

ผลของฤดูกาลต่อการเติบโตและประสิทธิภาพของการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของ
ผสมขาว *Avicennia alba* Blume ในป่าชายเลน ปากแม่น้ำตราด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SEASONAL EFFECTS ON GROWTH AND EFFICIENCY OF NITROGEN AND PHOSPHORUS
RESORPTION OF *Avicennia alba* Blume IN MANGROVE FOREST, ESTUARY OF TRAT
RIVER



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

Department of Botany

FACULTY OF SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของฤดูกาลต่อการเติบโตและประสิทธิภาพของการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของแสมขาว <i>Avicennia alba</i> Blume ในป่าชายเลน ปากแม่น้ำตราด
โดย	นายปิยะพล แก่นคง
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนาศนา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สีหนาท ประสงค์สุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนาศนา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ใจดี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.สุธาทิพย์ อำนวนยสิน)

ปิยะพล แก่นคง : ผลของฤดูกาลต่อการเติบโตและประสิทธิภาพของการดูดซึ่มกลับของ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของแสมขาว *Avicennia alba* Blume ในป่าชายเลน ปากแม่น้ำ ตราด. (SEASONAL EFFECTS ON GROWTH AND EFFICIENCY OF NITROGEN AND PHOSPHORUS RESORPTION OF *Avicennia alba* Blume IN MANGROVE FOREST, ESTUARY OF TRAT RIVER) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ศศิธร พ่วงปาน, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.ฉัตรทิพย์ รอดทัศนาศนา

ป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนเนื่องจากเป็นระบบนิเวศที่มีผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary production; NPP) สูง แม้ว่าต้นไม้ในป่าชายเลนจะเจริญอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ดินมีความเค็มสูง อีกทั้งยังมีปริมาณออกซิเจนในดินค่อนข้างจำกัด เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการขึ้นลงของน้ำทะเล ระดับน้ำทะเลทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ส่งผลทำให้ความเค็มและปริมาณสารอาหารในป่าชายเลนเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อ การเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลน การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเติบโตด้านการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้น และการผลิและร่วงของใบ รวมถึงศึกษาการดูดซึ่มกลับของสารอาหารในใบของแสมขาว (*Avicennia alba*) ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 โดยมีพื้นที่ศึกษาอยู่ในป่าชายเลนรุ่นสองบริเวณปากแม่น้ำตราด ผลการศึกษาพบว่า การขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยพบว่าเมื่ออัตราที่สูงขึ้นในช่วงฤดูฝนจากนั้นจึงลดลงในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่มากในช่วงฤดูฝนส่งผลให้ความเค็มของน้ำลดลง อีกทั้งไนโตรเจนในน้ำยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงทำให้ *A. alba* ได้รับน้ำจืดและไนโตรเจนผ่านการดูดซึ่มของรากสำหรับการเติบโตมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ในใบมีค่าสูงในช่วงฤดูฝน จึงทำให้มีสารอาหารสำหรับการเติบโตเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้มีการเติบโตทั้งในด้านการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบที่มากขึ้นในช่วงฤดูฝน แสดงให้เห็นว่า *A. alba* มีกลยุทธ์ในการปรับตัวเพื่อให้เติบโตอยู่ได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความผันแปรของความเค็มและสารอาหารตามฤดูกาล โดยมีอัตราการเติบโตสูงในช่วงที่ความเค็มลดลง อีกทั้งยังเพิ่มการหมุนเวียนสารอาหารจากใบกลับมาใช้ใหม่มากขึ้นเพื่อตอบสนองต่อการเติบโตที่สูงในช่วงฤดูฝน ซึ่งกลยุทธ์การเติบโตนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ระบบนิเวศป่าชายเลนยังคงทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญของโลกต่อไป

สาขาวิชา พุทธศาสนศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6172006423 : MAJOR BOTANY

KEYWORD: Avicennia alba, LEAF PHENOLOGY, MANGROVE FOREST, NUTRIENT
RESORPTION, TRUNK GROWTH

Piyapon Kankong : SEASONAL EFFECTS ON GROWTH AND EFFICIENCY OF NITROGEN
AND PHOSPHORUS RESORPTION OF *Avicennia alba* Blume IN MANGROVE FOREST,
ESTUARY OF TRAT RIVER. Advisor: Assoc. Prof. SASITORN POUNGPARN, Ph.D. Co-advisor:
CHADTIP RODTASSANA, Ph.D.

Mangrove forests play an important role in carbon storage because they are highly net primary production (NPP) ecosystems. Even most of the trees grow under high saline and anoxic environment due to the effects of tidal inundation. Globally the sea level tends to increase due to global climate change. As a result, salinity regimes and nutrient budgets in mangrove forests have been altered, which may affect the growth of mangrove trees. This study investigated the trunk basal-area increment, leaf emergence, and leaf loss and observed the leaf nutrient resorption of *Avicennia alba* under the changing of water and soil environments during the rainy and dry seasons, from July 2019 to June 2020. The study site is located in a secondary mangrove forest at the estuary of the Trat River. The results showed a seasonal pattern of the trunk basal-area increment and the leaf emergence that the growth rates were high in the rainy season and consequently decreased in the dry season. During the rainy season, a large amount of rainfall reduced water salinity. The contents of total nitrogen in water tended to increase during the rainy season. Therefore, *A. alba* absorbed a large amount of freshwater and nitrogen through the root absorption for further tree growth. Moreover, phosphorus resorption efficiency (PRE) increased during the rainy season resulting in high nutrient availability for tree growth. Both the high trunk basal-area increment and leaf emergence rates during the rainy season indicated that *A. alba* has a growth strategy under salinity and nutrient fluctuations by taking an advantage of the high growth rate under conditions of low water salinity. Moreover, the high efficiency of nutrient resorption during the rainy season also responded to the rapid growth. These findings explain how mangrove ecosystem can maintain their high global carbon stock.

Field of Study: Botany

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือและความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร พ่วงปาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. ฉัตรทิพย์ รอดทัศนาก อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ยิ่งตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สีหนาท ประสงค์สุข ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญชลี ใจดี และอาจารย์ ดร. สุธาทิพย์ อำนวยสิน ที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อเป็น กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพล อดุลยเดชทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา (สำหรับนิติตโครงการทุนการศึกษาสมเด็จพระบรมโอรสาธิราชฯ สยามมกุฎราชกุมาร) สำหรับทุนการศึกษา

ขอขอบคุณทุนพัฒนานักวิจัย รหัสโครงการ RSA6280070 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการทำวิจัย (สกสว.) และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิติต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเงินทุนสนับสนุนการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณธมนัย ประเวณีวงศ์วุฒิ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) คุณอนุชิต ใจเกื้อ และคุณวิจิต รวมนวงษ์ ตลอดถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนามอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้องในหน่วยปฏิบัติการวิจัยพฤกษนิเวศวิทยา สำหรับมิตรภาพ เสียงหัวเราะ และความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนามและคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้โอกาส ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาดลอดมาจนสำเร็จ การศึกษา

ปิยะพล แก่นคง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ที่มาและความสำคัญ.....	1
2. วัตถุประสงค์.....	3
3. สมมติฐาน.....	3
4. ขอบเขตของการศึกษา.....	3
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	1
1. ป่าชายเลนและความสำคัญ.....	1
2. การสะสมคาร์บอนของป่าชายเลน.....	2
3. การเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลน.....	5
4. สารอาหารในป่าชายเลน.....	7
5. การดูดซึมกลับของสารอาหาร (nutrient resorption) ในใบของต้นไม้ป่าชายเลน.....	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	1
1. พื้นที่ศึกษา.....	1
2. เลือกตัวอย่างต้นเสมขาว (<i>A. alba</i>).....	4

3. ศึกษาการเติบโตของลำต้น (trunk growth).....	5
4. ศึกษาการผลิและการร่วงของใบ (leaf emergence and loss)	8
5. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (nitrogen and phosphorus resorption efficiency) ในใบ	10
6. ศึกษาข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศ	11
7. วิเคราะห์ทางสถิติ.....	13
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	15
1. ปัจจัยภูมิอากาศ	15
2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ	17
3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน.....	28
4. การเติบโตของลำต้น (trunk growth) ของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	33
5. การผลิและการร่วงของใบ (leaf emergence and loss) ของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	41
6. ปริมาณสารอาหารในใบของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	48
7. ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (nitrogen and phosphorus resorption efficiency) ในใบของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	4
บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา.....	1
1. การเติบโตของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	1
2. ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับสารอาหารในใบของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	3
3. ความผันแปรตามฤดูกาลของปัจจัยสิ่งแวดล้อม	5
4. อิทธิพลของการผันแปรสิ่งแวดล้อมตามฤดูกาลต่อการเติบโตของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	9
5. อิทธิพลของการผันแปรสิ่งแวดล้อมตามฤดูกาลต่อประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของสารอาหารในใบแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	11
6. การปรับตัวของแสมขาว (<i>A. alba</i>) ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม.....	13
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา.....	1
1. การเติบโตของลำต้นและซีพีลักษณะใบของของแสมขาว (<i>A. alba</i>)	1

2. ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับสารอาหารในใบของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	2
3. การปรับตัวของแสมขาว (<i>A. alba</i>) ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม.....	2
บรรณานุกรม.....	4
ประวัติผู้เขียน.....	24



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำฝน วันที่มีฝนตก ปริมาณน้ำฝนต่อวันและอุณหภูมิอากาศรายเดือนจากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่บริเวณศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563	16
ตารางที่ 2 ความเค็ม (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ในช่วงน้ำขึ้นและในช่วงน้ำลงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	19
ตารางที่ 3 อุณหภูมิน้ำสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย (\pm SD) ในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุดในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	21
ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำ (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	24
ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำ (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	26
ตารางที่ 6 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในดิน (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ภายในเขตไม้แสม	29
ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) อัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C:N ratio) และไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสทั้งหมด (N:P ratio) ในดินภายในเขตไม้แสม.....	31
ตารางที่ 8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับความสูง 1.3 เมตร (diameter at breast height; DBH) และพื้นที่หน้าตัดลำต้น (basal area; BA) ของแสมขาว (<i>A. alba</i>) ที่เลือกไว้เมื่อวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2562 และสถานะของต้นตัวอย่างจนถึงวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2563	34
ตารางที่ 9 พื้นที่หน้าตัดลำต้น (BA) ของแสมขาว (<i>A. alba</i>) ต้นขนาดเล็ก (S) ขนาดกลาง (M) และขนาดใหญ่ (L) ที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563	35
ตารางที่ 10 สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือน ($\%BA_{m}$) (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ของแสมขาว (<i>A. alba</i>) ต้นขนาดเล็ก (S) ขนาดกลาง (M) และขนาดใหญ่ (L) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563	38
ตารางที่ 11 ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย (\pm SD) ของสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนของแสมขาว (<i>A. alba</i>) ขนาดเล็ก (S) ขนาดกลาง (M) และขนาดใหญ่ (L) ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	38

ตารางที่ 12 อัตราการผลิตของใบ อัตราการร่วงของใบ และอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิตและร่วงของใบของแสมขาว (*A. alba*) (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563. 42

ตารางที่ 13 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ของใบของแสมขาว (*A. alba*) (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ระยะเจริญเต็มที่ (mature leaf) และระยะเสื่อมตามอายุ (senescence leaf)..... 50

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) และประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ในใบของแสมขาว (*A. alba*)..... 5



สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1	ป่าชายเลนบริเวณริมแม่น้ำตราด จังหวัดตราด ที่มีพืชเด่นคือ โกงกางใบเล็ก (<i>Rhizophora apiculata</i>) แสมขาว (<i>Avicennia alba</i>) และลำพู (<i>Sonneratia caseolaris</i>).....	1
ภาพที่ 2	ตำแหน่งของจังหวัดตราด (ก) ที่ตั้งของแปลงศึกษาถาวรบริเวณปากแม่น้ำตราด (ข) และแปลงศึกษาถาวรที่มีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ (ค)	2
ภาพที่ 3	ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน (\pm SD) ในช่วง พ.ศ. 2550 – 2562 จากสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด	3
ภาพที่ 4	ลำต้นของต้นแสมขาว (<i>A. alba</i>) ที่เหมาะสำหรับทำการศึกษา	4
ภาพที่ 5	ตำแหน่งของแสมขาว (<i>A. alba</i>) ตัวอย่างจำนวน 26 ต้น ที่กระจายอยู่ภายในเขตไม้แสม ..	5
ภาพที่ 6	การบันทึกขนาด DBH ก่อนติดตั้งแถบ dendrometer บนลำต้นแสมขาว (<i>A. alba</i>) (ก) และแถบ dendrometer ที่ติดตั้งแล้วบนต้นแสมขาว (<i>A. alba</i>) (ข).....	6
ภาพที่ 7	เวอร์เนียสเกลที่อยู่บนแถบ dendrometer และตัวอย่างการอ่านค่าจากสเกล	6
ภาพที่ 8	การตีความหมายเลขเพื่อติดตามการผลิและร่วงของใบแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	8
ภาพที่ 9	ใบแสมขาว (<i>A. alba</i>) ในระยะที่เจริญเต็มที่ซึ่งมีสีเขียว (mature leaf) (ก) และในระยะที่เสื่อมตามอายุซึ่งมีสีเหลือง (senescence leaf) (ข).....	10
ภาพที่ 10	สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) ...	11
ภาพที่ 11	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	12
ภาพที่ 12	การใช้ soil core เพื่อเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 – 30 เซนติเมตรจากผิวดิน	13
ภาพที่ 13	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน (\pm SD) จากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่บริเวณศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563.....	15
ภาพที่ 14	ความเค็ม (ก) และอุณหภูมิของน้ำ (ข) รายเดือนตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ	18
ภาพที่ 15	ความเค็มเฉลี่ย (\pm SD) ของน้ำในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงช่วงฤดูฝน (ก) และช่วงฤดูแล้ง (ข) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ.....	20

ภาพที่ 16 อุณหภูมิเฉลี่ย (\pm SD) ของน้ำในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงช่วงฤดูฝน (ก) และช่วงฤดูแล้ง (ข) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ทั้ง 4 จุด 22

ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (ก) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (ข) ในน้ำเฉลี่ย (\pm SD) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 23

ภาพที่ 18 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำเฉลี่ย (\pm SD) ช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงช่วงฤดูฝน (ก) และช่วงฤดูแล้ง (ข) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ทั้ง 4 จุด..... 25

ภาพที่ 19 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำเฉลี่ย (\pm SD) ช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงช่วงฤดูฝน (ก) และช่วงฤดูแล้ง (ข) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ทั้ง 4 จุด..... 27

ภาพที่ 20 สหสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ..... 28

ภาพที่ 21 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ในดิน (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในดิน (ข) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในดิน (ค) ภายในเขตไม้เสม 30

ภาพที่ 22 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) ของอัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C:N ratio) (ก) และไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสทั้งหมด (N:P ratio) (ข) ในดินภายในเขตไม้เสม 32

ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 และขนาด DBH ของแสมขาว (*A. alba*)..... 36

ภาพที่ 24 สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือน (%BA_M) ของแสมขาว (*A. alba*) (ก) ต้นขนาดเล็ก (S) (ข) ขนาดกลาง (M) (ค) และขนาดใหญ่ (L) (ง) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 37

ภาพที่ 25 สหสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของลำต้นแสมขาว (*A. alba*) กับสภาพภูมิอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ..... 40

ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพื้นที่หน้าตัดลำต้นแสมขาว (*A. alba*) ที่เพิ่มพูนกับปริมาณน้ำฝน (ก) และความเค็มของน้ำ (ข)..... 40

ภาพที่ 27 อัตราการผลิของใบ (ก) อัตราการร่วงของใบ (ข) และอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบ (ค) แสมขาว (*A. alba*) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 43

ภาพที่ 28 สหสัมพันธ์ระหว่างการผลิและการร่วงของใบแสมขาว (*A. alba*) กับสภาพภูมิอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ..... 45

ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราการผลิของใบแสมขาว (<i>A. alba</i>) กับปริมาณน้ำฝน (ก) ความเค็มของน้ำ (ข) ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำ (ค) และความเข้มข้นของ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำ (ง).....	46
ภาพที่ 30 สหสัมพันธ์ระหว่างการผลิและการร่วงของใบกับพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	47
ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มพูนกับอัตราการผลิของใบ (ก) และ อัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและการร่วงของใบ (ข) ของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	47
ภาพที่ 32 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (ข) และปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (ค) ในใบของแสมขาว (<i>A. alba</i>) ระยะเจริญเต็มที่ (mature leaf) และใบ ระยะเสื่อมตามอายุ (senescence leaf).....	1
ภาพที่ 33 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารไนโบของแสมขาว (<i>A. alba</i>) และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทางน้ำ.....	2
ภาพที่ 34 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารไนโบและการเติบโตของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	3
ภาพที่ 35 ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) (ก) และประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) (ข) ในใบของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	6
ภาพที่ 36 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารไนโบ ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของสารอาหารไนโบ และการเติบโตของแสมขาว (<i>A. alba</i>).....	7

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญ

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่ประกอบด้วยพืชที่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ทั้งในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำจืดและน้ำเค็ม (facultative halophyte) พบได้ในบริเวณชายฝั่งทะเลทั้งในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน ทำให้ได้รับอิทธิพลของความเค็ม ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงความเค็มจากการขึ้นลงของน้ำทะเล (Krauss and Ball, 2013) ป่าชายเลนมีความสำคัญหลายประการต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (Brander et al., 2012) ประการสำคัญคือป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศป่าไม้ที่มีผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary production; NPP) ที่สูง (Komiyama, Ong and Pongpam, 2008) จึงเป็นแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนที่สำคัญของโลก (Donato et al., 2011)

ความเค็มเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่าชายเลน (Krauss and Ball, 2013; Wang et al., 2011) เนื่องจากความเค็มทำให้สารละลายดินบริเวณรอบรากมีค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ที่ต่ำเป็นผลให้ต้นไม้ไม่นำน้ำในดินไปใช้ได้ยากขึ้น ต้นไม้จึงได้รับน้ำจืดสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตน้อยลง นอกจากนี้ความเค็มในป่าชายเลนทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Cummings and Shah, 2018) กล่าวได้ว่าป่าชายเลนที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลจึงอาจได้รับผลกระทบโดยตรง (Gilman et al., 2008; Krauss et al., 2014)

ความเค็มในป่าชายเลนมีความผันแปรต่อเนื่องตามฤดูกาล เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเค็มในป่าชายเลน (Komiyama et al., 2019) ปริมาณน้ำฝนที่มีมากในฤดูฝนทำให้ป่าชายเลนมีน้ำจืดและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ต้นไม้ได้รับน้ำจืดเพิ่มขึ้น และสูญเสียน้ำจากการคายระเหย (evapotranspiration) ลดลงตามลำดับ เป็นผลให้ต้นไม้ในป่าชายเลนได้รับน้ำจืดสำหรับการเจริญเติบโตมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงฤดูฝนระบบนิเวศป่าชายเลนอาจมีสารอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่าในฤดูแล้ง (Alam et al., 2019) ซึ่งอาจถูกพัดพาโดยกระแสน้ำจากการที่มวลน้ำจืดปริมาณมากไหลมากับแม่น้ำและไหลลงสู่ทะเลในฤดูฝน เช่น บริเวณปากแม่น้ำ Gautani-Godavari ประเทศอินเดีย พบปริมาณไนเตรต (NO_3^-) ในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง (Rao, Priya and Ramanathan, 2018) และบริเวณปากแม่น้ำตราด ประเทศไทย พบปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+), NO_3^- และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง (Kan-atireklap et al., 2016; Meesub et al., 2021) อาจเป็นผลต่อเนื่องให้ต้นไม้ในป่าชายเลนหลายชนิดผลิใบในฤดูฝน

มากกว่าในฤดูแล้ง เช่น แสมทะเล (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) (Wium-Andersen and Christensen, 1978), โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata* Blume) (Christensen and Wium-Andersen, 1977) และ โกงกางใบใหญ่ (*R. mucronata* Lamk.) (Wium-Andersen, 1981) และมีการสร้างวงเติบโต (growth ring) มากขึ้นในช่วงฤดูฝนมากกว่าในฤดูแล้ง เช่น *A. marina* (Santini et al., 2015), *R. mucronata* (Verheyden et al., 2004) และ *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. (Estrada et al., 2008) ขณะที่ในช่วงฤดูแล้งป่าชายเลนมีความเค็มเพิ่มขึ้นและอาจได้รับสารอาหารที่ลดลงจากมวลน้ำในแม่น้ำ จึงอาจเป็นสาเหตุให้ต้นไม้ในป่าชายเลนเติบโตได้น้อยลง

กลไกสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้นไม้ในป่าชายเลนใช้เพื่อดำรงการเจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่มีสารอาหารจำกัดคือ กระบวนการดูดซึมกลับของสารอาหาร (nutrient resorption) ซึ่งเป็นการดูดซึมสารอาหารบางชนิดจากใบที่เสื่อมสภาพก่อนที่ใบจะร่วงหลุดจากต้น ต้นไม้จึงได้รับสารอาหารเพื่อกลับมาใช้ได้อีกครั้ง (Aerts and Chapin, 2000) ทำให้สามารถเจริญเติบโตและมีชีวิตรอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสารอาหารในดินน้อยได้ จากการตรวจสอบเอกสารพบว่าต้นไม้ในป่าชายเลนบางชนิดมีประสิทธิภาพการดูดซึมกลับไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) และ ฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) อยู่ในช่วง 53 – 69% และ 61 – 72% ตามลำดับ (Alam et al., 2019; Almahasheer, Duarte and Irigoien, 2018; Rao et al., 1994) ซึ่งกล่าวได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าต้นไม้ในระบบนิเวศป่าบก (Yan, Zhu and Yang, 2018; Yuan and Chen, 2009) การดูดซึมกลับของสารอาหารจึงเป็นกระบวนการสำคัญสำหรับต้นไม้ป่าชายเลนที่เจริญในบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นสารอาหารหลักและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (Alongi, 2018)

แสมขาว (*Avicennia alba* Blume) อยู่ในวงศ์ Acanthaceae เป็นไม้ต้นในป่าชายเลนที่พบได้ตามธรรมชาติตามแนวชายฝั่งทะเล มีความสำคัญทางนิเวศวิทยาเนื่องจากเป็นพืชเบิกนำ (pioneer species) (Tomlinson, 2016) อย่างไรก็ตามข้อมูลการปรับตัวของ *A. alba* ในสภาพแวดล้อมที่มีความผันแปรของความเค็มยังมีไม่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลเกี่ยวกับการดูดซึมกลับของสารอาหาร ความรู้ความเข้าใจที่ดีเกี่ยวกับการปรับตัวของ *A. alba* จึงเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้ร่วมกับการอนุรักษ์ฟื้นฟูป่าชายเลนให้ประสบผลสำเร็จมากขึ้น

การศึกษานี้จึงศึกษาการเติบโตในรอบปีทั้งส่วนลำต้นและใบ รวมถึงประสิทธิภาพการดูดซึมกลับไนโตรเจน (NRE) และฟอสฟอรัส (PRE) ของแสมขาว (*A. alba*) ในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด จากแปลงศึกษาถาวรขนาด 1 เฮกตาร์ ในพื้นที่ศึกษาที่เป็นป่าชายเลนรุ่มสองบริเวณปากแม่น้ำตราด และมีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ (zonation) ออกเป็น 3 เขตพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกัน

ชัดเจนตั้งแต่บริเวณริมแม่น้ำตราดเข้าไปยังแผ่นดิน (Umnouysin, Sangtjean and Pongpan, 2017) ในการศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษาภายในเขตไม้แสม (*Avicennia* zone) ซึ่งอยู่ใกล้กับริมแม่น้ำมากที่สุด และมีแสมขาว (*A. alba*) เป็นพืชเด่น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเติบโตของลำต้น อัตราการผลิและการร่วงของใบของแสมขาว (*A. alba*) ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) และประสิทธิภาพของการดูดซึ่มกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ในใบแสมขาว (*A. alba*) ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

3. สมมติฐาน

1. แสมขาว (*A. alba*) จะขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและผลิใบมากในฤดูฝน เนื่องจากระดับความเค็มของน้ำลดลง
2. ประสิทธิภาพของการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) และประสิทธิภาพของการดูดซึ่มกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ในใบแสมขาว (*A. alba*) จะลดลงในฤดูฝน เนื่องจากปริมาณสารอาหารในสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงในฤดูฝน

4. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาการเติบโตของแสมขาว (*A. alba*) ซึ่งประกอบไปด้วยการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้น และการผลิและการร่วงของใบ ประกอบกับศึกษา NRE และ PRE ในใบของ *A. alba* ปัจจัยสภาพภูมิอากาศ ปัจจัยแวดล้อมทางน้ำและทางดิน เป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 ในแปลงศึกษาถาวร ซึ่งเป็นป่าชายเลนรุ่นสอง ตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

นำไปใช้ในการวางแผนเพื่ออนุรักษ์และปลูกฟื้นฟูป่าชายเลนให้สามารถมีประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้มากขึ้นในอนาคตเนื่องจากป่าชายเลนอาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก เช่น ภาวะแล้ง ความไม่สม่ำเสมอของปริมาณน้ำฝนรายปี เป็นต้น

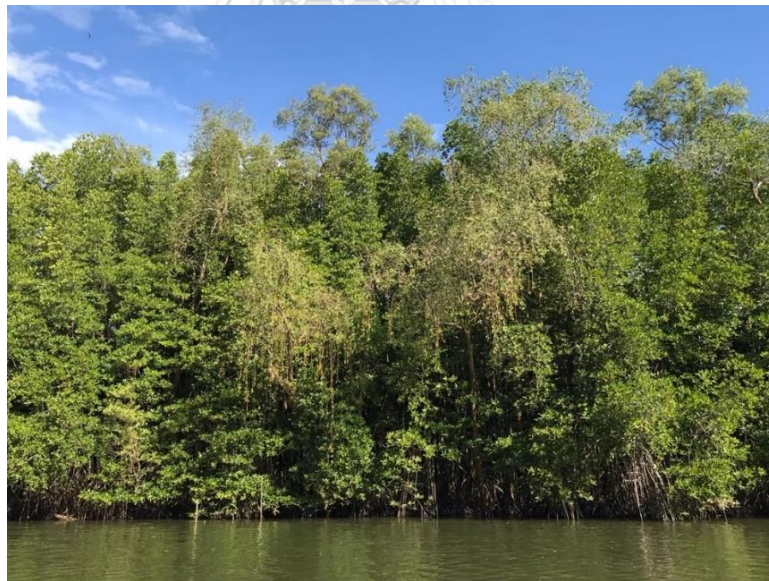
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ป่าชายเลนและความสำคัญ

1.1 ลักษณะทั่วไปของป่าชายเลน

ระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศป่าไม้ผลัดใบที่ประกอบด้วยไม้ต้น (tree) และไม้พุ่ม (shrub) ประมาณ 80 ชนิด 32 สกุล จัดอยู่ใน 17 วงศ์ (Tomlinson, 2016) โดยสกุลที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย ได้แก่ *Avicennia*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Nypa*, *Rhizophora*, *Sonneratia* และ *Xylocarpus* (Pumijumnong, 2014) ป่าชายเลนนั้นมีพื้นที่น้อยมากเมื่อเทียบกับระบบนิเวศป่าบกอื่น ๆ เนื่องจากป่าชายเลนกระจายตัวอยู่อย่างจำกัดตามแนวรอยต่อระหว่างแผ่นดินและทะเลที่เป็นบริเวณชายฝั่งทะเลหรือบริเวณปากแม่น้ำ ระหว่างละติจูดประมาณ 32° N ถึง 38° S ในเขตกึ่งร้อน (subtropics) และเขตร้อน (tropics) (Quisthoudt et al., 2012) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่โดยรวมประมาณ 137,760 ตารางกิโลเมตร และคิดเป็นสัดส่วนเพียง 0.5% ของบริเวณชายฝั่งทั้งหมดบนโลกเท่านั้น (Alongi, 2014; Giri et al., 2011) ลักษณะทั่วไปของป่าชายเลนแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ป่าชายเลนบริเวณริมแม่น้ำตราด จังหวัดตราด ที่มีพืชเด่นคือ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) แสมขาว (*Avicennia alba*) และลำพู (*Sonneratia caseolaris*)

ดินในป่าชายเลนเป็นดินที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ เนื่องจากป่าชายเลนตั้งอยู่บริเวณแนวชายฝั่งทะเล ทำให้ได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำ และมีการท่วมขังของน้ำบริเวณพื้นป่าบางเวลา จึงส่งผลให้แก๊สออกซิเจนแพร่เข้าสู่ดินได้น้อย (McKee, 1996) อีกทั้งดินในป่าชายเลนยังมีความเค็มที่

สูง เนื่องจากได้รับน้ำเค็มจากน้ำทะเลที่เข้าท่วม พืชป่าชายเลนจึงดูดซึมน้ำในดินไปใช้ได้ยาก (Ball, Cochrane and Rawson, 1997) สภาพแวดล้อมดังกล่าวทำให้พืชป่าชายเลนต้องมีการปรับตัวด้านกายวิภาค (anatomy) และด้านสัณฐานวิทยา (morphology) เช่น การมีรากพิเศษแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นรากค้ำยัน (prop root) รากพูกอน (buttress root) และรากหายใจ (pneumatophore) (Srikanth, Lum and Chen, 2016) และด้านสรีรวิทยา (physiology) เช่น กลไกการสะสมและขับเกลือ (Parida and Jha, 2010) เพื่อให้มีชีวิตรอดอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมที่มีความเฉพาะนี้

1.2 ความสำคัญของป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีประโยชน์และคุณค่าต่อทั้งมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ไม่นับป่าชายเลนนิยมนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยและใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีความแข็งแรงและทนทานเพราะมีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูง (Palacios and Cantera, 2017) นอกจากนี้ป่าชายเลนยังเป็นแหล่งที่รวบรวมความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำที่สำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น ปลา ปู และกุ้ง (De Graaf and Xuan, 1999) และเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ที่มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศหลายชนิด เช่น จระเข้ งู เต่าทะเล และนก (Luther and Greenberg, 2009) อีกทั้งยังพบสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมหลายชนิด เช่น ลิง ค่างควาว และนาก (Loughland, 1998) และที่สำคัญยังมีรายงานที่แสดงให้เห็นว่าป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีศักยภาพในการดูดซับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศไว้ได้สูงไม่น้อยไปกว่าระบบนิเวศบกอื่น ๆ (Donato et al., 2011; Komiyama, Ong and Pongpam, 2008)

2. การสะสมคาร์บอนของป่าชายเลน

2.1 ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary production; NPP) ของป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีประสิทธิภาพในการเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก แม้ว่ากระจายตัวอยู่แค่ตามแนวชายฝั่งทะเลและมีพื้นที่น้อยเมื่อเทียบกับระบบนิเวศป่าบก แต่กลับพบว่าความหนาแน่นของคาร์บอนต่อพื้นที่ที่สะสมอยู่ในป่าชายเลนมีค่ามากถึง 738.9 tC/ha ซึ่งมากกว่าความหนาแน่นของคาร์บอนที่สะสมอยู่ในระบบนิเวศป่าบกเขตร้อน 3 – 5 เท่า (Donato et al., 2011) โดยคาร์บอนที่สะสมอยู่ในป่าชายเลนประมาณ 76.5% ถูกสะสมอยู่ในดิน ขณะที่อีก 14.8% ถูกสะสมอยู่ในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และ 8.7% ถูกสะสมอยู่ในมวลชีวภาพใต้ดิน (Alongi, 2020a)

สาเหตุที่ป่าชายเลนสามารถเก็บสะสมคาร์บอนไว้ได้เป็นปริมาณมาก เนื่องมาจากป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary production; NPP) สูง และมีอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดินช้า (Alongi, 2009; Alongi and Mukhopadhyay, 2015) โดยต้นไม้ในป่า

ชายเลนมีบทบาทสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากสามารถเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศให้กลายเป็นสารประกอบอินทรีย์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Rodelli et al., 1984) จากนั้นสารประกอบอินทรีย์เหล่านั้นจะสะสมอยู่ในรูปของมวลชีวภาพของพืช ซึ่งประกอบด้วย มวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดิน (aboveground biomass) ประกอบด้วย ลำต้น ใบ ดอก และผล และ มวลชีวภาพส่วนใต้ดิน (belowground biomass) เช่น ราก จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยโดย Alongi (2009) พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นไม้ในป่าชายเลนมีค่าสูงกว่าต้นไม้ในป่าบกเขตร้อนอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าต้นไม้ป่าชายเลนมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนจากบรรยากาศที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่า NPP เฉลี่ยของป่าชายเลนมีค่าเท่ากับ 11.1 tC/ha/year ซึ่งค่อนข้างมีค่าสูงกว่าในป่าบกเขตร้อนอื่น ๆ ยิ่งไปกว่านั้นจากการศึกษาของ Pongpam และคณะ (2020) พบว่าป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด ซึ่งเป็นป่าชายเลนบริเวณเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ มี NPP เท่ากับ 23.65 ± 2.37 tC/ha/year ซึ่งสูงกว่าที่รายงานไว้โดย Alongi (2009) แสดงให้เห็นว่าป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราดเป็นป่าชายเลนที่มีประสิทธิภาพในการเก็บสะสมคาร์บอนที่สูง

2.2 การเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินในป่าชายเลน

การประมาณปริมาณ NPP ของระบบนิเวศป่าไม้ด้วยวิธี summation method (Kira and Shidei, 1967; Rivera-Monroy et al., 2013) สามารถทำได้โดยนำ 1) อัตราการเพิ่มพูนของมวลชีวภาพ (biomass increment) ซึ่งประกอบด้วย การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินและส่วนใต้ดิน 2) ผลผลิตซากพืช (litter production) และ 3) มวลชีวภาพส่วนที่โดนสัตว์กินพืชกัดกินไป (grazed amount by herbivores) ในรอบปีมารวมกัน แต่เนื่องจากมวลชีวภาพที่ถูกสัตว์กัดกินไป เป็นสัดส่วนที่น้อยและประมาณได้ยาก อีกทั้งมีความผันแปรตามชนิดสัตว์และยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละพื้นที่สูง (McNaughton, Milchunas and Frank, 1996) ในทางปฏิบัติจึงใช้เพียงมวลชีวภาพที่เพิ่มพูนของต้นไม้และผลผลิตซากพืชในการประมาณเท่านั้น เช่น การศึกษาในป่าบกเขตร้อน (Clark et al., 2001) และในป่าชายเลน (Kamruzzaman, Ahmed and Osawa, 2017; Kamruzzaman et al., 2016; Pongpam et al., 2012) เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปการประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ที่เพิ่มพูนจะคำนวณมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดลำต้นโดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรี (allometry) (Chave et al., 2005; Comley and McGuinness, 2005; Komiyama, Ong and Pongpam, 2008; Komiyama, Pongpam and Kato, 2005)

การเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินที่เกิดจากการเติบโตของลำต้นเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้ปริมาณ NPP ในป่าชายเลนสูงขึ้น (Osland et al., 2012) เนื่องจากคาร์บอนที่ถูกเก็บสะสมอยู่ในเนื้อไม้จะสามารถคงอยู่กับต้นไม้และสะสมอยู่ในระบบนิเวศได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน อีกทั้งเมื่อตายลงคาร์บอนในส่วนนี้ยังถูกสะสมอยู่ในป่าชายเลนได้นานกว่าคาร์บอนที่ถูกเก็บสะสมอยู่ใน

ใบหรือราก (Luysaert et al., 2007) โดยการศึกษาของ Bouillon และคณะ (2008) ที่รวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวกับบทบาทการสะสมคาร์บอนในป่าชายเลนทั่วโลกพบว่า การเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากถึง 31% ของ NPP นอกจากนี้การศึกษาของ Umnouysin, Sangtiean และ Pongpam (2017) ที่ศึกษา NPP ในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด แปรผลศึกษาเดียวกันกับการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินมีค่าตั้งแต่ 11.1 – 34.9% ของ NPP และจากการศึกษาล่าสุดของ Pongpam และคณะ (2020) ที่ศึกษา NPP ที่ผันแปรในช่วงระยะเวลา 10 ปีของป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด พบว่าการเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินมีค่าได้มากถึงประมาณ 60% ของ NPP ยิ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินที่มาจาก การเติบโตของลำต้นเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ป่าชายเลนมี NPP ที่สูง และมีการสะสมคาร์บอนในปริมาณที่มาก

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินในป่าชายเลน

2.3.1 ปัจจัยสภาพภูมิอากาศ

ปัจจัยสภาพภูมิอากาศซึ่งประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิอากาศ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากต่อการเพิ่มพูนมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินในป่าชายเลน ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศที่สูงในเขตร้อนบริเวณเส้นศูนย์สูตรทำให้ต้นไม้ป่าชายเลนมีอัตราการเติบโตและการเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินที่สูง ส่งผลให้สามารถเก็บสะสมคาร์บอนไว้ในปริมาณที่มากขึ้น และส่งผลให้ป่าชายเลนในเขตร้อนมี NPP สูงกว่าป่าชายเลนในเขตกึ่งร้อน (Estrada and Soares, 2017) ยิ่งไปกว่านั้นจากการศึกษาของ Pongpam และคณะ (2020) ที่ศึกษาความผันแปรของ NPP เป็นระยะเวลา 10 ปี ในช่วง พ.ศ. 2551 – 2562 ในป่าชายเลนเขตมรสุมเขตร้อน จังหวัดตราด ประเทศไทย ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีสูงเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ทำให้ป่าชายเลนบริเวณนี้มี NPP ที่สูง อีกทั้งยังพบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่สูงในช่วงฤดูแล้งยังส่งผลให้เกิดความผันแปรของ NPP ระหว่างปีอีกด้วย โดยปีที่ฤดูแล้งมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงจะส่งผลให้การเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินในปีนั้นลดน้อยลง และเป็นผลให้ปริมาณ NPP โดยรวมในปีนั้นลดลง

2.3.2 ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ความเค็ม และปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณยังส่งผลให้ป่าชายเลนในบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงกันมีความแตกต่างของการเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนือพื้นดินได้ เช่น ป่าชายเลน Sundarbans ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ครอบคลุมประเทศอินเดียและบังคลาเทศ โดยบริเวณที่ไม่มีแม่น้ำไหลผ่านจะมีความเค็มของดินสูงกว่าบริเวณอื่น ส่งผลให้การเพิ่มขึ้นและการสะสมของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินบริเวณที่มีความเค็มของดินสูงมีค่าน้อยกว่าบริเวณที่มีความเค็มของดินต่ำ (Chowdhury, 2015; Rahman et al., 2015) ยิ่งไปกว่านั้นปริมาณสารอาหารยังส่งผล

ต่อการเพิ่มพูนของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินเช่นเดียวกัน จากการศึกษาของ Afefe และคณะ (2020) พบว่าการเพิ่มพูนและการสะสมของมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินในป่าชายเลนบริเวณ Red Sea ในประเทศอียิปต์และซูดานมีค่าน้อยมาก เนื่องจากป่าชายเลนบริเวณดังกล่าวไม่มีแม่น้ำจากแผ่นดินไหลผ่าน ทำให้มีความเค็มของดินที่สูง ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าไม่เพียงแต่ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศเท่านั้น แต่ปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ยังมีอิทธิพลต่อการเพิ่มพูนมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินในป่าชายเลนด้วย

3. การเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลน

3.1 ความผันแปรตามฤดูกาลของการเติบโตลำต้นของต้นไม้ในป่าชายเลน

มีรายงานว่าอัตราการเติบโตของลำต้นของต้นไม้ในป่าชายเลนบางชนิดมีความผันแปรตามฤดูกาล จากการศึกษาของ Krauss และคณะ (2006) ที่ศึกษาการขยายขนาดลำต้นของต้นไม้ป่าชายเลนจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* และ *Ceriops erectus* ในป่าชายเลน รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนผันแปรตามฤดูกาลชัดเจน ทำให้ต้นไม้ป่าชายเลนทั้ง 4 ชนิดมีอัตราการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้นสูงขึ้นในช่วงฤดูฝนที่มีปริมาณน้ำฝนสูง และอัตราการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้นจะลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งที่ปริมาณน้ำฝนน้อยลง เช่นเดียวกับผลการศึกษาวงเติบโต (growth ring) ของต้นไม้ป่าชายเลนบางชนิดที่พบว่าความกว้างของวงเติบโตที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนมากกว่าความกว้างวงเติบโตที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ใน *Heritiera fomes* (Chowdhury, De Ridder and Beeckman, 2016) และ *Sonneratia apetala* (Rahman et al., 2020) ที่ป่าชายเลน Sundarbans ประเทศบังกลาเทศ ในขณะที่ป่าชายเลนที่ได้รับปริมาณน้ำฝนระหว่างฤดูกาลแตกต่างกันไม่มาก อย่างเช่นการศึกษาของ Krauss และคณะ (2007) ในป่าชายเลน ประเทศไมโครนีเชีย ที่มีความผันแปรตามฤดูกาลไม่ชัดเจน พบว่าอัตราการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้นของ *S. alba* และ *Bruguiera gymnorrhiza* ไม่แตกต่างกันในแต่ละฤดู

