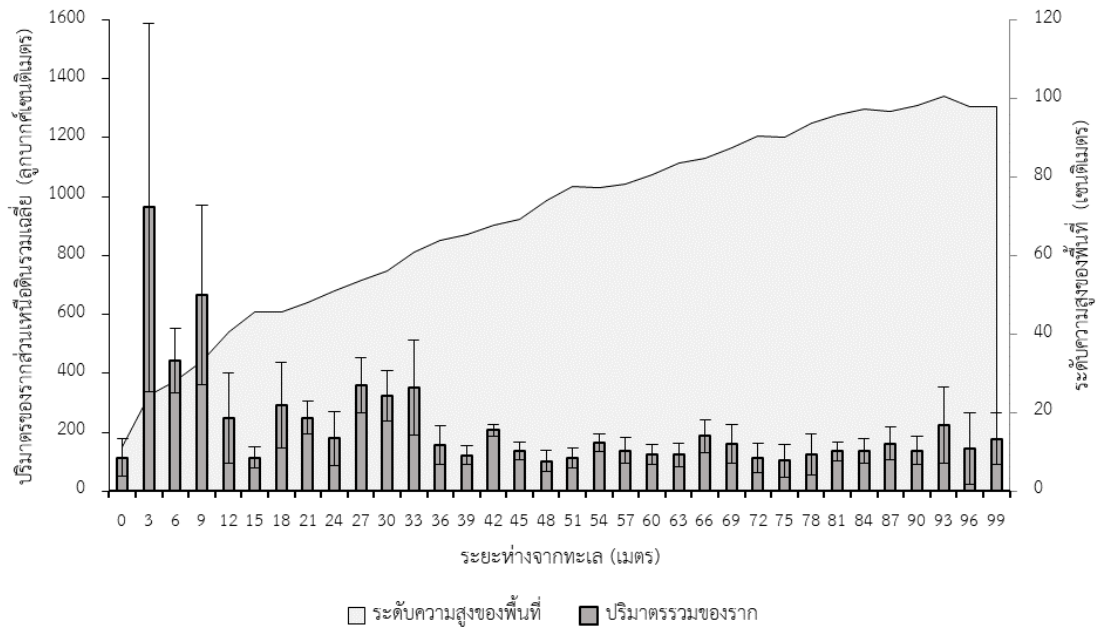


ข) ช่วงฤดูมรสุม

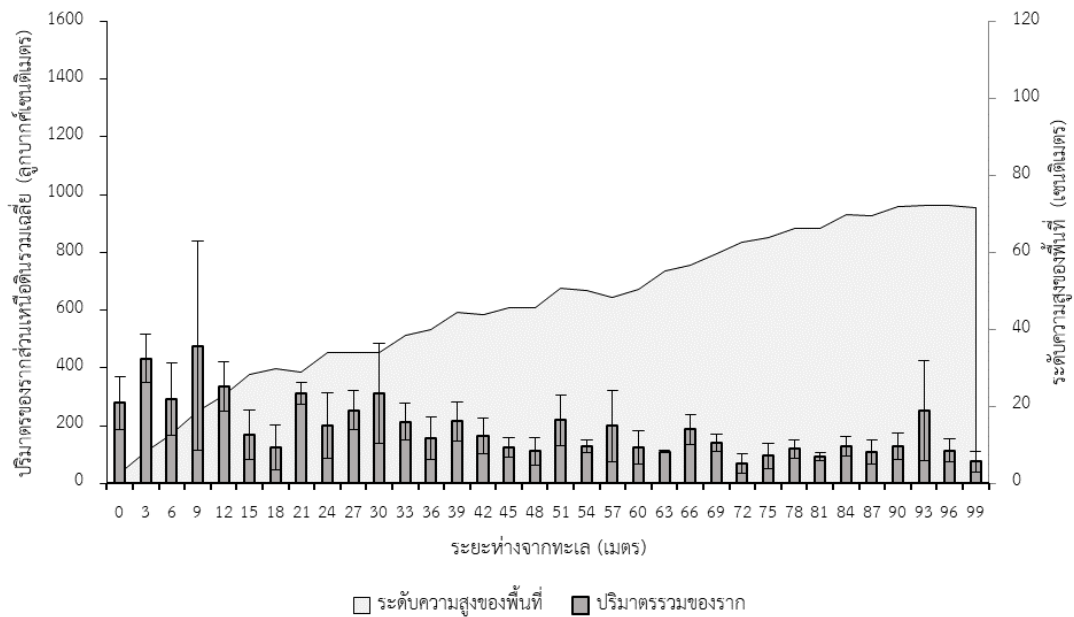


ภาพที่ 4-10 ปริมาณของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวและระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะทางจากชายฝั่ง (0 เมตร) เข้าสู่แผ่นดิน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความคลื่อนคลาดมาตรฐาน) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)

ก) ช่วงเริ่มฤดูมรสุม



ข) ช่วงฤดูมรสุม



ภาพที่ 4-11 ปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวต่อพื้นที่และระดับความสูงของพื้นที่ตามระยะทางจากชายฝั่ง (0 เมตร) เข้าสู่แผ่นดิน (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความเคลื่อนคลาดมาตรฐาน) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุม (ก) และช่วงฤดูมรสุม (ข)

4.3.3. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินกับระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วม

ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินกับระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วมในทั้งสองฤดูไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ลักษณะทางสัณฐานวิทยาอื่น ๆ ของรากส่วนเหนือดินมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วมในทั้งสองฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-7) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน ความสูง พื้นที่ผิว ปริมาตร ปริมาตรรวม พื้นที่ผิวรวม และปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ถูกน้ำท่วมเป็นระยะเวลาที่มากขึ้น