ยิ่งไปกว่านั้นจากการศึกษาของ Komiyama และคณะ (2019) พบว่านอกจากความผันแปรของปริมาณน้ำฝนแล้ว ความผันแปรของความเค็มของน้ำตามฤดูกาลยังส่งผลต่ออัตราการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้นของลำต้นแสมขาว (*A. alba*) ในป่าชายเลนบริเวณแม่น้ำตราดด้วย โดยในช่วงฤดูฝนปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ป่าชายเลนได้รับน้ำจืดมากขึ้น ความเค็มของน้ำในดินจึงลดลง จึงส่งผลให้ต้นไม้ป่าชายเลนมีอัตราการเติบโตที่สูงกว่าฤดูแล้ง แสดงให้เห็นว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นไม้ในป่าชายเลน และส่งผลต่อเนื่องต่อประสิทธิภาพการสะสมคาร์บอนของป่าชายเลน

3.2 ความผันแปรตามฤดูกาลของซีฟลักซ์ใบ (leaf phenology) ของต้นไม้ในป่าชายเลน

การศึกษาซีฟลักซ์ใบ (leaf phenology) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญของใบ โดยเริ่มตั้งแต่การผลิใบ การแผ่ขยายของแผ่นใบ และการร่วงของใบ กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในช่วงรอบปีหรือรอบฤดูกาล (Kikuzawa, 1995) เนื่องจากใบเป็นอวัยวะที่มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ดังนั้นการศึกษาซีฟลักซ์ใบจึงเกี่ยวข้องกับบทบาทในการสะสมคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้ การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของเรือนยอด (Kuhn et al., 2004; Wu et al., 2016) และการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมาเก็บไว้ในรูปมวลชีวภาพ (Gill, Amthor and Bormann, 1998; Wong et al., 2019) ตลอดจนมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณ NPP ของระบบนิเวศป่าไม้ (Fang et al., 2020; Richardson et al., 2010; Richardson et al., 2009)

โดยปกติแล้วการผลิและการร่วงของใบของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าบก โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นไม้ในป่าไม้เขตอบอุ่นจะมีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน (Polgar and Primack, 2011) จากการศึกษาของ Fang และคณะ (2020) ในป่าบกบริเวณทวีปอเมริกาเหนือซึ่งต้นไม้ส่วนใหญ่จะเป็นต้นไม้ผลัดใบ (deciduous tree) พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อซีฟลักซ์ใบ โดยต้นไม้ส่วนใหญ่จะทิ้งใบในช่วงฤดูใบไม้ร่วงที่อุณหภูมิลดลง และจะผลิใบชุดใหม่อีกครั้งในช่วงฤดูใบไม้ผลิเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้ต้นไม้ไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ตลอดทั้งปี การเปลี่ยนแปลงของซีฟลักซ์ใบจึงมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้เป็นอย่างมาก ไม่เพียงแต่ระบบนิเวศป่าผลัดใบเท่านั้น จากการศึกษาของ Chen และคณะ (2020) ที่ศึกษาซีฟลักซ์ใบของต้นไม้ในป่าแอมะซอน ซึ่งเป็นระบบนิเวศป่าดิบ (evergreen forest) ในเขตร้อน พบว่าปริมาณใบบนต้นไม้ค่อนข้างจะคงที่ตลอดปี อย่างไรก็ตามซีฟลักซ์ใบบางประการของใบก็แสดงความผันแปรตามฤดูกาลเช่นเดียวกัน โดยต้นไม้จะมีใบมากที่สุดในช่วงฤดูฝน ก่อนที่ต้นไม้จะทิ้งใบบางส่วนเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงเนื่องจากปริมาณน้ำฝนลดน้อยลง การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจึงมีความผันแปรตามฤดูกาลโดยมีค่าสูงในช่วงฤดูฝนในขณะที่ใบเจริญเต็มที่และลดลงในฤดูแล้ง

สำหรับการศึกษาซีฟลักซ์ใบของต้นไม้ป่าชายเลนยังพบว่ามีการศึกษาที่ไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการติดตามซีฟลักซ์ใบโดยตรงจากต้นไม้ในแปลงศึกษา เช่น การศึกษาในป่าชายเลนทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งได้รายงานว่าลักษณะทางซีฟลักซ์ใบมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยต้นไม้ป่าชายเลนบางชนิดจะผลิใบเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน ขณะที่การร่วงของใบมีความแปรผันตามฤดูกาลที่ไม่ชัดเจน เช่น *Avicennia marina*, *Lumnitzera littorea* (Wium-Andersen and Christensen, 1978), *Rhizophora apiculata* (Christensen and Wium-Andersen, 1977) และ *R. mucronata* (Wium-Andersen, 1981) ขณะที่บางชนิดไม่พบความผันแปรตามฤดูกาลของการผลิใบ

เช่น *Bruguiera cylindrica* (Wium-Andersen and Christensen, 1978) และ *Scyphiphora hydrophyllacea* (Wium-Andersen, 1981) นอกจากนี้ยังมีรายงานจากการศึกษาของ Ochieng และ Erftemeijer (2002) ที่พบว่า *A. marina* ในป่าชายเลนประเทศเคนยา จะผลิใบมากขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝน ขณะที่การร่วงของใบจะเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้ง และการศึกษาของ Coupland, Paling และ McGuinness (2005) ก็พบว่าปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนเป็นปัจจัยที่กระตุ้นให้ *A. marina*, *Sonneratia alba*, *R. stylosa* และ *Ceriops australis* ในป่าชายเลนประเทศออสเตรเลีย มีการผลิใบเพิ่มขึ้น ต่อมา Pastor-Guzman, Dash และ Atkinson (2018) ได้ใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล (remote sensing) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อศึกษาชีพลักษณ์ใบของป่าชายเลนประเทศบราซิล ทำให้สามารถศึกษาชีพลักษณ์ของใบได้ทั้งระบบนิเวศได้รวดเร็วและสะดวกมากขึ้น และพบว่าต้นไม้ในป่าชายเลนมีการผลิใบมากขึ้นในช่วงฤดูฝนและจะมีการร่วงของใบมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง จากการศึกษาล่าสุดของ Songsom และคณะ (2021) ที่ใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้อง phenocam ที่ติดตั้งไว้ในป่าชายเลนจังหวัดภูเก็ต พบว่าการผลิใบของต้นไม้ในป่าชายเลนจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงฤดูฝนเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อชีพลักษณ์ของต้นไม้ป่าชายเลนยังมีไม่มากและไม่กว้างขวางเมื่อเทียบกับการศึกษาการเติบโตของลำต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาถึงอิทธิพลของความเค็มและปริมาณสารอาหารต่อลักษณะทางชีพลักษณ์ของใบ

4. สารอาหารในป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีประสิทธิภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน แต่กลับพบว่าความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารในดินของป่าชายเลนนั้นต่ำมากเมื่อเทียบกับระบบนิเวศบกอื่น ๆ เนื่องจากสารอาหารบางส่วนมีโอกาสดูกนำออกจากระบบนิเวศโดยกระแส น้ำ อีกทั้งดินในป่าชายเลนยังมีปริมาณออกซิเจนต่ำและความเค็มสูงเนื่องจากการท่วมขังของน้ำทะเล จึงส่งผลให้สารอาหารในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มีปริมาณน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีรายงานว่ามีเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืช ขณะที่ดินของป่าชายเลนมีกำมะถัน โบรอน โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมปริมาณมากเพียงพอต่อความต้องการของพืช เนื่องจากได้รับสารอาหารเหล่านี้จากน้ำทะเลที่เข้าท่วมในป่าชายเลน (Alongi, 2018; Reef, Feller and Lovelock, 2010)

สารอาหารในดินของป่าชายเลนสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปหลัก ได้แก่ 1) สารอาหารในรูปสารอนินทรีย์ (inorganic nutrient) ที่มีแหล่งที่มา คือ น้ำฝน น้ำที่ไหลมากับแม่น้ำและทะเล และการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และ 2) สารอาหารในรูปสารอินทรีย์ (organic nutrient) ซึ่งเกิดจากสิ่งมีชีวิตและผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระยะต่าง ๆ โดยมีแหล่งที่มาที่สำคัญ 2 แหล่งคือ จากภายในป่าชายเลนเอง เช่น ซากพืช แพลงก์ตอน แบคทีเรีย และสาหร่าย และจากภายนอกป่าชายเลน

เช่น สารแขวนลอยและตะกอนดินในน้ำที่ไหลมาพร้อมกับกระแสน้ำทั้งจากแม่น้ำและทะเล (สนิท อักษรแก้ว, 2541)

4.1 ไนโตรเจนในป่าชายเลน

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช อีกทั้งไนโตรเจนยังเป็นสารอาหารหลัก (macronutrient) ที่พืชต้องการในปริมาณมาก มีความสำคัญในด้านการเป็นโครงสร้างและการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์พืช เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่เป็นหน่วยย่อยของโปรตีนและเอนไซม์ (Ghimire et al., 2017; Makino, 2003; Warren, Adams and Chen, 2000) โดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ผ่านการดูดซึมของราก คือ ไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์ ได้แก่ ไนเตรต (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) (Tegeder and Masclaux-Daubresse, 2018)

4.1.1 ไนโตรเจนในน้ำ

แหล่งที่มาของไนโตรเจนที่สำคัญในป่าชายเลน ได้แก่ กระแสน้ำที่เข้าท่วมและกระบวนการต่าง ๆ ในดินของป่าชายเลน โดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนในน้ำที่เข้าท่วมป่าชายเลนจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ ไนโตรเจนละลายน้ำ (dissolved organic nitrogen; DON) มากที่สุด ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0.1 – 60 $\mu\text{mol/L}$ รองลงมาคือ NH_4^+ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 – 120 $\mu\text{mol/L}$ ถัดมาคือ NO_3^- ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 – 37 $\mu\text{mol/L}$ และ NO_2^- ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 – 5 $\mu\text{mol/L}$ โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความผันแปรของความเข้มข้นไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน การชะล้างหน้าดินบริเวณต้นน้ำ อุณหภูมิ แพลงก์ตอน และกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ (Alongi, 2013; Alongi, 2020b) ขณะที่การศึกษาล่าสุดของ Meesub และคณะ (2021) ในแม่น้ำตราดก็พบว่าไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์ที่มีความเข้มข้นมากที่สุดคือ NH_4^+ มีค่าตั้งแต่ 3.5 – 16.3 $\mu\text{mol/L}$ รองลงมาคือ NO_3^- มีค่าตั้งแต่ 0.1 – 3.9 $\mu\text{mol/L}$ และ NO_2^- มีค่าตั้งแต่ 0.0 – 0.3 $\mu\text{mol/L}$ โดยไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์ทั้งสามรูปมีแนวโน้มมีความเข้มข้นสูงในบริเวณต้นน้ำ อีกทั้งยังมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในฤดูที่มีปริมาณน้ำท่าสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาที่สำคัญของไนโตรเจนในแม่น้ำตราดมาจากการชะล้างหน้าดินที่เกิดขึ้นบริเวณต้นน้ำ

4.1.2 ไนโตรเจนในดิน

ไนโตรเจนทั้งหมดที่ถูกสะสมอยู่ในป่าชายเลนมีค่าประมาณ 52.03 Mg/ha ซึ่งมีค่ามากกว่าในป่าบกเขตร้อนที่มีค่าเพียงแค่ 22.33 Mg/ha โดยประมาณว่าไนโตรเจนมากถึง 91% ของไนโตรเจนทั้งหมดในป่าชายเลนจะถูกสะสมอยู่ในดิน (Alongi, 2020b) อย่างไรก็ตามวัฏจักรไนโตรเจนในดินของป่าชายเลนมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากมีกระบวนการต่าง ๆ มากมายเกี่ยวข้องและส่งผลต่อรูปของ

ไนโตรเจนที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ (Shiau and Chiu, 2020) โดย Kuypers, Marchant และ Kartal (2018) ได้สรุปกระบวนการต่าง ๆ ที่สำคัญไว้ ได้แก่

1) แอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Pseudomonas* sp. และ *Proteus* sp. เปลี่ยนไนโตรเจนที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์ให้เป็น NH_4^+ ซึ่งเป็นไนโตรเจนรูปอนินทรีย์ที่พืชสามารถดูดซึมผ่านรากไปใช้ประโยชน์ได้

2) ไนตริฟิเคชัน (nitrification) เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp. และ *Nitrococcus* sp. เปลี่ยน NH_4^+ ให้เป็นพลังงาน และทำให้เกิด NO_3^- ขึ้น โดยมี NO_2^- เป็นสารระหว่างกลางของการเกิดปฏิกิริยา

3) การตรึงไนโตรเจน (N_2 fixation) เป็นกระบวนการที่แบคทีเรียบางกลุ่ม เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) ใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนแก๊สไนโตรเจน (N_2) จากบรรยากาศให้กลายเป็น NO_3^-

4) ดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) เป็นกระบวนการที่แบคทีเรียบางชนิด เช่น *Paracoccus* sp. และ *Pseudomonas* sp. เปลี่ยน NO_3^- และ NO_2^- ไปเป็น N_2 ซึ่งทำให้ไนโตรเจนรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้มีปริมาณลดลง และมักเกิดในสภาพไร้ออกซิเจน

ไนโตรเจนรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ที่มีปริมาณมากที่สุดในดินของป่าชายเลนคือ NH_4^+ (Reef, Feller and Lovelock, 2010) เนื่องจากสภาพดินของป่าชายเลนมีออกซิเจนน้อยทำให้ NH_4^+ เปลี่ยนเป็น NO_3^- ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันได้น้อย (Alongi, Boto and Robertson, 1992; Kristensen et al., 1998) อีกทั้งยังพบว่า denitrifying bacteria ที่มีอยู่มากในดินยังทำให้ NO_3^- ที่มีอยู่เปลี่ยนไปเป็น N_2 ผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้เร็วขึ้น (Alongi, 1994; Corredor and Morell, 1994) โดยการศึกษาของ Chiu และคณะ (2004) พบว่าดินของป่าชายเลนจะสูญเสียไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันมากถึง 55% ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน นอกจากนี้การตรึงไนโตรเจนก็เป็นอีกหนึ่งกระบวนการสำคัญในการเพิ่มไนโตรเจนในดินของป่าชายเลน แต่อย่างไรก็ตามอัตราการตรึงไนโตรเจนมีความผันแปรค่อนข้างสูง เนื่องจากขึ้นอยู่กับทั้งปัจจัยทางชีวภาพและกายภาพหลายประการ เช่น ชนิดของแบคทีเรีย ชนิดพืช และสมบัติทางกายภาพของดิน (Boto and Robertson, 1990; Das et al., 2020; Holguin, Vazquez and Bashan, 2001; Lee and Joye, 2006)

นอกจากนี้ยังพบว่า NH_4^+ ในป่าชายเลนถูกยึดติดไว้กับอนุภาคดินน้อยกว่าดินในป่าบกอื่น ๆ เนื่องจากโซเดียมไอออน (Na^+) ที่มีอยู่มากในน้ำทะเลจะแย่งจับกับอนุภาคดิน จึงทำให้พืชสามารถดูดซึม NH_4^+ ผ่านรากได้ง่ายขึ้น (Holmboe and Kristensen, 2002) และยังมีรายงานว่าต้นไม้ป่าชาย

เลนบางชนิด เช่น *Rhizophora mangle* สามารถดูดซึมแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ที่ระเหยอยู่ในบรรยากาศผ่านทางใบได้อีกด้วย (Fogel et al., 2008)

4.2 ฟอสฟอรัสในป่าชายเลน

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมากและมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชเช่นเดียวกับไนโตรเจน โดยฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดนิวคลีอิก องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และ ATP จึงมีบทบาทสำคัญในการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์พืช (Bielski, 1973; Niklas et al., 2005) ฟอสฟอรัสมีแหล่งที่มาที่สำคัญจากกระบวนการผุพังของแร่หิน (weathering) และจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน (Singh et al., 2015) ฟอสฟอรัสที่พืชสามารถดูดซึมผ่านรากและนำไปใช้ประโยชน์ได้จะอยู่ในรูปของฟอสเฟต (PO_4^{3-}) (Furihata, Suzuki and Sakuria, 1992) นอกจากนี้วัฏจักรฟอสฟอรัสค่อนข้างมีความซับซ้อนน้อยกว่าไนโตรเจน เนื่องจากฟอสฟอรัสจะไม่อยู่ในสถานะแก๊ส แต่กระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสมีความซับซ้อนสูง จึงทำให้การประมาณค่าฟอสฟอรัสในรูปต่าง ๆ ทำได้ยาก (Reinhard et al., 2017; Shen et al., 2011)

4.2.1 ฟอสฟอรัสในน้ำ

โดยปกติแล้วความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์ละลายน้ำ (dissolved inorganic phosphorus; DIP) และในรูปสารอินทรีย์ละลายน้ำ (dissolved organic phosphorus; DOP) ในตะกอนดินของป่าชายเลนมีค่าน้อยกว่า $40 \mu\text{mol/L}$ และน้อยกว่า $4 \mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ (Singh et al., 2015) สำหรับการศึกษาล่าสุดของ Meesub และคณะ (2021) ในแม่น้ำตราดก็พบว่ามีความเข้มข้นของ PO_4^{3-} ตั้งแต่อย่างน้อยกว่า $0.1 \mu\text{mol/L}$ ถึง $0.2 \mu\text{mol/L}$ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Singkran และ Sudara (2005) ที่ศึกษาในบริเวณคลองท่าพริกและคลองบางพระ ซึ่งเป็นคลองที่ไหลเข้าสู่แม่น้ำตราด มีความเข้มข้นของ PO_4^{3-} มากที่สุดเพียง $0.1 \mu\text{mol/L}$ เท่านั้น โดยพื้นที่บริเวณคลองท่าพริกซึ่งมีพื้นที่การทำฟาร์มกุ้งมากกว่าจะมีความเข้มข้นของ PO_4^{3-} มากกว่า แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์บริเวณต้นน้ำมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ PO_4^{3-} บริเวณปากแม่น้ำ

4.2.2 ฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสในดินมีความผันแปรสูง โดยความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์และรูปสารอินทรีย์มีความแตกต่างกันได้ในพื้นที่ป่าชายเลนแต่ละพื้นที่ โดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของตะกอน เนื้อดิน ชนิดและโครงสร้างพืชในป่า (Gonsiorczyk, Casper and Kpschel, 1997) จากการศึกษาของ Joseph และคณะ (2011) ที่ศึกษาในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำ Cochin ประเทศอินเดีย และการศึกษาของ Prasad และ Ramanathan (2010) ที่ศึกษาในป่าชายเลน

Pichavaram ประเทศอินเดีย ต่างก็พบว่าในดินมีฟอสฟอรัสรูปอนินทรีย์มากกว่ารูปอินทรีย์ แตกต่างจากการศึกษาของ Nóbrega และคณะ (2014) ที่ศึกษาในป่าชายเลน Acaraú ประเทศบราซิล กลับพบว่าในดินมีฟอสฟอรัสรูปอินทรีย์มากกว่ารูปอนินทรีย์ ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุจากประเภทและปริมาณของแร่หินที่เป็นแหล่งปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ในแต่ละพื้นที่มีไม่เท่ากัน โดยบริเวณที่มีแร่หินอยู่มาก อาจส่งผลให้มีฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์มากกว่ารูปสารอินทรีย์

อย่างไรก็ตาม PO_4^{3-} มีความว่องไวสูงในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับไอออนที่มีประจุบวกของธาตุและสารประกอบต่าง ๆ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยาก และทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Venkiteshwaran, McNamara and Mayer, 2018) โดย PO_4^{3-} จะจับกับแคลเซียมและอลูมิเนียมในดินที่มีสภาพเป็นด่าง เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) และอลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) ตามลำดับ ขณะที่ PO_4^{3-} จะจับกับเหล็กในดินที่มีสภาพเป็นกรดและเกิดเป็นสารประกอบเหล็กฟอสเฟต ($FePO_4$) (Reinhard et al., 2017) ดังนั้นปริมาณฟอสเฟตในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่างของดิน (pH) โดยดินที่มี pH ประมาณ 5 – 6 จะมีฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด (Furihata, Suzuki and Sakuria, 1992) สำหรับ pH ของดินในป่าชายเลนนั้นมีค่าตั้งแต่ 4.64 – 8.20 (Vasconcelos et al., 2014; Wakushima, Kuraishi and Sakurai, 1994) จึงมีโอกาที่ฟอสฟอรัสในดินของป่าชายเลนจะอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และทำให้ฟอสฟอรัสมักเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่าชายเลน

5. การดูดซึ่มกลับของสารอาหาร (nutrient resorption) ในใบของต้นไม้ป่าชายเลน

5.1 ความหมายและความสำคัญของการดูดซึ่มกลับของสารอาหาร (nutrient resorption)

การดูดซึ่มกลับของสารอาหาร (nutrient resorption) เป็นกระบวนการที่พืชดูดซึ่มกลับสารอาหารบางชนิด เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จากสารประกอบภายในเซลล์ของอวัยวะที่กำลังเข้าสู่ระยะเสื่อมตามอายุผ่านการย่อยโดยเอนไซม์ จากนั้นสารอาหารเหล่านี้จะถูกลำเลียงผ่านท่อลำเลียงอาหาร (phloem) กลับไปใช้ใหม่อีกครั้ง (Aerts, 1996; Brant and Chen, 2015) แม้จะมีรายงานว่า การดูดซึ่มกลับของสารอาหารในพืชสามารถเกิดได้ทั้งในใบ ลำต้น และราก แต่พบว่าการดูดซึ่มกลับของสารอาหารในใบก่อนที่ใบจะร่วงเกิดมากที่สุด (Brant and Chen, 2015) ประกอบกับการศึกษาในใบสามารถทำได้ง่ายกว่าส่วนอื่น ดังนั้นการศึกษากการดูดซึ่มกลับของสารอาหารในพืชจึงนิยมศึกษาในใบค่อนข้างมาก

กระบวนการดูดซึ่มกลับของสารอาหารทำให้พืชได้รับสารอาหารกลับมาใช้ใหม่เพิ่มเติมมากขึ้นจากที่ดูดซึ่มจากดินผ่านราก ทำให้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่

ขึ้นอยู่กับบริเวณที่มีสารอาหารในดินจำกัด (Aerts, 1996) จากการศึกษาของ May และ Killingbeck (1992) ที่ทดลองยับยั้งการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบของ *Quercus ilicifolia* โดยการตัดใบออกจากต้นก่อนที่ใบจะเริ่มเปลี่ยนสี ส่งผลให้การเพิ่มพูนของมวลชีวภาพ และการขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลงเมื่อเทียบกับชุดทดลองที่ไม่ได้ตัดใบ และปล่อยให้มีการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบเกิดขึ้นตามปกติ อีกทั้งจากการศึกษาของ Cao และคณะ (2015) ยังพบว่าสัมพันธ์ที่มีการดูดซึมน้ำกลับฟอสฟอรัสกลับไปใช้มากกว่าจะสามารถต้านทานศัตรูพืชได้ดีกว่า นอกจากนี้การศึกษาของ Song, Li และ Lowrie (2021) ยังพบว่าการดูดซึมน้ำกลับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มากขึ้นส่งผลให้ข้าวสาลีมีผลผลิตที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในพืชมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช อีกทั้งยังมีผลต่อปริมาณสารอาหารในซากพืชที่ร่วงหล่น (litterfall) จึงมีความสำคัญต่อการหมุนเวียนของสารอาหารในระบบนิเวศด้วย (Jiang et al., 2019; Kang et al., 2010; Waring, 2012)

Aerts (1996) ได้รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) และประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ในใบของพืชทั่วโลก และได้รายงานค่า NRE และ PRE โดยเฉลี่ยของพืชมีค่าประมาณ 50 และ 52% ตามลำดับ หลังจากนั้นในการศึกษาของ Yan, Zhu และ Yang (2018) ที่ได้รวบรวมข้อมูลการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบพืชมีเนื้อไม้จากทั่วโลกพบว่า NRE และ PRE มีค่า 48.4 และ 53.3% ตามลำดับ ขณะที่การศึกษาของ Jiang และคณะ (2019) ที่รวบรวมเฉพาะข้อมูลการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบของต้นไม้ในแปลงปลูกทั่วโลกพบว่า NRE และ PRE มีค่า 58.9 และ 60.2% ตามลำดับ และในการศึกษาล่าสุดของ He และคณะ (2020) ที่ได้ศึกษาสัดส่วนของ NRE ต่อ PRE จากพืชทั่วโลก ได้สรุปให้เห็นแนวโน้มว่าพืชโดยทั่วไปมีค่า PRE สูงกว่า NRE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าพืชมีการหมุนเวียนฟอสฟอรัสกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตผ่านกระบวนการดูดซึมน้ำกลับจากใบมากกว่าไนโตรเจน เนื่องจากแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในธรรมชาตินั้นมีความจำกัดกว่าแหล่งที่มาของไนโตรเจน โดยฟอสฟอรัสในดินส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการผุพังของแร่หิน (weathering) อีกทั้งยังเปลี่ยนรูปได้ง่าย (McGroddy, Daufresne and Hedin, 2004) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พืชทั่วไปมีแนวโน้มที่จะดูดซึมน้ำกลับฟอสฟอรัสจากใบกลับไปใช้ใหม่มากกว่าไนโตรเจน

5.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหาร (nutrient resorption)

ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบมีความผันแปรค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับทั้งปัจจัยทางกายภาพ เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิอากาศ (Yuan and Chen, 2009) และสารอาหารในดิน (Tully et al., 2013; Yan et al., 2015) เป็นต้น อีกทั้งยัง

เกี่ยวข้องกับปัจจัยทางชีวภาพ เช่น ภาวะการแข่งขัน (Primicia et al., 2014) และอายุพืช (Zhang et al., 2018) เป็นต้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Yan, Zhu และ Yang (2018) ได้รวบรวมข้อมูลจากหลายงานวิจัย ได้สรุปไว้ว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดความผันแปรของประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบพืช ได้แก่ ปริมาณสารอาหารในดิน กลุ่มพืชที่จำแนกตามหน้าที่ในระบบนิเวศ (functional group) และปัจจัยภูมิอากาศ โดยได้สรุปสาระสำคัญไว้ดังต่อไปนี้

1. พืชจะมี NRE เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินลดน้อยลงขณะที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง PRE และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน เนื่องจากพืชต้องดูดซึมน้ำกลับมาจากใบมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต

2. พืชไม่ผลัดใบ (evergreen plant) มี PRE สูงกว่าพืชผลัดใบ (deciduous plant) เนื่องจากอายุขัยใบของพืชไม่ผลัดใบจะยาวนานกว่าพืชผลัดใบ ทำให้สามารถเกิดการดูดซึมน้ำกลับได้มากกว่า นอกจากนี้พืชไม่ผลัดใบส่วนใหญ่มีถิ่นที่อยู่บริเวณที่มีฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดในเขตละติจูดต่ำ จึงต้องเพิ่มการดูดซึมน้ำกลับฟอสฟอรัสเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตในบริเวณดังกล่าวได้

3. พืชมี NRE และ PRE สูงขึ้นเมื่อขึ้นอยู่บริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปีต่ำ ดังนั้นพืชที่อยู่ในป่าสนเขตหนาว (boreal forest) และป่าเขตอบอุ่น (temperate forest) บริเวณละติจูดสูงจึงมีการดูดซึมน้ำกลับจากใบกลับไปใช้ใหม่มากกว่าพืชในป่าเขตร้อน (tropical forest) ที่ตั้งอยู่ในเขตละติจูดต่ำกว่า เนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่ต่ำจะส่งผลให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดินเกิดได้ช้า ส่งผลให้ดินมีสารอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยลง พืชจึงต้องดูดซึมน้ำกลับจากใบกลับไปใช้ใหม่มากขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต

5.3 การดูดซึมน้ำกลับของสารอาหาร (nutrient resorption) ของต้นไม้ป่าชายเลน

สำหรับการศึกษาดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบพืชป่าชายเลนนั้นมีรายงานไว้ว่าทั้ง NRE และ PRE มีค่าสูง เนื่องจากป่าชายเลนมีปริมาณสารอาหารในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย จากการศึกษาของ Rao และคณะ (1994) ได้ศึกษาดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบของต้นไม้ป่าชายเลนประเทศเคนยาหลายชนิด ได้แก่ 1) *Avicennia marina*, 2) *Bruguiera gymnorhiza*, 3) *Ceriops tagal*, 4) *Heritiera littoralis*, 5) *Lumnitzera racemosa*, 6) *Rhizophora mucronata*, 7) *Sonneratia alba* และ 8) *Xylocarpus granatum* โดยมี NRE ตั้งแต่ 53 - 69% โดยมีค่าสูงสุดใน *A. marina* และต่ำสุดใน *S. alba* และการศึกษาของ Almahsheer, Duarte และ Irigoien (2018) ใน *A. marina* ที่ป่าชายเลนบริเวณ Red Sea ซึ่งเป็นป่าชายเลนที่ตั้งอยู่ริมชายฝั่งทะเลและไม่มีแม่น้ำไหลผ่าน ทำให้มีความเค็มของดินสูงและสารอาหารในดินต่ำ โดยพบว่า NRE และ PRE มีค่ามากถึง 69 และ 72%

ขณะที่การศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซึ่มกลับของสารอาหารในป่าชายเลนนั้นยังมีไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะเน้นศึกษาการตอบสนองของการดูดซึ่มกลับของสารอาหารต่อการเพิ่มขึ้นของสารอาหารในดิน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความผันแปรของการตอบสนองนั้นค่อนข้างสูง จากการศึกษาของ Lovelock และคณะ (2007) ที่ได้ทดลองใส่ปุ๋ยให้ *A. marina* ในป่าชายเลนประเทศนิวซีแลนด์ บริเวณที่มีอัตราการตกตะกอนต่างกัน พบว่าการตอบสนองของการดูดซึ่มกลับของสารอาหารในใบต่อการเพิ่มขึ้นของสารอาหารมีความผันแปรในแต่ละพื้นที่ แต่มีแนวโน้มว่า NRE จะสูงขึ้นในแปลงศึกษาที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ขณะที่ PRE ไม่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

การศึกษาของ Medina, Fernandez และ Barboza (2015) ได้เลือกศึกษาการดูดซึ่มกลับของสารอาหารในใบต้นไม้ป่าชายเลนสองชนิดที่มีความสามารถในการปรับตัวต่อความเค็มต่างกัน ได้แก่ *R. mangle* ซึ่งมีกลไกที่เซลล์รากเลือกที่จะไม่ดูดเกลือ (salt excluder) และ *L. racemosa* ซึ่งมีกลไกที่สามารถขับเกลือผ่านทางต่อมที่แผ่นใบ (salt secretor) พบว่า *R. mangle* สามารถดูดซึ่มฟอสฟอรัสจากดินผ่านรากไปใช้ได้น้อยกว่า *L. racemosa* จึงต้องดูดซึ่มฟอสฟอรัสจากใบกลับมาใช้ใหม่มากขึ้น และส่งผลให้ *R. mangle* มี PRE สูงกว่า *L. racemosa* ขณะที่การศึกษาของ Wei, Kao และ Liu (2020) ใน *Aegiceras corniculatum* ระยะไม้หนุ่ม (sapling) พบว่า NRE กับ PRE มีค่าประมาณ 40% และไม่ตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของสารอาหารในดิน แต่การศึกษาของ Wei และคณะ (2020) ใน *Kandelia obovata* ในป่าชายเลนประเทศจีนกลับพบว่าทั้ง NRE และ PRE มีค่าเพิ่มขึ้นในดินที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากขึ้นตามลำดับ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความผันแปรตามฤดูกาลของการดูดซึ่มสารอาหารในใบของต้นไม้ป่าชายเลนบางชนิด ได้แก่ การศึกษาของ Wei และคณะ (2015) ที่ศึกษาใน *A. marina* ในป่าชายเลนประเทศจีน ซึ่งเป็นป่าชายเลนที่อยู่ในเขตกึ่งร้อนและมีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด พบว่าทั้ง NRE และ PRE มีความผันแปรตามฤดูกาลที่ไม่ชัดเจน แต่การศึกษาของ Alam และคณะ (2019) ที่ศึกษาใน *A. officinalis* ในป่าชายเลน Sundarbans ประเทศบังคลาเทศ กลับพบว่าทั้ง NRE และ PRE มีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของสารอาหารจะแปรผกผันกับปริมาณสารอาหารในดินรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำให้เมื่อเข้าสู่ฤดูมรสุมที่ปริมาณสารอาหารในดินเพิ่มมากขึ้น การดูดซึ่มกลับของสารอาหารในใบจะลดลง นอกจากนี้การศึกษาของ Nasrin, Hassain และ Rahman (2019) ก็พบความผันแปรตามฤดูกาลของ NRE และ PRE ของ *S. apetala* ในป่าชายเลน Sundarbans ประเทศบังคลาเทศเช่นเดียวกัน อีกทั้งยังพบว่านอกจากปริมาณสารอาหารในดินที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูมรสุม ความเข้มข้นของโซเดียมในดินที่ลดลงยังส่งผลให้การดูดซึ่มกลับของสารอาหารน้อยลงด้วย

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา

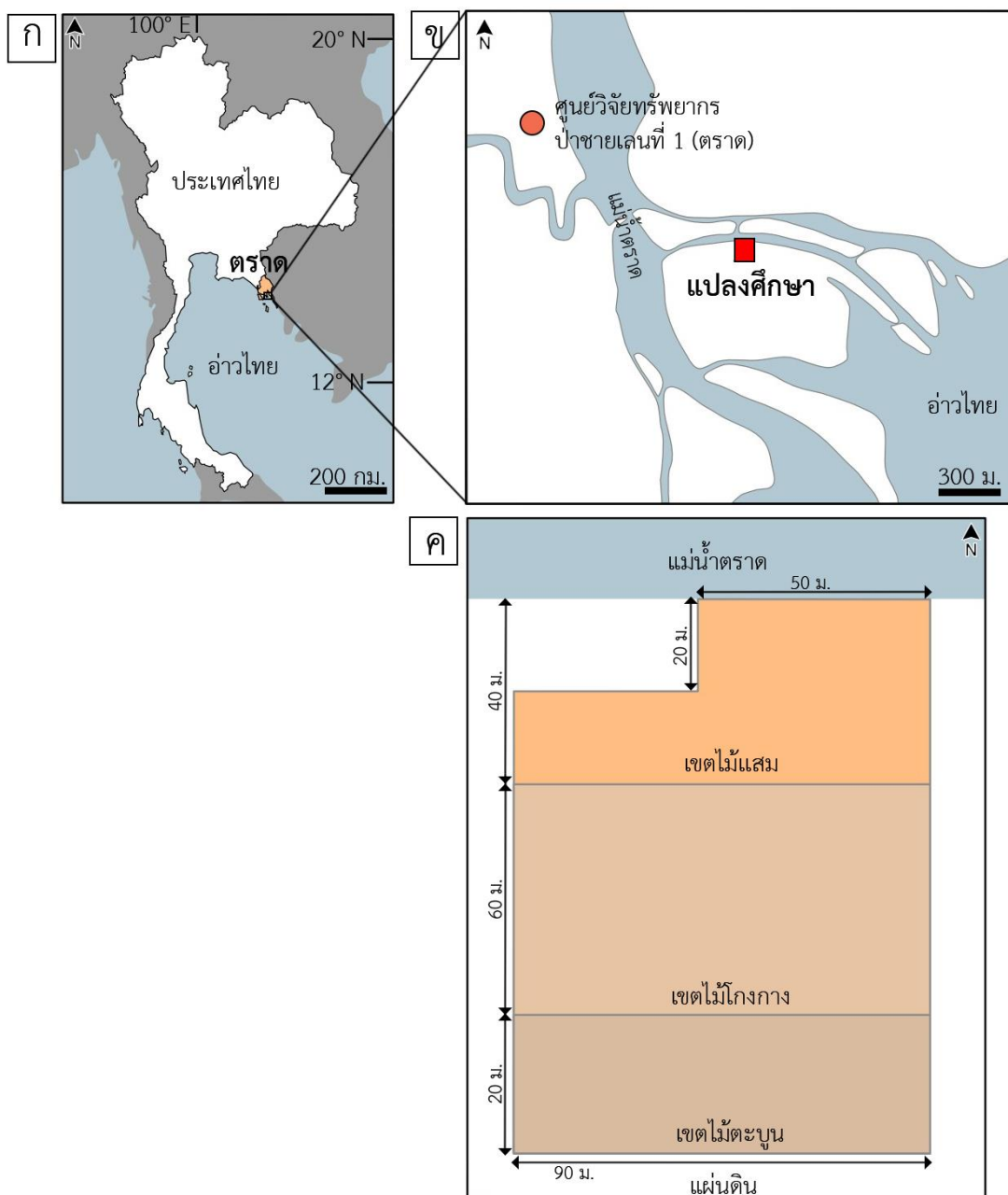
1. พื้นที่ศึกษา

1.1 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ป่าชายเลนสำหรับการศึกษาดังอยู่ที่จังหวัดตราด ซึ่งอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย (ภาพที่ 2ก) จังหวัดตราดมีพื้นที่ 2,819 ตารางกิโลเมตร แบ่งออกเป็น 7 อำเภอ มีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 9,915.87 เฮกตาร์ โดยอำเภอเมืองตราดเป็นอำเภอที่มีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุด มีพื้นที่ป่าชายเลนมากถึง 8,132.16 เฮกตาร์ คิดเป็น 82% ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมดในจังหวัดตราด (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2555) ป่าชายเลนส่วนใหญ่ในจังหวัดตราดเป็นป่าชายเลนรุ่นสอง (secondary mangrove forest) เนื่องจากเคยถูกรบกวนโดยกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การแปลงพื้นที่เป็นนาุ้ง และการตัดต้นไม้เพื่อนำไปใช้เป็นสิ่งปลูกสร้าง เชื้อเพลิง หรือเครื่องมือประมง เป็นต้น ก่อนที่จะปล่อยให้มีการฟื้นฟูตามธรรมชาติ (Pleeklam et al., 2016)

พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงศึกษาถาวรขนาด 1 เฮกตาร์ ตั้งอยู่ในป่าชายเลนรุ่นสอง บริเวณปากแม่น้ำตราด โดยมีพิกัด $12^{\circ} 12'$ เหนือ และ $102^{\circ} 33'$ ตะวันออก (ภาพที่ 2ข) วางแปลงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอยู่ภายใต้การดูแลของศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ภายในแปลงศึกษาถาวรมีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ (zonation) ตามชนิดไม้ต้นที่เด่น ออกเป็น 3 เขตพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนจากบริเวณริมแม่น้ำเข้าไปยังบริเวณแผ่นดิน ได้แก่ เขตไม้แสม (*Avicennia* zone) เขตไม้โกงกาง (*Rhizophora* zone) และเขตไม้ตะบูน (*Xylocarpus* zone) ตามลำดับ (ภาพที่ 2ค) (Umnouysin, Sangtjean and Pongparn, 2017) แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาภายในเขตไม้แสมซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับริมแม่น้ำมากที่สุด มีขนาดพื้นที่ ประมาณ 50×40 ตารางเมตร โดยมีแสมขาว (*Avicennia alba* Blume) เป็นพืชเด่น (ภาพที่ 2ค) เนื่องจากเป็นพืชเบิกนำ (pioneer species) ที่มีจะกระจายอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณใกล้กับปากแม่น้ำหรือชายฝั่งทะเล (Friess et al., 2012)



ภาพที่ 2 ตำแหน่งของจังหวัดตราด (ก) ที่ตั้งของแปลงศึกษาถาวรบริเวณปากแม่น้ำตราด (ข) และแปลงศึกษาถาวรที่มีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ (ค)

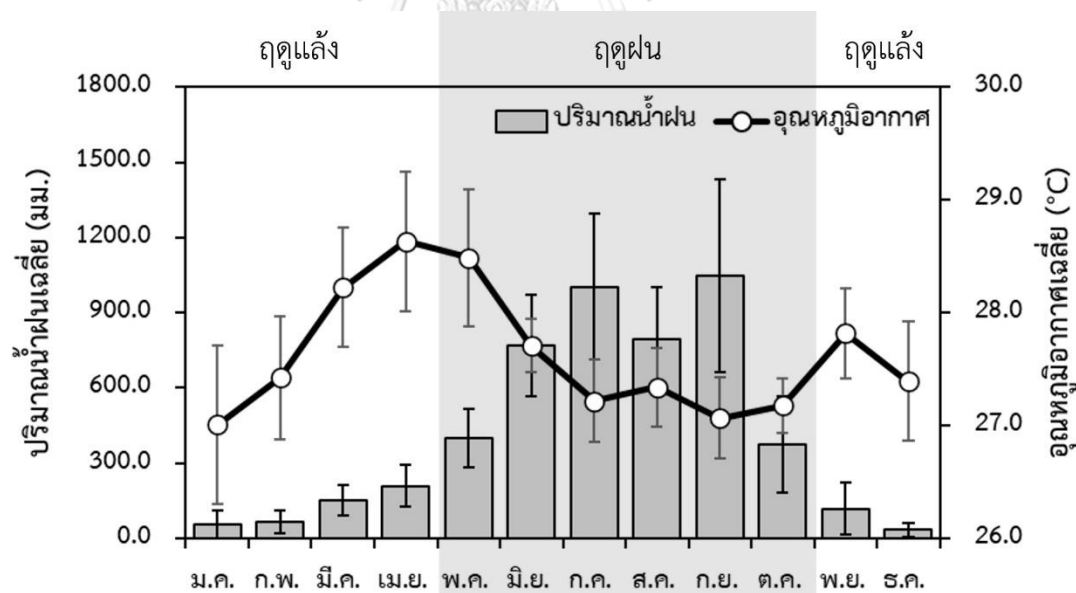
1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

จังหวัดตราดมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม อีกทั้งยังมีแนวเทือกเขาบรรทัดเป็นแนวปะทะกับลมพายุที่พัดมาจากด้านทิศตะวันออกของประเทศ จึงทำให้มีฝนตกชุกเกือบตลอดทั้งปี สามารถแบ่งฤดูกาลออกเป็น 2 ฤดู

ได้แก่ ฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน และฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม

จากข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่สถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด ของกรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ พ.ศ. 2550 – 2562 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 27.6 ± 0.7 °C อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 27.8 ± 0.8 °C และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 27.5 ± 0.6 °C โดยอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนจะต่ำสุดในเดือนมกราคมเท่ากับ 27.0 ± 0.7 °C และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนจะสูงสุดในเดือนเมษายนเท่ากับ 28.6 ± 0.6 °C ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูแล้ง (ภาพที่ 3)

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่สถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด ของกรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ พ.ศ. 2550 – 2562 พบว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ $4,996.4 \pm 636.2$ มิลลิเมตร โดยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนเท่ากับ $4,350.8 \pm 583.6$ มิลลิเมตร คิดเป็น 87.1 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝนรายปี ขณะที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 645.6 ± 149.4 มิลลิเมตร และคิดเป็น 12.9 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝนรายปี โดยมีปริมาณน้ำฝนต่ำสุดในเดือนธันวาคมเท่ากับ 36.1 ± 28.2 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในฤดูแล้ง และมีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนกันยายนเท่ากับ $1,036.8 \pm 399.9$ มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน (\pm SD) ในช่วง พ.ศ. 2550 – 2562 จากสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

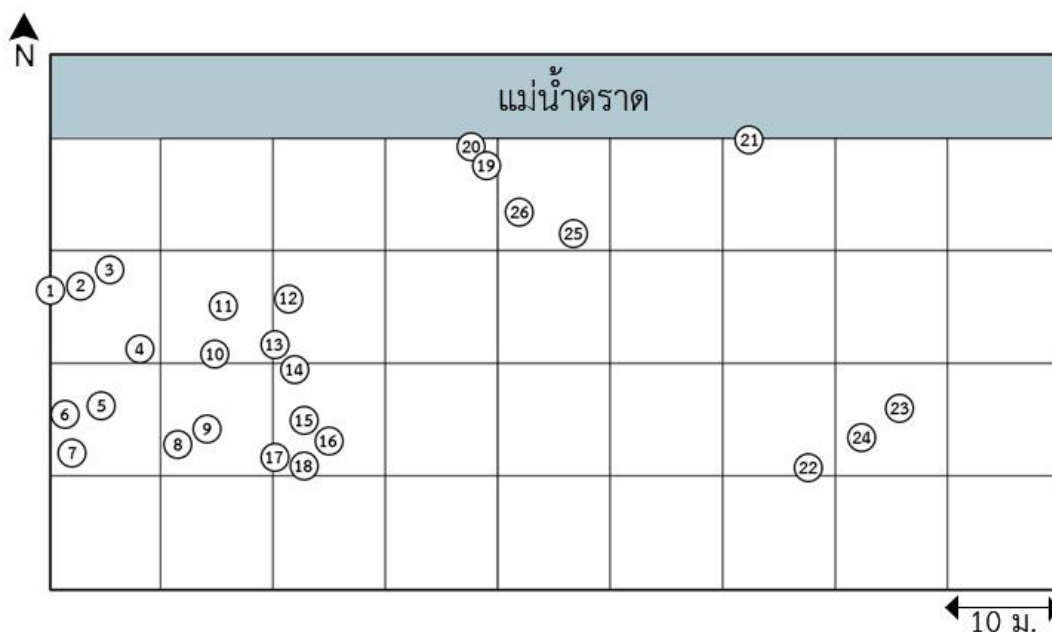
2. เลือกตัวอย่างต้นแสมขาว (*A. alba*)

เลือกต้นแสมขาว (*A. alba*) ภายในเขตไม้แสม เพื่อเป็นต้นไม้ตัวอย่างสำหรับทำการศึกษาในขั้นต่อไป โดยต้นแสมขาวที่เลือกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก (diameter at breast height; DBH) ตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป และเปลือกลำต้นที่วัดขนาด DBH จะต้องมียลักษณะเรียบสม่ำเสมอ ไม่มีรอยแตกและรอยบุ๋ม (ภาพที่ 4) โดยได้เลือก *A. alba* ที่มีลักษณะดังกล่าวไว้ทั้งหมดจำนวน 26 ต้น ในวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งกระจายอยู่ทั่วบริเวณเขตไม้แสม (ภาพที่ 5)

ทำการแบ่งกลุ่มต้น *A. alba* ที่เลือกไว้ตามขนาด DBH ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มต้นขนาดเล็ก (small tree; S) ซึ่งมีขนาด DBH ตั้งแต่ 10.0 – 20.0 เซนติเมตร กลุ่มต้นขนาดกลาง (medium tree; M) ซึ่งมีขนาด DBH ตั้งแต่ 20.1 – 30.0 เซนติเมตร และกลุ่มต้นขนาดใหญ่ (large tree; L) ซึ่งมีขนาด DBH ตั้งแต่ 30.1 เซนติเมตรขึ้นไป



ภาพที่ 4 ลำต้นของต้นแสมขาว (*A. alba*) ที่เหมาะสำหรับทำการศึกษา มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ และไม่มีรอยแตกและรอยบุ๋ม



ภาพที่ 5 ตำแหน่งของแสมขาว (*A. alba*) ตัวอย่างจำนวน 26 ต้น ที่กระจายอยู่ภายในเขตไม้แสม

3. ศึกษาการเติบโตของลำต้น (trunk growth)

ศึกษาการเติบโตของลำต้นของต้นแสมขาว (*A. alba*) ที่เลือกไว้โดยการบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่เพิ่มขึ้นด้วยวิธี dendrometer-band method (Drew and Downes, 2009) ทำการบันทึกขนาด DBH ของต้น *A. alba* ตัวอย่างก่อนติดตั้งแถบ dendrometer ตามแนวระดับที่วัด DBH ของลำต้นของ *A. alba* ที่เลือกไว้ทั้ง 26 ต้น (ภาพที่ 6) เมื่อวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2562

แถบ dendrometer ประกอบด้วยสายอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร หนา 0.02 เซนติเมตร มีเวอร์เนียสเกลความละเอียด 0.1 มิลลิเมตรอยู่บนสาย (ภาพที่ 7) พร้อมทั้งมีสปริงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตรและความยาว 5 เซนติเมตรติดอยู่บริเวณปลายสายด้านหนึ่ง ทำให้เมื่อต้นไม้มีการเติบโตของลำต้น ขนาดเส้นรอบวงลำต้นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สปริงที่ติดอยู่กับแถบ dendrometer ยืดออก ค่าที่อ่านได้จากเวอร์เนียสเกลจึงเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 6 การบันทึกขนาด DBH ก่อนติดตั้งแถบ dendrometer บนลำต้นแสมขาว (*A. alba*) (ก) และแถบ dendrometer ที่ติดตั้งแล้วบนต้นแสมขาว (*A. alba*) (ข)



ภาพที่ 7 เวอร์เนียสเกลที่อยู่บนแถบ dendrometer และตัวอย่างการอ่านค่าจากสเกล

บันทึกเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่เพิ่มขึ้นจากการอ่านเวอร์เนียสเกลบนแถบ dendrometer ในทุก ๆ สัปดาห์สุดท้ายของเดือน เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี โดยเริ่มบันทึกครั้งแรกในวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2562 แต่เนื่องจากในช่วงระยะเวลา 2 – 3 เดือนแรกหลังจากติดตั้งแถบ dendrometer บนลำต้น แถบ dendrometer อาจยังไม่แนบติดแน่นกับพื้นผิวลำต้นเพียงพอ ขนาดที่บันทึกได้จากการขยายสปริงของ dendrometer จึงอาจไม่สะท้อนการเติบโตของลำต้นที่แท้จริง ดังนั้นจึงต้องใช้

ค่าที่บันทึกได้ตั้งแต่สัปดาห์สุดท้ายของเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 เป็นต้นไปในการวิเคราะห์การเติบโตของลำต้น

คำนวณพื้นที่หน้าตัดลำต้น (basal area; BA) ที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือน เป็นระยะเวลา 1 ปี โดยเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ตามวิธีของ Komiyama และคณะ (2019) โดยสมมติให้เดือนที่สนใจคือเดือน M วิธีการคำนวณพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในเดือน M จะต้องนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ได้จากการบันทึกเวอร์เนียสเกลบนแถบ dendrometer ใน 3 ช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกันมาประกอบการคำนวณ ได้แก่ 1) ข้อมูลจากเดือนก่อนเดือน M โดยกำหนดให้เป็นเวลา t_1 2) ข้อมูลในเดือน M โดยกำหนดให้เป็นเวลา t_2 และ 3) ข้อมูลในเดือนถัดจากเดือน M โดยกำหนดให้เป็นเวลา t_3

นำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่บันทึกได้ในเวลา t_1 , t_2 และ t_3 คำนวณเป็นพื้นที่หน้าตัดลำต้น โดยสมมติให้ลำต้นของ *A. alba* มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม จากนั้นกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดลำต้นที่คำนวณได้ในเวลา t_1 , t_2 และ t_3 มีค่าเป็น BA_1 , BA_2 และ BA_3 ตามลำดับ แล้วจึงคำนวณพื้นที่หน้าตัดลำต้น *A. alba* ที่เพิ่มพูนในเดือน M (ΔBA_M) ดังสมการที่ 1

$$\Delta BA_M = \left(\frac{c\Delta BA_{1-2}}{d} + \frac{e\Delta BA_{2-3}}{f} \right) \quad (\text{สมการที่ 1})$$

- โดย ΔBA_M คือ พื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในเดือน M
 ΔBA_{1-2} คือ พื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2
 ΔBA_{2-3} คือ พื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3
 c คือ จำนวนวันจากวันแรกของเดือน M ไปจนถึงเวลา t_2
 d คือ จำนวนวันในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2
 e คือ จำนวนวันจากเวลา t_2 ไปจนถึงวันสุดท้ายของเดือน M
 f คือ จำนวนวันในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3

คำนวณสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดลำต้นในแต่ละเดือนเมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดลำต้นทั้งหมดตลอดระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ดังสมการที่ 2

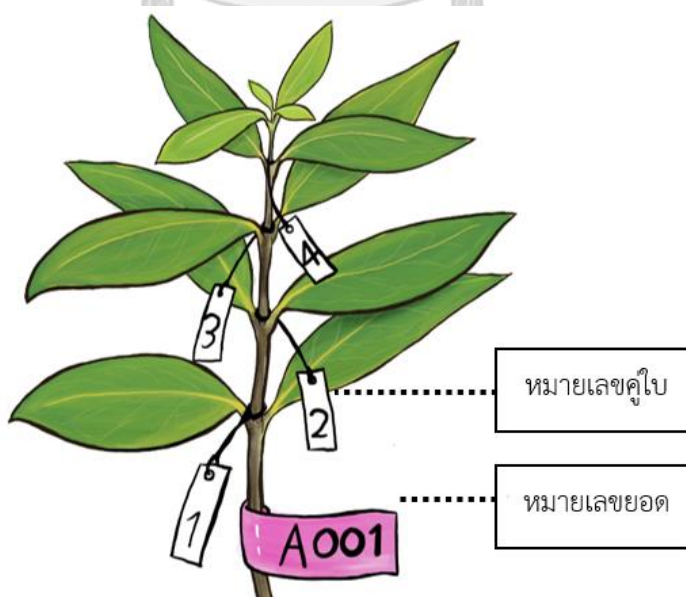
$$\%BA_M = \frac{100\Delta BA_M}{\Delta BA_T} \quad (\text{สมการที่ 2})$$

โดย	$\% \Delta BA_M$	คือ สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในเดือน M
	ΔBA_M	คือ พื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในเดือน M
	ΔBA_T	คือ พื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนทั้งหมดใน 1 ปี

4. ศึกษาการผลและการร่วงของใบ (leaf emergence and loss)

เลือกต้นแสมขาว (*A. alba*) จำนวน 4 ต้น ที่มีความสูงไม่เกิน 10 เมตร จาก *A. alba* ที่เลือกไว้สำหรับศึกษาการเติบโตลำต้นในหัวข้อที่ 3 จากนั้นเลือกยอดจำนวน 6 – 10 ยอดต่อต้น เพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับการศึกษาการผลและการร่วงของใบโดยวิธี tagging method (Ochieng and Erftemeijer, 2002) โดยยอดที่เลือกต้องประกอบไปด้วยใบที่มีแผ่นใบสมบูรณ์ ไม่มีรอยฉีกขาด และไม่มียอยการเข้าทำลายของแมลงหรือเชื้อโรคศัตรูพืช ซึ่งได้เลือกยอดที่มีลักษณะดังกล่าวไว้ทั้งหมดจำนวน 45 ยอด ในวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ทำการติดหมายเลขตัวอย่างให้กับยอดที่เลือกไว้ จากนั้นติดหมายเลขให้คูใบแต่ละคู่ เริ่มจากติดหมายเลข 1 ให้คูใบที่อยู่ล่างสุดและติดหมายเลขลำดับต่อไปเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงคูใบที่อยู่ปลายยอด (ภาพที่ 8) จากนั้นบันทึกและติดตามจำนวนใบที่ผลิใหม่และใบที่ร่วงในทุก ๆ สัปดาห์สุดท้ายของเดือน พร้อมทั้งติดหมายเลขให้คูใบที่ผลิใหม่ โดยเริ่มบันทึกข้อมูลดังกล่าวในวันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2562 จนถึงวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2563



ภาพที่ 8 การติดหมายเลขเพื่อติดตามการผลและการร่วงของใบแสมขาว (*A. alba*) โดยติดหมายเลขให้คูใบที่อยู่ล่างสุดเป็นหมายเลข 1 และมีหมายเลขเพิ่มขึ้นตามลำดับจนถึงคูใบที่อยู่ปลายยอด

คำนวณอัตราการผลิและร่วงของใบในแต่ละยอด รายเดือน เป็นระยะเวลา 1 ปี โดยเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ตามวิธีการคำนวณที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Ochieng และ Erftemijer (2002) และ Komiyama และคณะ (2019) โดยสมมติให้เดือนที่สนใจคือเดือน M วิธีการคำนวณอัตราการผลิและร่วงของใบในเดือน M จะนำข้อมูลที่บันทึกได้ใน 3 ช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกันมาประกอบการคำนวณ ได้แก่ 1) ข้อมูลจากเดือนก่อนเดือน M โดยกำหนดให้เป็นเวลา t_1 2) ข้อมูลในเดือน M โดยกำหนดให้เป็นเวลา t_2 และ 3) ข้อมูลในเดือนถัดจากเดือน M โดยกำหนดให้เป็นเวลา t_3 จากนั้นคำนวณอัตราการผลิและร่วงของใบในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ของแต่ละยอด ดังสมการที่ 3

$$3\%R_{1-2} = \frac{100n}{T_1} \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดย $\%R_{1-2}$ คือ อัตราการผลิหรือการร่วงของใบในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2
 n คือ จำนวนใบที่เพิ่มขึ้นหรือร่วงไปจากยอดในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2
 T_1 คือ จำนวนใบทั้งหมดที่ติดอยู่บนยอด ณ เวลา t_1

คำนวณอัตราการผลิและร่วงของใบในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 ของแต่ละยอด ($\%R_{2-3}$) โดยใช้สมการที่ 3 เช่นเดียวกับการคำนวณอัตราการผลิและร่วงของใบในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

จากนั้นคำนวณอัตราการผลิและการร่วงของใบแต่ละยอดในเดือน M ($\%R_M$) โดยวิธีที่ดัดแปลงมาจากการคำนวณพื้นที่หน้าตัดลำต้น *A. alba* ที่เพิ่มพูนของ Komiyama และคณะ (2019) ดังสมการที่ 4

$$\%R_M = \left(\frac{cR_{1-2}}{d} + \frac{eR_{2-3}}{f} \right) \quad (\text{สมการที่ 4})$$

โดย $\%R_M$ คือ อัตราการผลิหรือร่วงของใบในเดือน M
 $\%R_{1-2}$ คือ อัตราการผลิหรือการร่วงของใบในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2
 $\%R_{2-3}$ คือ อัตราการผลิหรือการร่วงของใบในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3
 c คือ จำนวนวันจากวันแรกของเดือน M ไปจนถึงเวลา t_2
 d คือ จำนวนวันในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2
 e คือ จำนวนวันจากเวลา t_2 ไปจนถึงวันสุดท้ายของเดือน M
 f คือ จำนวนวันในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3

คำนวณอัตราการผลิและร่วงของใบเฉลี่ยของต้น *A. alba* แต่ละต้นในแต่ละเดือน เป็นระยะเวลา 1 ปี โดยเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563

5. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (nitrogen and phosphorus resorption efficiency) ในใบ

เก็บตัวอย่างใบแสมขาว (*A. alba*) ใน 2 ระยะ ได้แก่ ใบในระยะที่เจริญเต็มที่และมีสีเขียว (mature leaf) ซึ่งมักจะเป็นตำแหน่งใบคู่ที่ 3 – 4 นับจากปลายยอด และใบในระยะที่เสื่อมตามอายุ (senescence leaf) และมีสีเหลือง ซึ่งปกติจะเป็นใบคู่ที่อยู่ล่างสุดนับจากปลายยอด (ภาพที่ 9) ระยะละประมาณ 30 – 40 ใบ จากต้นตัวอย่างจำนวน 4 ต้นที่เลือกไว้สำหรับศึกษาการผลิและการร่วงของใบในหัวข้อที่ 4 โดยตัวอย่างใบที่เก็บทั้ง 2 ระยะจะต้องมีลักษณะแผ่นใบสมบูรณ์ ไม่มีรอยฉีกขาดและไม่มีรอยการเข้าทำลายของแมลงหรือเชื้อโรคศัตรูพืช

เก็บตัวอย่างใบจำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ช่วงฤดูฝน (วันที่ 16 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562) ช่วงที่ฤดูฝนกำลังเปลี่ยนเป็นฤดูแล้ง (วันที่ 26 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562) ช่วงฤดูแล้ง (วันที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563) และช่วงที่ฤดูแล้งกำลังเปลี่ยนเป็นฤดูฝน (วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2563)



ภาพที่ 9 ใบแสมขาว (*A. alba*) ในระยะที่เจริญเต็มที่ซึ่งมีสีเขียว (mature leaf) (ก) และในระยะที่เสื่อมตามอายุซึ่งมีสีเหลือง (senescence leaf) (ข)

นำตัวอย่างใบมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 °C จนกว่าน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด ก่อนที่จะส่งไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon; TC) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen; TN) โดยใช้เครื่อง Elemental analyzer และฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus; TP) ด้วยวิธี Vanado molybdophosphoric acid method (Estefan, Sommer and Ryan, 2013)

คำนวณประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) และประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ด้วยสมการที่ 5 (Killingbeck, 1996)

$$\%RE = \frac{100(A_1 - A_2)}{A_1} \quad (\text{สมการที่ 5})$$

เมื่อ %RE คือ ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในใบ
 A_1 คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบที่เจริญเต็มที่
 A_2 คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบที่เสื่อมตามอายุ

6. ศึกษาข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศ

6.1 สภาพภูมิอากาศ

บันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนอย่างต่อเนื่อง ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ด้วยสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ (vantage pro2; Davis Corp.) ที่ติดตั้งอยู่บริเวณศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) (ภาพที่ 10) และบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและดินที่ความลึก 10 เซนติเมตรจากผิวดินภายในเขตไม้แสม ทุก ๆ 1 ชั่วโมงด้วยอุปกรณ์ temperature data loggers (TidbiT v2 Temp logger; Onset Computer Corp., Bourne, Ltd., MA) ตลอดระยะเวลาทำการศึกษา เป็นระยะเวลา 1 ปี โดยเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563

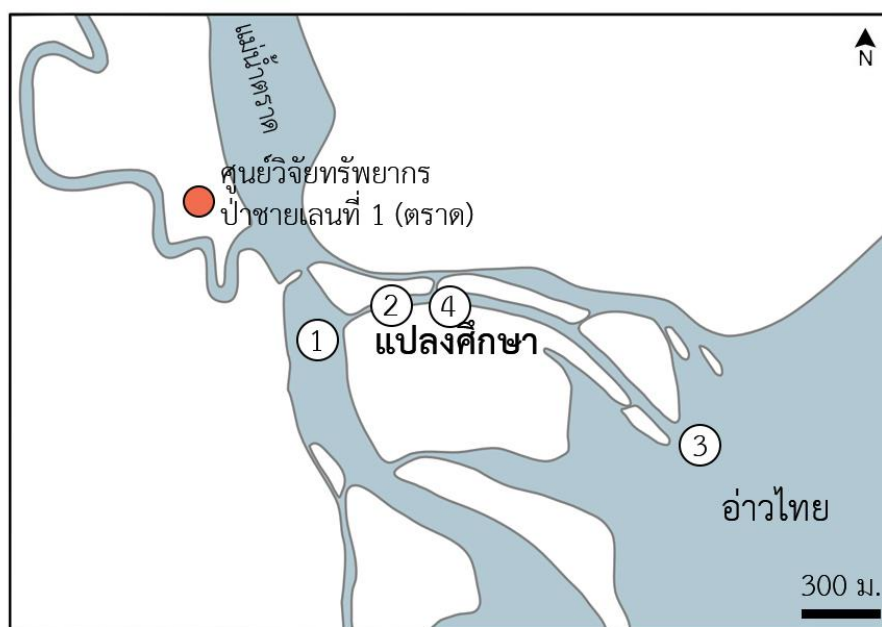


ภาพที่ 10 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด)

6.2 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 4 จุด ซึ่งประกอบไปด้วยจุดที่ 1 บริเวณแม่น้ำสายหลัก จุดที่ 2 บริเวณแม่น้ำสาขาหน้าแปลงศึกษาถาวร จุดที่ 3 บริเวณปากแม่น้ำสาขาที่ไหลออกสู่ทะเลอ่าวไทย และจุดที่ 4 บริเวณเขตไม้แสมภายในแปลงศึกษาถาวร (ภาพที่ 11) โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 3 ในช่วงน้ำขึ้นและช่วงน้ำลง ที่ระดับความลึก 0 – 1 เมตรจากระดับผิวน้ำ และเก็บตัวอย่างจากจุดที่ 4 จากน้ำที่เข้าท่วมขังในช่วงเวลาน้ำขึ้นภายในเขตไม้แสม โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่าง polyethylene ปริมาตรประมาณ 300 มิลลิลิตร ซึ่งในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง วัดอุณหภูมิและวัดความเค็มของน้ำโดยใช้ thermometer และ salinity meter (YK-31SA; SatoTech, Kawasaki, Japan) ตามลำดับ

จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างน้ำไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 4 °C ก่อนนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ TN ในน้ำโดยวิธี Kjeldahl nitrogen และ ความเข้มข้นของ TP ในน้ำ โดยวิธี Vanado molybdophosphoric acid method (Estefan, Sommer and Ryan, 2013) โดยเก็บตัวอย่างน้ำทุกเดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 เป็นระยะเวลา 1 ปี

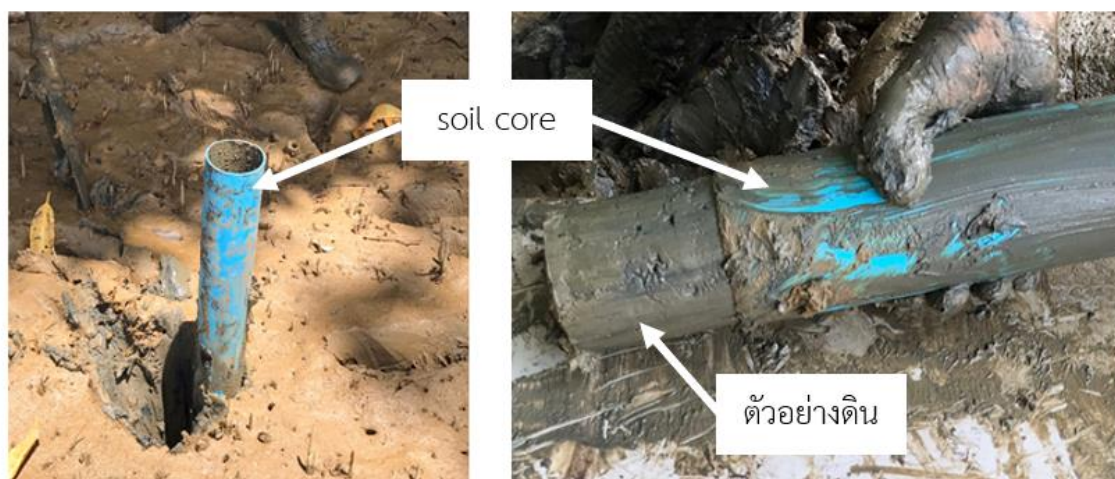


ภาพที่ 11 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยจุดที่ 1 บริเวณแม่น้ำสายหลัก, จุดที่ 2 แม่น้ำสาขา บริเวณหน้าแปลงศึกษาถาวร, จุดที่ 3 บริเวณปากอ่าวที่แม่น้ำสาขาไหลออกสู่ทะเล และจุดที่ 4 บริเวณเขตไม้แสมในแปลงศึกษาถาวร

6.3 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน

ใช้ soil core ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 40 ตารางเซนติเมตร เก็บตัวอย่างดินในช่วงน้ำลง จากจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุดที่สุ่มกระจายอยู่ในเขตไม้แสม โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 – 30 เซนติเมตรจากผิวดิน (ภาพที่ 12) จำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ช่วงฤดูฝน (วันที่ 16 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562) ช่วงที่ฤดูฝนกำลังเปลี่ยนเป็นฤดูแล้ง (วันที่ 23 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562) ช่วงฤดูแล้ง (วันที่ 12 เดือนมกราคม พ.ศ. 2563) และช่วงที่ฤดูแล้งกำลังเปลี่ยนเป็นฤดูฝน (วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2563)

นำตัวอย่างดินกลับมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air dry) ที่ห้องปฏิบัติการ ก่อนจะนำไปบดให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดตา 2 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ผ่านการร่อนแล้วไปวิเคราะห์หาปริมาณ TC และ TN ในดิน โดยใช้เครื่อง Elemental analyzer และปริมาณ TP ในดิน ด้วยวิธี Vanado molybdophosphoric acid method (Estefan, Sommer and Ryan, 2013)



ภาพที่ 12 การใช้ soil core เพื่อเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 – 30 เซนติเมตรจากผิวดิน

7. วิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 22 สำหรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (IBM Corp., Armonk, NY, USA) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% โดยวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการเติบโตของลำต้น อัตราการผลิและร่วงของใบ และประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในใบของแสมขาว (*A. alba*) ในฤดูฝนและฤดูแล้ง รวมถึงวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ระดับความเค็มของน้ำ ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำและดิน และสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศในฤดูฝนและฤดูแล้ง ด้วยวิธี independent t-test และ one-way ANOVA

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของลำต้น อัตราการผลิและร่วงของใบ และ ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในใบของ *A. alba* รวมถึงวิเคราะห์ สหสัมพันธ์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น อัตราการผลิและร่วงของใบ และ ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในใบของ *A. alba* ด้วยวิธี Pearson correlation

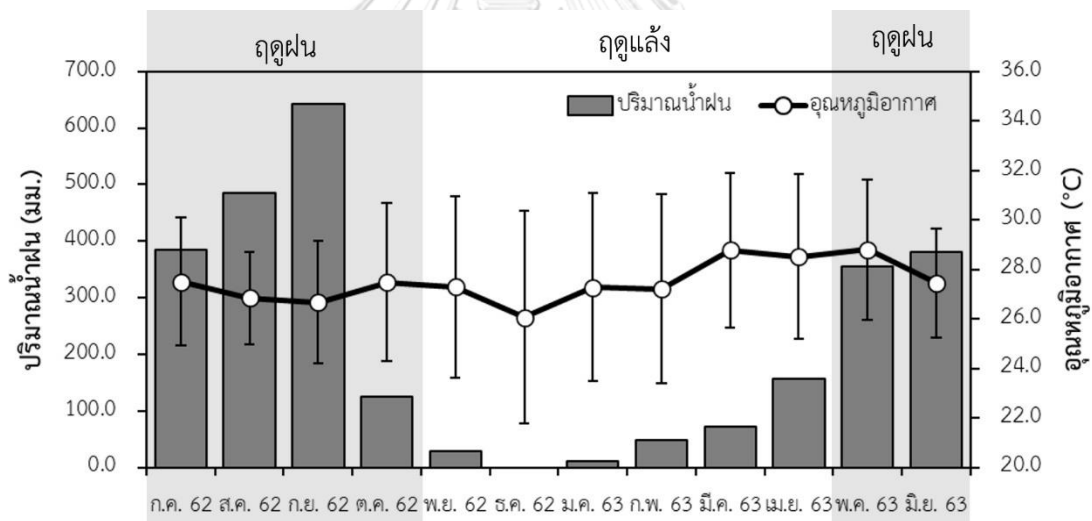


บทที่ 4 ผลการศึกษา

1. ปัจจัยภูมิอากาศ

1.1 ปริมาณน้ำฝน

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่บริเวณศูนย์วิจัย
ทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) พบว่าปริมาณน้ำฝนรวมทั้งหมดตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562
จนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 เท่ากับ 2,686.2 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม
ถึงตุลาคม) เท่ากับ 2,372.4 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายนถึง
เมษายน) เท่ากับ 313.8 มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็น 88.3 และ 11.7% ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมด ตามลำดับ
โดยเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุดคือกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 643.2
มิลลิเมตร ส่วนในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 พบว่าไม่มีฝนตก (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน (\pm SD) จากสถานีตรวจวัดสภาพ
ภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่บริเวณศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ.
2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563

จำนวนวันที่มีฝนตกและปริมาณน้ำฝนต่อวันแสดงดังตารางที่ 1 โดยพบว่าตลอดระยะเวลาที่
ทำการศึกษาดังตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2563 มีวันที่ฝนตก
ทั้งหมด 184 วัน เดือนที่มีจำนวนวันที่ฝนตกมากที่สุดคือเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งมีจำนวนวันที่ฝน
ตกทั้งหมด 28 วัน และมีปริมาณน้ำฝนต่อวันเท่ากับ 17.4 มิลลิเมตร ส่วนเดือนที่มีจำนวนวันที่ฝนตก

น้อยที่สุดคือเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ซึ่งมีวันที่ฝนตกทั้งหมด 3 วัน ขณะที่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ไม่มีฝนตก

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำฝน วันที่มีฝนตก ปริมาณน้ำฝนต่อวันและอุณหภูมิอากาศรายเดือนจากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่บริเวณศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563

เดือน พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	วันที่มีฝนตก (วัน)	ปริมาณน้ำฝนต่อวัน (มิลลิเมตรต่อวัน)	อุณหภูมิ อากาศ (°C)
กรกฎาคม 2562	384.2	23	16.7	27.5 ± 2.6
สิงหาคม 2562	485.8	28	17.4	26.8 ± 1.9
กันยายน 2562	643.2	24	26.8	26.7 ± 2.5
ตุลาคม 2562	124.9	17	7.3	27.5 ± 3.2
พฤศจิกายน 2562	27.9	6	4.7	27.3 ± 3.7
ธันวาคม 2562	0.0	0	0.0	26.1 ± 4.3
มกราคม 2563	9.9	3	3.3	27.3 ± 3.8
กุมภาพันธ์ 2563	48.3	4	12.1	27.2 ± 3.8
มีนาคม 2563	71.9	12	6.0	28.8 ± 3.1
เมษายน 2563	155.9	15	10.4	28.5 ± 3.3
พฤษภาคม 2563	354.5	27	13.1	28.8 ± 2.8
มิถุนายน 2563	379.8	25	15.2	27.4 ± 2.2

1.2 อุณหภูมิอากาศ

จากข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ได้จากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่บริเวณศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 มีค่าเท่ากับ 27.5 ± 3.3 °C โดยอุณหภูมิอากาศมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดปี และยังพบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $t = -0.132$, $p = 0.898$) ถึงแม้ว่าเดือนที่มีอุณหภูมิอากาศสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 28.8 ± 2.8 °C ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน และเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 26.1 ± 4.3 °C ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูแล้ง (ภาพที่ 13 และตารางที่ 1) นอกจากนี้ยังไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรายเดือนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน

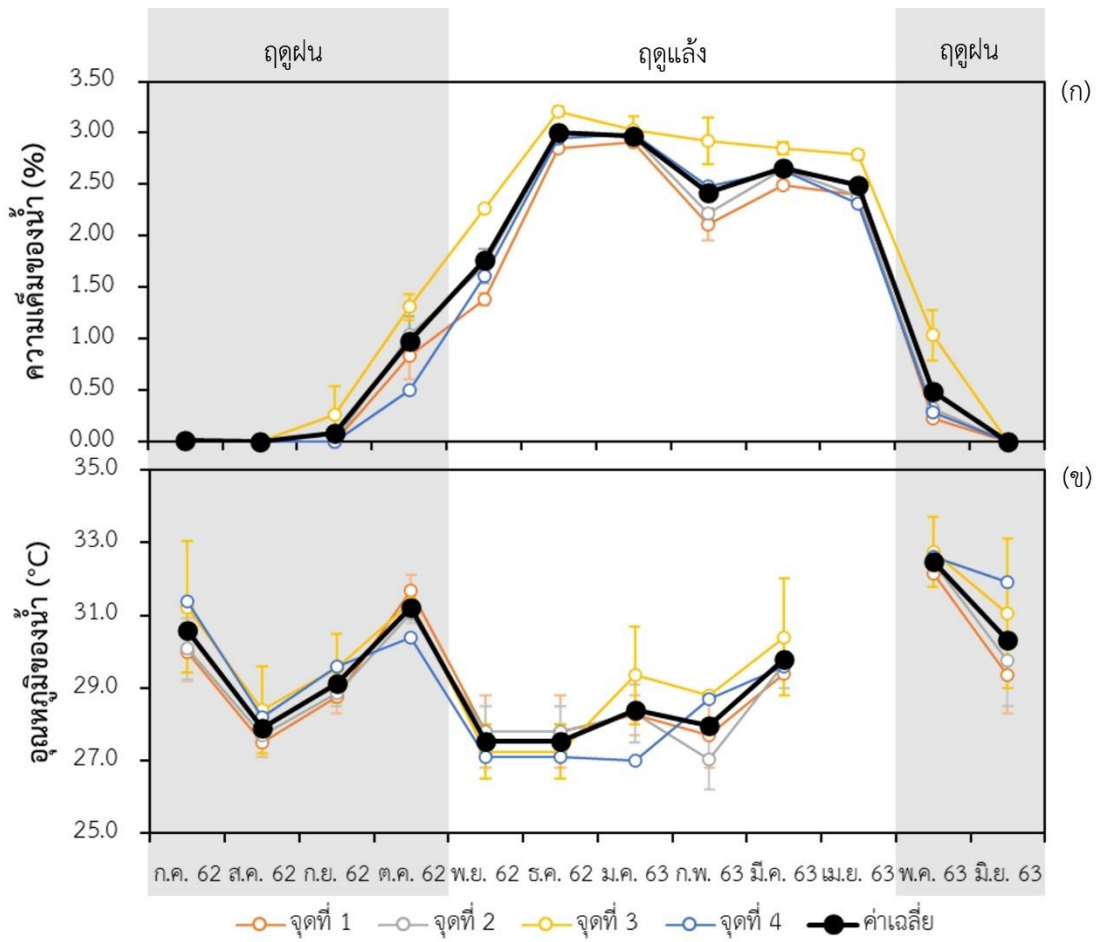
ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและดินจากภายในเขตไม้แสม ที่บันทึกด้วยอุปกรณ์ temperature data logger นั้นไม่สามารถนำข้อมูลมารายงานได้ เนื่องจากอุปกรณ์มีปัญหาเกี่ยวกับแบตเตอรี่ และไม่สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงใช้เพียงข้อมูลอุณหภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ติดตั้งอยู่บริเวณศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) เท่านั้น

2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

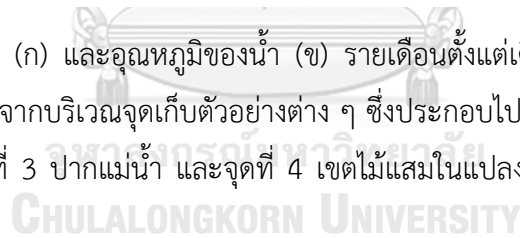
2.1 ความเค็มของน้ำ

จากข้อมูลความเค็มของน้ำในจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ตลอดแม่น้ำตราด ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 พบว่าความเค็มของน้ำเฉลี่ยจากทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่า $1.41 \pm 1.23\%$ และความเค็มของน้ำรายเดือนมีความแปรผันตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยความเค็มของน้ำจะมีค่า 0.00% ในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงกันยายน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นในเดือนตุลาคมจนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ $3.01 \pm 0.14\%$ ในเดือนธันวาคม และมีค่าสูงตลอดช่วงฤดูแล้ง ก่อนที่จะลดลงจนมีค่าประมาณ 0.00% อีกครั้งในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 (ภาพที่ 14ก) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความเค็มเฉลี่ยของน้ำในช่วงฤดูฝนมีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.26 \pm 0.42\%$ และ $2.55 \pm 0.48\%$ ตามลำดับ (t-test, $t = -22.93$, $p < 0.001$) (ตารางที่ 2)

นอกจากนี้ยังพบว่าความเค็มเฉลี่ยของน้ำระหว่างจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในช่วงฤดูฝน (ANOVA, $F = 1.053$, $p = 0.381$) และช่วงฤดูแล้ง (ANOVA, $F = 2.405$, $p = 0.820$) ยังพบอีกว่าความเค็มของน้ำในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ทั้งในช่วงฤดูฝน (t-test, $t = -0.423$, $p = 0.674$) และช่วงฤดูแล้ง (t-test, $t = 0.069$, $p = 0.946$) (ตารางที่ 2 และภาพที่ 15)



ภาพที่ 14 ความเค็ม (ก) และอุณหภูมิของน้ำ (ข) รายเดือนตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย จุดที่ 1 แม่น้ำสายหลัก จุดที่ 2 แม่น้ำสาขา จุดที่ 3 ปากแม่น้ำ และจุดที่ 4 เขตไม้แสมในแปลงศึกษา โดยแถบค่าคลาดเคลื่อน แสดง SD