4.3.4. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินกับความหนาแน่นของดิน

ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินกับความหนาแน่นของดินในทั้งสองฤดูไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าในช่วงฤดูเริ่มมรสุมลักษณะทางสัณฐานวิทยาอื่น ๆ ของรากส่วนเหนือดินมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความหนาแน่นของดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-7) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน ความสูง พื้นที่ผิว ปริมาตร ปริมาตรรวม พื้นที่ผิวรวม และปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นของดินมากขึ้น แต่ในฤดูแลมรสุมมีเพียงความสูง พื้นที่ผิวรวม และปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความหนาแน่นของดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.5. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากส่วนเหนือดินกับความเค็มของน้ำในดิน

ในช่วงเริ่มฤดูแลมรสุมเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน พื้นที่ผิว ปริมาตร และปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินกับความเค็มของน้ำในดินมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-7) โดยที่ค่าของลักษณะสัณฐานวิทยาของรากดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำในดินมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นของ ความสูง และพื้นที่ผิวรวมของรากส่วนเหนือดินกับความเค็มของน้ำในดินไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนในฤดูแลมรสุมมีเพียงความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินและปริมาตรของรากส่วนเหนือดินที่มีความสัมพันธ์กับความเค็มของน้ำในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4-7) โดยที่ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินแปรผันตรงกับค่าความเค็มของน้ำในดิน คือรากส่วนเหนือดินมีความหนาแน่นมากขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำในดินมากขึ้น ในทางกลับกันปริมาตรของรากส่วนเหนือดินแปรผกผันกับค่าความเค็มของน้ำในดิน โดยรากเหนือดินมีปริมาตรลดลงเมื่อค่าความเค็มของน้ำในดินมากขึ้น

บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา

5.1. ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของพืชสกุลแสม

ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว (*A. alba*) ที่พบในบริเวณป่าชายเลนบางปูอยู่ในช่วง 44 ถึง 1,144 รากต่อตารางเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่รายงานในป่าชายเลนธรรมชาติที่มีพันธุ์ไม้สกุลแสม (*Avicennia* sp.) เป็นไม้เด่นในพื้นที่ศึกษาเช่นเดียวกับการศึกษานี้ โดยพบว่าความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของแสมทะเล (*A. marina*) ณ ประเทศเคนยา มีค่าตั้งแต่ 4 ถึง 1,950 รากต่อตารางเมตร (Dahdouh-Guebas et al., 2004) และ ณ ประเทศอินโดนีเซีย มีค่าตั้งแต่ 86 ถึง 516 รากต่อตารางเมตร (Jassim et al., 2014) นอกจากนี้พบว่าความหนาแน่นเฉลี่ยของรากส่วนเหนือดินของ *A. germinans* บริเวณอ่าวเม็กซิโก ประเทศเม็กซิโกเท่ากับ 292 รากต่อตารางเมตร (Torres et al., 2019)

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวพบว่าความหนาแน่นของต้นไม้ที่มากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Torres และคณะ (2019) ในป่าชายเลนธรรมชาติ ประเทศเม็กซิโก และการศึกษาของ Saifullah และ Elahi (1992) ในป่าชายเลนธรรมชาติ ประเทศปากีสถาน ดังนั้นความหนาแน่นของรากเหนือดินของแสมขาวในการศึกษานี้จึงชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเจริญเติบโตของรากแสมขาวในป่าปลูก (อายุ 6-7 ปี) ที่ใกล้เคียงกับในสภาพป่าธรรมชาติ แต่ไม่พบความแตกต่างของจำนวนรากเหนือดินต่อพื้นที่ในช่วงเริ่มมรสุมและช่วงมรสุมในการศึกษาครั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากรากพืชชายเลนมีอายุขัย (root longevity) เฉลี่ยยาวนานถึง 4 ปี (Torres et al., 2019) ทำให้รากที่พบในสองช่วงฤดูมีจำนวนไม่แตกต่างกัน

5.2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาสะท้อนหน้าที่ของรากส่วนเหนือดินของพืชชายเลน

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินของพืชชายเลนสะท้อนถึงหน้าที่ของราก โดยเฉพาะบทบาทในการแลกเปลี่ยนก๊าซ (gas exchange) ภายใต้สภาวะที่ได้รับกรทวมถึงของน้ำทะเลอย่างสม่ำเสมอ และถูกน้ำท่วมเป็นเวลานานในหนึ่งวันส่งผลให้ดินขาดออกซิเจน (anaerobic soil) (Giraldo Sánchez, 2005) ดังนั้นพืชชายเลนจึงมีระบบรากหายใจที่ช่วยในการลำเลียงอากาศภายในราก ลักษณะของรากหายใจส่วนเหนือดินในพืชชายเลนจะพบช่องเปิด (lenticel) ที่ผิวของรากส่วนเหนือดินและภายในรากประกอบด้วยเนื้อเยื่อ aerenchyma ซึ่งเป็นบริเวณที่สามารถเก็บกัก

อากาศเพื่อลำเลียงไปยังรากส่วนอื่น ๆ ผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ (Purnobasuki et al., 2017) ดังนั้นจำนวนรากส่วนเหนือดินและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซของพืชชายเลน ในการศึกษาที่พบว่าจำนวนรากต่อพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว ได้แก่ พื้นที่ผิวรวมและปริมาตรรวมในทั้งสองช่วงฤดู และความสูงของรากในช่วงฤดูเริ่มมรสุม ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความสูงของรากนี้ตรงข้ามกับผลการศึกษาในป่าชายเลนธรรมชาติ ประเทศปากีสถาน (Saifullah and Elahi, 1992) และ ป่าชายเลนธรรมชาติ ประเทศเม็กซิโก (Torres et al., 2019) ความแตกต่างนี้อาจเป็นผลมาจากชนิดของพืชและโครงสร้างสังคมพืชที่ต่างกัน โดยป่าชายเลนในประเทศปากีสถานเป็นป่าชายเลนชายเลนริมชายฝั่งทะเล (fringe mangrove) ที่มี *A. marina* เป็นพืชเด่น มีค่า DBH เฉลี่ย 5.6 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าค่า DBH เฉลี่ยของต้นแสมขาวที่ป่าชายเลนชายฝั่งบางปู (10.3 เซนติเมตร) ในขณะที่ป่าชายเลนพื้นที่ศึกษาประเทศเม็กซิโก นอกจากจะพบแสมชนิด *A. germinans* เป็นพืชเด่นยังประกอบด้วยพืชชายเลนชนิดอื่น ๆ ได้แก่ *Rhizophora mangle* และ *Laguncularia racemose* ซึ่งทำการศึกษาทั้งในป่าชายเลนริมชายฝั่งทะเล (fringe mangrove) และป่าชายเลนแบบ basin mangrove ที่ได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลและน้ำจืดจากแม่น้ำที่ต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากเหนือดิน ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับพื้นดิน ความสูง พื้นที่ผิวเฉลี่ยต่อราก พื้นที่ผิวรวม และปริมาตรรวมของรากส่วนเหนือดินในช่วงเริ่มฤดูมรสุมมีค่ามากกว่าช่วงฤดูมรสุม (ตารางที่ 4-2) อาจเป็นผลมาจากเนื้อเยื่อด้านนอกหรือเปลือกของรากส่วนเหนือดินของพืชสกุลแสมจะประกอบด้วยเซลล์ cork หลายชั้น ซึ่งจะมีการสะสมเกลือไว้ในส่วนดังกล่าวและเนื้อเยื่อดังกล่าวจะหลุดลอกออกเป็นชั้น ๆ เพื่อเป็นการกำจัดเกลือ (เทียมใจ คมกฤษ, 2536) ในช่วงเริ่มฤดูมรสุมมี ระดับความเค็มของน้ำในดินมากกว่าฤดูมรสุมรากส่วนเหนือดินอาจมีการสะสมเกลือในชั้น cork ไว้ และหลุดลอกไปเมื่อเข้าสู่ฤดูมรสุมทำให้ขนาดของรากส่วนเหนือดินลดลง นอกจากนี้เมื่อเข้าสู่ฤดูมรสุม พืชชายเลนจะตอบสนองต่อปริมาณน้ำจืดที่เพิ่มขึ้นโดยมีการเจริญของรากมากขึ้น (Lovelock et al., 2016) และมีการสร้างรากใหม่เพิ่มขึ้นด้วย โดยขนาดของรากส่วนเหนือดินใหม่มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับพื้นดินน้อย เมื่อนำมาเฉลี่ยกับข้อมูลรากทั้งหมดอาจทำให้ค่าเฉลี่ยของขนาดรากน้อยกว่าในช่วงเริ่มฤดูมรสุม

นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรากส่วนเหนือดินของแสมขาวคือความหนาแน่นของต้นไม้ในแนวศึกษาที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน ความสูง พื้นที่ผิวและปริมาตรของรากส่วนเหนือดิน เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Torres และคณะ (2019) ที่พบว่าเมื่อความหนาแน่นของต้นไม้มากขึ้น รากส่วนเหนือดินของแสมจะมีความสูงและมวลชีวภาพของมีค่ามากขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการกระจายตัวของมวลชีวภาพรากที่สอดคล้องกับมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน

5.3. อิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดิน

5.3.1. ระยะห่างจากทะเล ภูมิลักษณะ และระยะเวลาที่น้ำท่วม

ลักษณะของรากส่วนเหนือดินแปรผันตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของราก (root plasticity) ของพืชชายเลน โดยในการศึกษานี้พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลมากต่อลักษณะของรากเหนือดิน คือ ระยะห่างจากทะเลที่ทำให้เกิดความแตกต่างของสิ่งแวดล้อม (heterogeneous environment) ในพื้นที่ศึกษาซึ่งระยะห่างจากทะเลส่งผลต่อลักษณะของภูมิลักษณะ (topography) และระยะเวลาที่น้ำท่วม (inundation period) ในแต่ละบริเวณของพื้นที่ศึกษา ระดับความสูงของพื้นที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากทะเลเพิ่มขึ้นส่งผลให้บริเวณที่ใกล้ทะเลที่มีความสูงของพื้นที่ต่ำกว่าจึงถูกน้ำท่วมเป็นระยะเวลาที่นานกว่าในหนึ่งวัน นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ในบริเวณแนวศึกษามีความชันลดลงในช่วงฤดูมรสุมเทียบกับช่วงเริ่มฤดูมรสุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากบริเวณอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งพัดผ่านระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ซึ่งจะพัดเอามวลทรายเข้าสู่ชายฝั่ง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563C) ทำให้มีตะกอนมาทับถมในพื้นที่ศึกษา ระดับความสูงของพื้นที่ในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน (ช่วงเริ่มฤดูมรสุม) จึงมีระดับความสูงและความชันของพื้นที่มากกว่าก่อนที่จะลดลง เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูมรสุมซึ่งมีคลื่นลมมากระทบชายฝั่งมากและพัดพาตะกอนออกไปจากชายฝั่ง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2563C) นอกจากนี้ Ellison (1999) ระบุว่าระดับความสูงของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการทับถมของตะกอนปริมาณมากสามารถเป็นสาเหตุให้ต้นแสม *A. germinans* ตายได้เนื่องจากตะกอนที่สูงขึ้นจะทำให้รากส่วนเหนือดินของแสมมีพื้นที่สำหรับสัมผัสอากาศได้ลดลง แต่อย่างไรก็ตามรากส่วนเหนือดินของพืชสกุลแสมสามารถปรับตัวโดยเพิ่มความสูงของรากให้สูงเหนือระดับตะกอนได้ แสดงให้เห็นถึง root plasticity ของพืชสกุลแสมที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับพื้นที่ได้