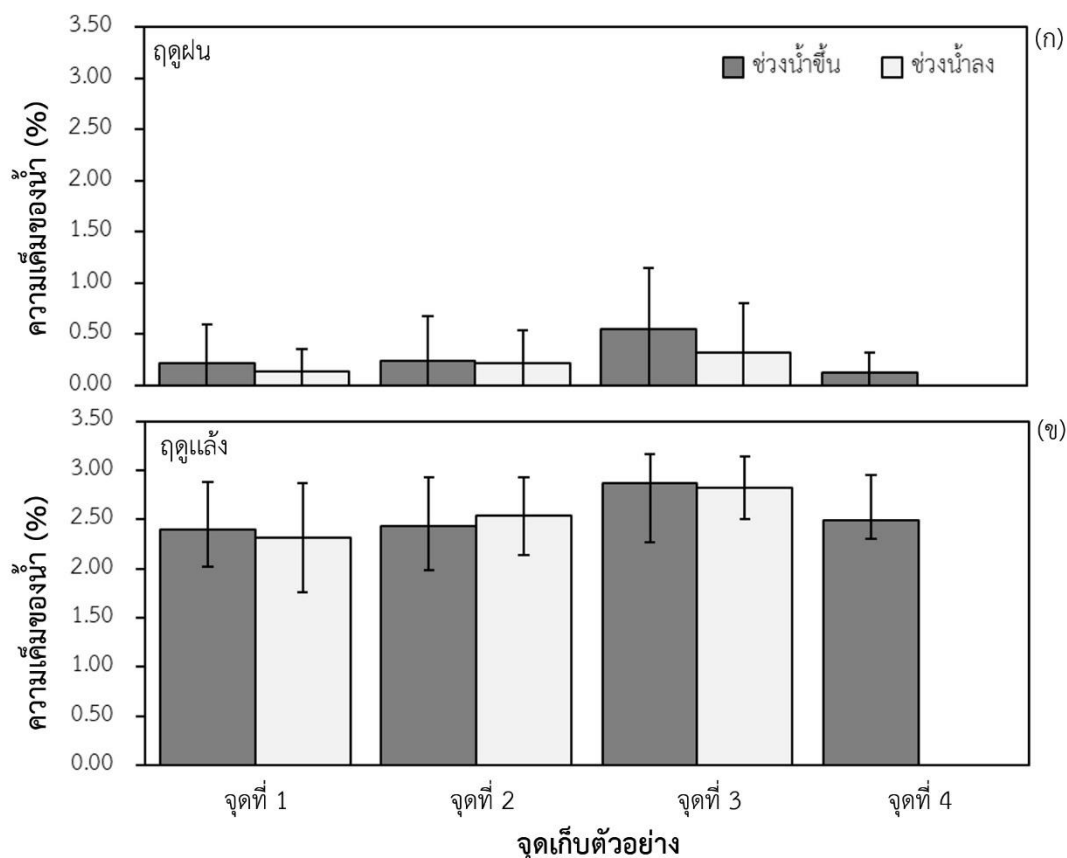
ตารางที่ 2 ความเค็ม (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ในช่วงน้ำขึ้นและในช่วงน้ำลงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

ฤดูกาล	จุดเก็บตัวอย่าง*	ความเค็มช่วงน้ำขึ้น (%)	ความเค็มช่วงน้ำลง (%)	ความเค็มเฉลี่ย (%)
ฤดูฝน	เฉลี่ยทุกจุด	0.33 \pm 0.51	0.23 \pm 0.37	0.26 \pm 0.42 ^b
	1	0.22 \pm 0.38	0.13 \pm 0.22	0.18 \pm 0.32
	2	0.24 \pm 0.45	0.22 \pm 0.33	0.23 \pm 0.39
	3	0.55 \pm 0.60	0.33 \pm 0.48	0.44 \pm 0.55
	4	-	-	0.13 \pm 0.19
ฤดูแล้ง	เฉลี่ยทุกจุด	2.57 \pm 0.49	2.56 \pm 0.48	2.55 \pm 0.48 ^a
	1	2.40 \pm 0.48	2.32 \pm 0.55	2.36 \pm 0.52
	2	2.43 \pm 0.50	2.54 \pm 0.40	2.48 \pm 0.45
	3	2.87 \pm 0.30	2.82 \pm 0.32	2.84 \pm 0.31
	4	-	-	2.50 \pm 0.46

หมายเหตุ

* จุดที่ 1 คือบริเวณแม่น้ำสายหลัก จุดที่ 2 คือบริเวณแม่น้ำสาขาหน้าแปลงศึกษา จุดที่ 3 คือบริเวณปากแม่น้ำสาขาที่ไหลออกสู่ทะเลอ่าวไทย ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำทั้งช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง และจุดที่ 4 คือบริเวณเขตไม้แสม ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำช่วงน้ำขึ้นเท่านั้น

** ตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเค็มของน้ำเฉลี่ยทุกจุดระหว่างช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี independence t-test



ภาพที่ 15 ความเค็มเฉลี่ย (\pm SD) ของน้ำในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงช่วงฤดูฝน (ก) และช่วงฤดูแล้ง (ข) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย จุดที่ 1 แม่น้ำสายหลัก จุดที่ 2 แม่น้ำสาขา จุดที่ 3 ปากแม่น้ำ และจุดที่ 4 เขตไม้แสมในแปลงศึกษาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 โดยในจุดที่ 4 จะเก็บตัวอย่างน้ำจากน้ำที่ท่วมขังในช่วงน้ำขึ้นเท่านั้น

2.2 อุณหภูมิของน้ำ

จากข้อมูลอุณหภูมิของน้ำในจุดเก็บตัวอย่างในแม่น้ำตราด ช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 นั้น ผู้วิจัยไม่สามารถเก็บข้อมูลของเดือนเมษายนได้เนื่องจากข้อจำกัดจากการเดินทางในช่วงสถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 การวิเคราะห์ผลการศึกษาก็ใช้ข้อมูลจากเดือนอื่น ๆ นอกจากเดือนเมษายน ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของน้ำจากทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.4 ± 1.9 °C (ภาพที่ 14ข) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในช่วงฤดูฝนมีค่ามากกว่าช่วงฤดูแล้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีค่าเท่ากับ 30.3 ± 1.8 °C และ 28.2 ± 1.3 °C ตามลำดับ (t-test, $t = 5.533$, $p < 0.001$) (ตารางที่ 3)

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทั้งในช่วงฤดูฝน (ANOVA, $F =$

0.601, $p = 0.619$) และช่วงฤดูแล้ง (ANOVA, $F = 0.393$, $p = 0.759$) ขณะเดียวกันก็ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างอุณหภูมิน้ำขณะน้ำขึ้นและน้ำลงทั้งช่วงฤดูฝน (t-test, $t = -2.507$, $p = 0.759$) และช่วงฤดูแล้ง (t-test, $t = 1.988$, $p = 0.055$) (ตารางที่ 3 และภาพที่ 16)

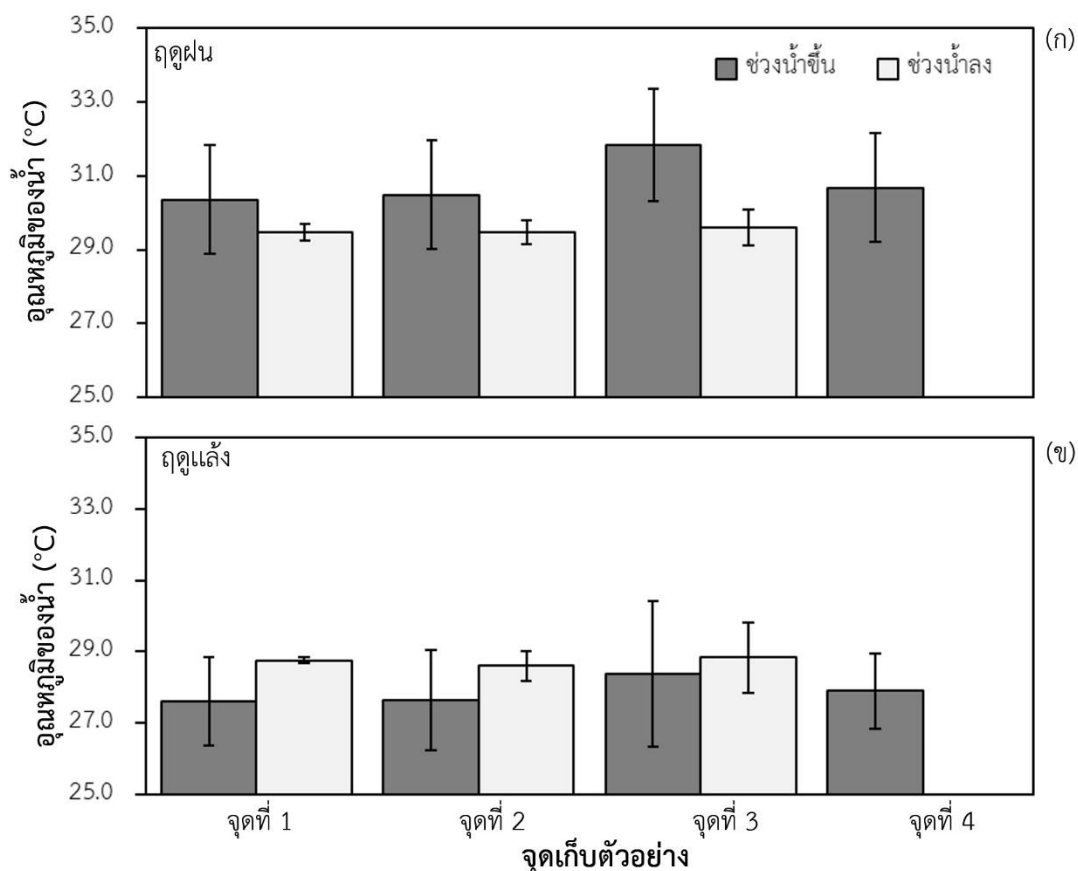
ตารางที่ 3 อุณหภูมิน้ำสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย (\pm SD) ในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ในจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุดในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

ฤดูกาล	จุดเก็บตัวอย่าง*	อุณหภูมิช่วงน้ำขึ้น ($^{\circ}$ C)	อุณหภูมิช่วงน้ำลง ($^{\circ}$ C)	อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}$ C)
ฤดูฝน	เฉลี่ยทุกจุด	30.9 ± 1.6	29.6 ± 1.7	30.3 ± 1.8^a
	1	30.4 ± 1.5	29.6 ± 1.9	30.0 ± 1.7
	2	30.6 ± 1.5	29.6 ± 1.7	30.1 ± 1.7
	3	31.9 ± 1.5	29.6 ± 1.6	30.7 ± 1.9
	4	-	-	30.6 ± 1.5
ฤดูแล้ง	เฉลี่ยทุกจุด	27.9 ± 1.6	28.7 ± 0.6	28.2 ± 1.3^b
	1	27.6 ± 1.2	28.8 ± 0.1	28.2 ± 1.0
	2	27.6 ± 1.4	28.6 ± 0.4	28.1 ± 1.1
	3	28.4 ± 2.0	28.8 ± 1.0	28.6 ± 1.6
	4	-	-	27.9 ± 1.1

หมายเหตุ

* จุดที่ 1 คือบริเวณแม่น้ำสายหลัก จุดที่ 2 คือบริเวณแม่น้ำสาขาหน้าแปลงศึกษา จุดที่ 3 คือบริเวณปากแม่น้ำสาขาที่ไหลออกสู่ทะเลอ่าวไทย ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำทั้งช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง และจุดที่ 4 คือบริเวณเขตไม้แสม ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำช่วงน้ำขึ้นเท่านั้น

** ตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยทุกจุดระหว่างช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี independence t-test



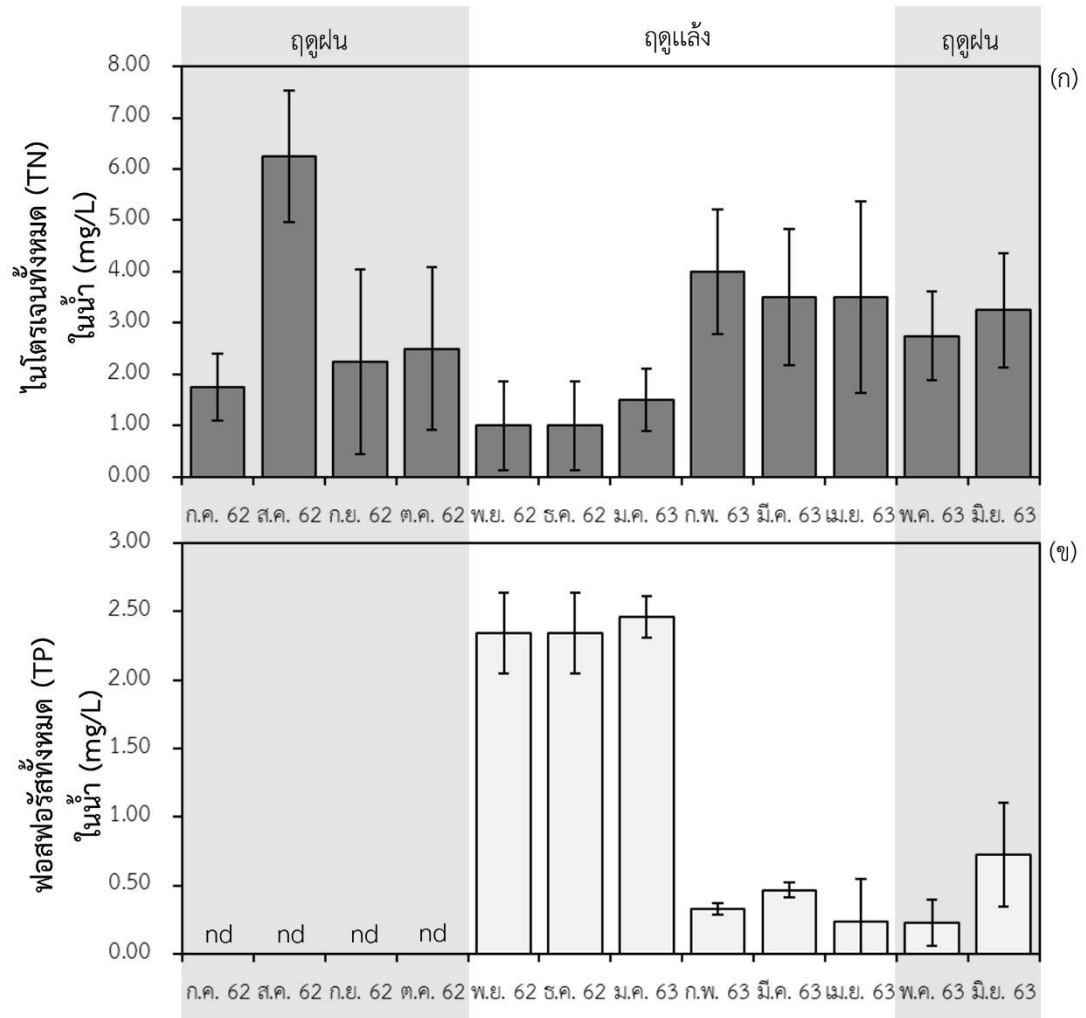
ภาพที่ 16 อุณหภูมิเฉลี่ย (\pm SD) ของน้ำในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงช่วงฤดูฝน (ก) และช่วงฤดูแล้ง (ข) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ทั้ง 4 จุด

2.3 ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen; TN) ในน้ำ

ความเข้มข้นของ TN ในน้ำจากทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 ± 1.88 mg/L โดยพบว่ามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 6.25 ± 1.27 mg/L ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.00 ± 0.87 mg/L ในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง (ภาพที่ 17 ก) และมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ช่วงปลายฤดูแล้งตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่าความเข้มข้นของ TN ในน้ำในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $t = 1.734$, $p = 0.087$) โดย TN ในน้ำช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 3.13 ± 1.95 และ 2.42 ± 1.75 mg/L ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TN ในน้ำระหว่างจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 4 จุด ในฤดูเดียวกันพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง ทั้งในช่วงฤดูฝน (ANOVA, $F = 0.335$, $p = 0.800$) และช่วงฤดูแล้ง (ANOVA, $F = 0.306$, $p = 0.821$) เช่นเดียวกับกับความเข้มข้นของ TN ในน้ำช่วงน้ำขึ้นและช่วงน้ำลงที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในช่วงฤดูฝน

(t-test, $t = -0.175$, $p = 0.862$) และช่วงฤดูแล้ง (t-test, $t = 1.288$, $p = 0.205$) (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 18)



ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (ก) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (ข) ในน้ำเฉลี่ย (\pm SD) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 โดย nd หมายถึง TP ในน้ำมีค่าน้อยกว่า 0.01 mg/L ซึ่งวิธีที่ใช้ตรวจวัดไม่สามารถวัดค่าได้

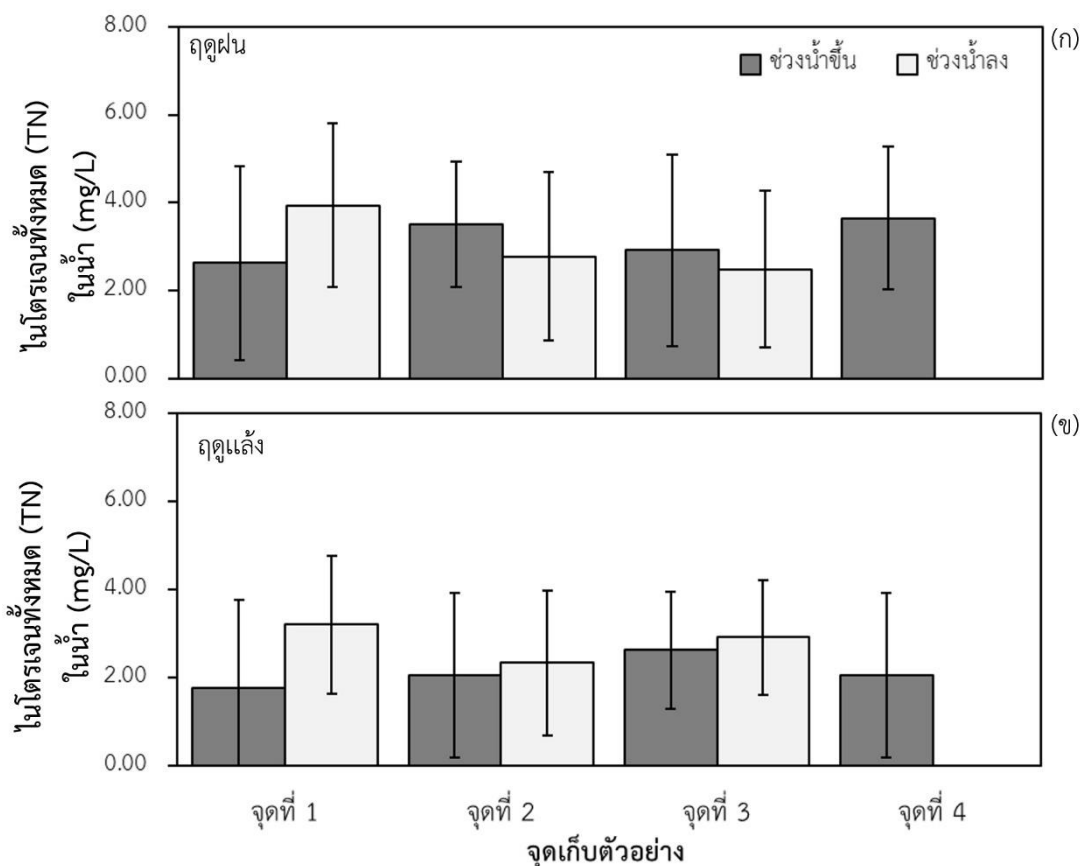
ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำ (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

ฤดูกาล	จุดเก็บตัวอย่าง*	TN ในน้ำช่วงน้ำขึ้น (mg/L)	TN ในน้ำช่วงน้ำลง (mg/L)	TN ในน้ำเฉลี่ย (mg/L)
ฤดูฝน	เฉลี่ยทุกจุด	3.01 \pm 2.00	3.06 \pm 1.96	3.13 \pm 1.95 ^{ns}
	1	2.63 \pm 2.20	3.94 \pm 1.87	3.28 \pm 2.15
	2	3.50 \pm 1.43	2.77 \pm 1.92	3.14 \pm 1.73
	3	2.92 \pm 2.18	2.48 \pm 1.78	2.70 \pm 2.00
	4	-	-	3.65 \pm 1.63
ฤดูแล้ง	เฉลี่ยทุกจุด	2.14 \pm 1.80	2.82 \pm 1.56	2.42 \pm 1.75 ^{ns}
	1	1.75 \pm 2.02	3.21 \pm 1.57	2.48 \pm 1.95
	2	2.04 \pm 1.87	2.33 \pm 1.65	2.19 \pm 1.77
	3	2.63 \pm 1.34	2.92 \pm 1.30	2.77 \pm 1.33
	4	-	-	2.04 \pm 1.87

หมายเหตุ

* จุดที่ 1 คือบริเวณแม่น้ำสายหลัก จุดที่ 2 คือบริเวณแม่น้ำสาขาหน้าแปลงศึกษา จุดที่ 3 คือบริเวณปากแม่น้ำสาขาที่ไหลออกสู่ทะเลอ่าวไทย ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำทั้งช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง และจุดที่ 4 คือบริเวณเขตไม้แสม ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำช่วงน้ำขึ้นเท่านั้น

** ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเฉลี่ยทุกจุดระหว่างช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี independence t-test



ภาพที่ 18 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำเฉลี่ย (\pm SD) ช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงช่วงฤดูฝน (ก) และช่วงฤดูแล้ง (ข) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ทั้ง 4 จุด

2.4 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus; TP) ในน้ำ

ความเข้มข้นของ TP ในน้ำจากทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.76 ± 0.98 mg/L ซึ่งพบว่าตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2562 ความเข้มข้นของ TP ในน้ำมีค่าน้อยกว่า 0.01 mg/L ซึ่งวิธีที่ใช้ตรวจวัดไม่สามารถวัดค่าได้ หลังจากนั้นพบว่ามีความเข้มข้นสูงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง จนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.46 ± 0.15 mg/L ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 จากนั้นจะมีค่าต่ำเมื่อเข้าสู่ช่วงปลายฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 (ภาพที่ 17ข) นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนมีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.16 ± 0.32 และ 1.36 ± 1.05 mg/L ตามลำดับ (t-test, $t = -7.047$, $p < 0.001$) (ตารางที่ 5)

ความเข้มข้นของ TP ในน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 จุดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในช่วงฤดูฝน (ANOVA, $F = 0.519$, $p = 0.672$) และช่วงฤดูแล้ง (ANOVA, $F = 0.093$, $p = 0.963$) เช่นเดียวกันกับความเข้มข้นของ TP ในน้ำช่วงน้ำขึ้นและช่วงน้ำลงที่ไม่มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในช่วงฤดูฝน (t-test, $t = -0.106$, $p = 0.916$) และช่วงฤดูแล้ง (t-test, $t = 0.532$, $p = 0.598$) (ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 19)

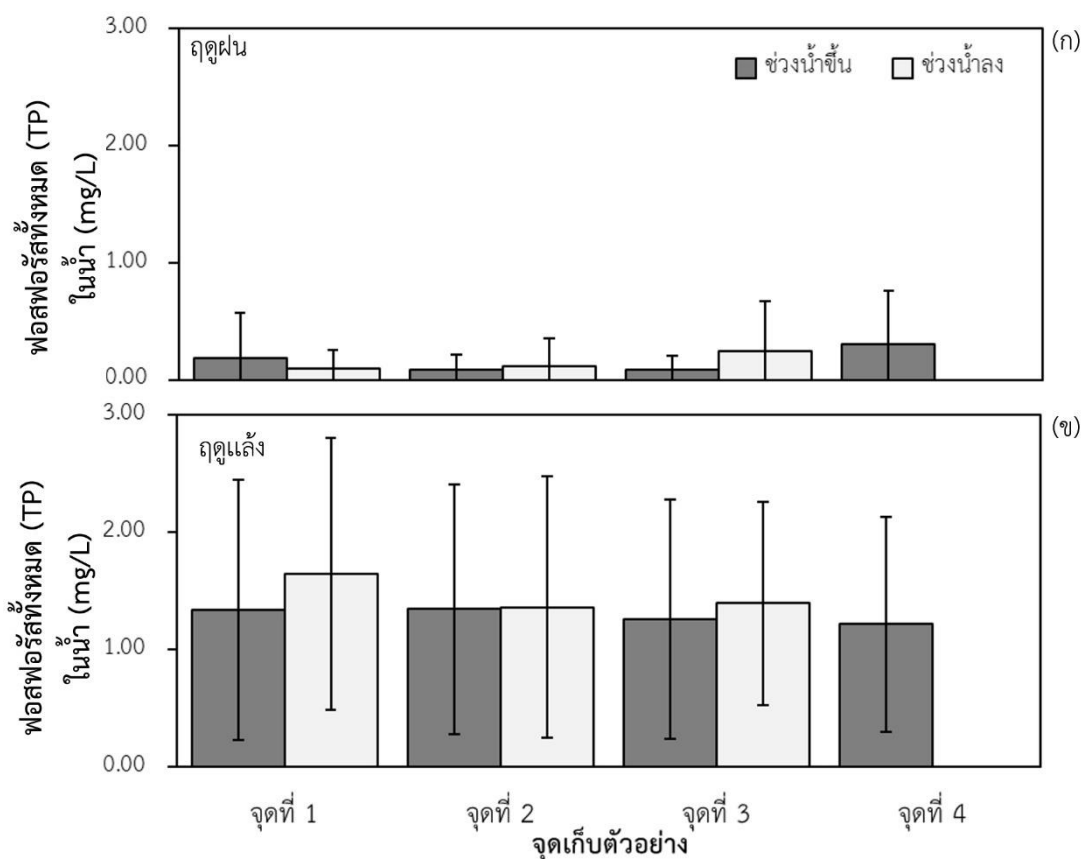
ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำ (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

ฤดูกาล	จุดเก็บตัวอย่าง*	TP ในน้ำช่วงน้ำขึ้น (mg/L)	TP ในน้ำช่วงน้ำลง (mg/L)	TP ในน้ำเฉลี่ย (mg/L)
ฤดูฝน	เฉลี่ยทุกจุด	0.12 ± 0.25	0.15 ± 0.30	0.16 ± 0.32^b
	1	0.18 ± 0.38	0.10 ± 0.16	0.14 ± 0.30
	2	0.09 ± 0.12	0.11 ± 0.24	0.10 ± 0.19
	3	0.08 ± 0.12	0.24 ± 0.43	0.16 ± 0.32
	4	**	**	0.30 ± 0.46
ฤดูแล้ง	เฉลี่ยทุกจุด	1.31 ± 1.06	1.46 ± 1.06	1.36 ± 1.05^a
	1	1.33 ± 1.11	1.64 ± 1.16	1.49 ± 1.14
	2	1.34 ± 1.06	1.36 ± 1.11	1.35 ± 1.09
	3	1.25 ± 1.02	1.39 ± 0.86	1.32 ± 0.95
	4	**	-	1.21 ± 0.92

หมายเหตุ

* จุดที่ 1 คือบริเวณแม่น้ำสายหลัก จุดที่ 2 คือบริเวณแม่น้ำสาขาหน้าแปลงศึกษา จุดที่ 3 คือบริเวณปากแม่น้ำสาขาที่ไหลออกสู่ทะเลอ่าวไทย ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำทั้งช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง และจุดที่ 4 คือบริเวณเขตไม้แสม ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำช่วงน้ำขึ้นเท่านั้น

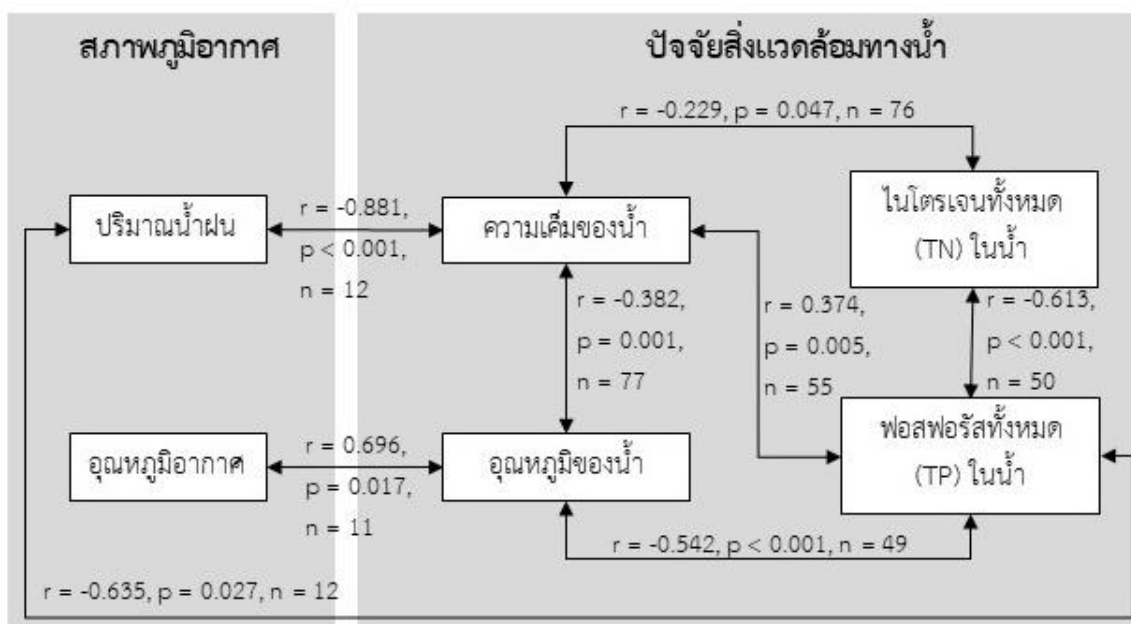
** ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเฉลี่ยทุกจุดระหว่างช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี independence t-test



ภาพที่ 19 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำเฉลี่ย (\pm SD) ช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงช่วงฤดูฝน (ก) และช่วงฤดูแล้ง (ข) จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ทั้ง 4 จุด

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำกับปัจจัยภูมิอากาศ

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำมีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยภูมิอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 20 โดยพบว่าปริมาณน้ำฝนมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความเค็มของน้ำ ($r = -0.881$, $p < 0.001$, $n = 12$) และกับความเข้มข้นของ TP ในน้ำรายเดือน ($r = -0.635$, $p = 0.027$, $n = 12$) อุณหภูมิอากาศมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิของน้ำ ($r = 0.696$, $p = 0.017$, $n = 11$) ความเค็มของน้ำมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิของน้ำ ($r = -0.382$, $p = 0.001$, $n = 77$) และกับความเข้มข้นของ TN ในน้ำ ($r = -0.229$, $p = 0.047$, $n = 76$) ขณะที่สหสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ TP ในน้ำ ($r = 0.374$, $p = 0.005$, $n = 55$) นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของน้ำมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของ TP ในน้ำ ($r = -0.542$, $p < 0.001$, $n = 49$) และความเข้มข้นของ TN ในน้ำมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของ TP ในน้ำ ($r = -0.613$, $p < 0.001$, $n = 50$)



ภาพที่ 20 สหสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน

3.1 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon; TC) ในดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินภายในเขตไม้แสมทั้งหมด 4 ครั้ง ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มกราคม พ.ศ. 2563 และพฤษภาคม พ.ศ. 2563 พบว่าปริมาณ TC ในดินภายในเขตไม้แสมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.27 \pm 1.06\%$

ปริมาณ TC ในดินในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 826.449, p < 0.001$) และมีความแปรผันตามฤดูกาล โดยพบว่ามีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $2.39 \pm 0.07\%$ ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นระหว่างช่วงฤดูฝน จนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ $5.06 \pm 0.03\%$ ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงสิ้นสุดฤดูฝน และกำลังจะเข้าสู่ฤดูแล้ง (ตารางที่ 6 และภาพที่ 21ก)

3.2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen; TN) ในดิน

ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษพบว่าปริมาณ TN ในดินภายในเขตไม้แสมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.22 \pm 0.06\%$ นอกจากนี้ปริมาณ TN ในดินในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 135.152, p < 0.001$) และมีความแปรผันตามฤดูกาล โดยมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $0.17 \pm 0.01\%$ ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น จนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ $0.31 \pm 0.01\%$ ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูแล้ง (ตารางที่ 6 และภาพที่ 21ข)

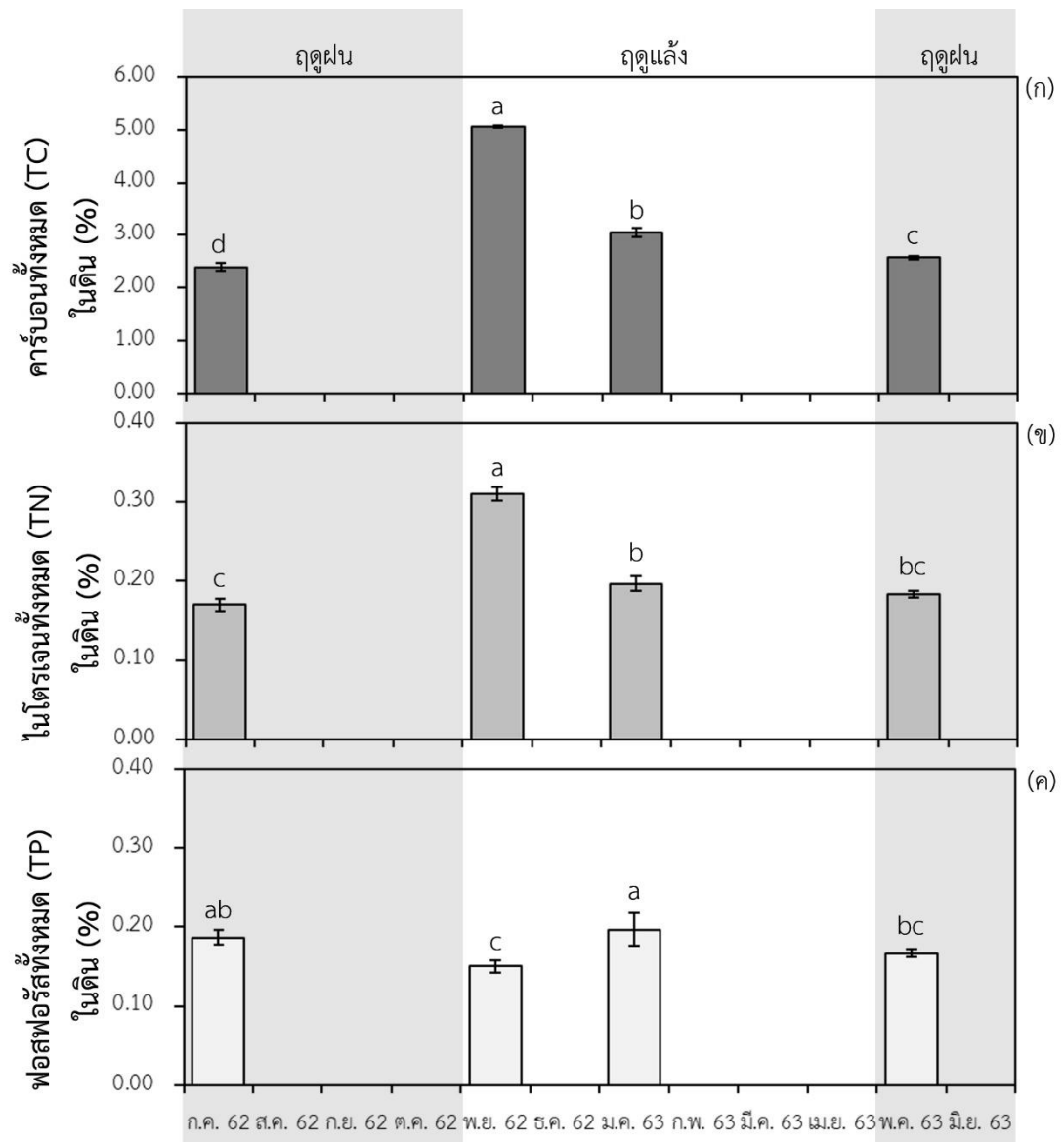
3.3 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus; TP) ในดิน

ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาพบว่าปริมาณ TP ในดินภายในเขตไม้แสมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.18 \pm 0.02\%$ และปริมาณ TP ในดินแต่ละช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 5.778$, $p = 0.021$) แต่แสดงความผันแปรตามฤดูกาลที่ไม่ชัดเจน โดยมีค่ามากในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 และมกราคม พ.ศ. 2563 โดยมีค่าเท่ากับ 0.19 ± 0.01 และ $0.20 \pm 0.02\%$ และอยู่ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ตามลำดับ และมีค่าน้อยในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 และพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูแล้ง และต้นฤดูฝน ตามลำดับ (ตารางที่ 6 และภาพที่ 21 ค)

ตารางที่ 6 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในดิน (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ภายในเขตไม้แสม

เดือน	TC ในดิน (%)	TN ในดิน (%)	TP ในดิน (%)
กรกฎาคม พ.ศ. 2562	2.39 ± 0.07^d	0.17 ± 0.01^c	0.19 ± 0.01^{ab}
พฤศจิกายน พ.ศ. 2562	5.06 ± 0.03^a	0.31 ± 0.01^a	0.15 ± 0.01^c
มกราคม พ.ศ. 2563	3.05 ± 0.09^b	0.20 ± 0.01^b	0.20 ± 0.02^a
พฤษภาคม พ.ศ. 2563	2.57 ± 0.03^c	0.18 ± 0.00^{bc}	0.17 ± 0.01^{bc}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ระหว่างปริมาณสารอาหารในดินในแต่ละช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี one-way ANOVA และทดสอบ Post hoc ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)



ภาพที่ 21 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ในดิน (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในดิน (ข) และ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในดิน (ค) ภายในเขตไม้เสม โดยแถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง SD และ ตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี one-way ANOVA และทดสอบ Post hoc ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

3.4 อัตราส่วนระหว่างปริมาณสารอาหารในดิน

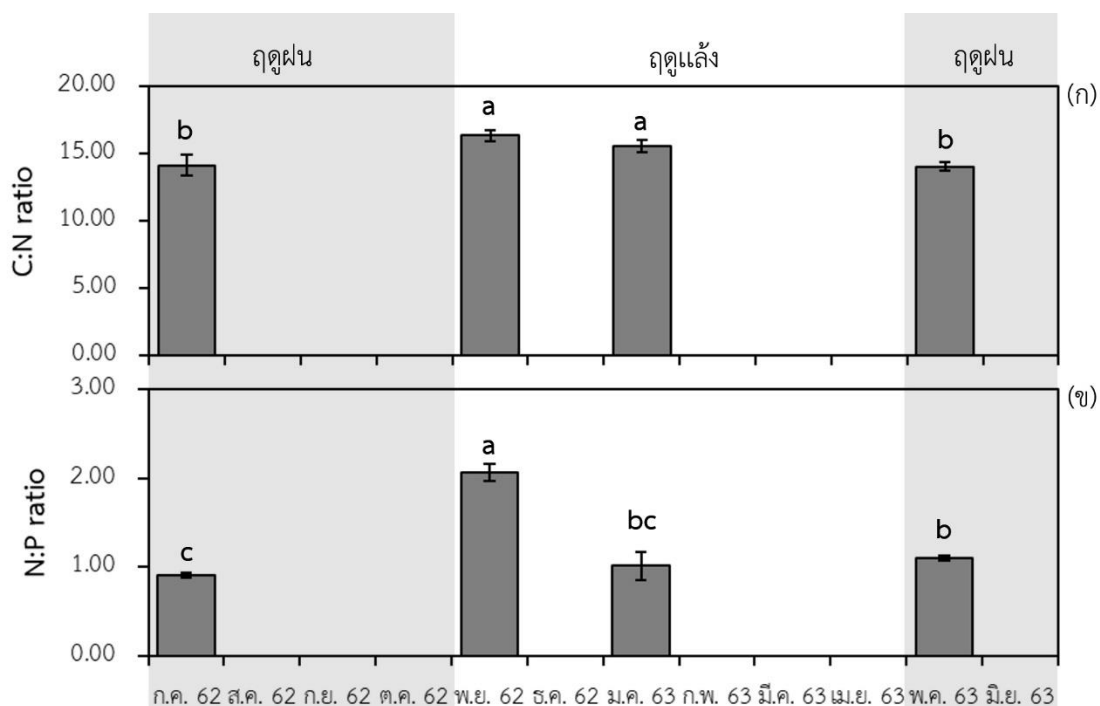
อัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C:N ratio) ของดินภายในเขตไม้ผสม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง (ANOVA, $F = 9.512$, $p = 0.005$) โดยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 16.33 ± 0.41 ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูแล้ง เมื่อเข้าสู่ฤดูฝน C:N ratio ของดินมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 14.06 ± 0.31 ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 (ตารางที่ 7 และภาพที่ 22ก)

อัตราส่วนของปริมาณไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสทั้งหมด (N:P ratio) ของดินภายในเขตไม้ผสม ในแต่ละช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 63.498$, $p < 0.001$) โดยมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.91 ± 0.02 ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง จนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.07 ± 0.09 ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงต้นของฤดูแล้ง (ตารางที่ 7 และ ภาพที่ 22ข)