ความชันของพื้นที่ที่ลดลงนี้ส่งผลให้ระยะเวลาที่พื้นที่ศึกษาถูกน้ำท่วมในหนึ่งวันในช่วงเริ่มฤดูมรสุมยาวนานกว่าช่วงเริ่มฤดูมรสุม จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่พื้นที่ถูกน้ำท่วมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราก ได้แก่ ความสูง พื้นที่ผิว และปริมาตรของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในพื้นที่ศึกษาอื่นที่พบว่าความสูงของรากส่วนเหนือดินมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่น้ำท่วมเป็นระยะเวลาที่นานกว่า (Toma et al., 1991; Dahdouh-Guebas et al., 2007; Torres et al., 2019) นอกจากนี้ Torres และคณะ (2019) ยังรายงานว่า ระยะเวลาที่พื้นที่ถูกน้ำท่วมมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับมวลชีวภาพของรากส่วนเหนือดิน จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของรากส่วนเหนือดินของพืชชาย

เลน โดยพืชชายเลนสามารถเคลื่อนย้ายมวลชีวภาพปริมาณมากมายรากส่วนเหนือดินสำหรับทำหน้าที่ในการกักเก็บออกซิเจนให้เพียงพอและสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชชายเลน ภายใต้สภาวะเครียดเนื่องจากการขาดออกซิเจน (anaerobic stress) อันเนื่องมาจากการถูกน้ำท่วม เป็นระยะเวลาที่นาน (Giraldo Sánchez, 2005)

5.3.2. ความเค็มของน้ำในดิน

การศึกษานี้พบว่าความเค็มของน้ำในดินในช่วงฤดูมรสุม ($1.31 \pm 0.26\%$) ลดลงเมื่อเทียบกับช่วงเริ่มฤดูมรสุม ($1.75 \pm 0.62\%$) เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่มากขึ้นในช่วงฤดูมรสุมรวมถึง พื้นที่ที่ได้รับน้ำจืดปริมาณมากจากแม่น้ำเจ้าพระยา เมื่อเปรียบเทียบกับป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด ในบริเวณที่มีแสมขาวเป็นพืชเด่นพบว่าพื้นที่ป่าชายเลนบางปูมีความเค็มของน้ำในดินสูงกว่าในทั้งสองช่วงฤดู จากรายงานของ Komiyama และคณะ (2019) พบว่าในช่วงเดือนสิงหาคม (ช่วงฤดูมรสุม) ความเค็มของน้ำในดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตรในป่าชายเลนที่ปากแม่น้ำตราดมีค่าน้อยกว่า 1.00% ในขณะที่พื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่งบางปูมีค่าความเค็มของน้ำในดินประมาณ 1.00% นอกจากนี้ระดับความเค็มของน้ำในดินบริเวณพื้นที่ศึกษาป่าชายเลนบางปูไม่มีการแปรผันตามระยะห่างจากทะเลต่างจากผลการศึกษาในป่าชายเลนปากแม่น้ำตราดที่พบว่าความเค็มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากแม่น้ำเพิ่มมากขึ้นในฤดูมรสุมและมีรูปแบบตรงข้ามในฤดูแล้ง (Komiyama et al., 2019) ซึ่งเป็นผลจากระยะเวลาที่พื้นที่ถูกน้ำท่วม ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าระดับความเค็มของน้ำในดิน เป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชชายเลนอย่างมาก โดยพื้นที่ชายฝั่งบางปูมีค่าความเค็มสูงและกระจายทั่วพื้นที่แม้จะอยู่ในช่วงที่ได้รับน้ำจืดปริมาณมาก

จากการศึกษานี้พบว่าลักษณะของรากส่วนเหนือดินเปลี่ยนแปลงตามระดับความเค็มของน้ำในดิน ในช่วงเริ่มฤดูมรสุมเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน พื้นที่ผิว และปริมาตรของรากส่วนเหนือดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำในดินมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากพืชมีกลไกการสะสมเกลือในเนื้อเยื่อราก โดย Cheng และคณะ (2020) พบว่าเมื่อต้นกล้าแสมทะเล (*A. marina*) เจริญในสภาวะที่มีความเค็มเพิ่มขึ้น ในเนื้อเยื่อรากก็จะมีปริมาณของโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Alam และคณะ (2018) ยังระบุว่าทั้งมวลชีวภาพรากและการผลิตราก (root production) ของพืชสกุลแสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำในดินเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำจืดของรากใต้ดิน ซึ่งอาจส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพและขนาดของรากส่วนเหนือดินด้วย

สำหรับปริมาตรรากส่วนเหนือดินที่ลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นในฤดูมรสุมสอดคล้องกับการศึกษาของ Torres และคณะ (2019) พบว่าเมื่อความเค็มของน้ำในดินมากขึ้นส่งผลให้มวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ใต้ดินลดลงซึ่งหมายถึงมีปริมาณคาร์บอนที่กระจายมายังระบบรากลดลง ทำให้ราก

ส่วนเหนือดินมีขนาดและปริมาตรลดลง แต่ทั้งนี้อิทธิพลของความเค็มต่อมวลชีวภาพรากของพืชชายเลนมีความซับซ้อนและแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ในป่าชายเลนที่มีอิทธิพลร่วมด้วย เช่น ระดับความสูงของพื้นที่ (Krauss et al., 2014)

5.3.3. ความหนาแน่นของดิน

การศึกษานี้พบว่าความหนาแน่นดินเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูมรสุมเมื่อเทียบกับฤดูเริ่มมรสุม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าคลื่นลมในช่วงฤดูมรสุมพัดพาเอาตะกอนดินที่มีอนุภาคขนาดเล็กในตะกอนชั้นบนไปทำให้พื้นที่บริเวณนั้นมีอนุภาคทรายมากส่งผลให้ในฤดูมรสุมมีความหนาแน่นดินมากกว่าช่วงเริ่มฤดูมรสุม Ramirez-Mendoza (2015) ระบุถึงการพัดพาของตะกอนบริเวณป่าชายเลนว่า ตะกอนขนาดเล็ก (อนุภาค silt และ clay) จะถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำได้มากกว่าตะกอนขนาดใหญ่ (อนุภาคทราย) และมักจะแขวนลอยในมวลน้ำ ในช่วงเริ่มฤดูมรสุมเมื่อระยะห่างจากทะเลมากขึ้นพบว่าความหนาแน่นของเนื้อดินเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นถึงกระบวนการตกตะกอน (sedimentation process) ในพื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่ง อนุภาคดินที่มีขนาดใหญ่ (อนุภาคทราย) จะตกตะกอนก่อนเมื่อน้ำพัดพาเข้ามาสู่พื้นที่เมื่อน้ำขึ้น ส่วนตะกอนขนาดเล็กจะแขวนลอยในมวลน้ำและถูกพัดพาลับออกไปเมื่อน้ำลง (Kamal et al., 2017)

รากส่วนเหนือดินของพืชชายเลนมีบทบาทเป็นตัวช่วยให้เกิดเสถียรภาพในการตกตะกอน โดยช่วยลดแรงปะทะจากกระแสน้ำและก่อให้เกิดการרבวนและหมุนวนของตะกอนที่แขวนลอยในน้ำ (Norris et al., 2019) ในการศึกษานี้พบว่าเมื่อพื้นที่ถูกน้ำท่วมเป็นระยะเวลาสั้นในช่วงเริ่มฤดูมรสุมส่งผลให้ความหนาแน่นของเนื้อดินลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการหมุนวนของกระแสน้ำบริเวณรากเหนือดินทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ถูกพัดพาลับออกไปก่อนที่จะตกตะกอน (Norris et al., 2017) แต่จากการศึกษาของ Samosorn และคณะ (2018) ที่ป่าชายเลนชายฝั่งจังหวัดสมุทรสาครเป็นระยะเวลาหนึ่งปีพบว่ารากส่วนเหนือดินของพืชชายเลนช่วยให้พื้นที่มีระดับความสูงที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับบริเวณหาดเลนที่มีค่าลดลงแสดงให้เห็นถึงการกัดเซาะชายฝั่ง ดังนั้นจากผลการศึกษาที่กล่าวมาจึงชี้ให้เห็นถึงบทบาทของรากเหนือดินของพืชชายเลนต่อการรักษาเสถียรภาพตะกอนชายฝั่งและช่วยลดการกัดเซาะในระยะยาว

เมื่อความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้นพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากเหนือดินของแสมขาว ได้แก่ ความสูง พื้นที่ผิวรวม และปริมาตรรวมมีค่าลดลงในทั้งสองฤดู ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Torres และคณะ (2019) ในป่าชายเลนธรรมชาติประเทศเม็กซิโกที่พบว่าเมื่อความหนาแน่นของดินมากขึ้นจะส่งผลให้มวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ใต้ดินลดลง อาจอนุมานได้ว่ามวลชีวภาพที่กระจายมายังระบบรากลดลง ทำให้ขนาดของรากส่วนเหนือดินลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ความหนาแน่นของดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (soil

organic matter) เมื่อดินมีความหนาแน่นมากจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินน้อยที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Mitra et al., 2012) ซึ่งอาจทำให้การสะสมมวลชีวภาพที่รากลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาในป่าชายเลนชายฝั่งประเทศออสเตรเลีย พบว่าเมื่อความหนาแน่นดินเพิ่มขึ้นต้นแสมทะเลจะมีมวลชีวภาพรากส่วนใต้ดินและความยาวรากมากขึ้น (Ola et al., 2018) ทั้งนี้เพื่อช่วยในการเสาะหาน้ำและธาตุอาหารในสภาพดินที่มีความหนาแน่นมาก แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นดินนี้อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากของพืชชายเลนได้ โดยขึ้นกับสภาพพื้นที่ที่อาจส่งผลต่อรูปแบบการจัดสรรคาร์บอน (carbon allocation) ของพืชสกุลแสม