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) อัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C:N ratio) และ ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสทั้งหมด (N:P ratio) ในดินภายในเขตไม้ผสม

เดือน	อัตราส่วนของปริมาณสารอาหารในดิน	
	C:N ratio	N:P ratio
กรกฎาคม พ.ศ. 2562	14.11 ± 0.77^b	0.91 ± 0.02^c
พฤศจิกายน พ.ศ. 2562	16.33 ± 0.41^a	2.07 ± 0.09^a
มกราคม พ.ศ. 2563	15.53 ± 0.45^a	1.02 ± 0.16^{bc}
พฤษภาคม พ.ศ. 2563	14.06 ± 0.31^b	1.10 ± 0.03^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนสารอาหารในแต่ละช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี one-way ANOVA และทดสอบ Post hoc ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) สำหรับ C:N ratio และวิธี Tamhane's T2 สำหรับ N:P ratio



ภาพที่ 22 ค่าเฉลี่ย (\pm SD) ของอัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C:N ratio) (ก) และไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสทั้งหมด (N:P ratio) (ข) ในดินภายในเขตไม่แส้ม โดยตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ของสัดส่วนสารอาหารในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้น ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี one-way ANOVA และทดสอบ Post hoc ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) สำหรับ C:N ratio และวิธี Tamhane's T2 สำหรับ N:P ratio

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ และปัจจัย

ภูมิอากาศ

จากการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในดิน ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเค็มของน้ำ อุณหภูมิ น้ำ ความเข้มข้นของ TC และ TP ในน้ำ และปัจจัยภูมิอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศ พบว่าไม่มีสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างปริมาณ TC, TN และ TP ในดินกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศ อีกทั้งยังพบว่าปริมาณสารอาหารในดินไม่มีความเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำ เนื่องจากไม่พบสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างปริมาณ TN ในดินและความเข้มข้น TN ในน้ำ กับระหว่างปริมาณ TP ในดินและความเข้มข้น TP ในน้ำ

ขณะที่พบสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณ TC และ TN ในดิน ($r = 0.999$, $p = 0.001$, $n = 4$) ขณะที่ไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TC และ TP ในดิน ($p = 0.266$, $n = 4$) และระหว่างปริมาณ TN และ TP ในดิน ($p = 0.243$, $n = 4$)

4. การเติบโตของลำต้น (trunk growth) ของแสมขาว (*A. alba*)

4.1 จำนวนต้น ขนาด DBH ขนาด BA และการจำแนกกลุ่มตามขนาด DBH

แสมขาว (*Avicennia alba*) ที่เลือกไว้เพื่อศึกษาการเติบโตของลำต้นเมื่อวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2562 มีจำนวนทั้งหมด 26 ต้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก (diameter at breast height; DBH) ได้แก่ ต้นขนาดเล็ก (small tree; S) ที่มีขนาด DBH ตั้งแต่ 10.0 – 20.0 เซนติเมตร จำนวน 13 ต้น ต้นขนาดกลาง (medium tree; M) ที่มีขนาด DBH ตั้งแต่ 20.1 – 30.0 เซนติเมตร จำนวน 10 ต้น และต้นขนาดใหญ่ (large tree; L) ที่มีขนาด DBH มากกว่า 30.1 เซนติเมตร จำนวน 3 ต้น (ตารางที่ 8)

เมื่อเวลาผ่านไปตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนถึงวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 พบว่ามีจำนวน *A. alba* ที่สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์การเติบโตของลำต้นได้เพียง 13 ต้นเท่านั้น เนื่องจากมี *A. alba* ตายจำนวน 3 ต้น มีสปริงบนแถบ dendrometer หลุดจำนวน 2 ต้น และมีการยึดของสปริงบน dendrometer ผิดปกติ กล่าวคือไม่มีการยึดของสปริงต่อเนื่องกันตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไปในช่วงที่ทำการศึกษาจำนวน 8 ต้น จึงทำให้ *A. alba* ที่นำมาวิเคราะห์การเติบโตของลำต้นมีช่วงขนาด DBH ตั้งแต่ 11.97 – 38.37 เซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.18 ± 6.31 เซนติเมตร และมีพื้นที่หน้าตัดลำต้น (basal area; BA) ตั้งแต่ 112.58 – 1,156.77 ตารางเซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 383.78 ± 252.34 ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับความสูง 1.3 เมตร (diameter at breast height; DBH) และพื้นที่หน้าตัดลำต้น (basal area; BA) ของแสมขาว (*A. alba*) ที่เลือกไว้เมื่อวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2562 และสถานะของต้นตัวอย่างจนถึงวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2563

หมายเลขต้น	ขนาดต้น	DBH (ซม.)	BA (ซม. ²)	สถานะ
1	S	17.32	235.70	สปริงยึดผิดปกติ
2	S	19.83	308.97	ปกติ
3	M	21.12	350.47	ปกติ
4	S	17.92	252.31	ปกติ
5	M	25.25	500.94	ปกติ
6	M	21.93	377.87	ปกติ
7	M	29.12	666.27	ตาย 27 มิ.ย. 2562
8	S	17.89	251.47	ปกติ
9	S	14.25	159.55	ตาย 28 ธ.ค. 2562
10	S	19.82	308.65	สปริงยึดผิดปกติ
11	L	38.37	1156.77	ปกติ
12	L	33.34	873.37	สปริงหลุด 8 ก.ค. 2563
13	S	13.71	147.69	สปริงยึดผิดปกติ
14	S	17.45	239.25	สปริงยึดผิดปกติ
15	M	22.52	398.48	ตาย 26 พ.ค. 2562
16	M	24.89	486.76	สปริงหลุด 30 ก.ค. 2562
17	M	23.75	443.19	สปริงยึดผิดปกติ
18	L	43.50	1486.77	สปริงยึดผิดปกติ
19	M	25.51	511.31	ปกติ
20	S	17.22	232.99	ปกติ
21	M	24.00	452.57	ปกติ
22	S	17.90	251.75	สปริงยึดผิดปกติ
23	S	11.74	108.29	สปริงยึดผิดปกติ
24	M	20.53	331.16	ปกติ
25	S	13.79	149.41	ปกติ
26	S	11.97	112.58	ปกติ

หมายเหตุ

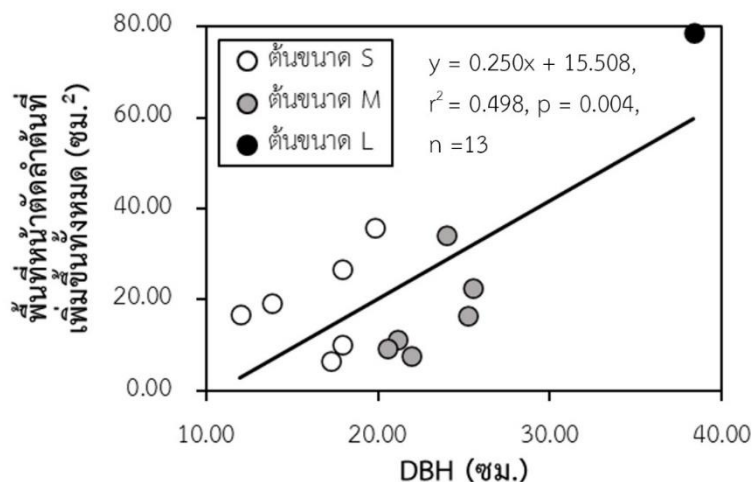
S, M, และ L หมายถึงต้นแสมขาว (*A. alba*) ตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก (DBH ตั้งแต่ 10.0 – 20.0 เซนติเมตร) ขนาดกลาง (DBH ตั้งแต่ 20.1 – 30.0 เซนติเมตร) และขนาดใหญ่ (DBH มากกว่า 30.1 เซนติเมตร) ตามลำดับ และสปริงยึดผิวดกตีหมายถึงสปริงไม่ยึดต่อเนื่องกันตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป

4.2 การเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดลำต้น (basal area; BA) ทั้งหมด

ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาดังแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 พบว่า *A. alba* ทั้ง 13 ต้น มีพื้นที่หน้าตัดลำต้นเพิ่มขึ้น 6.66 – 78.63 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.71 ± 18.57 ตารางเซนติเมตร ต้นขนาด S และ M มีพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $t = 0.395$, $p = 0.701$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.25 ± 9.78 และ 13.20 ± 9.19 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 9) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เส้นตรงเชิงบวกระหว่างพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดและขนาด DBH ($r^2 = 0.498$, $p = 0.004$, $n = 13$) (ภาพที่ 23)

ตารางที่ 9 พื้นที่หน้าตัดลำต้น (BA) ของแสมขาว (*A. alba*) ต้นขนาดเล็ก (S) ขนาดกลาง (M) และขนาดใหญ่ (L) ที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563

ขนาดลำต้น	BA ต่ำสุด (ซม. ²)	BA สูงสุด (ซม. ²)	ค่าเฉลี่ย (ซม. ²)
S	6.66	35.79	14.25 ± 9.78
M	7.59	34.12	13.20 ± 9.19
L	78.63	22.49	67.73
ทั้งหมด	6.66	78.63	22.71 ± 18.57

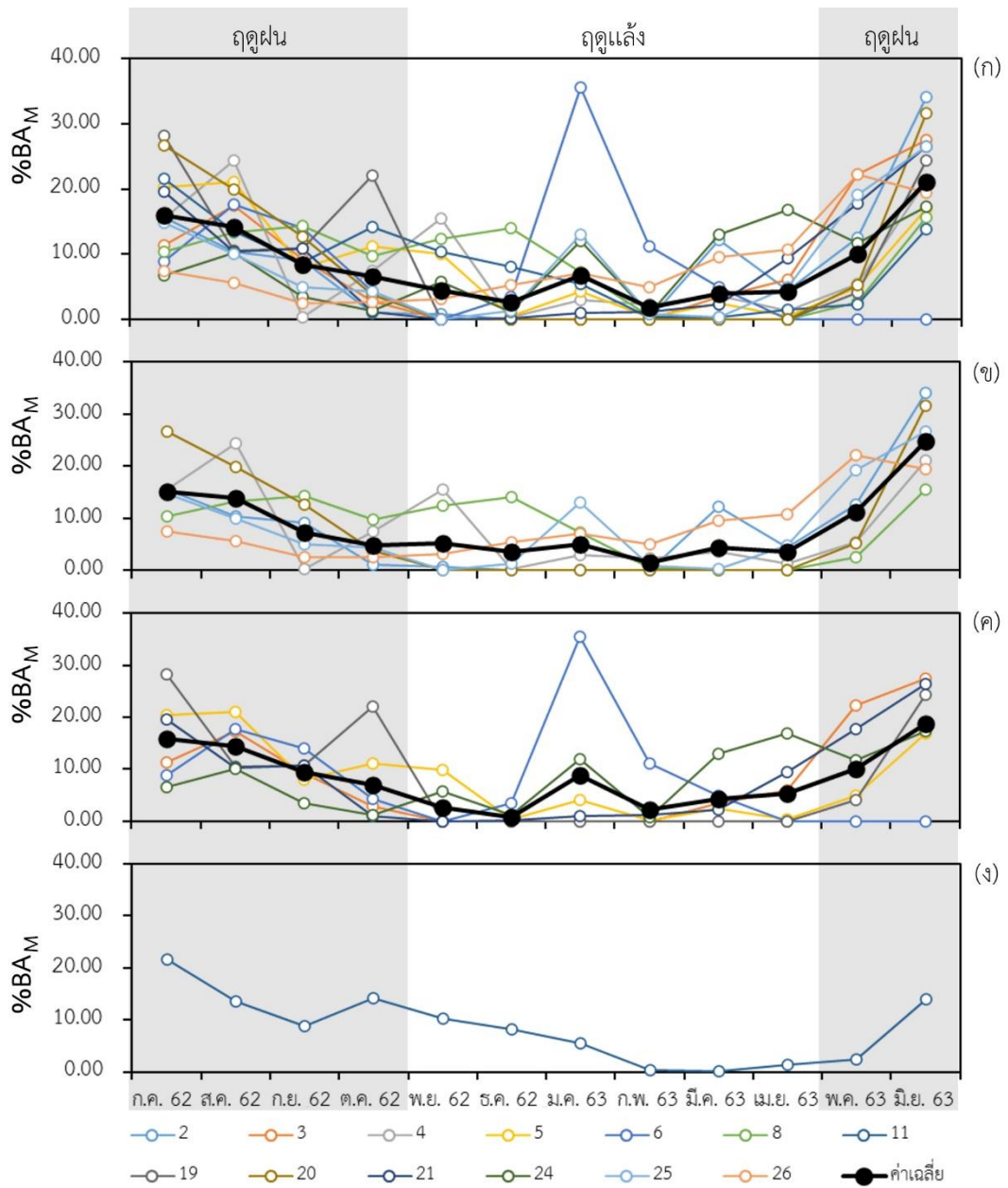


ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 และขนาด DBH ของแสมขาว (*A. alba*)

4.3 สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือน (%BA_M)

สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือน (%BA_M) ของ *A. alba* มีความแปรผันตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยพบว่า %BA_M ของ *A. alba* ทั้ง 13 ต้น ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $15.93 \pm 6.75\%$ เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งพบว่า %BA_M มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนน้อยที่สุดเท่ากับ $1.72 \pm 3.03\%$ ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 หลังจากนั้น %BA_M มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนอีกครั้ง จนกระทั่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ $21.15 \pm 8.57\%$ ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 (ภาพที่ 24ก)

นอกจากนี้ %BA_M ยังมีความผันแปรตามฤดูกาล โดย *A. alba* มีการเพิ่มพูนพื้นที่หน้าตัดลำต้นในช่วงฤดูฝนมากกว่าในช่วงฤดูแล้ง ทั้งในต้นขนาด S ขนาด M และขนาด L (ภาพที่ 24ข - ค) ซึ่งพบว่า %BA_M ในช่วงฤดูฝนของ *A. alba* ทั้ง 13 ต้นมีค่าตั้งแต่ 44.88 - 100.00% ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $76.20 \pm 16.56\%$ ส่วนของต้นขนาด S มีค่าตั้งแต่ 59.51 - 100.00% โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $76.99 \pm 12.94\%$ ต้นขนาด M มีค่าตั้งแต่ 44.88 - 100.00% โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $75.73 \pm 20.62\%$ และต้นขนาด L มีค่าเท่ากับ 74.22% ขณะที่ %BA_M ในช่วงฤดูแล้งของ *A. alba* ทั้ง 13 ต้นมีค่าตั้งแต่ 0.00 - 55.12 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $23.80 \pm 16.56\%$ โดยของต้นขนาด S มีค่าตั้งแต่ 0.00 - 40.49 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $23.01 \pm 12.94\%$ ต้นขนาด M มีค่าตั้งแต่ 0.00 - 55.12% โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $24.27 \pm 20.62\%$ และต้นขนาด L มีค่าเท่ากับ 25.78% เนื่องจากต้นขนาด L มีเพียง 1 ต้น จึงทำให้ไม่สามารถรายงานค่าเฉลี่ยได้ (ตารางที่ 10 และ 11)



ภาพที่ 24 สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือน (%BA_M) ของแสมขาว (*A. alba*) (ก) ต้นขนาดเล็ก (S) (ข) ขนาดกลาง (M) (ค) และขนาดใหญ่ (L) (ง) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2563 โดยหมายเลขที่ต่างกันแสดงข้อมูลของต้นแสมขาวแต่ละต้นที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 10 สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือน (%B_{AM}) (ค่าเฉลี่ย ± SD) ของแสมขาว (*A. alba*) ต้นขนาดเล็ก (S) ขนาดกลาง (M) และขนาดใหญ่ (L) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563

เดือน พ.ศ.	สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือน (%B _{AM})			
	S	M	L	ทั้งหมด
กรกฎาคม 2562	15.06 ± 5.99	15.87 ± 7.54	21.53	15.93 ± 6.75
สิงหาคม 2562	13.90 ± 6.36	14.53 ± 4.35	13.57	14.16 ± 5.24
กันยายน 2562	7.29 ± 5.15	9.38 ± 3.23	8.76	8.37 ± 4.25
ตุลาคม 2562	4.79 ± 2.93	7.09 ± 7.49	14.19	6.57 ± 5.99
พฤศจิกายน 2562	5.27 ± 6.27	2.62 ± 3.90	10.29	4.43 ± 5.44
ธันวาคม 2562	3.47 ± 5.06	0.85 ± 1.23	8.10	2.62 ± 4.08
มกราคม 2563	5.00 ± 4.60	8.80 ± 12.68	5.45	6.79 ± 9.35
กุมภาพันธ์ 2563	1.43 ± 1.76	2.23 ± 4.02	0.35	1.72 ± 3.03
มีนาคม 2563	4.27 ± 4.88	4.33 ± 4.12	0.22	3.99 ± 4.47
เมษายน 2563	3.56 ± 3.75	5.44 ± 6.20	1.37	4.26 ± 5.07
พฤษภาคม 2563	11.20 ± 7.40	10.12 ± 7.91	2.31	10.02 ± 7.71
มิถุนายน 2563	24.76 ± 6.64	18.75 ± 9.34	13.86	21.15 ± 8.57

ตารางที่ 11 ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย (±SD) ของสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนของแสมขาว (*A. alba*) ขนาดเล็ก (S) ขนาดกลาง (M) และขนาดใหญ่ (L) ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

ขนาด	ฤดูฝน			ฤดูแล้ง		
	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	ต่ำสุด (%)	สูงสุด (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
S	59.51	100.00	76.99 ± 12.94 ^a	0.00	40.49	23.01 ± 12.94 ^b
M	44.88	100.00	75.73 ± 20.62 ^a	0.00	55.12	24.27 ± 20.62 ^b
L	74.22	74.22	-	25.78	25.78	-
ทั้งหมด	44.88	100.00	76.20 ± 16.56 ^a	0.00	55.12	23.80 ± 16.56 ^b

หมายเหตุ ต้นแสมขาวขนาด L มีจำนวน 1 ต้น จึงไม่สามารถรายงานค่าเฉลี่ยได้ และตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี pair sample t-test

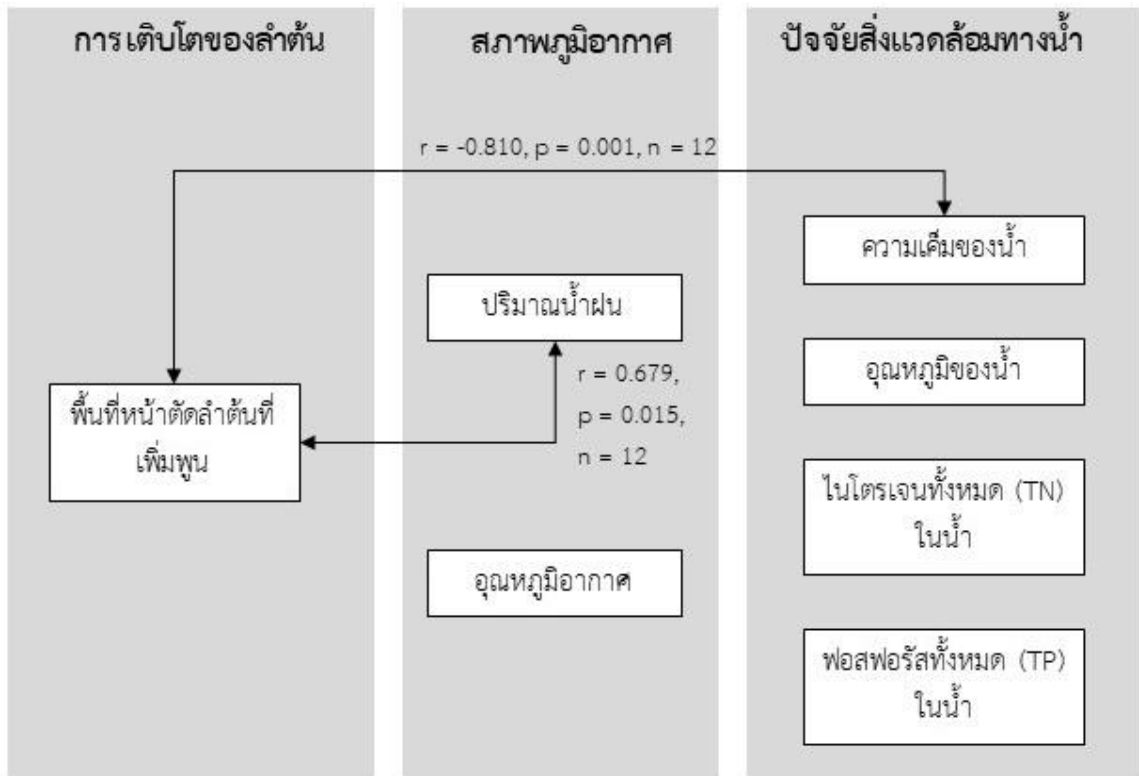
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของลำต้น (trunk growth) และปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของลำต้นของแสมขาว (*A. alba*) และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยภูมิอากาศ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ พบว่าการเติบโตของลำต้น *A. alba* มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยภูมิอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 25 โดยพบสหสัมพันธ์เชิงบวก ($r = 0.679$, $p = 0.015$, $n = 12$) และความสัมพันธ์เส้นตรงเชิงบวก ($r^2 = 0.406$, $p = 0.015$, $n = 12$) ระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มพูนกับปริมาณน้ำฝนรายเดือน (ภาพที่ 26ก) ขณะที่ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มพูนกับอุณหภูมิอากาศรายเดือน ($p = 0.965$, $n = 12$)

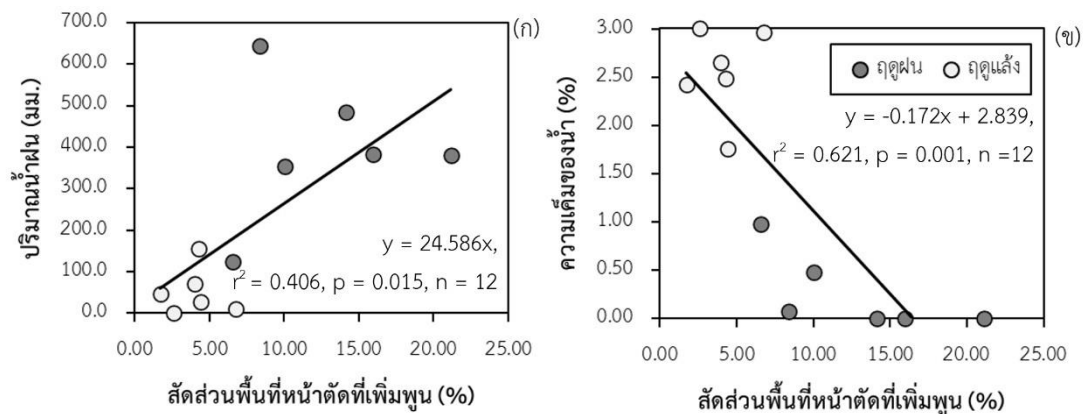
นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการเติบโตของลำต้น *A. alba* มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 25 โดยพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบ ($r = -0.810$, $p = 0.001$, $n = 12$) และความสัมพันธ์เส้นตรงเชิงลบ ($r^2 = 0.621$, $p = 0.001$, $n = 12$) ระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มพูนกับความเค็มของน้ำรายเดือน (ภาพที่ 26ข) ขณะที่ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มพูนกับอุณหภูมิของน้ำ ($p = 0.213$, $n = 12$) ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำ ($p = 0.443$, $n = 12$) และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำ ($p = 0.291$, $n = 12$)

ขณะที่ไม่พบสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างการเติบโตของลำต้น *A. alba* กับปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ในดิน ($p = 0.209$, $n = 4$) ปริมาณ TN ในดิน ($p = 0.224$, $n = 4$) และปริมาณ TP ในดิน ($p = 0.533$, $n = 12$)

จากการศึกษาจึงสรุปได้พบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น *A. alba* ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนและความเค็มของน้ำรายเดือน โดยปริมาณน้ำฝนที่มีค่าสูงและความเค็มของน้ำที่มีค่าต่ำต่างส่งผลให้ *A. alba* มีการเจริญเติบโตของลำต้นมากขึ้น ขณะที่อุณหภูมิของอากาศและน้ำ และปริมาณสารอาหารในน้ำและดินต่างไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการเจริญเติบโตของลำต้น *A. alba*



ภาพที่ 25 สหสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของลำต้นแสมขาว (*A. alba*) กับสภาพภูมิอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างพื้นที่หน้าตัดลำต้นแสมขาว (*A. alba*) ที่เพิ่มพูนกับปริมาณน้ำฝน (ก) และความเค็มของน้ำ (ข)

5. การผลิและการร่วงของใบ (leaf emergence and loss) ของแสมขาว (*A. alba*)

5.1 จำนวนยอด และขนาดของยอด

เลือกยอดเพื่อศึกษาการผลิและการร่วงของใบไว้ทั้งหมดจำนวน 45 ยอดจากต้นแสมขาว (*A. alba*) จำนวน 4 ต้น ได้แก่ ต้นหมายเลข 3 หมายเลข 12 หมายเลข 20 และหมายเลข 21 เมื่อวันที่ 26 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 โดยมีความยาวของยอดตั้งแต่บริเวณโคนถึงปลายยอดเท่ากับ 10.76 ± 3.73 เซนติเมตร มีความยาวของยอดตั้งแต่บริเวณใบคู่ล่างสุดจนถึงปลายยอดเท่ากับ 6.35 ± 2.04 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางของยอดบริเวณโคนยอดเท่ากับ 2.62 ± 0.51 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของยอดบริเวณใบคู่ล่างสุดเท่ากับ 2.28 ± 0.54 มิลลิเมตร

5.2 อัตราการผลิใบ (leaf emergence rate)

ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาดังแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 พบว่าอัตราการผลิของใบ *A. alba* ทั้ง 4 ต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.87 \pm 0.62\%$ /วัน และมีความแปรผันตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนอัตราการผลิใบมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ $1.94 \pm 0.20\%$ /วัน ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562 จากนั้นเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $0.17 \pm 0.08\%$ /วัน ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ก่อนที่จะค่อย ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนในปี พ.ศ. 2563

ขณะเดียวกันยังพบว่าอัตราการผลิของใบของ *A. alba* ในช่วงฤดูฝนมีค่ามากกว่าช่วงฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = 6.088, p < 0.001$) โดยอัตราการผลิของใบเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 1.28 ± 0.50 และ $0.45 \pm 0.42\%$ /วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 12 และ ภาพที่ 27ก)

5.3 อัตราการร่วงของใบ (leaf loss rate)

อัตราการร่วงของใบ *A. alba* ทั้ง 4 ต้น ตลอดระยะเวลาศึกษา มีค่าเท่ากับ $0.62 \pm 0.29\%$ /วัน โดยอัตราการร่วงของใบจะมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ $0.29 \pm 0.16\%$ /วัน ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จากนั้นอัตราการร่วงของใบจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ $1.01 \pm 0.15\%$ /วัน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และค่อย ๆ มีค่าน้อยลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง และค่อนข้างมีค่าคงที่ตลอดช่วงฤดูแล้ง

นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการร่วงของใบ *A. alba* ในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = 0.776, p = 0.442$) โดยอัตราการร่วงของใบเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 0.66 ± 0.31 และ $0.59 \pm 0.26\%$ /วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 12 และ ภาพที่ 27ข)

5.4 อัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและการร่วงของใบ

อัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและการร่วงของใบ *A. alba* ทั้ง 4 ต้น ตลอดระยะเวลาศึกษา มีค่าเท่ากับ 1.85 ± 2.16 และมีความแปรผันตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนพบว่าอัตราส่วน

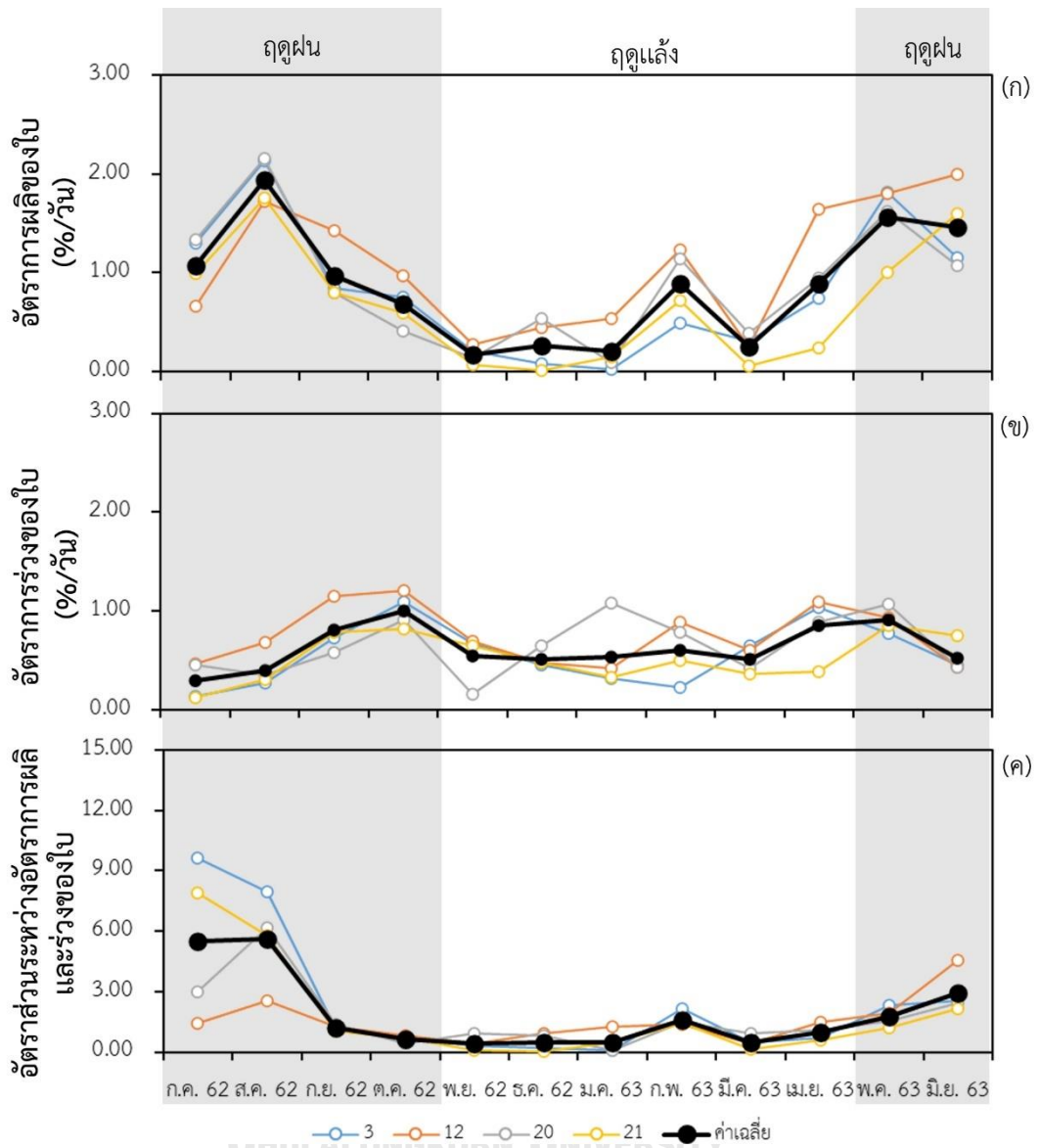
ระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบมีค่าเพิ่มมากขึ้น จนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.61 ± 1.97 ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562 หลังจากนั้นเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบมีค่าลดลงจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.44 ± 0.31 ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 และมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงฤดูแล้ง ก่อนที่จะค่อย ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนในปี พ.ศ. 2563

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบ *A. alba* ในช่วงฤดูฝนมีค่ามากกว่าช่วงฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = 3.992, p < 0.001$) โดยอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 2.94 ± 2.57 และ 0.75 ± 0.56 ตามลำดับ (ตารางที่ 12 และ ภาพที่ 27ค)

ตารางที่ 12 อัตราการผลิของใบ อัตราการร่วงของใบ และอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบแสมขาว (*A. alba*) (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563

เดือน พ.ศ.	อัตราการผลิของใบ (%/วัน)	อัตราการร่วงของใบ (%/วัน)	อัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบ
กรกฎาคม 2562	1.08 ± 0.27	0.29 ± 0.16	5.49 ± 3.39
สิงหาคม 2562	1.94 ± 0.20	0.40 ± 0.16	5.61 ± 1.97
กันยายน 2562	0.97 ± 0.27	0.81 ± 0.21	1.20 ± 0.13
ตุลาคม 2562	0.68 ± 0.21	1.01 ± 0.15	0.67 ± 0.13
พฤศจิกายน 2562	0.17 ± 0.08	0.54 ± 0.22	0.44 ± 0.31
ธันวาคม 2562	0.27 ± 0.22	0.51 ± 0.08	0.50 ± 0.39
มกราคม 2563	0.20 ± 0.20	0.54 ± 0.31	0.48 ± 0.49
กุมภาพันธ์ 2563	0.90 ± 0.30	0.60 ± 0.26	1.61 ± 0.32
มีนาคม 2563	0.25 ± 0.12	0.51 ± 0.12	0.50 ± 0.28
เมษายน 2563	0.89 ± 0.51	0.85 ± 0.28	0.98 ± 0.35
พฤษภาคม 2563	1.56 ± 0.33	0.91 ± 0.11	1.74 ± 0.43
มิถุนายน 2563	1.46 ± 0.37	0.52 ± 0.13	2.93 ± 0.97
เฉลี่ยช่วงฤดูฝน	1.28 ± 0.50^a	0.66 ± 0.31^{ns}	2.94 ± 2.57^a
เฉลี่ยช่วงฤดูแล้ง	0.45 ± 0.42^b	0.59 ± 0.26^{ns}	0.75 ± 0.56^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างค่าเฉลี่ยช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี independence t-test



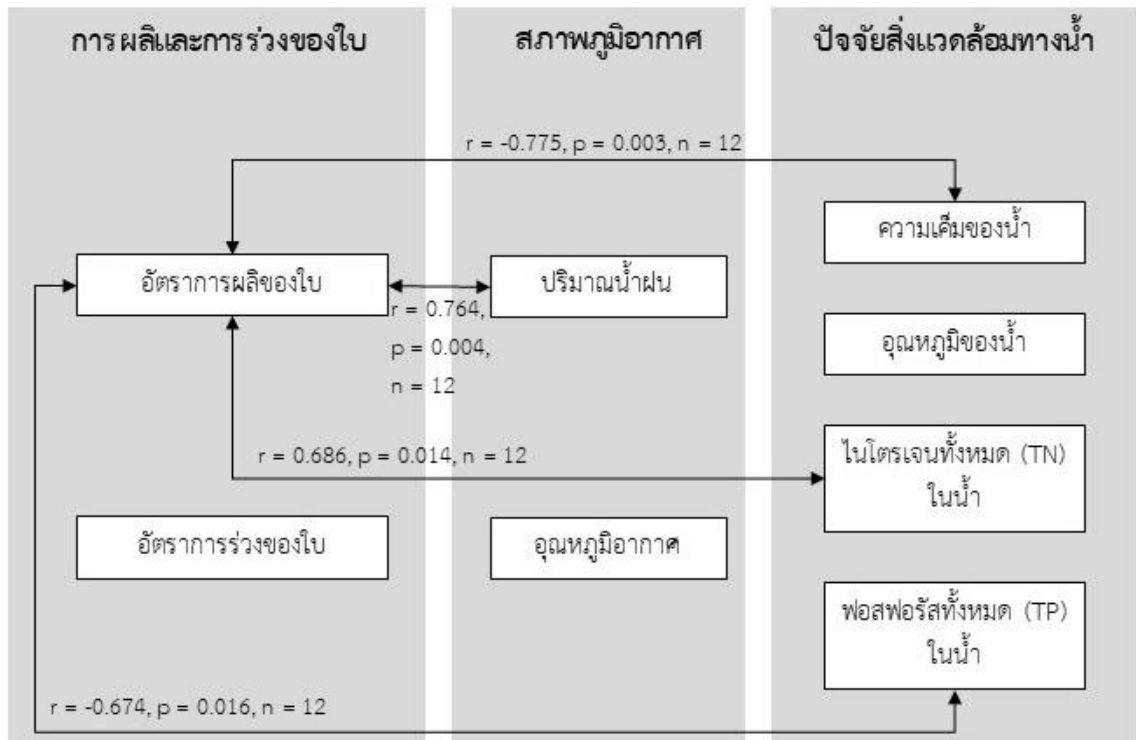
ภาพที่ 27 อัตราการผลิตของใบ (ก) อัตราการร่วงของใบ (ข) และอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิตและร่วงของใบ (ค) แสมขาว (*A. alba*) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 โดยหมายเลขที่ต่างกันแสดงข้อมูลจากต้นแสมขาวแต่ละต้นที่ทำการศึกษา

5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิและการร่วงของใบกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

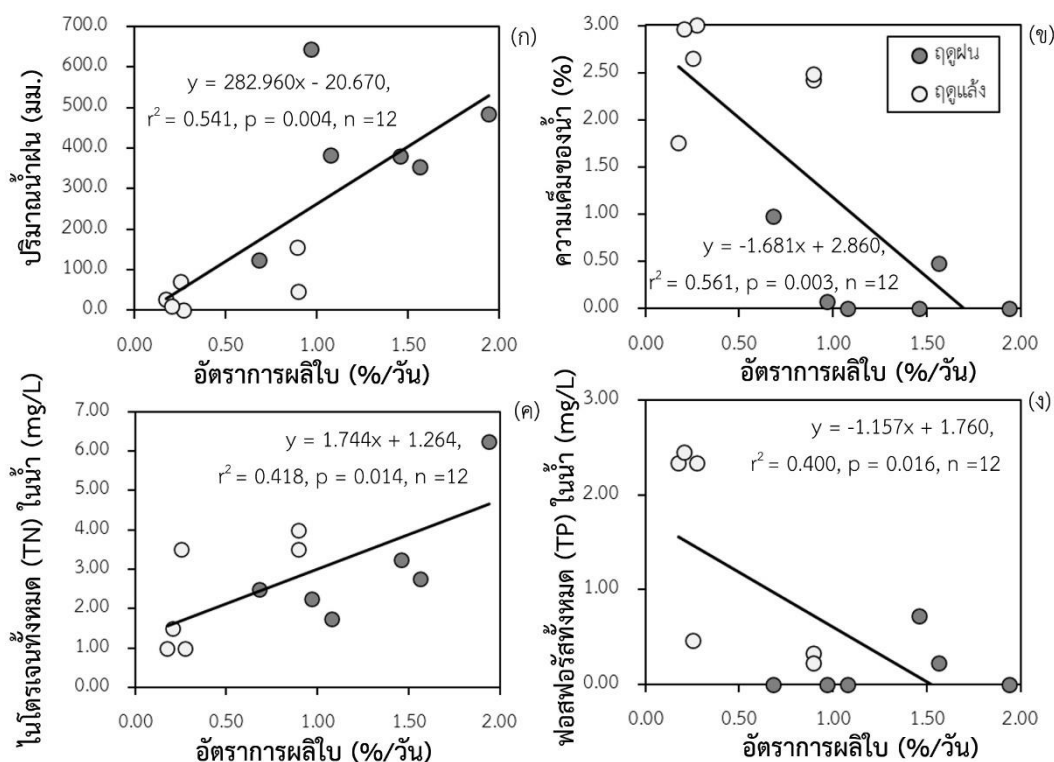
จากการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการผลิและการร่วงของใบ *A. alba* และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยภูมิอากาศ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน พบว่าอัตราการผลิของใบ *A. alba* มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยภูมิอากาศดังแสดงในภาพที่ 28 โดยพบสหสัมพันธ์เชิงบวก ($r = 0.764$, $p = 0.004$, $n = 12$) และความสัมพันธ์เส้นตรงเชิงบวก ($r^2 = 0.541$, $p = 0.004$, $n = 12$) ระหว่างอัตราการผลิของใบกับปริมาณน้ำฝนรายเดือน (ภาพที่ 29ก) ขณะที่ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิของใบกับอุณหภูมิอากาศรายเดือน ($p = 0.796$, $n = 12$) และไม่พบสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างอัตราการร่วงของใบกับปริมาณน้ำฝน ($p = 0.930$, $n = 12$) และอุณหภูมิอากาศรายเดือน ($p = 0.301$, $n = 12$)

นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการผลิของใบ *A. alba* มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 28 โดยพบว่าอัตราการผลิของใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวก ($r = 0.686$, $p = 0.014$, $n = 12$) และความสัมพันธ์เส้นตรงเชิงบวก ($r^2 = 0.418$, $p = 0.014$, $n = 12$) กับความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำรายเดือน (ภาพที่ 29ค) และอัตราการผลิของใบมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความเค็มของน้ำรายเดือน ($r = -0.775$, $p = 0.003$, $n = 12$) และกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำรายเดือน ($r = -0.674$, $p = 0.016$, $n = 12$) และมีความสัมพันธ์เส้นตรงเชิงลบ ($r^2 = 0.561$, $p = 0.003$, $n = 12$) กับความเค็มของน้ำรายเดือน (ภาพที่ 21ข) และกับความเข้มข้นของ TP ในน้ำรายเดือน ($r^2 = 0.400$, $p = 0.016$, $n = 12$) (ภาพที่ 29ง) ขณะที่ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิของใบกับอุณหภูมิของน้ำ และไม่พบสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างอัตราการร่วงของใบกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่ศึกษา นอกจากนี้จากผลการศึกษาสหสัมพันธ์พบว่าทั้งอัตราการผลิและร่วงของใบไม่มีสหสัมพันธ์กับตัวแปรที่เป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดินที่ศึกษาในครั้งนี้

จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิของใบ *A. alba* ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความเค็มของน้ำ ความเข้มข้นของ TN ในน้ำ และความเข้มข้นของ TP ในน้ำรายเดือน โดยปริมาณน้ำฝนและความเข้มข้นของ TN ในน้ำที่มีค่าสูง กับความเค็มและความเข้มข้นของ TP ในน้ำที่มีค่าต่ำ ต่างก็ส่งผลให้ *A. alba* มีการผลิใบในอัตราที่สูงขึ้น ขณะที่พบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดินไม่มีผลโดยตรงต่อการร่วงของใบ *A. alba*



ภาพที่ 28 สหสัมพันธ์ระหว่างการผลิและการร่วงของใบแสมขาว (*A. alba*) กับสภาพภูมิอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

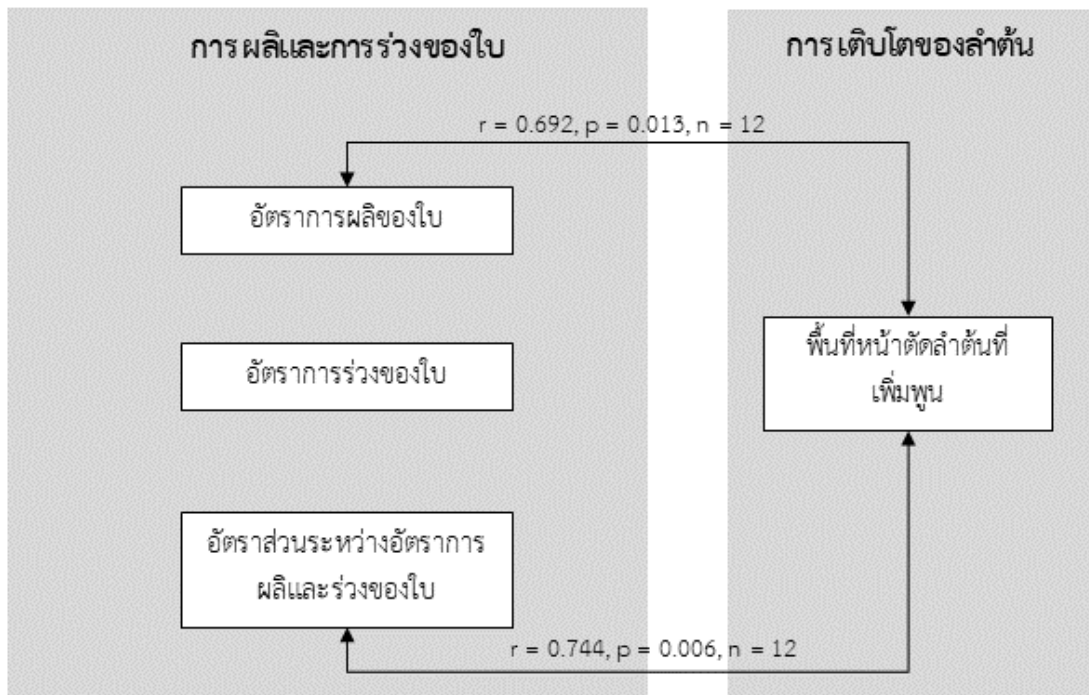


ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราการผลิใบของใบแสมขาว (*A. alba*) กับปริมาณน้ำฝน (ก) ความเค็มของน้ำ (ข) ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำ (ค) และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำ (ง)

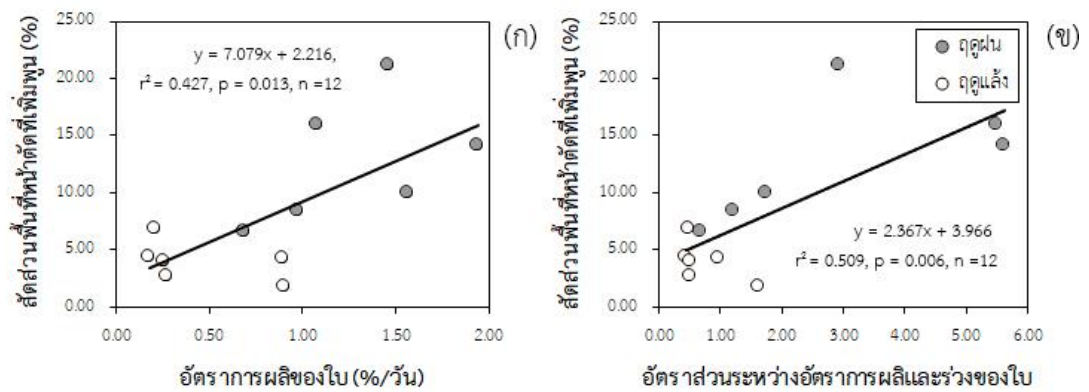
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิและการร่วงของใบกับการเติบโตของลำต้น

การผลิและการร่วงของใบมีความเกี่ยวข้องกับการเติบโตของลำต้น *A. alba* (ภาพที่ 30) โดยพบว่าอัตราการผลิของใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวก ($r = 0.692$, $p = 0.013$, $n = 12$) และมีความสัมพันธ์เชิงตรงเชิงบวกกับพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มพูนรายเดือน ($r^2 = 0.427$, $p = 0.013$, $n = 12$) (ภาพที่ 31ก) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวก ($r = 0.744$, $p = 0.006$, $n = 12$) และความสัมพันธ์เชิงตรงเชิงบวก ($r^2 = 0.509$, $p = 0.006$, $n = 12$) กับพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนรายเดือน (ภาพที่ 31ข) ขณะที่ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการร่วงของใบกับการเติบโตของลำต้น ($p = 0.320$, $n = 12$)

จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าการผลิของใบและการเติบโตของลำต้น *A. alba* ต่างก็มีความเกี่ยวข้องกัน โดยเมื่อ *A. alba* มีการผลิใบในอัตราที่สูงจะพบว่าจะมีการเติบโตของลำต้นสูงเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 30 สหสัมพันธ์ระหว่างการผลิตและการร่วงของใบกับพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนของแสมขาว (*A. alba*)



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มพูนกับอัตราการผลิของใบ (ก) และอัตราส่วนระหว่างอัตราการผลิและร่วงของใบ (ข) ของแสมขาว (*A. alba*)

6. ปริมาณสารอาหารในใบของแสมขาว (*A. alba*)

6.1 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon; TC) ในใบ

จากตัวอย่างใบแสมขาว (*A. alba*) ในระยะที่ใบเจริญเต็มที่ (mature leaf) และระยะที่ใบเสื่อมตามอายุ (senescence leaf) ที่เก็บทั้งหมด 4 ครั้ง ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ตุลาคม พ.ศ. 2562 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 และพฤษภาคม พ.ศ. 2563 พบว่าปริมาณ TC ของใบ *A. alba* ในระยะเจริญเต็มที่และระยะเสื่อมตามอายุไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $t = -0.234$, $p = 0.816$) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของใบระยะเจริญเต็มที่และระยะเสื่อมตามอายุเท่ากับ $46.29 \pm 1.21\%$ และ $46.05 \pm 1.41\%$ ตามลำดับ

ปริมาณ TC ของใบระยะเจริญเต็มที่ในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 5.729$, $p = 0.011$) โดยมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ $47.46 \pm 0.53\%$ ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน จากนั้นมีค่าลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งจนมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $45.06 \pm 1.29\%$ ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 และมีค่าเพิ่มอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 เช่นเดียวกับปริมาณ TC ของใบระยะเสื่อมตามอายุในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 11.511$, $p = 0.001$) โดยมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ $47.46 \pm 0.53\%$ ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน และมีค่าน้อยลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง จนมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $45.06 \pm 1.29\%$ ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 และมีค่าเพิ่มอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 (ตารางที่ 13 และภาพที่ 32ก)

6.2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen; TN) ของใบ

ปริมาณ TN ของใบ *A. alba* ในระยะเจริญเต็มที่ที่มีค่ามากกว่าในระยะเสื่อมตามอายุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $t = 13.652$, $p < 0.001$) โดยปริมาณ TN ของใบระยะเจริญเต็มที่และระยะเสื่อมตามอายุมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.59 \pm 0.19\%$ และ $1.35 \pm 0.30\%$ ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ TN ของใบในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งใบระยะเจริญเต็มที่ (ANOVA, $F = 0.301$, $p = 0.824$) และใบระยะเสื่อมตามอายุ (ANOVA, $F = 1.814$, $p = 0.198$) แม้ว่าจะมีแนวโน้มที่ปริมาณ TN ในใบระยะเจริญเต็มที่จะมีค่ามากในช่วงฤดูฝนและมีค่าน้อยในช่วงฤดูแล้ง โดยพบว่ามีค่ามากที่สุดเท่ากับ $2.66 \pm 0.12\%$ ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน จากนั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง จนมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $2.53 \pm 0.17\%$ ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 (ตารางที่ 13 และภาพที่ 32ข)

6.3 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus; TP) ของใบ

ปริมาณ TP ของใบ *A. alba* ในระยะเจริญเต็มที่ที่มีค่ามากกว่าในระยะเสื่อมตามอายุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test, $t = 4.711$, $p < 0.001$) โดยปริมาณ TP ของใบระยะเจริญเต็มที่และระยะเสื่อมตามอายุมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.28 \pm 0.03\%$ และ $0.20 \pm 0.06\%$ ตามลำดับ

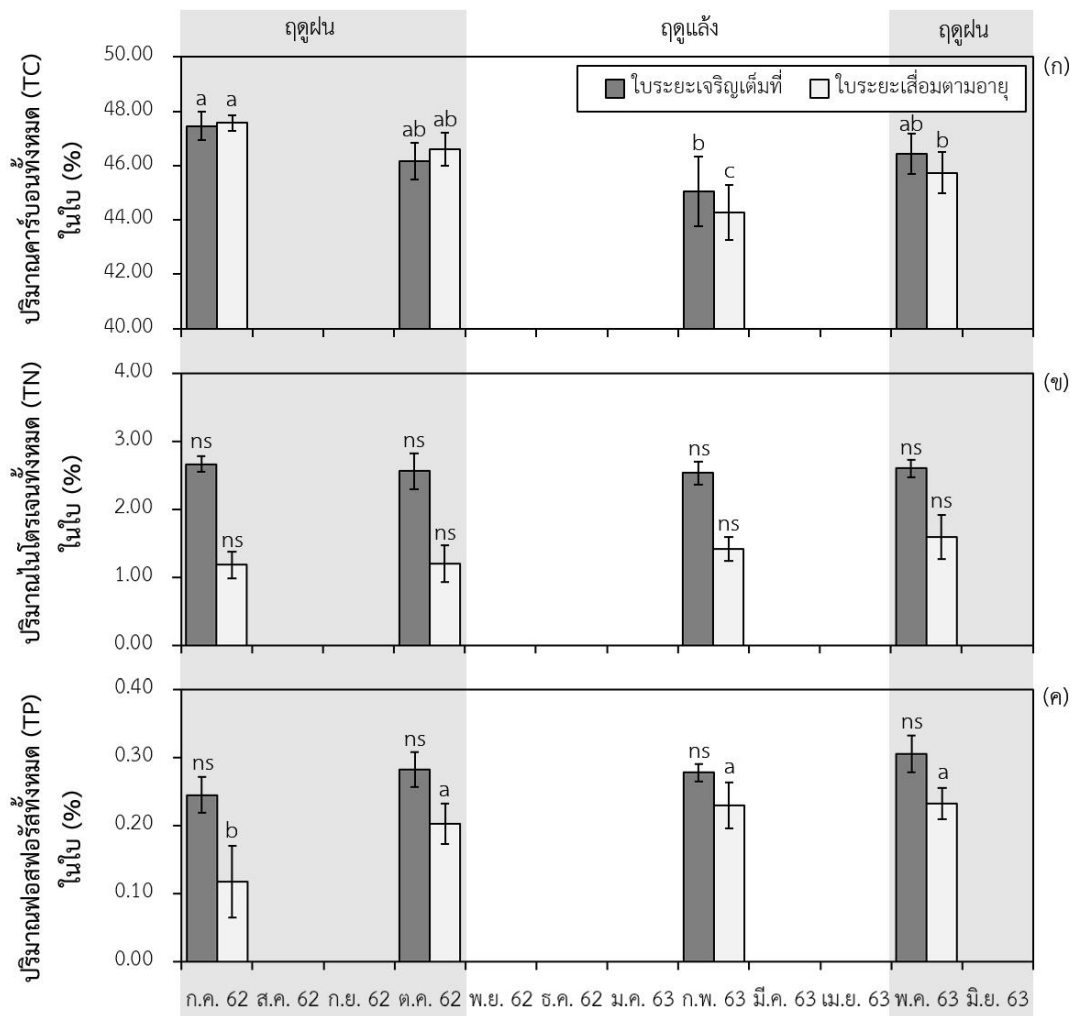
ปริมาณ TP ของใบระยะเจริญเต็มที่ในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 0.058$, $p = 0.058$) ขณะที่ปริมาณ TP ของใบระยะเสื่อมตามอายุในแต่ละเวลาที่เก็บตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 6.491$, $p = 0.007$) โดยมีค่าน้อยที่สุดในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน จากนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนมีค่ามากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เท่ากับ $0.23 \pm 0.03\%$ อยู่ในช่วงฤดูแล้ง (ตารางที่ 13 และภาพที่ 32ค)



ตารางที่ 13 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ของใบของแสมขาว (*A. alba*) (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ระยะเจริญเต็มที่ (mature leaf) และระยะเสื่อมตามอายุ (senescence leaf)

เดือน พ.ศ.	ปริมาณ TC (%)		ปริมาณ TN (%)		ปริมาณ TP (%)	
	ใบระยะเจริญเต็มที่	ใบระยะเสื่อมตามอายุ	ใบระยะเจริญเต็มที่	ใบระยะเสื่อมตามอายุ	ใบระยะเจริญเต็มที่	ใบระยะเสื่อมตามอายุ
กรกฎาคม พ.ศ. 2562	47.46 \pm 0.53 ^a	47.46 \pm 0.53 ^a	2.66 \pm 0.12 ^{ns}	1.19 \pm 0.19 ^{ns}	0.25 \pm 0.03 ^{ns}	0.12 \pm 0.05 ^b
ตุลาคม พ.ศ. 2562	46.18 \pm 0.67 ^{ab}	46.18 \pm 0.67 ^{ab}	2.56 \pm 0.26 ^{ns}	1.20 \pm 0.27 ^{ns}	0.28 \pm 0.03 ^{ns}	0.20 \pm 0.03 ^a
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563	45.06 \pm 1.29 ^b	45.06 \pm 1.29 ^c	2.53 \pm 0.17 ^{ns}	1.42 \pm 0.18 ^{ns}	0.28 \pm 0.01 ^{ns}	0.23 \pm 0.03 ^a
พฤษภาคม พ.ศ. 2563	46.45 \pm 0.74 ^{ab}	46.45 \pm 0.74 ^b	2.60 \pm 0.13 ^{ns}	1.59 \pm 0.32 ^{ns}	0.31 \pm 0.03 ^{ns}	0.23 \pm 0.02 ^a

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ระหว่างปริมาณสารอาหารของใบในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้นโดยวิธี one-way ANOVA และทดสอบ Post hoc ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)



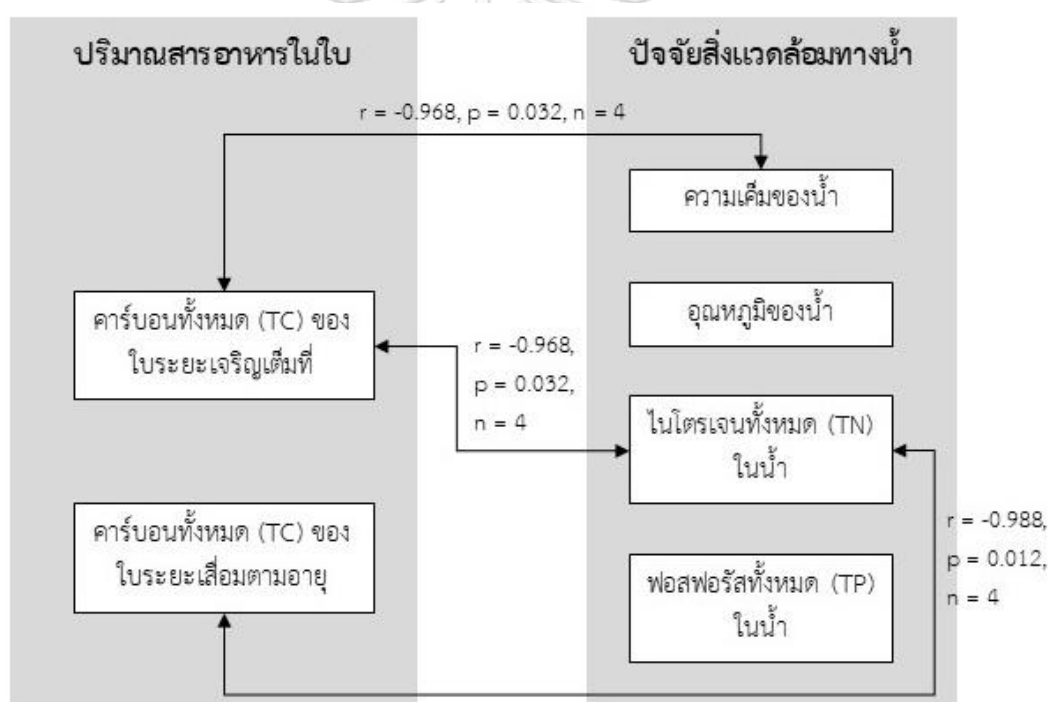
ภาพที่ 32 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) (ข) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) (ค) ในใบของแสมขาว (*A. alba*) ระยะเจริญเต็มที่ (mature leaf) และใบระยะเสื่อมตามอายุ (senescence leaf) โดยแถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง SD ขณะที่ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ระหว่างปริมาณสารอาหารของใบในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้น ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี one-way ANOVA และทดสอบ Post hoc ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารในใบกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารในใบแสมขาว (*A. alba*) และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยภูมิอากาศ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน พบว่าปริมาณสารอาหารในใบไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยภูมิอากาศ โดยพบว่า

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ของใบ *A. alba* ทั้งในระยะเจริญเต็มที่และระยะเสื่อมตามอายุ ไม่มีสหสัมพันธ์ใด ๆ กับปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิอากาศรายเดือน

ปริมาณสารอาหารในใบ *A. alba* มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 33 โดยพบว่าปริมาณ TC ของใบระยะเจริญเต็มที่ที่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความเค็มของน้ำ ($r = -0.968$, $p = 0.032$, $n = 4$) และกับความเข้มข้นของ TN ในน้ำ ($r = -0.968$, $p = 0.032$, $n = 4$) นอกจากนี้ยังพบว่าที่ปริมาณ TC ของใบระยะเสื่อมตามอายุมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของ TN ในน้ำ ($r = -0.988$, $p = 0.012$, $n = 4$) ขณะที่ปริมาณสารอาหารในใบผสมขาวไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน เนื่องจากไม่พบสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างปริมาณสารอาหารในใบกับปริมาณ TC, TN และ TP ในดินภายในเขตไม้ผสม



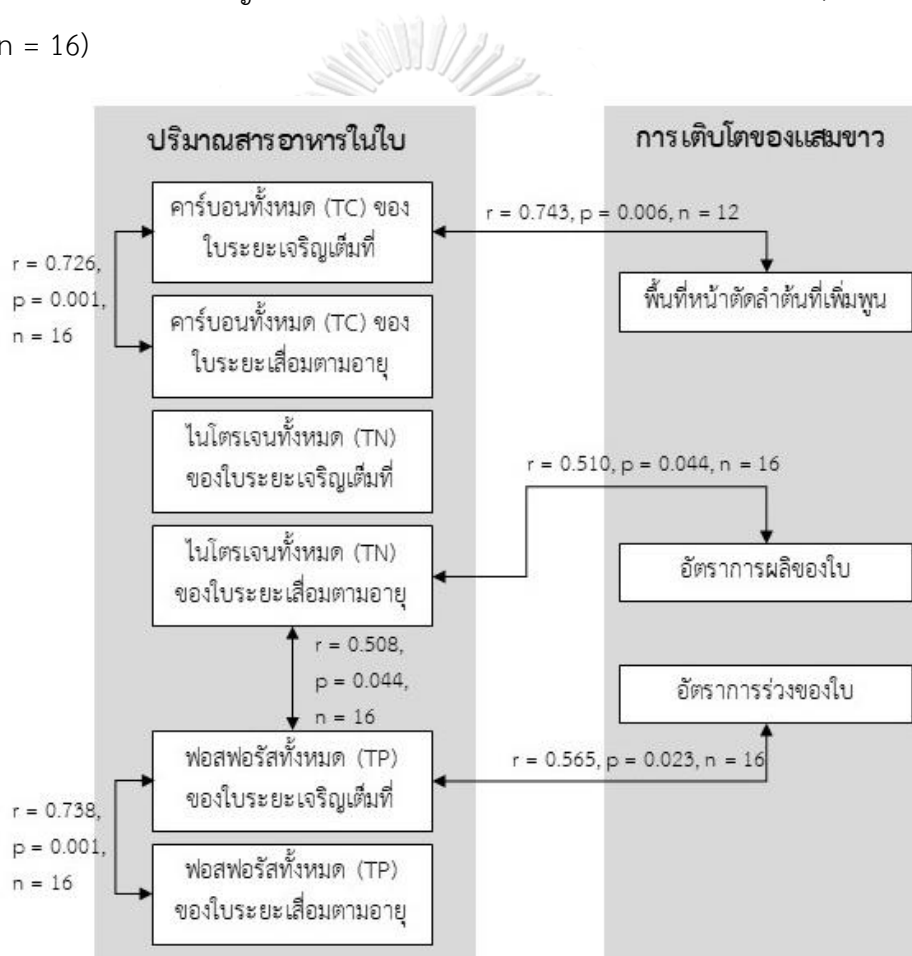
ภาพที่ 33 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารในใบของผสมขาว (*A. alba*) และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารในใบกับการเติบโตของลำต้น การผลิและการร่วงของใบ

จากการศึกษาเพื่อหาสหสัมพันธ์ของปริมาณสารอาหารในใบกับการเติบโตของผสมขาว (*A. alba*) ดังแสดงในภาพที่ 34 พบว่าปริมาณ TC ของใบระยะเจริญเต็มที่ที่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ

TC ของใบระยะเสื่อมตามอายุ ($r = 0.726, p = 0.001, n = 16$) เช่นเดียวกันกับปริมาณ TP ของใบระยะเจริญเต็มที่ที่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ TP ของใบระยะเสื่อมตามอายุ ($r = 0.738, p = 0.001, n = 16$)

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารอาหารในใบมีความเกี่ยวข้องกับการเติบโตของ *A. alba* ดังแสดงในภาพที่ 34 ซึ่งพบว่าปริมาณ TC ของใบระยะเจริญเต็มที่ที่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนรายเดือน ($r = 0.743, p = 0.006, n = 12$) ขณะที่ปริมาณ TN ของใบระยะเสื่อมตามอายุมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการผลิของใบ ($r = 0.510, p = 0.044, n = 16$) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ TP ของใบระยะเจริญเต็มที่ที่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการร่วงของใบ ($r = 0.565, p = 0.023, n = 16$)



ภาพที่ 34 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารในใบและการเติบโตของแสมขาว (*A. alba*)

7. ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (nitrogen and phosphorus resorption efficiency) ในใบของแสมขาว (*A. alba*)

7.1 ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) ในใบแสมขาว

จากการคำนวณ NRE ทั้งหมด 4 ครั้ง ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ตุลาคม พ.ศ. 2562 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 และพฤษภาคม พ.ศ. 2563 พบว่า NRE ในใบของแสมขาว (*A. alba*) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $48.00 \pm 11.18\%$ นอกจากนี้ยังพบว่า NRE ในแต่ละช่วงเวลาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 2.489$, $p = 0.110$) ถึงแม้จะเห็นแนวโน้มของ NRE ที่มากในช่วงฤดูฝนและน้อยลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง โดย NRE มีค่ามากที่สุดเท่ากับ $55.68 \pm 5.66\%$ ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน จากนั้นมีค่าน้อยลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $38.64 \pm 13.85\%$ ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูฝน (ตารางที่ 14 และภาพที่ 35ก)

นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่าง NRE กับปัจจัยภูมิอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของอากาศ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเค็มของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ปริมาณ TN และปริมาณ TP ในดิน อีกทั้งยังไม่พบสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่าง NRE กับพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูน อัตราการผลิตและอัตราการร่วงของใบ *A. alba* และพบว่า NRE มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ TN ของใบระยะเสื่อมตามอายุ ($r = -0.951$, $p < 0.001$, $n = 16$) (ภาพที่ 36)

7.2 ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ในใบแสมขาว

จากการศึกษาพบว่า PRE ในใบของ *A. alba* มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $30.48 \pm 18.12\%$ และ PRE ในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้นอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $F = 4.730$, $p = 0.021$) โดยพบว่ามีค่ามากที่สุดเท่ากับ $52.56 \pm 20.33\%$ ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน จากนั้นมีค่าน้อยลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง จนมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $17.27 \pm 10.35\%$ ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 (ตารางที่ 14 และภาพที่ 35ข)

พบว่าไม่มีสหสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่าง PRE กับปัจจัยภูมิอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของอากาศ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเค็มของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ

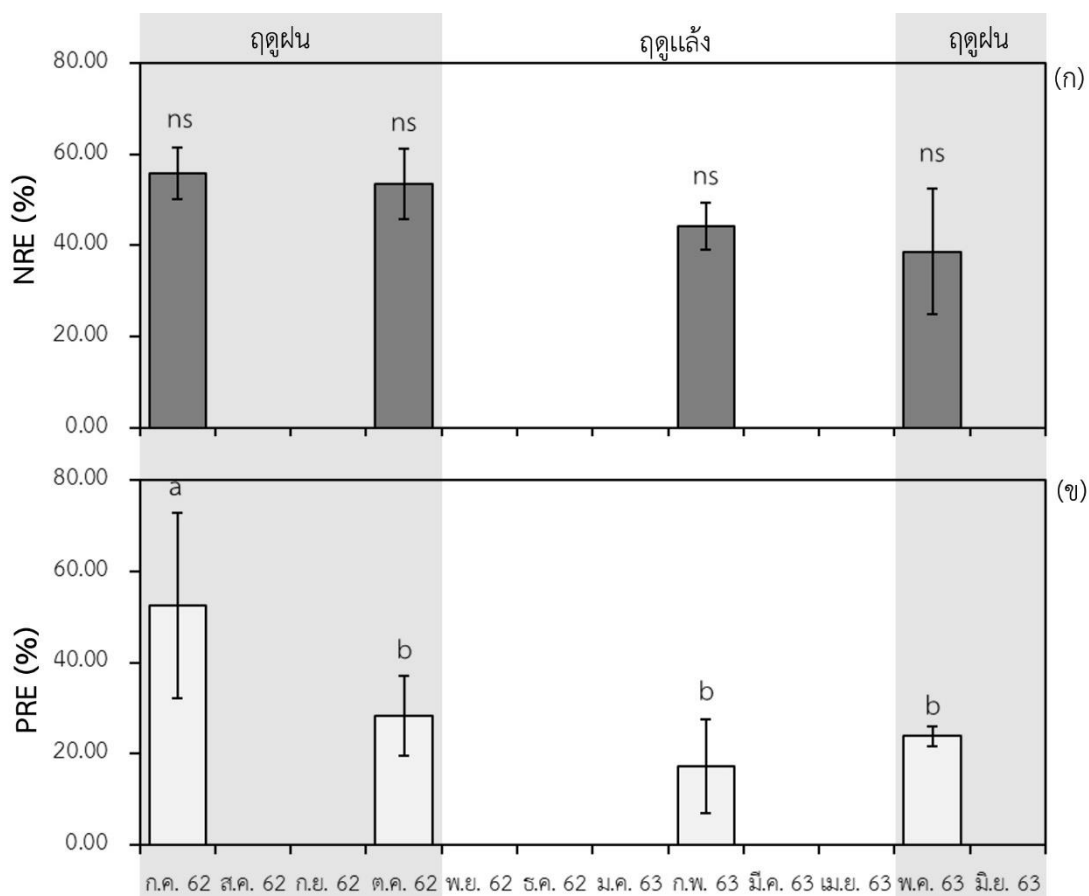
ความเข้มข้นของ TN และ TP ในน้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดิน ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณ TC, TN และ TP ในดินจากภายในเขตไม้แสม

ขณะที่พบว่า PRE มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ TP ของใบระยะเสื่อมตามอายุ ($r = -0.939$, $p < 0.001$, $n = 16$) และยังพบว่า PRE มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนของ *A. alba* ($r = 0.667$, $p = 0.018$, $n = 12$) แต่ไม่พบสหสัมพันธ์กับอัตราการผลิและร่วงของใบ *A. alba* (ภาพที่ 36)

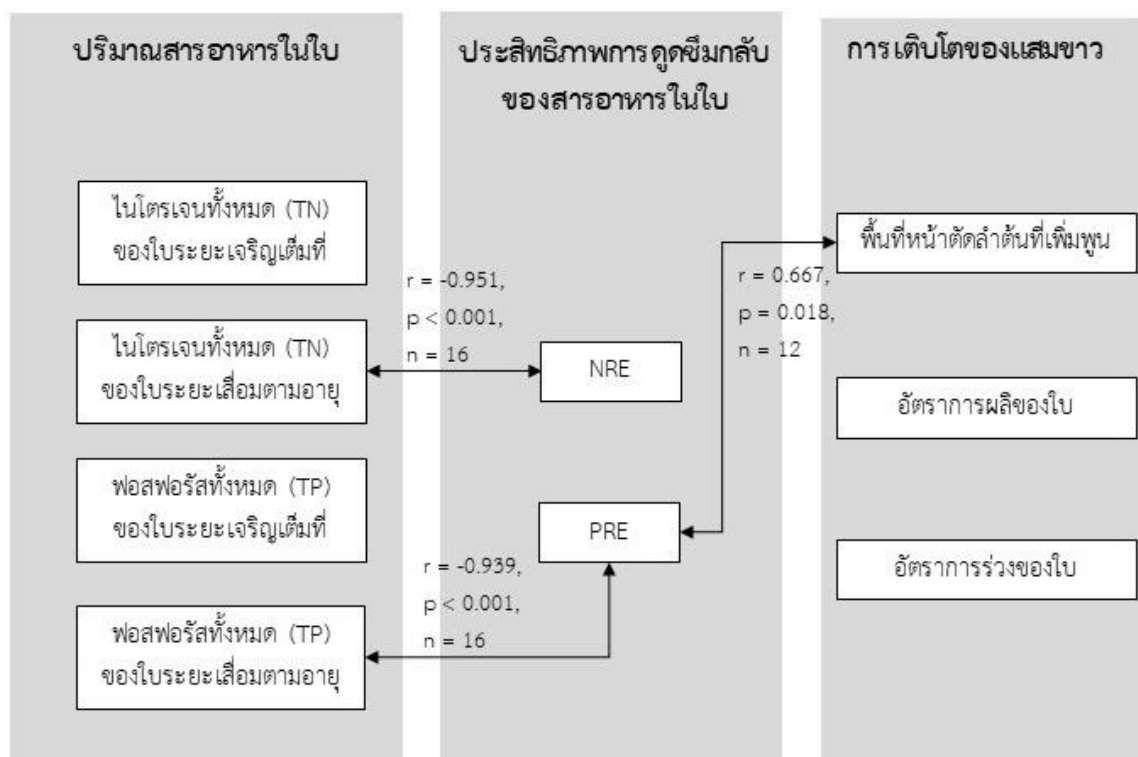
ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) และประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ในใบของแสมขาว (*A. alba*)

เดือน พ.ศ.	NRE (%)	PRE (%)
กรกฎาคม 2562	55.68 \pm 5.66 ^{ns}	52.56 \pm 20.33 ^a
ตุลาคม 2562	53.53 \pm 7.64 ^{ns}	28.31 \pm 8.72 ^b
กุมภาพันธ์ 2563	44.18 \pm 5.07 ^{ns}	17.27 \pm 10.35 ^b
พฤษภาคม 2563	38.64 \pm 13.85 ^{ns}	23.80 \pm 2.29 ^b

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ของ NRE และ PRE ในแต่ละช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี one-way ANOVA และทดสอบ Post hoc ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)



ภาพที่ 35 ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) (ก) และประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) (ข) ในใบของแสมขาว (*A. alba*) โดยแถบค่าคลาดเคลื่อนแสดง SD ขณะที่ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตัวอักษรที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ของ NRE และ PRE ในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้น ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี one-way ANOVA และทดสอบ Post hoc ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)



ภาพที่ 36 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารในใบ ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของสารอาหารในใบ และการเติบโตของแสมขาว (*A. alba*)

บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา

1. การเติบโตของแสมขาว (*A. alba*)

1.1 ความผันแปรตามฤดูกาลของการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้น

จากการศึกษาพบว่าภายในระยะเวลาหนึ่งปี (กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563) แสมขาว (*Avicennia alba*) ในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด เติบโตขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 6.66 – 78.63 ตารางเซนติเมตรต่อต้น โดย *A. alba* ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก (diameter at breast height; DBH) มากกว่าจะมีพื้นที่หน้าตัดลำต้นเพิ่มขึ้นได้มากกว่า เช่นเดียวกับกับ *A. marina* และ *Rhizophora mucronata* ในป่าชายเลนทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย (Kathiresan et al., 2013) และต้นไม้ในป่าบกเขตร้อนและเขตอบอุ่นอีกหลายชนิด (Stephenson et al., 2014) ที่มีอัตราการเติบโตของลำต้นเพิ่มสูงขึ้นเมื่อขนาดลำต้นของต้นไม้ใหญ่ขึ้น เนื่องจากเมื่อต้นไม้มีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น มวลรวมของใบทั้งหมดของต้นไม้จะเพิ่มขึ้นด้วย จึงสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศผ่านการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของเรือนยอดเพิ่มมากขึ้น (Kathiresan et al., 2013) จึงได้ผลผลิตสารอินทรีย์ในมวลชีวภาพในปริมาณที่มากขึ้น (Niklas and Enquist, 2002)

ในการศึกษานี้พบว่าการเติบโตของลำต้นของ *A. alba* ทั้งต้นขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยอัตราการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นจะเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน และลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง (ภาพที่ 24) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Komiyama และคณะ (2019) ที่ศึกษาการเติบโตของ *A. alba* ภายในแปลงศึกษาเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้นี้ในปี พ.ศ. 2558 และ พ.ศ. 2559 ได้รายงานเช่นเดียวกันว่า *A. alba* มีอัตราการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาที่รายงานความผันแปรตามฤดูกาลของการเติบโตของลำต้นพืชสกุล *Avicennia* ในป่าชายเลนบริเวณอื่น ๆ อีกด้วย เช่น *A. marina* ที่ประเทศเคนยา (Schmitz et al., 2007) ประเทศอินเดีย (Kathiresan et al., 2013) และประเทศออสเตรเลีย (Santini et al., 2015) และในต้นไม้ป่าชายเลนสกุลอื่น ๆ เช่น *Sonneratia apetala* ที่ประเทศบังคลาเทศ (Rahman et al., 2020) *R. mucronata* ที่ประเทศเคนยา (Verheyden et al., 2004) และประเทศอินเดีย (Kathiresan et al., 2013) *Heritiera fomes* ที่ประเทศบังคลาเทศ (Chowdhury, De Ridder and Beeckman, 2016) และ *Laguncularia racemosa* ที่ประเทศบราซิล (Estrada et al., 2008) แสดงให้เห็นว่าความผันแปรตามฤดูกาลของการเติบโตของลำต้นของต้นไม้ป่าชายเลน โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน

A. alba ที่พบในการศึกษาครั้งนี้ อาจได้รับอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละฤดูกาล

1.2 ความผันแปรตามฤดูกาลของซีพลักษณ์ใบ

ผลการศึกษาซีพลักษณ์ใบของแสมขาว (*A. alba*) พบว่าอัตราการผลิใบมีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยอัตราการผลิใบสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝนและมีค่าลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้ง (ภาพที่ 27ก) ขณะที่อัตราการร่วงของใบแสดงความผันแปรตามฤดูกาลที่ไม่ชัดเจน (ภาพที่ 27ข) แม้พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงปลายของฤดูฝน แต่หลังจากนั้นอัตราการร่วงของใบจะค่อนข้างคงที่ตลอดปี ความผันแปรตามฤดูกาลของอัตราการผลิใบที่จะเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนและลดลงในช่วงฤดูแล้งนี้ยังมีรายงานในพืชสกุล *Avicennia* ในป่าชายเลนบริเวณอื่นเช่นเดียวกัน เช่น *A. marina* ที่ภาคใต้ของประเทศไทย (Wium-Andersen and Christensen, 1978) ที่ประเทศเคนยา (Ochieng and Erftemeijer, 2002; Wang'ondou et al., 2010) และที่ประเทศออสเตรเลีย (Coupland, Paling and McGuinness, 2005) และยังมีรายงานในต้นไม้ป่าชายเลนในสกุลอื่น เช่น *R. apiculata* (Christensen and Wium-Andersen, 1977) *R. mucronata* ที่ภาคใต้ของประเทศไทย (Wium-Andersen, 1981) *R. stylosa* ที่ประเทศออสเตรเลีย และ *S. alba* ที่ประเทศออสเตรเลีย (Coupland, Paling and McGuinness, 2005) แสดงให้เห็นว่านอกจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมจะมีอิทธิพลต่อการเติบโตของลำต้นของต้นไม้ป่าชายเลนแล้ว ยังส่งผลต่อการเติบโตด้านการผลิใบเช่นเดียวกัน

การศึกษาในครั้งนี้พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างอัตราการขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและอัตราการผลิใบของ *A. alba* โดยในช่วงฤดูฝนที่อัตราการขยายขนาดลำต้นเพิ่มสูงขึ้นพบว่าอัตราการผลิใบก็สูงขึ้นเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 31ก) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของลำต้นและการผลิใบของพืชป่าชายเลนนี้ยังมีการศึกษาอยู่น้อย ตัวอย่างเช่น *A. schaueriana* ที่ป่าชายเลนทางตอนใต้ของประเทศบราซิล (Alvarenga, Botosso and Soffiatti, 2017) แต่ก็มีรายงานสำหรับต้นไม้ในระบบนิเวศป่าบกอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบนิเวศป่าบกเขตอบอุ่นที่ต้นไม้ส่วนใหญ่เป็นต้นไม้ผลัดใบ (deciduous tree) ซึ่งจะทิ้งใบในฤดูใบไม้ร่วง โดยมีรายงานว่า การขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและซีพลักษณ์ของใบของต้นไม้หลายชนิดมีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยอัตราการร่วงของใบจะสูงในช่วงฤดูใบไม้ร่วงก่อนที่จะเข้าสู่ฤดูหนาว การเติบโตของลำต้นจึงลดน้อยลงในช่วงฤดูหนาว จากนั้นต้นไม้จะผลิใบใหม่ในฤดูใบไม้ผลิ ทำให้อัตราการผลิใบเพิ่มสูงขึ้นพร้อม ๆ กับการเติบโตของลำต้นที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Guada, Vazquez-Ruiz and Garcia-Gonzalez, 2019; Mendivelso et al., 2016; Sass-Klaassen, Sabajo and den Ouden, 2011) ซึ่งได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรดังกล่าวอย่างกว้างขวาง โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของลำต้นและการผลิใบของต้นไม้ในป่าบกคือ อุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นใน