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุปผลการศึกษา

ระบบนิเวศป่าชายเลนชายฝั่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยมีผลให้พืชชายเลนมีการตอบสนองด้วยการเปลี่ยนแปลงลักษณะบางประการเพื่อให้สามารถเจริญเติบโตและอยู่รอดภายใต้สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง การศึกษานี้พบว่าระยะห่างจากทะเลเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่งที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินของแสมขาว ระยะห่างจากทะเลที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับระดับความสูงของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นและส่งผลให้ระยะเวลาที่พื้นที่ถูกน้ำท่วมที่ลดลง โดยระยะเวลาที่ถูกน้ำท่วมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราก ได้แก่ ความสูง พื้นที่ผิว และปริมาตรของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อถูกน้ำท่วมเป็นระยะเวลานานกว่า ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่คาดว่ารากเหนือดินของแสมขาวสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะเพื่อตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน โดยจะแสดงลักษณะที่เอื้อต่อการทำหน้าที่รากหายใจมากขึ้น ในทางตรงข้ามเมื่อความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้นพบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากเหนือดินของแสมขาวมีค่าลดลงอาจเป็นผลจากการจัดสรรคาร์บอนของพืชชายเลนที่มีการกระจายคาร์บอนไปยังรากส่วนใต้ดินมากกว่าเพื่อทำหน้าที่ในการเสาะหาน้ำและธาตุอาหาร นอกจากนี้ความหนาแน่นของรากส่วนเหนือดินที่เพิ่มขึ้นยังสอดคล้องกับความหนาแน่นของต้นไม้ที่มีความมากอีกด้วย ซึ่งการตอบสนองของลักษณะของรากส่วนเหนือดินต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวของพืชสกุลแสมภายใต้สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตและอยู่รอดได้ เนื่องจากมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของส่วนต่างๆ เพื่อให้สามารถทำหน้าที่ได้มีประสิทธิภาพสูงสุด ผลการศึกษานี้จึงช่วยยืนยันได้ว่าแสมขาวมีความยืดหยุ่นของราก (root plasticity) เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรากส่วนเหนือดินที่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันในพื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่งแม้ว่าจะเป็นรากส่วนเหนือดินของพืชชนิดเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อรักษาการทำงานที่ของรากเหนือดินให้สามารถช่วยสนับสนุนการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของพืชได้

6.2. ข้อเสนอแนะ

6.2.1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์

จากผลการศึกษานำร่องความรู้ที่ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการศึกษาระบบนิเวศป่าชายเลนชายฝั่ง โดยหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง หรือหน่วยงานเอกชนสามารถนำข้อมูลไปประกอบการดำเนินโครงการฟื้นฟูป่าชายเลนเพื่อเป็นแนวทางในการปลูกต้นกล้าแสมขาวในการบรรเทาปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง และการติดตามผลเสถียรภาพของชายฝั่งในระยะยาวต่อไป

6.2.2. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

ศึกษาบทบาทของรากส่วนเหนือดินของแสมขาวต่อกระบวนการตกตะกอนเพื่อให้เห็นถึงความสามารถในการช่วยรักษาเสถียรภาพของชายฝั่งในป่าชายเลนที่เป็นป่าปลูก รวมถึงศึกษาเพิ่มเติมในรากส่วนใต้ดินของแสมขาวเพิ่มเติมซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับรากส่วนเหนือดิน นอกจากนี้สามารถติดตามการตอบสนองของพืชชายเลนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศชายฝั่งในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2556. ประเภทการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลน. [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://marinegiscenter.dmcr.go.th/gis/> [15 พฤษภาคม 2563].
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2557. ข้อมูลทางทะเลและชายฝั่งจังหวัดสมุทรปราการ.
กรุงเทพฯ: ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2561. โครงการเครือข่ายรักษ่อ่าวอสา ปูปลูกป่าเฉลิมพระ
เกียรติฯ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.dmcr.go.th/detailAll/24843/nws/17>
[15 พฤษภาคม 2563].
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2563A. ประเภทการบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลน. [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: mgis.dmcr.go.th/ [15 พฤษภาคม 2563].
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2563B. จำนวนการเพาะปลูกตามปีงบประมาณ 2562.
[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: mgis.dmcr.go.th/ [15 พฤษภาคม 2563].
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2563C. สาเหตุของปัญหาการกัดเซาะในไทย. [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: https://km.dmcr.go.th/th/c_55/d_325 [15 พฤษภาคม 2563].
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. ม.ป.ป.A. ยุทธศาสตร์การจัดการทรัพยากรป่าชายเลน. ส่วน
ส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน. สำนักอนุรักษ์ป่าชายเลนกรมทรัพยากรทางทะเล
และชายฝั่ง.
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. ม.ป.ป.B. แนวทางการดำเนินงานและข้อเสนอเพื่อการจัดการ
ทรัพยากรป่าชายเลน. กองส่งเสริมการบริหารจัดการกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. สาเหตุการกัดเซาะชายฝั่ง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=1674 [14 พฤษภาคม 2563].
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. (ม.ป.ท.)
- กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย, ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศ สถานีตรวจอากาศกรุงเทพมหานคร บางนา
กรุงเทพมหานคร, วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563.
- กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย, ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศ สถานีตรวจอากาศสนามบินสุวรรณภูมิ
จังหวัดสมุทรปราการ, วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563.

- กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย, ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศ สถานีตรวจอากาศสมุทรปราการ บางปลา จังหวัดสมุทรปราการ, วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563.
- โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด. 2562. กิจกรรมโตโยต้า ปลูกป่าชายเลน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.toyota.co.th/envi/mangrove.html> [10 มีนาคม 2562].
- เทียมใจ คมกฤส. 2536. การปรับตัวทางโครงสร้างของ ไม้เบิกนำ ในป่าชายเลน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 31: 106–116.
- ชนพล พงศ์สุวโรจน์. 2560. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพืชพรรณในป่าชายเลนรุ่มสอง จังหวัดตราด ในช่วงระยะเวลา 10 ปี. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ. 2549. โครงการศึกษาบูรณาการเชิงพื้นที่เพื่อแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลจังหวัดสมุทรปราการ : กรณีศึกษานำร่องเพื่อการออกแบบ ณ บ้านขุนสมุทรจีน ต.แหลมฟ้าผ่า อ.พระสมุทรเจดีย์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- ชนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ. 2552. การศึกษาบูรณาการเชิงพื้นที่เพื่อการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล จังหวัดสมุทรปราการ:กรณีศึกษานำร่องเพื่อการออกแบบ ณ บ้านขุนสมุทรจีน ต.แหลมฟ้าผ่า อ.พระสมุทรเจดีย์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- พิไลวรรณ ประพฤติ และ รพีมล เชื้อดวงมูย. 2559. แผนการอนุรักษ์และจัดการป่าชายเลนด้วยตนเองจากการใช้เครื่องมือประเมินชนบทแบบมีส่วนร่วมของชุมชนตำบลหัวเขา อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา. Journal of Community Development Research (Humanities and Social Sciences). 9: 149–162.
- พิชิต แก้วศิริวงศ์, นพรัตน์ บำรุงรักษ์ และสนธิ อักษรแก้ว. 2540. การศึกษาการเติบโตและอัตราการรอดตายของต้นแสมที่ใช้เป็นไม้เบิกนำบนหาดเลนงอกใหม่ของอ่าวปัตตานี. วารสารวนศาสตร์. 16: 34–42.
- สนธิ อักษรแก้ว. 2545. ประชากรและทรัพยากรชายฝั่งทะเล (รวมบทความทางวิชาการ). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.atthajariya.org/global_warming/68 [14 พฤษภาคม 2563]
- สรายุช บุญเวชชีวิน และรุ่งสุริยา บัวสาลี. 2554. ป่าชายเลน: นิเวศวิทยาและพรรณไม้. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช. กรุงเทพฯ.
- ส่วนบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2. 2551. ป่าชายเลน จากสีน่าน้ำ ถึงปัจจุบัน. สงขลา: บริษัทหาดใหญ่เบสเซลส์ แอนด์ เซอร์วิส จำกัด.
- ส่วนบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2. 2552. การปลูกป่าชายเลนในประเทศไทย. สงขลา: บริษัทหาดใหญ่เบสเซลส์ แอนด์ เซอร์วิส จำกัด.

ส่วนส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลน. 2556. คู่มือความรู้เรื่องป่าชายเลน. สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลนกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. นนทบุรี: บริษัท พลอยมีเดีย จำกัด.

ภาษาอังกฤษ

Alam, M.R., Mahmood, H., Khushi, M.L.R. and Rahman, M.M. 2018. Adaptive phenotypic plasticity of *Avicennia officinalis* L. across the salinity gradient in the Sundarbans of Bangladesh. Hydrobiologia. 808: 163–174.

Alongi, D.M., Pfitzner, J., Trott, L.A., Tirendi, F., Dixon, P. and Klumpp, D.W. 2005. Rapid sediment accumulation and microbial mineralization in forests of the mangrove *Kandelia candel* in the Jiulongjiang Estuary, China. Estuarine Coastal and Shelf Science. 63: 605–618.

Cheng, H., Inyang, A., Li, C.D., Fei, J., Zhou, Y.W. and Wang, Y.S. 2020. Salt tolerance and exclusion in the mangrove plant *Avicennia marina* in relation to root apoplastic barriers. Ecotoxicology. doi: 10.1007/s10646-020-02203-6

Dahdouh-Guebas, F., De Bondt, R., Abeyasinghe, P.D., Kairo, J.G., Cannicci, S., Triest, L. and Koedam, N. 2004. Comparative study of the disjunct zonation pattern of the grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. in Gazi Bay (Kenya). Bulletin of Marine Science. 74: 237–252.

Dahdouh-Guebas, F., Kairo, J.G., Ruth, B. and Koedam, N. 2007. Pneumatophore height and density in relation to micro-topography in the grey mangrove *Avicennia marina*. Belgian Journal of Botany. 140: 213–221.

Duke, N.C., Meynecke, J.O., Dittmann S., et al., 2007. A World Without Mangroves?. Science 317: 41–43.

Ellison, A.M., Farnsworth, E.J. and Merkt, R.E. 1999. Origins of mangrove ecosystems and the mangrove biodiversity anomaly. Global Ecology and Biogeography. 8: 95–115.

Friess, D.A., Yando, E.S., Abuchahla, G.M., et al. 2020. Mangroves give cause for conservation optimism, for now. Current Biology. 30: 153–154.