ดิน และความชื้นในอากาศ (Kocher, Horna and Leuschner, 2012; Polgar and Primack, 2011; Tardif, Brisson and Bergeron, 2001; Toigo et al., 2021) นอกจากนี้ยังพบว่าฮอร์โมนพืชมีอิทธิพลต่อการเติบโตของลำต้น เช่น ออกซิน (auxin) ซึ่งถูกสร้างจากเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดและใบอ่อน พบว่าสามารถกระตุ้นการสร้างและการขยายขนาดของเนื้อเยื่อท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ภายในลำต้นของต้นไม้ได้ (Sorice et al., 2013) อีกทั้งยังพบว่าสามารถกระตุ้นการสร้างและการพัฒนาของเนื้อเยื่อลำเลียงอาหาร (phloem) (Fajstavr et al., 2018) ซึ่งเมื่อเนื้อเยื่อท่อลำเลียงเพิ่มและขยายขนาดขึ้นจะทำให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและเนื้อไม้เพิ่มขึ้นด้วย (Du and Yamamoto, 2007) จากการศึกษาของ Fajstavr และคณะ (2018) พบว่าความเข้มข้นของออกซินในลำต้นมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยออกซินที่ผลิตจากเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด จะถูกสร้างเพิ่มมากขึ้นเมื่อพืชมีการผลิใบเพิ่มขึ้นหลังผ่านช่วงฤดูหนาว และไปกระตุ้นให้มีการสร้างและพัฒนาของเนื้อเยื่อท่อลำเลียงในลำต้น

การเติบโตของลำต้นและการผลิใบของต้นไม้จึงขึ้นอยู่กับทั้งปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกและปัจจัยชีวภาพภายในของต้นไม้ ซึ่งมีการศึกษาอย่างกว้างขวางในระบบนิเวศป่าบก แต่สำหรับความผันแปรของการเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลนนั้นมีความแตกต่างจากระบบนิเวศป่าบก เนื่องด้วยความเฉพาะของระบบนิเวศป่าชายเลนที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ทำให้ต้นไม้ป่าชายเลนได้รับอิทธิพลจากความเค็มและปริมาณสารอาหารที่เป็นผลมาจากน้ำที่เข้าท่วม (Krauss and Ball, 2013) ซึ่งจะอภิปรายในลำดับต่อไป

2. ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับสารอาหารในใบของแสมขาว (*A. alba*)

2.1 ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) และประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ในใบ

ไนโตรเจนในใบเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ rubisco ภายในเซลล์ จึงมีบทบาทสำคัญในการเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรง (Ghimire et al., 2017; Makino, 2003; Warren, Adams and Chen, 2000) ขณะที่ฟอสฟอรัสในใบเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดนิวคลีอิก องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และ ATP จึงมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนภายในเซลล์ (Bielski, 1973; Niklas et al., 2005) จากการศึกษาใบของแสมขาว (*A. alba*) ครั้งนี้พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในใบระยะเจริญเต็มที่ที่มีค่าเท่ากับ $2.59 \pm 0.19\%$ และไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่ามีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของ TN ในใบของพืชในระบบนิเวศบกอื่น ๆ ที่มีค่าประมาณ 1.89% (Tian et al., 2018) และยังมีค่าสูงกว่าในใบของต้นไม้ป่าชายเลนหลายชนิด ที่รายงานค่าตั้งแต่ 0.80 - 2.24%

(Almahasheer, Duarte and Irigoien, 2018; Alongi et al., 2002; Boto and Wellington, 1983; Hu et al., 2021; Khan, Suwa and Hagihara, 2007; Wang, Xu and Wu, 2020)

ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในใบระยะเจริญเต็มที่ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเท่ากับ $0.28 \pm 0.03\%$ และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาที่ยึดตัวอย่าง เช่นเดียวกับ TN ในใบระยะเจริญเต็มที่ อีกทั้งยังพบว่าค่าสูงกว่า TP ในใบของพืชในระบบนิเวศบก อื่น ๆ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.12% (Tian et al., 2018) และมีค่าสูงกว่าในใบของต้นไม้ป่าชายเลนหลาย ชนิด ที่มีค่าตั้งแต่ $0.032 - 0.370\%$ (Almahasheer, Duarte and Irigoien, 2018; Boto and Wellington, 1983; Hu et al., 2021; Wang, Xu and Wu, 2020) ปริมาณ TN และ TP ในใบของ *A. alba* ที่ค่อนข้างสูงนี้ อาจแสดงให้เห็นว่าสิ่งแวดล้อมทั้งดินและน้ำในแปลงศึกษาที่มีปริมาณ สารอาหารค่อนข้างสูง ทำให้ *A. alba* สามารถนำสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ได้มากขึ้น และส่งผลให้ ปริมาณสารอาหารในใบสูงตามไปด้วย (Almahasheer, Duarte and Irigoien, 2018; Boto and Wellington, 1983; Wang, Xu and Wu, 2020)

การศึกษานี้พบว่า TN ในใบระยะเสื่อมตามอายุมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.35 \pm 0.30\%$ ขณะที่ TP ในใบระยะเสื่อมตามอายุมีค่า $0.20 \pm 0.06\%$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในใบระยะเจริญเต็มที่อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติสำหรับทั้ง TN และ TP แสดงให้เห็นว่า *A. alba* มีการดูดซึมไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสกลับไปใช้ใหม่ก่อนที่ใบจะร่วง โดยประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) ในใบของ *A. alba* ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $48.00 \pm 11.18\%$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ NRE ของพืชมีเนื้อไม้ในระบบนิเวศบกอื่น ๆ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 48.4% ขณะที่ประสิทธิภาพการดูดซึมกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ใน ใบของ *A. alba* มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $30.48 \pm 18.12\%$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าของพืชมีเนื้อไม้ในระบบนิเวศบก อื่น ๆ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.3% (Yan, Zhu and Yang, 2018)

เนื่องจากป่าชายเลนที่ตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำที่ได้รับสารอาหารจากตะกอนที่พัดพามากับ กระแสน้ำ (MacDonnell et al., 2017; Terada, Koibuchi and Isobe, 2017) จึงทำให้มีความอุดม สมบูรณ์ของสารอาหารมาก นอกจากนี้หลายการศึกษาได้รายงานไว้ว่าพืชที่ขึ้นอยู่ในบริเวณที่มี สารอาหารในดินมาก จะมีการดูดซึมกลับของสารอาหารในใบน้อยลง (Vergutz et al., 2012; Yan, Zhu and Yang, 2018; Yuan and Chen, 2015) จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ *A. alba* ในป่าชายเลน บริเวณปากแม่น้ำตราดมีการดูดซึมกลับของสารอาหารในใบน้อยกว่าพืชสกุลเดียวกันที่รายงานในป่า ชายเลนอื่น ๆ ได้แก่ *A. marina* ในป่าชายเลนปากแม่น้ำบริเวณ Gazi Bay ประเทศเคนยา จาก การศึกษาของ Rao และคณะ (1994) ที่พบว่า NRE มีค่าเท่ากับ 69% และจากการศึกษาของ

Ochieng and Erftemeijer (2002) ที่พบว่า NRE มีค่าเท่ากับ 68% และ PRE มีค่าเท่ากับ 61% ในขณะที่ Alam และคณะ (2019) รายงานว่าใบของ *A. officinalis* ในป่าชายเลน Sundarbans ประเทศบังคลาเทศ มีค่า NRE ตั้งแต่ 50.4 – 71.4% และ PRE ตั้งแต่ 48.4 – 67.9% โดยป่าชายเลนทั้งสองแห่งนี้ได้รับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนปริมาณน้อยและมีแม่น้ำขนาดเล็กไหลผ่าน จึงอาจทำให้ได้รับสารอาหารจากแม่น้ำน้อยกว่าป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด นอกจากนี้ยังมีรายงานใน *A. marina* โดยการศึกษาของ Almahasheer, Duarte และ Irigoien (2018) ในป่าชายเลน Red Sea ประเทศซาอุดีอาระเบีย ซึ่งเป็นป่าชายเลนที่ตั้งอยู่ชายฝั่งทะเลและไม่มีแม่น้ำไหลผ่าน ทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารน้อย โดยมี NRE และ PRE สูงถึง 69% และ 72% ตามลำดับ

2.2 ความผันแปรตามฤดูกาลของประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบ

การศึกษาค้นคว้าพบว่าค่า NRE ในใบของ *A. alba* ในแต่ละช่วงเวลาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 35ก) แสดงให้เห็นว่า *A. alba* มีการดูดซึมน้ำไนโตรเจนจากใบกลับไปใช้ค่อนข้างคงที่ตลอดปี ถึงแม้ว่าการศึกษาค้นคว้าพบการดูดซึมน้ำกลับไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในฤดูฝน แตกต่างจากค่า PRE ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในฤดูแล้ง มีค่าเท่ากับ $52.56 \pm 20.33\%$ แสดงให้เห็นว่า *A. alba* มีการดูดซึมน้ำกลับฟอสฟอรัสจากใบไปใช้ใหม่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงฤดูฝน ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงชี้ให้เห็นว่า *A. alba* ในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราดสามารถนำสารอาหารจากใบกลับไปใช้ใหม่ได้มากขึ้นในช่วงฤดูฝน โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส และอาจส่งเสริมให้ *A. alba* สามารถเติบโตทางด้านการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและผลิใบได้ในอัตราที่สูงขึ้นในช่วงฤดูฝน อย่างไรก็ตามความผันแปรตามฤดูกาลของประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบที่พบในการศึกษาค้นคว้านี้อาจได้รับอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในรอบปีด้วยเช่นกัน

3. ความผันแปรตามฤดูกาลของปัจจัยสิ่งแวดล้อม

3.1 ปริมาณน้ำฝนและความเค็มของน้ำ

ปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดจากสถานีอากาศบริเวณศูนย์วิจัยทรัพยากรป่าชายเลนที่ 1 (ตราด) จังหวัดตราด ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากป่าชายเลนที่เป็นพื้นที่ศึกษาประมาณ 2 กิโลเมตร ในช่วงตลอดระยะเวลาหนึ่งปีที่ทำการศึกษา (กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563) มีค่าเท่ากับ 2,686.2 มิลลิเมตร โดยปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝนสูงถึง 88.3% อันเนื่องมาจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดเอาความชื้นจากทะเลอ่าวไทยมาปกคลุมจังหวัดตราดตั้งแต่เดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนตุลาคม ส่งผลให้ช่วงเวลาดังกล่าวมีฝนตกปริมาณมาก

นอกจากนี้ยังพบว่าความเค็มของน้ำตลอดแม่น้ำตราด ได้แก่ บริเวณแม่น้ำสายหลัก แม่น้ำสาขา และปากแม่น้ำ ตลอดจนน้ำที่เข้าท่วมภายในเขตไม้แสมของแปลงศึกษามีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน (ภาพที่ 15) โดยความเค็มของน้ำจะมีค่าน้อยในช่วงฤดูฝน จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้ง และจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณน้ำฝนคือปัจจัยสภาพภูมิอากาศสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อความเค็มของน้ำในแม่น้ำตราด เนื่องจากพบสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณน้ำฝนรายเดือนและความเค็มของน้ำในแม่น้ำ โดยปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นช่วงฤดูฝนส่งผลให้มวลน้ำจืดไหลลงสู่แม่น้ำตราดเพิ่มมากขึ้น ความเค็มน้ำในแม่น้ำตราดจึงถูกเจือจาง ส่งผลให้ความเค็มของน้ำในแม่น้ำบริเวณพื้นที่ศึกษามีค่าลดลง ในช่วงกลางฤดูฝน (กรกฎาคมถึงกันยายน พ.ศ. 2562) ที่มีปริมาณน้ำฝนมาก พบว่าความเค็มของน้ำในแม่น้ำลดลงเหลือเพียง 0.00% เท่านั้น จากนั้นเมื่อเข้าสู่ช่วงปลายฤดูฝนที่ปริมาณน้ำฝนเริ่มลดน้อยลง ความเค็มของน้ำในแม่น้ำเริ่มมีค่าสูงขึ้น และมีค่าสูงตลอดช่วงฤดูแล้งก่อนที่จะเริ่มลดลงอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนถัดไปในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Komiyama และคณะ (2019) ที่ศึกษาความผันแปรความเค็มของน้ำในพื้นที่ศึกษาเดียวกันกับการศึกษานี้ พบว่าปริมาณน้ำฝนในฤดูฝนที่สูงกว่า 80% ของปริมาณน้ำฝนรายปี ส่งผลให้ความเค็มของน้ำที่เข้าท่วมขังภายในเขตไม้แสมในพื้นที่ศึกษามีค่าลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาการผันแปรของความเค็มของน้ำในป่าชายเลนที่อื่น ๆ ที่ได้รับอิทธิพลมาจากปริมาณน้ำฝนที่มากในฤดูมรสุม เช่น ที่ประเทศฟิลิปปินส์ (Canini, Metillo and Azanza, 2013) บังกลาเทศ (Nasrin, Hossain and Rahman, 2019) และเวียดนาม (Taillardat et al., 2020)

การศึกษานี้พบว่าความเค็มของน้ำในแม่น้ำตราดแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความเค็มของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อจุดเก็บตัวอย่างอยู่ใกล้ทะเลมากขึ้น นอกจากนี้การศึกษาของ Singkran และ Sudara (2005) ยังพบว่าความใส (transparent) ของน้ำในแม่น้ำตราดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้ทะเล แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของมวลน้ำจืดจากบริเวณต้นแม่น้ำที่จะค่อย ๆ ผสมกับน้ำเค็มจากทะเล ทำให้น้ำจากบริเวณปากแม่น้ำที่ใกล้กับทะเลมากที่สุดมีความเค็มค่อนข้างสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่าพิสัยของความเค็มระหว่างจุดเก็บตัวอย่างมีค่าที่แคบลงในช่วงฤดูฝน แสดงให้เห็นว่าแม่น้ำตราดจะได้รับอิทธิพลจากมวลน้ำจืดจากบริเวณต้นแม่น้ำมากขึ้นในช่วงฤดูฝน

3.2 สารอาหารในน้ำ

การศึกษานี้รายงานความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำในรูปของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ตามลำดับ เนื่องจากข้อจำกัดในการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

เพื่อนำกลับมาใช้ปฏิบัติการ โดยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในน้ำ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Jones and Hood, 1980) อย่างไรก็ตามอาจอนุมานได้ว่าปริมาณ TN และ TP ในน้ำจากผลการศึกษาในครั้งนี้สะท้อนถึงปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในบริเวณปากแม่น้ำตราด ดังมีรายงานว่าสารอาหารในรูปอนินทรีย์ในแม่น้ำตราด ทั้งทั้งแอมโมเนีย (NH_4^+) ไนโตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) มีความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูฝน และฟอสเฟต (PO_3^{4-}) มีแนวโน้มที่ความเข้มข้นสูงเพิ่มขึ้นในฤดูแล้ง (Kan-atireklap et al., 2016; Meesub et al., 2021) สอดคล้องกับแนวโน้มของปริมาณ TN และ TP ในน้ำที่รายงานในการศึกษาครั้งนี้

ผลการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในน้ำช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ที่มีค่าเท่ากับ 3.13 ± 1.95 และ 2.42 ± 1.75 mg/L ตามลำดับ แม้ว่าค่าความเข้มข้นของ TN ในน้ำมีค่าสูงที่สุดในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงกลางของฤดูฝน (ภาพที่ 17ก) แตกต่างกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำในช่วงฤดูฝนที่มีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.16 ± 0.32 และ 1.36 ± 1.05 mg/L ตามลำดับ

แหล่งของสารอาหารบริเวณแม่น้ำตราดจะมาจากบริเวณแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน (Seitzinger et al., 2002) เนื่องจากอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นช่วงฤดูฝนทำให้สารอาหารอนินทรีย์และตะกอนจากพื้นที่เกษตรกรรม แหล่งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณต้นน้ำถูกชะล้างและพัดพามากับมวลน้ำมากขึ้นในช่วงฤดูฝน (MacDonnell et al., 2017; Terada, Koibuchi and Isobe, 2017) การศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่า TN และ TP ในน้ำมีความผันแปรตามฤดูกาลที่ต่างกันนั้น มีความเป็นไปได้ว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแม่น้ำตราดนั้นอาจมีแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน โดยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนอาจจะมีแหล่งที่มาจากบริเวณต้นน้ำ เช่น การทำเกษตรกรรม การทำปอ่กุง (Singkran and Sudara, 2005) เนื่องจากการศึกษาของ Kan-atireklap และคณะ (2016) และการศึกษาล่าสุดของ Meesub และคณะ (2021) ต่างก็พบว่าทิศทางการไหลของน้ำและสารอาหารอนินทรีย์สุทธิ ได้แก่ NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- และ PO_3^{4-} ในแม่น้ำตราดมีทิศทางการออกสู่ทะเลในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้ยังพบว่าไนโตรเจนในน้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูป NH_4^+ และ NO_3^- ซึ่งเป็นรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available nitrogen)

ขณะที่ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นช่วงฤดูแล้งนั้นอาจจะมีแหล่งที่มาจากทะเล ทั้งหลักฐานจากการศึกษาของ Kan-atireklap และคณะ (2016) และ Meesub และคณะ (2021) ต่างชี้ให้เห็นว่า

ในช่วงฤดูแล้งนั้นน้ำทะเลจะมีอิทธิพลต่อน้ำในแม่น้ำตราดเหนือมวลน้ำจืดจากต้นน้ำ โดยทิศทางการไหลของน้ำและ PO_4^{3-} สุทธิในแม่น้ำตราดในช่วงฤดูแล้งมีทิศทางการไหลจากทะเลเข้าสู่แม่น้ำตราด ดังนั้น PO_4^{3-} ที่มีทิศทางการไหลมาจากทะเลนี้อาจเป็นสาเหตุให้ความเข้มข้นของ TP ในน้ำเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้งดังที่พบในการศึกษาครั้งนี้ ต่างจากทิศทางการไหลของของ NH_4^+ และ NO_3^- ที่มีทิศทางการไหลจากแม่น้ำออกสู่ทะเลทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

3.3 สารอาหารในดิน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าป่าชายเลนในแปลงศึกษามีปริมาณสารอาหารในดินค่อนข้างสูงกว่าที่มีรายงานในป่าชายเลนที่อื่น ๆ โดยปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.27 \pm 1.06\%$ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.22 \pm 0.06\%$ และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.18 \pm 0.02\%$ ขณะที่ปริมาณ TC ในดินของป่าชายเลนที่อื่น ๆ มีค่าตั้งแต่ 0.08 – 2.81% (Chaikaew and Chavanich, 2017; Hu et al., 2021; Muhammad-Nor et al., 2019) ส่วนปริมาณ TN และ TP มีค่าตั้งแต่ 0.04 – 0.25% และ 0.003 – 0.123% ตามลำดับ (Castañeda-Moya et al., 2011; Cormier et al., 2015; Hu et al., 2021; Muhammad-Nor et al., 2019; Tam and Wong, 1996) โดยปกติแล้วป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำจะได้รับผลกระทบจากกิจกรรมการทำเกษตรและประมง ทำให้มีสารอาหารอนินทรีย์เข้ามาตกตะกอนในดินป่าชายเลน (Pradipta, Alamsjah and Masithah, 2021; Prasad and Ramanathan, 2008) จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้สารอาหารในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราดในแปลงศึกษานี้มีค่าสูงกว่าป่าชายเลนที่อื่น ๆ แสดงให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารที่จะส่งผลต่อการเติบโตของต้นไม้ในป่าชายเลนได้ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงสิ้นสุดฤดูฝนและกำลังเข้าสู่ฤดูแล้ง พบว่ามีปริมาณ TC และ TN ในดินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 21ก และ ข ตามลำดับ อาจแสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของ TC และ TN ในดินระหว่างช่วงฤดูฝน ทำให้เมื่อสิ้นสุดช่วงฤดูฝนจึงมีปริมาณ TC และ TN มากขึ้น ขณะที่ปริมาณ TP ในดินกลับไม่มีความแตกต่างระหว่างในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน (ภาพที่ 21ค)

ปริมาณ TC ในดินที่มากขึ้นเมื่อสิ้นสุดช่วงฤดูฝนนั้นอาจมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของรากฝอย (fine root) ในดิน เนื่องจากมีรายงานว่าต้นไม้ป่าชายเลนจะมีการสร้างรากฝอยเพื่อเพิ่มการดูดซึมน้ำและสารอาหารจากสิ่งแวดล้อมในช่วงฤดูฝน ทั้งในป่าชายเลนประเทศมาเลเซีย (Muhammad-Nor et al., 2019) และป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด ภายในแปลงศึกษาเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ (Poungparn et al., 2016) เมื่อรากฝอยเหล่านี้ตายลงจะถูกสะสมอยู่ในดินในรูปของ

อินทรีย์วัตถุ (organic matter) และกลายเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลชีพภายในดิน (Coonan et al., 2020; Mohammadi et al., 2011) ต่อไป

อีกทั้งการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าปริมาณ TC ในดินมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ TN ในดิน จึงแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนในดินที่เพิ่มขึ้นช่วงฤดูฝนนี้น่าจะมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุในดิน ขณะที่ไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TC กับปริมาณ TP ทั้งหมดในดิน จึงอาจเป็นไปได้ว่าฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในดินของป่าชายเลนในแปลงศึกษาจะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ที่เกิดจากการผุพัง (weathering) มากกว่ารูปสารอินทรีย์ ดังที่พบได้ในการศึกษาในป่าชายเลนที่อื่น ๆ (Cotovicz et al., 2014; Koch, Benz and Rudnick, 2001; Prasad and Ramanathan, 2010) อย่างไรก็ตามมีรายงานการศึกษาอื่น ๆ กล่าวว่าอินทรีย์วัตถุในดินของป่าชายเลนมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับทั้งปริมาณ TN และ TP ในดินของป่าชายเลนประเทศฮ่องกง (Tam and Wong, 1996) และป่าชายเลนประเทศจีน (Feng et al., 2019; Hu et al., 2021)

4. อิทธิพลของการผันแปรสิ่งแวดล้อมตามฤดูกาลต่อการเติบโตของแสมขาว (*A. alba*)

ปริมาณน้ำฝนรายเดือนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้น และอัตราการผลิใบของแสมขาว (*A. alba*) ในขณะที่ความเค็มของน้ำเกลือรายเดือนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและอัตราการผลิใบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝนและความเค็มของน้ำในแม่น้ำตราดต่างก็มีอิทธิพลต่อการเติบโตของ *A. alba* ในแปลงศึกษานี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Komiyama และคณะ (2019) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเค็มและการเติบโตของลำต้น *A. alba* ในแปลงศึกษาเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ โดยรายงานว่าความเค็มของน้ำในดินมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับอัตราการขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การศึกษาของ Osland และคณะ (2018) ยังกล่าวว่าบริเวณป่าชายเลนที่ได้รับปริมาณน้ำฝนน้อย จะทำให้ความเค็มในป่าชายเลนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเพิ่มพูนมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของป่าชายเลนบริเวณนั้นน้อยลงด้วย

จากการศึกษาของ Hayes และคณะ (2019) ที่ศึกษาการดึงน้ำมาใช้ในการเจริญเติบโตของ *A. marina* ในป่าชายเลนประเทศออสเตรเลียโดยใช้วิธีการติดตามไอโซโทปของออกซิเจน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าในช่วงฤดูฝน *A. marina* จะดึงน้ำจืดไปใช้ได้ปริมาณมากกว่าในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ Steppe และคณะ (2018) ยังพบว่า *A. marina* มีความสามารถในการดูดซึมน้ำจืดโดยตรงผ่านทางใบบนเรือนยอด ซึ่งเป็นแหล่งของน้ำจืดอีกแหล่งหนึ่งที่ *A. marina* นำไปใช้ในการเจริญเติบโต การศึกษาเหล่านี้เป็นหลักฐานสนับสนุนว่าปริมาณน้ำจืดในช่วงฤดูฝนมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการเติบโตของพืชป่าชายเลน

ถึงแม้ว่ามีหลายการศึกษาที่พบว่าการผลิตของต้นไม้ป่าชายเลนหลายชนิดจะมีอัตราที่สูงขึ้นในช่วงฤดูฝน ที่ปริมาณน้ำฝนเพิ่มสูงขึ้น ดังที่ได้ยกตัวอย่างไปในหัวข้อที่ 1.2 อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานที่ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของความเค็มของน้ำต่อการผลิตของต้นไม้ป่าชายเลนโดยตรง ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่านอกจากความเค็มที่ลดลงในช่วงฤดูฝนจะทำให้ *A. alba* มีการเติบโตของลำต้นที่มากขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้มีอัตราการผลิตของใบเพิ่มขึ้นอีกด้วย

นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการผลิตของ *A. alba* เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างภายในใบ เช่น คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ rubisco ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Ghimire et al., 2017; Makino, 2003; Warren, Adams and Chen, 2000) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนในน้ำช่วงฤดูฝนที่พบในการศึกษาครั้งนี้อาจทำให้ *A. alba* ได้รับไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโตมากขึ้น และส่งผลให้มีการสร้างใบใหม่ปริมาณมากขึ้นในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การสังเคราะห์ด้วยแสงของ *A. alba* ในป่าชายเลนจังหวัดชลบุรี มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน เนื่องจากพบว่ามีปริมาณน้ำตาลและแป้งในใบเพิ่มมากขึ้น (Ponpiboon and Vichkovitten, 2019) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนในน้ำช่วงฤดูฝนที่ทำให้ *A. alba* สร้างใบมากขึ้นนั้น ได้ส่งผลทำให้มีการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของเรือนยอดเพิ่มขึ้นด้วย *A. alba* จึงสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมาใช้สร้างมวลชีวภาพได้มากขึ้น และส่งผลต่อเนื่องในการเพิ่มอัตราการขยายขนาดลำต้นในช่วงฤดูฝนอีกด้วย

ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาใดที่ชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ที่ชัดเจนของความผันแปรตามฤดูกาลของความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำต่อการเติบโตของต้นไม้ป่าชายเลน แต่มีหลักฐานจากการศึกษาอื่น ๆ ที่อาจชี้ให้เห็นว่าเมื่อต้นไม้ป่าชายเลนได้รับไนโตรเจนมากขึ้น จะส่งผลให้การเติบโตทั้งส่วนลำต้นและใบเพิ่มมากขึ้น เช่น การศึกษาของ Naidoo (2009) พบว่าการทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงบนผิวดินของกระถางที่ปลูกต้นกล้า *A. marina* จะทำให้มีมวลชีวภาพ ความสูง จำนวนใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้การศึกษาของ Herteman, Fromard และ Lambs (2011) ยังชี้ให้เห็นว่าปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบ รวมทั้งพื้นที่ใบและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Rhizophora mucronata* และ *Ceriops tagal* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากทดลองปล่อยน้ำเสียจากครัวเรือนที่มีความเข้มข้นของสารอาหารมากกว่าน้ำปกติลงในป่าชายเลน

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่พบสหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติใด ๆ ระหว่างปริมาณสารอาหารในดินและการเติบโตของ *A. alba* แต่จาก C:N ratio ในดินที่มีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติในช่วงฤดูฝน อาจชี้ให้เห็นถึงอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุที่เร็วขึ้น (Huxham et al., 2010; Manzoni et al., 2008; Ola and Lovelock, 2021) อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ยังอาจเร่งอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุได้ เช่น การลดลงของความเค็มในน้ำ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝน (Shah and Shah, 2011; Zhang et al., 2021) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในน้ำ (Hien et al., 2018) อีกทั้งจากการศึกษาของ Pongpam และคณะ (2009) ยังพบว่า การปลดปล่อย CO₂ จากดินในเขตไม้แสมในแปลงศึกษาเดียวกันกับการศึกษาในครั้งนี้จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิของดินที่สูง ส่งผลให้การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินเกิดได้เร็วขึ้น และทำให้ดินภายในแปลงศึกษาอาจมีสารอาหารรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ดังเช่นการศึกษาของ Alam และคณะ (2019) ที่พบว่าดินในป่าชายเลน Sundarbans ประเทศบังกลาเทศ มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้นในช่วงฤดูมรสุมที่ความเค็มของดินลดลง ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของสารอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เนื่องมาจากการย่อยสลายที่เร็วขึ้นนี้ อาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้ *A. alba* มีการเติบโตทั้งในส่วนของ การขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบมากขึ้นในช่วงฤดูฝน

5. อิทธิพลของการผันแปรสิ่งแวดล้อมตามฤดูกาลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของสารอาหารในใบแสมขาว (*A. alba*)

การศึกษาครั้งนี้พบว่า NRE มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่าง แตกต่างจาก PRE ที่พบว่ามีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน ขณะที่ความเค็มของน้ำมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝนและเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้ง แสดงให้เห็นว่าการดูดซึมน้ำของไนโตรเจนในใบ *A. alba* ในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราดอาจไม่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงของความเค็มของน้ำ ขณะที่การดูดซึมน้ำของฟอสฟอรัสในใบมีค่าสูงในช่วงที่ความเค็มของน้ำมีค่าต่ำ ต่างจากการศึกษาอื่น ๆ ที่มีรายงานถึงอิทธิพลของความเค็มต่อการดูดซึมน้ำของสารอาหารกลับในใบของต้นไม้ป่าชายเลน ได้แก่ การศึกษาในใบ *A. officinalis* (Alam et al., 2019) และการศึกษาในใบ *Sonneratia apetala* (Nasrin, Hossain and Rahman, 2019) ในป่าชายเลน Sundarbans ประเทศบังกลาเทศ ที่ต่างก็พบว่า NRE และ PRE จะลดลงในช่วงฤดูมรสุมที่ความเค็มในดินลดต่ำลง ความเค็มของน้ำเพียงปัจจัยเดียวจึงอาจไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของสารอาหารในใบของต้นไม้ป่าชายเลน เนื่องจากการศึกษาของ Feller และคณะ (2003) พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและปริมาณสารอาหารในดินส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของสารอาหารของต้น *Rhizophora mangle* ในป่าชายเลนประเทศเบลีซ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำของสารอาหารในใบ *A. alba* บริเวณปาก

แม่น้ำตราดของการศึกษาครั้งนี้อาจจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารอาหารมากกว่าความผันแปรตามฤดูกาลของความเค็มของน้ำในดิน

การศึกษาในครั้งนี้ไม่พบสหสัมพันธ์ระหว่าง NRE ในใบของ *A. alba* กับความเข้มข้นของ TN ในน้ำ ถึงแม้ว่าในฤดูฝนจะมี NRE ในใบมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเวลาอื่น ๆ ที่เก็บตัวอย่าง และเป็นช่วงที่ความเข้มข้นของ TN ในน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งแตกต่างจากพืชส่วนใหญ่ในระบบนิเวศบกอื่น ๆ ที่จะลดประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารในใบลงเมื่อพืชนั้นได้รับสารอาหารจากสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Yan, Zhu and Yang, 2018; Yuan and Chen, 2015) ในการศึกษาที่ป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราดครั้งนี้ พบว่าอัตราส่วนของปริมาณไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสทั้งหมด (N:P ratio) ในใบของ *A. alba* ระยะเจริญเต็มที่ที่มีค่าน้อยกว่า 13 ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไนโตรเจนอาจเป็นปัจจัยจำกัดสำหรับการเจริญเติบโต (Güsewell, 2004; Güsewell and Koerselman, 2002) ของ *A. alba* ในการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นถึงแม้ว่า *A. alba* จะดูดซึมน้ำไนโตรเจนจากน้ำและดินผ่านรากไปใช้ได้มากขึ้นในช่วงฤดูฝนที่มีการเพิ่มขึ้นของทั้งไนโตรเจนในน้ำและในดิน แต่อาจยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงเพิ่มการดูดซึมน้ำกลับของไนโตรเจนไปใช้ใหม่มากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และอาจส่งผลให้ *A. alba* มีอัตราการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบสูงขึ้นในช่วงฤดูฝนดังที่พบในการศึกษาครั้งนี้

NRE ในใบของ *A. alba* ที่มีค่าสูงในฤดูฝนขณะที่ไนโตรเจนในน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Feller, Lovelock และ Mckee (2007) ที่ทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในป่าชายเลนที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโต แล้วพบว่า NRE ในใบของ *A. germinans* มีค่าเพิ่มขึ้น และการศึกษาของ Lovelock และคณะ (2007) ที่พบว่า NRE ในใบของ *A. marina* ในป่าชายเลนประเทศนิวซีแลนด์จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันหลังจากทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้การศึกษาของ Wei และคณะ (2020) ยังรายงานว่า *Kandelia obovata* ในป่าชายเลนประเทศจีนมีค่า NRE สูงขึ้นเมื่อดินมีไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า PRE ในใบของ *A. alba* ในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าเวลาอื่น ๆ ที่เก็บตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าลดลง จึงอาจส่งผลให้ *A. alba* ได้รับฟอสฟอรัสสำหรับการเจริญเติบโตผ่านการดูดซึมจากรากน้อยลง ทำให้ต้องเพิ่มการดูดซึมฟอสฟอรัสจากใบกลับไปใช้ใหม่มากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตในช่วงฤดูฝนที่มีปริมาณน้ำจืดมากเพียงพอ แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเพิ่มขึ้น *A. alba* อาจได้รับฟอสฟอรัสจากน้ำผ่านการดูดซึมทางรากมากขึ้น และเนื่องจากกระบวนการดูดซึมสารอาหารกลับจากใบต้องใช้พลังงานมากกว่าการดูดซึมสารอาหารผ่านราก (Kobe, Lepczyk and Iyer, 2005)

จึงอาจส่งผลให้ *A. alba* มีการดูดซึมฟอสฟอรัสจากใบกลับไปใช้ใหม่น้อยลงในช่วงฤดูแล้ง การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า *A. alba* จะมีอัตราการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน เนื่องจาก *A. alba* สามารถดูดซึมน้ำจืดไปได้มากขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำลดลง ดังนั้นเพื่อให้มีสารอาหารเพียงพอที่จะรองรับการเติบโตที่สูงขึ้นในช่วงฤดูฝน *A. alba* จึงเพิ่มการดูดซึมกลับฟอสฟอรัสจากใบกลับไปใช้ใหม่มากขึ้นด้วย

การเพิ่มขึ้นของ PRE ในใบของ *A. alba* ช่วงฤดูฝนในขณะที่ฟอสฟอรัสในน้ำลดลงนั้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Feller และคณะ (2003) ที่พบว่า *R. mangle* ในป่าชายเลนที่มีทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยจำกัดจะมี PRE ลดลงหลังจากทดลองใส่ปุ๋ยเพื่อฟอสฟอรัส แต่แตกต่างจากการศึกษาของ Wei, Kao และ Liu (2020) ที่ศึกษาในใบ *Aegiceras corniculatum* ระยะไม้หนุ่มที่ PRE มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากทดลองใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ขณะที่ปริมาณ TP ในดินมีความผันแปรตามฤดูกาลไม่ชัดเจน และไม่สามารถใช้อธิบายความผันแปรตามฤดูกาลของ PRE ในใบของ *A. alba* ในการศึกษาครั้งนี้ได้ แสดงให้เห็นว่าความผันแปรตามฤดูกาลของ PRE ในใบของ *A. alba* อาจไม่ตอบสนองต่อปริมาณ TP ในดิน แต่อาจจะตอบสนองต่อ TP ในน้ำหรือฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่า แตกต่างจากที่มีรายงานสำหรับต้น *A. officinalis* โดย Alam และคณะ (2019) และสำหรับ *S. apetala* จากการศึกษาของ Nasrin และคณะ (2019) ในป่าชายเลน Sundarbans ประเทศบังคลาเทศ ที่ต่างก็พบว่า PRE มีค่าลดลงหากดินมีฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น นอกจากนี้ยังแตกต่างจากการศึกษาของ Wei และคณะ (2020) ที่ได้รายงานว่า PRE ในใบ *K. obovata* จะสูงขึ้นเมื่อดินมีฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น

การศึกษานี้จึงชี้ให้เห็นว่าการเติบโตที่เพิ่มขึ้นของ *A. alba* ในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราดในช่วงฤดูฝน ทั้งในส่วนของ การขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบ อาจทำให้ *A. alba* จำเป็นต้องใช้สารอาหารในการเจริญเติบโตมากขึ้น *A. alba* จึงเพิ่มการดูดซึมไนโตรเจนจากใบกลับไปใช้ใหม่มากขึ้นถึงแม้ว่าในน้ำและดินจะมีไนโตรเจนเพิ่มขึ้นก็ตาม นอกจากนี้ *A. alba* ยังเพิ่มการดูดซึมกลับฟอสฟอรัสในใบกลับไปใช้ใหม่มากขึ้นด้วยเนื่องจากฟอสฟอรัสในน้ำลดน้อยลง ดังนั้นการดูดซึมสารอาหารจากใบกลับไปใช้ใหม่มากขึ้นในช่วงฤดูฝนนี้ อาจส่งผลให้ *A. alba* มีอัตราการเติบโตที่มากขึ้นโดยการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน

6. การปรับตัวของแสมขาว (*A. alba*) ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม

การเติบโตของแสมขาว (*A. alba*) สอดคล้องกับสมมติฐานของการศึกษาในครั้งนี้ กล่าวคือ *A. alba* จะเติบโตในด้าน การขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและผลิใบในอัตราที่สูงขึ้นเมื่อความเค็มของ

น้ำลดลงในช่วงฤดูฝน ขณะที่ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารไนโตรเจนในใบ *A. alba* ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าหากปริมาณสารอาหารในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน ต้นไม้จะดูดซึมน้ำสารอาหารผ่านรากได้มากขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารไนโตรเจนในใบมีค่าลดลง แต่จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า NRE ในใบของ *A. alba* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละเวลาที่เก็บตัวอย่าง ถึงแม้ว่าจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยในฤดูฝน ในขณะที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกัน ดังนั้นความเข้มข้นของ TN ในน้ำที่มีความผันแปรตามฤดูกาลเพียงเล็กน้อยอาจเป็นเหตุผลให้ NRE ในแต่ละเวลาที่เก็บตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันดังที่พบในการศึกษาครั้งนี้ ขณะที่ PRE ในใบของ *A. alba* มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มข้นของ TP ในน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นเพื่อให้มีฟอสฟอรัสเพียงพอสำหรับการเติบโตทั้งในด้านการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบในช่วงฤดูฝน จึงทำให้ *A. alba* ต้องเพิ่มการดูดซึมน้ำกลับของฟอสฟอรัสจากใบมากขึ้น

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า *A. alba* ที่เป็นพืชเบิกนำ (pioneer species) ในป่าชายเลนสามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางภูมิอากาศ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้งทางน้ำและดินที่เปลี่ยนแปลงไปในรอบปีได้ แม้ว่าการเติบโตของ *A. alba* จะลดลงในช่วงฤดูแล้งที่ความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น อีกทั้งไนโตรเจนในน้ำและดินมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝนที่ปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต ทำให้ *A. alba* จะสามารถเจริญเติบโตได้มาก อีกทั้งยังสามารถเพิ่มการหมุนเวียนสารอาหารภายในผ่านกระบวนการดูดซึมน้ำกลับของสารอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสในใบกลับมาใช้ใหม่ได้เพิ่มขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อการเติบโตที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน

นอกจากนี้พืชในสกุล *Avicennia* เป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวกับสภาพแวดล้อมที่มีความเค็มในดินสูงและการท่วมขังของน้ำได้ดี โดยมีทั้งกลไกที่เซลล์รากเลือกที่จะไม่ดูดเกลือ (salt excluder) กลไกที่สามารถขับเกลือผ่านทางต่อที่แผ่นใบ (salt secretor) และกลไกการสะสมเกลือไว้ได้ในเซลล์ไว้ได้ในความเข้มข้นที่สูงโดยไม่เกิดอันตรายต่อเซลล์ (salt accumulator) (Parida and Jha, 2010) นอกจากนี้พืชสกุล *Avicennia* ยังมีการสร้างรากหายใจ (pneumatophore) ขึ้นมาเหนือพื้นดิน อีกทั้งภายในเซลล์ของรากเหนือพื้นดินและใต้ดินยังมีสัดส่วนของเนื้อเยื่อ aerenchyma สูง จึงทำให้มีการหมุนเวียนของออกซิเจนภายในรากดีขึ้น (Purnobasuki and Suzuki, 2005) นอกจากนี้การศึกษาของ Cheng และคณะ (2020) ยังพบว่าการที่ *A. marina* มีช่องว่างอากาศภายในเซลล์รากสูงและมีความหนาของชั้นลิกนิน (lignin) น้อยกว่าพืชป่าชายเลนชนิดอื่น ส่งผลให้บริเวณ rhizosphere มีจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนมากขึ้น และฟลักซ์ของแอมโมเนีย (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-)