- Fritz, M.A., Rosa, S. and Sicard, A. 2018. Mechanisms underlying the environmentally induced plasticity of leaf morphology. Frontiers in Genetics. 9, doi: 10.3389/fgene.2018.00478
- Giraldo Sánchez, B.E. 2005. Belowground productivity of mangrove forests in southwest Florida. Ph.D. thesis. Louisiana State University. Baton Rouge.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J. and Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. Global Ecology and Biogeography. 20: 154–159.
- Göltenboth, F. and Schoppe, F. 2006. Geography and geology. Ecology of Insular Southeast Asia. The Indonesian Archipelago. The Netherlands.
- Gratani, L. 2014. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. Advances in Botany. 2014, doi: 10.1155/2014/208747
- Hogarth, P.J. 1999. The Biology of Mangroves. New York: Oxford University Press.
- Kamal, S., Warnken, J., Bakhtiyari, M. and Lee, S.Y. 2017. Sediment distribution in shallow estuaries at fine scale: in situ evidence of the effects of three-dimensional structural complexity of mangrove pneumatophores. Hydrobiologia. 803: 121–132.
- Kathiresan, K. 2004. Ecology and environment of mangrove ecosystems. Centre of Advanced Study in Marine Biology. Annamalai University. [online]. Source: <https://pdfs.semanticscholar.org/77c0/20781bb43a3814e5abd7502f8d737a03ac39.pdf>
- Komiyama, A., Pongpan, S., Umnouysin, S., Rodtassana, C., Pravinvongvuthi, T., Noda, T. and 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: 428–439.
- Krauss, K.W., McKee, K.L., Catherine E., et al. 2014. How mangrove forests adjust to rising sea level. New Phytologist. 202: 19–34.
- Liang, S., Zhou, R., Dong, S. and Shi, S. 2008. Adaptation to salinity in mangroves: Implication on the evolution of salt tolerance. Chinese Science Bulletin. 53: 1708–1715.

- Lovelock, C.E., Krauss, K.W., Osland, M.J., Reef, R. and Ball, M.C. 2016. The physiology of mangrove trees with changing climate. Tropical Tree Physiology. pp 149–179.
- Mangroves for the Future Secretariat. 2020. ฟื้นฟูป่าชายเลน: ปลุกหรือไม่ต้องปลุก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
<https://www.mangrovesforthefuture.org/assets/Repository/Documents/To-plant-or-not-to-plant-THAI-version-30-Oct.-2017-low-res..pdf> [14 พฤษภาคม 2563].
- Marchand, C. 2017. Soil carbon stocks and burial rates along a mangrove forest chronosequence (French Guiana). Forest Ecology and Management. 384: 92–99.
- Mitra, A., Banerjee, K. and Sett, S. 2012. Spatial variation in organic carbon density of mangrove soil in Indian Sundarbans. National Academy Science Letters. 35: 147–154.
- Norris, B.K., Mullarney, J.C., Bryan, K.R. and Henderson, S.M. 2017. The effect of pneumatophore density on turbulence: a field study in a *Sonneratia*-dominated mangrove forest, Vietnam. Continental Shelf Research. 147: 114–127.
- Norris, B.K., Mullarney, J.C., Bryan, K.R. and Henderson, S.M. 2019. Turbulence within natural mangrove pneumatophore canopies. Journal of Geophysical Research: Oceans. 124: 2263–2288.
- Okello, J. A., Kairo, J. G., Dahdouh-Guebas, F., Beeckman, H. and Koedam, N. 2020. Mangrove trees survive partial sediment burial by developing new roots and adapting their root, branch and stem anatomy. Trees, 34: 37–49.
- Ola, A., Schmidt, S. and Lovelock, C.E. 2018. The effect of heterogeneous soil bulk density on root growth of field-grown mangrove species. Plant and Soil. 432: 91–105.
- Poungparn, S., Komiyama, A., Tanaka, A., et al. 2009. Carbon dioxide emission through soil respiration in a secondary mangrove forest of eastern Thailand. Journal of Tropical Ecology. 25: 393–400.

- Purnobasuki, H., Purnama, P.R. and Kobayashi, K. 2017. Morphology of four root types and anatomy of root-root junction in relation gas pathway of *Avicennia Marina* (Forsk.) Vierh. roots. Vegetos. 30, doi: 10.5958/2229-4473.2017.00143.4
- Ramirez-Mendoza, R. 2015. Flocculation controls in a hypertidal estuary. PhD thesis. University of Liverpool.
- Saifullah, S.M. And Elahi, E. 1992. Pneumatophore density and size in mangroves of Karachi, Pakistan. Pakistan Journal of Botany. 24: 5–10.
- Saintilan, N. 1997. Above and below-ground biomass of mangroves in a sub-tropical estuary. Marine and Freshwater Research. 48: 601–604.
- Samosorn, S., Sangtiew, T., Rodtassana, C. and Pongparn, S. 2018. Roles of aboveground roots facilitating sedimentation and elevation change in a mangrove forest behind bamboo seawalls. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 40: 315–323.
- Santisuk, T. 1983. Taxonomy and distribution of terrestrial trees and shrubs in the mangrove formations in Thailand. Natural History Bulletin of the Siam Society. 31: 63–91.
- Srikanth, S., Lum, S.K.Y. and Chen, Z. 2016. Mangrove root: adaptations and ecological importance. Trees. 30: 451–465.
- Toma, T., Nakamura, K., Patanaponpaiboon, P. and Ogino, K. 1991. Effect of flooding water level and plant density on growth of pneumatophore of *Avicennia marina*. Tropics. 1: 75–82.
- Torres, J.R., Barba, E. and Choix, F.J. 2019. Production and biomass of mangrove roots in relation to hydroperiod and physico-chemical properties of sediment and water in the Mecoacan Lagoon, Gulf of Mexico. Wetlands Ecology and Management. 27: 427–442.
- Vovides, A.G., Vogt, J., Kollert, A., Berger, U., et al. 2014. Morphological plasticity in mangrove trees: salinity-related changes in the allometry of *Avicennia germinans*. Trees. 28: 1413–1425.