สูงกว่าบริเวณ rhizosphere ของพืชป่าชายเลนชนิดอื่น จึงทำให้การดูดซึมสารอาหารจากดินผ่านรากของ *A. marina* มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การปรับตัวดังกล่าวอาจเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้ *A. alba* สามารถเจริญและเติบโตได้ดีภายใต้สภาพแวดล้อมในป่าชายเลนที่ในดินมีความเค็มสูง ออกซิเจนต่ำ และสารอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย อีกทั้งมีความผันแปรตามฤดูกาลสูง ส่งผลต่อเนื้อให้ *A. alba* ยังคงทำหน้าที่เป็นพืชเบิกนำให้ป่าชายเลนได้ และทำให้ป่าชายเลนยังคงมีผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิที่สูง (net primary production: NPP) และเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญของโลกต่อไป



บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเติบโตและประสิทธิภาพของการดูดซึมน้ำกลับของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของแสมขาว (*Avicennia alba* Blume) ในป่าชายเลน ปากแม่น้ำตราด ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 ในเขตไม้แสมภายในแปลงศึกษาถาวรขนาด 1 เฮกตาร์ ซึ่งตั้งอยู่ในป่าชายเลนรุ่นสอง บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเติบโตของลำต้นและชีพลัษณโอบของของแสมขาว (*A. alba*)

การเพิ่มพูนของพื้นที่หน้าตัดลำต้นของ *A. alba* จำนวนทั้งหมด 13 ต้น ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 จนถึงมิถุนายน พ.ศ. 2563 มีค่าตั้งแต่ 6.66 – 78.63 ตารางเซนติเมตร โดยต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก (diameter at breast height; DBH) มากกว่าจะมีพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนมากกว่า เนื่องจากมวลรวมของใบทั้งหมดต่อต้นที่มากขึ้นในต้นขนาดใหญ่จะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่ามากขึ้น และส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นด้วย

สัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือนของ *A. alba* มีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนและลดลงในช่วงฤดูแล้ง อีกทั้งยังพบว่าสัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดลำต้นของ *A. alba* ที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนสูงถึง 78.2% ของพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มพูนขึ้นตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

อัตราการผลิใบรายเดือนของ *A. alba* มีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝนและลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้ง อีกทั้งยังพบว่าอัตราการผลิใบเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนมีค่ามากกว่าในช่วงฤดูแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอัตราการผลิใบเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ $2.94 \pm 2.57\%/วัน$ และ $0.75 \pm 0.56\%/วัน$ ตามลำดับ ขณะที่อัตราการร่วงของใบในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอัตราการร่วงของใบในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ $0.66 \pm 0.31\%/วัน$ และ $0.59 \pm 0.26\%/วัน$ ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างสัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดลำต้นที่เพิ่มพูนในแต่ละเดือนกับอัตราการผลิใบรายเดือน แสดงให้เห็นว่า *A. alba* จะมีการสร้างใบใหม่เพิ่มมากขึ้นในช่วงฤดูฝน อาจทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อต้นมีค่าเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ *A. alba* สามารถตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมาสะสมเป็นมวลชีวภาพและทำให้เกิดการเติบโตของลำต้นที่มากขึ้นในช่วงฤดูฝน

2. ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับสารอาหารในใบของแสมขาว (*A. alba*)

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon: TC) ในใบ *A. alba* ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อใบเข้าสู่ระยะเสื่อมตามอายุ ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen; TN) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus; TP) ในใบมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใบเข้าสู่ระยะเสื่อมตามอายุ แสดงให้เห็นว่ามีการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากใบกลับไปใช้ใหม่ก่อนที่ใบจะร่วง

ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของไนโตรเจน (nitrogen resorption efficiency; NRE) ในใบของ *A. alba* มีค่าเท่ากับ $48.00 \pm 11.18\%$ และไม่มีแตกต่างระหว่างแต่ละเวลาที่เก็บตัวอย่าง ขณะที่ประสิทธิภาพการดูดซึ่มกลับของฟอสฟอรัส (phosphorus resorption efficiency; PRE) ในใบมีค่าเท่ากับ $30.48 \pm 18.12\%$ และมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในฤดูฝน แสดงให้เห็นว่า *A. alba* ในป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด สามารถนำฟอสฟอรัสจากใบกลับไปใช้ใหม่ได้มากขึ้นในช่วงฤดูฝน และอาจช่วยให้ *A. alba* สามารถเติบโตทางการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดลำต้นและผลิใบได้ในอัตราที่สูงขึ้นในช่วงฤดูฝน

3. การปรับตัวของแสมขาว (*A. alba*) ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ตลอดระยะเวลาหนึ่งปีที่ทำการศึกษพบว่าความผันแปรตามฤดูกาลของปริมาณน้ำฝนส่งผลให้ความเค็มของน้ำในแม่น้ำตราดเกิดความผันแปรตามฤดูกาลด้วย โดยน้ำฝนปริมาณมากในช่วงฤดูฝนทำให้แม่น้ำตราดได้รับมวลน้ำจืดเพิ่มขึ้น น้ำทะเลจึงถูกเจือจาง และส่งผลให้ความเค็มของน้ำลดลง อีกทั้งปริมาณน้ำจืดที่มากขึ้นในช่วงฤดูฝนยังส่งผลให้เกิดการชะล้างหน้าดินจากบริเวณต้นน้ำมากขึ้นและทำให้มีความเข้มข้นของ TN ในน้ำเพิ่มขึ้น

ค่า C:N ratio ในดินที่มีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน ชี้ให้เห็นถึงอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินที่สูงขึ้น จึงอาจทำให้ในช่วงฤดูฝนในดินมีปริมาณสารอาหารรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นความผันแปรตามฤดูกาลของทั้งสภาพภูมิอากาศ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดินที่เกิดขึ้น ทำให้ *A. alba* สามารถดูดซึ่มน้ำและสารอาหารผ่านรากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีมากขึ้นในช่วงฤดูฝน และส่งผลให้มีการเติบโตทั้งในด้านการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบที่สูงขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่า การดูดซึ่มกลับของสารอาหารในใบของ *A. alba* มีรูปแบบที่ต่างกัน โดยพบว่าค่า NRE ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละเวลาที่เก็บตัวอย่าง ส่วน PRE มีค่าสูงในฤดูฝนที่สามารถอธิบายได้จากปริมาณ TN ในดินและในน้ำที่ไม่มีความผันแปรตามฤดูกาลที่ชัดเจน ขณะที่ความเข้มข้นของ TP ในน้ำมีค่าลดลงในช่วงฤดูฝน ถึงแม้ว่าปริมาณ TP ในดินไม่แสดงความผันแปรตาม

ฤดูกาล ดังนั้นต้นแสมขาวจึงมีการดูดซึมน้ำไนโตรเจนที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง ต่างจากพอสפורัสที่มีการดูดซึมน้ำมากในฤดูฝน เนื่องจากต้นแสมขาวต้องการพอสפורัสที่มากเพียงพอต่อการเติบโตที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน การดูดซึมน้ำสารอาหารจากใบกลับไปใช้ใหม่มากขึ้นในช่วงฤดูฝนของ *A. alba* นี้ จึงอาจเป็นอีกกลไกสำคัญที่ทำให้ *A. alba* สามารถเติบโตทั้งในด้านการขยายพื้นที่หน้าตัดลำต้นและการผลิใบที่สูงขึ้นในช่วงฤดูฝน

การปรับตัวดังกล่าวอาจเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้ *A. alba* สามารถเจริญและเติบโตได้ดีภายใต้สภาพแวดล้อมในป่าชายเลนที่ในดินมีความเค็มสูง ออกซิเจนต่ำ และสารอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย อีกทั้งมีความผันแปรตามฤดูกาลสูง ส่งผลต่อเนื้อให้ *A. alba* ยังคงทำหน้าที่เป็นพืชเบิกนำให้ป่าชายเลนได้ และทำให้ป่าชายเลนยังคงมีผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิที่สูง (net primary production: NPP) และเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญของโลกต่อไป



บรรณานุกรม

- Aerts, R. 1996. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns? Journal of Ecology 84: 597-608.
- Aerts, R. and Chapin, F. S. 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. Advances in Ecological Research 30: 1-67.
- Afeife, A. A., Abbas, M. S., Soliman, A. S., Khedr, A. H. A. and Hatab, E. E. 2020. Tree biomass and soil carbon stocks of a mangrove ecosystem on the Egyptian-African Red Sea coast. Fundamental and Applied Limnology 193: 239-251.
- Alam, M. R., Mahmood, H., Biswas, T. and Rahman, M. M. 2019. Physiologically adaptive plasticity in nutrient resorption efficiency of *Avicennia officinalis* L. under fluctuating saline environments in the Sundarbans of Bangladesh. Hydrobiologia 828: 41-56.
- Almahasheer, H., Duarte, C. M. and Irigoien, X. 2018. Leaf nutrient resorption and export fluxes of *Avicennia marina* in the Central Red Sea area. Frontiers in Marine Science 5: 204.
- Alongi, D. M. 1994. The role of bacteria in nutrient recycling in tropical mangrove and other coastal benthic ecosystems. Hydrobiologia 285: 19-32.
- Alongi, D. M. 2009. Introduction in the energetics of mangrove forests. Springer Science and Business Media BV, New York.
- Alongi, D. M. 2013. Cycling and global fluxes of nitrogen in mangroves. Global Environmental Research 17: 173-182.
- Alongi, D. M. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. Annual Review of Marine Science 6: 195-219.
- Alongi, D. M. 2018. Impact of global change on nutrient dynamics in mangrove forests. Forests 9:
- Alongi, D. M. 2020a. Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation. Sci 2: 67.
- Alongi, D. M. 2020b. Nitrogen cycling and mass balance in the world's mangrove forests. Nitrogen 1: 167-189.

- Alongi, D. M., Boto, K. G. and Robertson, A. I. 1992. Nitrogen and phosphorus cycles. Tropical Mangrove Ecosystems, Coastal and Estuary Studies 41: 251-292.
- Alongi, D. M. and Mukhopadhyay, S. K. 2015. Contribution of mangroves to coastal carbon cycling in low latitude seas. Agricultural and Forest Meteorology 213: 266-272.
- Alongi, D. M., Trott, L. A., Wattayakorn, G. and Clough, B. F. 2002. Below-ground nitrogen cycling in relation to net canopy production in mangrove forests of southern Thailand. Marine Biology 140: 855-864.
- Alvarenga, A. M. S. B. D., Botosso, P. C. and Soffiatti, P. 2017. Stem growth and phenology of three subtropical mangrove tree species. Brazilian Journal of Botany 40: 907-914.
- Ball, M. C., Cochrane, M. J. and Rawson, H. M. 1997. Growth and water use of the mangroves *Rhizophora apiculata* and *R. stylosa* in response to salinity and humidity under ambient and elevated concentrations of atmospheric CO₂. Plant Cell and Environment 20: 1158-1166.
- Bielski, R. L. 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. Annual Review of Plant Physiology 24: 225-252.
- Boto, K. G. and Robertson, A. I. 1990. The relationship between nitrogen fixation and tidal exports of nitrogen in a tropical mangrove system. Estuarine, Coastal and Shelf Science 31: 531-540.
- Boto, K. G. and Wellington, J. T. 1983. Phosphorus and nitrogen nutritional status of a northern Australian mangrove forest. Marine Ecology Progress Series 11: 63-69.
- Bouillon, S., et al. 2008. Mangrove production and carbon sinks: a revision of global budget estimates. Global Biogeochemical Cycles 22: 2.
- Brander, L. M., et al. 2012. Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: a meta-analysis and value transfer application. Ecosystem Services 1: 62-69.
- Brant, A. N. and Chen, H. Y. H. 2015. Patterns and mechanisms of nutrient resorption in plants. Critical Reviews in Plant Sciences 34: 471-486.
- Canini, N. D., Metillo, E. B. and Azanza, R. V. 2013. Monsoon-influenced phytoplankton community structure in a Philippine mangrove estuary. Tropical Ecology 54: 331-343.

- Cao, J. R., Cheng, C. Z., Yang, J. J. and Wang, Q. B. 2015. Pathogen infection drives patterns of nutrient resorption in citrus plants. Scientific Reports 5: 14675.
- Castañeda-Moya, E., Twilley, R. R., Rivera-Monroy, V. H., Marx, B. D., Coronado-Molina, C. and Ewe, S. M. L. 2011. Patterns of root dynamics in mangrove forests along environmental gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. Ecosystems 14: 1178-1195.
- Chaikaew, P. and Chavanich, S. 2017. Spatial variability and relationship of mangrove soil organic matter to organic carbon. Applied and Environmental Soil Science 2017: 4010381.
- Chave, J., et al. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145: 87-99.
- Chen, X. Z., et al. 2020. Novel representation of leaf phenology improves simulation of Amazonian evergreen forest photosynthesis in a land surface model. Journal of Advances in Modeling Earth Systems 12: e2018MS001565.
- Cheng, H., Liu, Y., Jiang, Z. Y. and Wang, Y. S. 2020. Radial oxygen loss is correlated with nitrogen nutrition in mangroves. Tree Physiology 40: 1548-1560.
- Chiu, C. Y., Lee, S. C., Chen, T. H. and Tian, G. L. 2004. Denitrification associated N loss in mangrove soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems 69: 185-189.
- Chowdhury, M. Q., De Ridder, M. and Beeckman, H. 2016. Climatic signals in tree rings of *Heritiera fomes* Buch.-Ham. in the Sundarbans, Bangladesh. Plos One 11: e0149788.
- Chowdhury, M. R. 2015. Effect of salinity on the aboveground biomass and growth of dominant mangrove plants in Indian Sundarbans. Annals of Biological Research 6: 20-25.
- Christensen, B. and Wium-Andersen, S. 1977. Seasonal growth of mangrove trees in Southern Thailand. I. The phenology of *Rhizophora apiculata* Bl. Aquatic Botany 3: 281-286.
- Clark, D. A., et al. 2001. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. Ecological Applications 11: 371-384.

- Comley, B. W. T. and McGuinness, K. A. 2005. Above-and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. Australian Journal of Botany 53: 431-436.
- Coonan, E. C., Kirkby, C. A., Kirkegaard, J. A., Amidy, M. R., Strong, C. L. and Richardson, A. E. 2020. Microorganisms and nutrient stoichiometry as mediators of soil organic matter dynamics. Nutrient Cycling in Agroecosystems 117: 273-298.
- Cormier, N., Twilley, R. R., Ewel, K. C. and Krauss, K. W. 2015. Fine root productivity varies along nitrogen and phosphorus gradients in high-rainfall mangrove forests of Micronesia. Hydrobiologia 750: 69-87.
- Corredor, J. E. and Morell, J. M. 1994. Nitrate depuration of secondary sewage effluents in mangrove sediments. Estuaries 17: 295-300.
- Cotovicz, L., Machado, E. D., Brandini, N., Zem, R. C. and Knoppers, B. A. 2014. Distributions of total, inorganic and organic phosphorus in surface and recent sediments of the sub-tropical and semi-pristine Guaratuba Bay estuary, SE Brazil. Environmental Earth Sciences 72: 373-386.
- Coupland, G. T., Paling, E. I. and McGuinness, K. A. 2005. Vegetative and reproductive phenologies of four mangrove species from northern Australia. Australian Journal of Botany 53: 109-117.
- Cummings, A. R. and Shah, M. 2018. Mangroves in the global climate and environmental mix. Geography Compass 12: e12353.
- Das, S., Ganguly, D., Mukherjee, A., Chakraborty, S. and De, T. K. 2020. Exploration of N₂ fixation and denitrification processes in the Sundarban mangrove ecosystem, India. Indian Journal of Geo Marine Science 49: 740-747.
- De Graaf, G. J. and Xuan, T. T. 1999. Extensive shrimp farming, mangrove clearance and marine fisheries in the southern provinces of Vietnam. Mangroves Salt Marshes 2: 159-166.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. and Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nature Geoscience 4: 293-297.

- Drew, D. M. and Downes, G. M. 2009. The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: a review. Dendrochronologia 27: 159-172.
- Du, S. and Yamamoto, F. 2007. An overview of the biology of reaction wood formation. Journal of Integrative Plant Biology 49: 131-143.
- Estefan, G., Sommer, R. and Ryan, J. 2013. Methods of soil, plant, and water analysis: a manual for the West Asia and North Africa region. ICARDA, Beirut, Lebanon.
- Estrada, G. C. D., Callado, C. H., Soares, M. L. G. and Lisi, C. S. 2008. Annual growth rings in the mangrove *Laguncularia racemosa* (Combretaceae). Trees-Structure and Function 22: 663-670.
- Estrada, G. C. D. and Soares, M. L. G. 2017. Global patterns of aboveground carbon stock and sequestration in mangroves. Anais Da Academia Brasileira De Ciencias 89: 973-989.
- Fajstavr, M., Paschova, Z., Giagli, K., Vavrcik, H., Gryc, V. and Urban, J. 2018. Auxin (IAA) and soluble carbohydrate seasonal dynamics monitored during xylogenesis and phloemogenesis in Scots pine. Forest-Biogeosciences and Forestry 11: 553-562.
- Fang, J., Lutz, J. A., Wang, L. B., Shugart, H. H. and Yan, X. D. 2020. Using climate-driven leaf phenology and growth to improve predictions of gross primary productivity in North American forests. Global Change Biology 26: 6974-6988.
- Feller, I. C., Lovelock, C. E. and McKee, K. L. 2007. Nutrient addition differentially affects ecological processes of *Avicennia germinans* in nitrogen versus phosphorus limited mangrove ecosystems. Ecosystems 10: 347-359.
- Feller, I. C., McKee, K. L., Whigham, D. F. and O'Neill, J. P. 2003. Nitrogen vs. phosphorus limitation across an ecotonal gradient in a mangrove forest. Biogeochemistry 62: 145-175.
- Feng, J. X., Cui, X. W., Zhou, J., Wang, L. M., Zhu, X. S. and Lin, G. H. 2019. Effects of exotic and native mangrove forests plantation on soil organic carbon, nitrogen, and phosphorus contents and pools in Leizhou, China. Catena 180: 1-7.
- Fogel, M. L., et al. 2008. Unusually negative nitrogen isotopic compositions ($\delta^{15}\text{N}$) of mangroves and lichens in an oligotrophic, microbially-influenced ecosystem. Biogeosciences 5: 1693-1704.

- Friess, D. A., et al. 2012. Are all intertidal wetlands naturally created equal? bottlenecks, thresholds and knowledge gaps to mangrove and saltmarsh ecosystems. Biological reviews 87: 346-366.
- Furihata, T., Suzuki, M. and Sakuria, H. 1992. Kinetic characterization of two phosphate uptake systems with different affinities in suspension-cultured *Catharanthus roseus* protoplasts. Plant and Cell Physiology 33: 1151-1157.
- Ghimire, B., et al. 2017. A global trait-based approach to estimate leaf nitrogen functional allocation from observations. Ecological Applications 27: 1421-1434.
- Gill, D. S., Amthor, J. S. and Bormann, F. H. 1998. Leaf phenology, photosynthesis, and the persistence of saplings and shrubs in a mature northern hardwood forest. Tree Physiology 18: 281-289.
- Gilman, E. L., Ellison, J., Duke, N. C. and Field, C. 2008. Treats to mangroves from climate change and adaptation option: a review. Aquatic Botany 89: 237-250.
- Giri, C., et al. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. Global Ecology and Biogeography 20: 154-159.
- Gonsiorczyk, T., Casper, P. and Kpschel, R. 1997. Phosphorus-binding forms in the sediment of an oligotrophic and a eutrophic hardwater lake of the Baltic Lake district (Germany). Eutrophication Research, Wageningen, The Netherlands.
- Guada, G., Vazquez-Ruiz, R. A. and Garcia-Gonzalez, I. 2019. Response patterns of xylem and leaf phenology to temperature at the southwestern distribution boundary of *Quercus robur*: a multi-spatial study. Agricultural and Forest Meteorology 269: 46-56.
- Güsewell, S. 2004. N : P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. New Phytologist 164: 243-266.
- Güsewell, S. and Koerselman, M. 2002. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics 5: 37-61.
- Hayes, M. A., Jesse, A., Welte, N., Tabet, B., Lockington, D. and Lovelock, C. E. 2019. Groundwater enhances above-ground growth in mangroves. Journal of Ecology 107: 1120-1128.

- He, M., Yan, Z., Cui, X., Gong, Y., Li, K. and Han, W. 2020. Scaling the leaf nutrient resorption efficiency: nitrogen vs phosphorus in global plants. Sci Total Environ 729: 138920.
- Herteman, M., Fromard, F. and Lambs, L. 2011. Effects of pretreated domestic wastewater supplies on leaf pigment content, photosynthesis rate and growth of mangrove trees: a field study from Mayotte Island, SW Indian Ocean. Ecological Engineering 37: 1283-1291.
- Hien, H. T., Marchand, C., Aime, J. and Cuc, N. T. K. 2018. Seasonal variability of CO₂ emissions from sediments in planted mangroves (Northern Viet Nam). Estuarine Coastal and Shelf Science 213: 28-39.
- Holguin, G., Vazquez, P. and Bashan, Y. 2001. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. Biology and Fertility of Soils 33: 265-278.
- Holmboe, N. and Kristensen, E. 2002. Ammonium adsorption in sediments of a tropical mangrove forest (Thailand) and a temperate Wadden Sea area (Denmark). Wetlands Ecology and Management 10: 453-460.
- Hu, B., et al. 2021. Study of soil physicochemical properties and heavy metals of a mangrove restoration wetland. Journal of Cleaner Production 291: 125965.
- Hu, Y. K., et al. 2021. Global patterns in leaf stoichiometry across coastal wetlands. Global Ecology and Biogeography 30: 852-869.
- Huxham, M., et al. 2010. Decomposition of mangrove roots: effects of location, nutrients, species identity and mix in a Kenyan forest. Estuarine Coastal and Shelf Science 88: 135-142.
- Jiang, D. L., et al. 2019. Nitrogen and phosphorus resorption in planted forests worldwide. Forests 10: 201.
- Jones, R. D. and Hood, M. A. 1980. Effects of temperature, pH, salinity, and inorganic nitrogen on the rate of ammonium oxidation by nitrifiers isolated from wetland environments. Microbial Ecology 6: 339-347.
- Joseph, M. M., Kumar, C. S. R., Renjith, K. R., Kumar, T. R. G. and Chandramohanakumar, N. 2011. Phosphorus fractions in the surface sediments of three mangrove systems of southwest coast of India. Environmental Earth Sciences 62: 1209-1218.

- Kamruzzaman, M., Ahmed, S. and Osawa, A. 2017. Biomass and net primary productivity of mangrove communities along the oligohaline zone of Sundarbans, Bangladesh. Forest Ecosystems 4: 16.
- Kamruzzaman, M., Kamara, M., Sharma, S. and Hagihara, A. 2016. Stand structure, phenology and litterfall dynamics of a subtropical mangrove *Bruguiera gymnorhiza*. Journal of Forestry Research 27: 513-523.
- Kan-atireklap, S., Yuenyong, S., Meesub, B., Buranapratheprat, A., Meesup, A. and Kan-atireklap, S. 2016. Fluxes of dissolved inorganic nutrients and suspended sediment at the Trat River Mouth, Trat province in dry and wet season in 2014. Proceeding of the 5th Marine Science Conference, Rama Gardens Hotel, Bangkok.
- Kang, H. Z., et al. 2010. Global pattern of leaf litter nitrogen and phosphorus in woody plants. Annals of Forest Science 67: 811.
- Kathiresan, K., Anburaj, R., Gomathi, V. and Saravanakumar, K. 2013. Carbon sequestration potential of *Rhizophora mucronata* and *Avicennia marina* as influenced by age, season, growth and sediment characteristics in southeast coast of India. Journal of Coastal Conservation 17: 397-408.
- Khan, M. N. I., Suwa, R. and Hagihara, A. 2007. Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *Kandelia obovata* (S., L.) Yong: vertical distribution in the soil-vegetation system. Wetlands Ecology and Management 15: 141-153.
- Kikuzawa, K. 1995. Leaf phenology as an optimal strategy for carbon gain in plants. Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique 73: 158-163.
- Killingbeck, K. T. 1996. Nutrients in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. Ecology 77: 1716-1727.
- Kira, T. and Shidei, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. The Ecological Society of Japan 17: 70-87.
- Kobe, R. K., Lepczyk, C. A. and Iyer, M. 2005. Resorption efficiency decreases with increasing green leaf nutrients in a global data set. Ecology 86: 2780-2792.
- Koch, M. S., Benz, R. E. and Rudnick, D. T. 2001. Solid-phase phosphorus pools in highly organic carbonate sediments of north-eastern Florida Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science 52: 279-291.

- Kocher, P., Horna, V. and Leuschner, C. 2012. Environmental control of daily stem growth patterns in five temperate broad-leaved tree species. Tree Physiology 32: 1021-1032.
- Komiyama, A., Ong, J. E. and Pongpan, S. 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: a review. Aquatic Botany 89: 128-137.
- Komiyama, A., Pongpan, S. and Kato, S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. Journal of Tropical Ecology 21: 471-477.
- Komiyama, A., et al. 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. and Ball, M. C. 2013. On the halophytic nature of mangroves. Trees-Structure and Function 27: 7-11.
- Krauss, K. W., Doyle, T. W., Twilley, R. R., Rivera-Monroy, V. H. and Sullivan, J. K. 2006. Evaluating the relative contributions of hydroperiod and soil fertility on growth of south Florida mangroves. Hydrobiologia 569: 311-324.
- Krauss, K. W., Keeland, B. D., Allen, J. A., Ewel, K. C. and Johnson, D. J. 2007. Effects of season, rainfall, and hydrogeomorphic setting on mangrove tree growth in Micronesia. Biotropica 39: 161-170.
- Krauss, K. W., et al. 2014. How mangrove forests adjust to rising sea level. New Phytologist 202: 19-34.
- Kristensen, E., Jensen, M. H., Banta, G. T., Hansen, K., Holmer, M. and King, G. M. 1998. Transformation and transport of inorganic nitrogen in sediments of a southeast Asian mangrove forest. Aquatic Microbial Ecology 15: 165-175.
- Kuhn, U., et al. 2004. Strong correlation between isoprene emission and gross photosynthetic capacity during leaf phenology of the tropical tree species *Hymenaea courbaril* with fundamental changes in volatile organic compounds emission composition during early leaf development. Plant Cell and Environment 27: 1469-1485.
- Kuypers, M. M. M., Marchant, H. K. and Kartal, B. 2018. The microbial nitrogen-cycling network. Nature Reviews Microbiology 16: 263-276.

- Lee, R. Y. and Joye, S. B. 2006. Seasonal patterns of nitrogen fixation and denitrification in oceanic mangrove habitats. Marine Ecology Progress Series 307: 127-141.
- Loughland, R. A. 1998. Mangal roost selection by the flying-fox *Pteropus alecto* (Megachiroptera : Pteropodidae). Marine and Freshwater Research 49: 351-352.
- Lovelock, C. E., et al. 2007. Mangrove growth in New Zealand estuaries: the role of nutrient enrichment at sites with contrasting rates of sedimentation. Oecologia 153: 633-641.
- Luther, D. A. and Greenberg, R. 2009. Mangroves: a global perspective on the evolution and conservation of their terrestrial vertebrates. Bioscience 59: 602-612.
- Luyssaert, S., et al. 2007. CO₂ balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. Global Change Biology 13: 2509-2537.
- MacDonnell, C. P., Zhang, L., Griffiths, L. and Mitsch, W. J. 2017. Nutrient concentrations in tidal creeks as indicators of the water quality role of mangrove wetlands in Southwest Florida. Ecological Indicators 80: 316-326.
- Makino, A. 2003. Rubisco and nitrogen relationships in rice: leaf photosynthesis and plant growth. Soil Science and Plant Nutrition 49: 319-327.
- Manzoni, S., Jackson, R. B., Trofymow, J. A. and Porporato, A. 2008. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization. Science 321: 684-686.
- May, J. D. and Killingbeck, K. T. 1992. Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics. Ecology 73: 1868-1878.
- McGroddy, M. E., Daufresne, T. and Hedin, L. O. 2004. Scaling of C : N : P stoichiometry in forests worldwide: implications of terrestrial redfield-type ratios. Ecology 85: 2390-2401.
- McKee, K. L. 1996. Growth and physiological responses of neotropical mangrove seedlings to root zone hypoxia. Tree Physiology 16: 883-889.
- McNaughton, S. J., Milchunas, D. G. and Frank, D. A. 1996. How can net primary productivity be measured in grazing ecosystems? Ecology 77: 974-977.
- Medina, E., Fernandez, W. and Barboza, F. 2015. Element uptake, accumulation, and resorption in leaves of mangrove species with different mechanisms of salt regulation. Web Ecology 15: 3-13.

- Meesub, B., Buranapratheprat, A., Thaipichitburapa, P., Kan-atireklarp, S. and Kan-atireklarp, S. 2021. Fluxes of dissolved inorganic nutrients and suspended sediment at the Trat River Mouth, Trat Province in 2018. Burapha Science Journal 26: 526-544.
- Mendivelso, H. A., Camarero, J. J., Gutierrez, E. and Castano-Naranjo, A. 2016. Climatic influences on leaf phenology, xylogenesis and radial stem changes at hourly to monthly scales in two tropical dry forests. Agricultural and Forest Meteorology 216: 20-36.
- Mohammadi, K., Heidari, G., Khalesro, S. and Sohrabi, Y. 2011. Soil management, microorganisms and organic matter interactions: a review. African Journal of Biotechnology 10: 19840-19849.
- Muhammad-Nor, S. M., et al. 2019. Exceptionally high mangrove root production rates in the Kelantan Delta, Malaysia; an experimental and comparative study. Forest Ecology and Management 444: 214-224.
- Naidoo, G. 2009. Differential effects of nitrogen and phosphorus enrichment on growth of dwarf *Avicennia marina* mangroves. Aquatic Botany 90: 184-190.
- Nasrin, S., Hossain, M. and Rahman, M. M. 2019. Adaptive responses to salinity: nutrient resorption efficiency of *Sonneratia apetala* (Buch.-Ham.) along the salinity gradient in the Sundarbans of Bangladesh. Wetlands Ecology and Management 27: 343-351.
- Niklas, K. J. and Enquist, B. J. 2002. Canonical rules for plant organ biomass partitioning and annual allocation. American Journal of Botany 89: 812-819.
- Niklas, K. J., Owens, T., Reich, P. B. and Cobb, E. D. 2005. Nitrogen/phosphorus leaf stoichiometry and the scaling of plant growth. Ecology Letters 8: 636-642.
- Nobrega, G. N., Otero, X. L., Macias, F. and Ferreira, T. O. 2014. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effluents. Environmental Monitoring and Assessment 186: 5749-5762.
- Ochieng, C. A. and Erftemeijer, P. L. A. 2002. Phenology, litterfall and nutrient resorption in *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh in Gazi Bay, Kenya. Trees-Structure and Function 16: 167-171.

- Ola, A. and Lovelock, C. E. 2021. Decomposition of mangrove roots depends on the bulk density they grew in. Plant and Soil 460: 177-187.
- Osland, M. J., et al. 2018. Climate and plant controls on soil organic matter in coastal wetlands. Global Change Biology 24: 5361-5379.
- Osland, M. J., et al. 2012. Ecosystem development after mangrove wetland creation: plant-soil change across a 20-year chronosequence. Ecosystems 15: 848-866.
- Palacios, M. L. and Cantera, J. R. 2017. Mangrove timber use as an ecosystem service in the Colombian Pacific. Hydrobiologia 803: 345-358.
- Parida, A. K. and Jha, B. 2010. Salt tolerance mechanisms in mangroves: a review. Trees-Structure and Function 24: 199-217.
- Pastor-Guzman, J., Dash, J. and Atkinson, P. M. 2018. Remote sensing of mangrove forest phenology and its environmental drivers. Remote Sensing of Environment 205: 71-84.
- Pleeklam, S., Silprasit, K., Duangjai, W. and Racharak, B. 2016. Mangrove plant community and utilization in the Thaphrik and Nongkhansong Sub-districts, Muang District, Trat Province. The 12th National Naresuan Conference: Research and Innovation to Develop the Country, Naresuan University.
- Polgar, C. A. and Primack, R. B. 2011. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. New Phytologist 191: 926-941.
- Ponpiboon, T. and Vichkovitten, T. 2019. Seasonal variation on photosynthetic pigment, soluble sugars and starch contents of mangrove (*Avicennia alba* Bl.). GMSARN International Journal 13: 112-118.
- Poungparn, S., Charoenphonphakdi, T., Sangteian, T. and Patanaponpaiboon, P. 2016. Fine root production in three zones of secondary mangrove forest in eastern Thailand. Trees-Structure and Function 30: 467-474.
- Poungparn, S., Komiyama, A., Sangteian, T., Maknual, C., Patanaponpaiboon, P. and Suchewaboripont, V. 2012. High primary productivity under submerged soil raises the net ecosystem productivity of a secondary mangrove forest in eastern Thailand. Journal of Tropical Ecology 28: 303-306.

- Poungparn, S., et al. 2009. Carbon dioxide emission through soil respiration in a secondary mangrove forest of eastern Thailand. Journal of Tropical Ecology 25: 393-400.
- Poungparn, S., et al. 2020. Ten-year estimation of net primary productivity in a mangrove forest under a tropical monsoon climate in eastern Thailand: significance of the temperature environment in the dry season. Forests 11:
- Pradipta, N., Alamsjah, M. A. and Masithah, E. D. 2021. Study of nitrogen (N) and phosphorus (P) in the land of mangrove sediments in ecotourism area Wonorejo Surabaya and coastal area of Jenu Tuban. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 679:
- Prasad, M. B. K. and Ramanathan, A. L. 2008. Sedimentary nutrient dynamics in a tropical estuarine mangrove ecosystem. Estuarine Coastal and Shelf Science 80: 60-66.
- Prasad, M. B. K. and Ramanathan, A. L. 2010. Characterization of phosphorus fractions in the sediments of a tropical intertidal mangrove ecosystem. Wetlands Ecology and Management 18: 165-175.
- Primicia, I., Imbert, J. B., Traver, M. C. and Castillo, F. J. 2014. Inter-specific competition and management modify the morphology, nutrient content and resorption in Scots pine needles. European Journal of Forest Research 133: 141-151.
- Pumijumnong, N. 2014. Mangrove forests in Thailand. Mangrove Ecosystems of Asia. Springer, New York.
- Purnobasuki, H. and Suzuki, M. 2005. Aerenchyma tissue development and gas-pathway structure in root of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Journal of Plant Research 118: 285-294.
- Quisthoudt, K., Schmitz, N., Randin, C. F., Dahdouh-Guebas, F., Robert, E. M. R. and Koedam, N. 2012. Temperature variation among mangrove latitudinal range limits worldwide. Trees-Structure and Function 26: 1919-1931.
- Rahman, M. M., Khan, M. N. I., Hoque, A. K. F. and Ahmed, I. 2015. Carbon stock in the Sundarbans mangrove forest: spatial variations in vegetation types and salinity zones. Wetlands Ecology and Management 23: 269-283.

- Rahman, M. S., Sass-Klaassen, U., Zuidema, P. A., Chowdhury, M. Q. and Beeckman, H. 2020. Salinity drives growth dynamics of the mangrove tree *Sonneratia apetala* Buch.-Ham. in the Sundarbans, Bangladesh. Dendrochronologia 62: 125711.
- Rao, K., Priya, N. and Ramanathan, A. 2018. Impact of seasonality on the nutrient concentrations in Gautami-Godavari Estuarine mangrove complex, Andhra Pradesh, India. Marine Pollution Bulletin 129: 329-335.
- Rao, R. G., Woitchik, A. F., Goeyens, L., Vanriet, A., Kazungu, J. and Dehairs, F. 1994. Carbon, nitrogen contents and stable carbon-isotope abundance in mangrove leaves from an East-African Coastal Lagoon (Kenya). Aquatic Botany 47: 175-183.
- Reef, R., Feller, I. C. and Lovelock, C. E. 2010. Nutrition of mangroves. Tree Physiology 30: 1148-1160.
- Reinhard, C. T., et al. 2017. Evolution of the global phosphorus cycle. Nature 541: 386-389.
- Richardson, A. D., et al. 2010. Influence of spring and autumn phenological transitions on forest ecosystem productivity. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 365: 3227-3246.
- Richardson, A. D., Hollinger, D. Y., Dail, D. B., Lee, J. T., Munger, J. W. and O'Keefe, J. 2009. Influence of spring phenology on seasonal and annual carbon balance in two contrasting New England forests. Tree Physiology 29: 321-331.
- Rivera-Monroy, V. H., et al. 2013. Current methods to evaluate net primary production and carbon budgets in mangrove forests. Methods in Biogeochemistry of Wetlands. Soil Science Society of America, USA.
- Rodelli, M. R., Gearing, J. N., Gearing, P. J., Marshall, N. and Sasekumar, A. 1984. Stable isotope ratio as a tracer of mangrove carbon in Malaysian ecosystems. Oecologia 61: 326-333.
- Santini, N. S., Reef, R., Lockington, D. A. and Lovelock, C. E. 2015. The use of fresh and saline water sources by the mangrove *Avicennia marina*. Hydrobiologia 745: 59-68.
- Sass-Klaassen, U., Sabajo, C. R. and den Ouden, J. 2011. Vessel formation in relation to leaf phenology in pedunculate oak and European ash. Dendrochronologia 29: 171-175.

- Schmitz, N., Verheyden, A., Kairo, J. G., Beeckman, H. and Koedam, N. 2007. Successive cambia development in *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. is not climatically driven in the seasonal climate at Gazi Bay, Kenya. *Dendrochronologia* 25: 87-96.
- Seitzinger, S. P., Kroeze, C., Bouwman, A. F., Caraco, N., Dentener, F. and Styles, R. V. 2002. Global patterns of dissolved inorganic and particulate nitrogen inputs to coastal systems: recent conditions and future projections. *Estuaries* 25: 640-655.
- Shah, S. A. and Shah, Z. 2011. Changes in soil microbial characteristics with elevated salinity. *Sarhad Journal of Agriculture* 27: 233-243.
- Shen, J. B., et al. 2011. Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology* 156: 997-1005.
- Shiau, Y. J. and Chiu, C. Y. 2020. Biogeochemical processes of C and N in the soil of mangrove forest ecosystems. *Forests* 11: 492.
- Singh, G., Chauhan, R., Ranjan, R. K., Prasad, M. B. and Ramanathan, A. L. 2015. Phosphorus dynamics in mangroves of India. *Current Science* 108: 1874-1881.
- Singran, N. and Sudara, S. 2005. Effects of changing environments of mangrove creeks on fish communities at Trat Bay, Thailand. *Environmental Management* 35: 45-55.
- Song, Y. T., Li, G. D. and Lowrie, R. 2021. Leaf nitrogen and phosphorus resorption improves wheat grain yield in rotation with legume crops in south-eastern Australia. *Soil and Tillage Research* 209: 104978.
- Songsom, V., Koedsin, W., Ritchie, R. J. and Huete, A. 2021. Mangrove phenology and water influences measured with digital repeat photography. *Remote Sensing* 13: 307.
- Sorce, C., Giovannelli, A., Sebastiani, L. and Anfodillo, T. 2013. Hormonal signals involved in the regulation of cambial activity, xylogenesis and vessel patterning in trees. *Plant Cell Reports* 32: 885-898.
- Srikanth, S., Lum, S. K. Y. and Chen, Z. 2016. Mangrove root: adaptations and ecological importance. *Trees-Structure and Function* 30: 451-465.
- Stephenson, N. L., et al. 2014. Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature* 507: 90-93.

- Steppe, K., et al. 2018. Direct uptake of canopy rainwater causes turgor-driven growth spurts in the mangrove *Avicennia marina*. Tree Physiology 38: 979-991.
- Taillardat, P., et al. 2020. Respective contribution of urban wastewater and mangroves on nutrient dynamics in a tropical estuary during the monsoon season. Marine Pollution Bulletin 160: 111652.
- Tam, N. F. Y. and Wong, Y. S. 1996. Retention of wastewater-borne nitrogen and phosphorus in mangrove soils. Environmental Technology 17: 851-859.
- Tardif, J., Brisson, J. and Bergeron, Y. 2001. Dendroclimatic analysis of *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia*, and *Tsuga canadensis* from an old-growth forest, southwestern Quebec. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere 31: 1491-1501.
- Tegeder, M. and Masclaux-Daubresse, C. 2018. Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use. New Phytologist 217: 35-53.
- Terada, K., Koibuchi, Y. and Isobe, M. 2017. Rainfall effect on sediment and nutrient fluxes in a small mangrove river, Okinawa, Japan. Journal of Marine Research 75: 2-18.
- Tian, D., et al. 2018. Global leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry and their scaling exponent. National Science Review 5: 728-739.
- Toigo, M., Ledoux, G., Martin-Blangy, S., Coste, L. and Morin, X. 2021. Mixture effect on radial stem and shoot growth differs and varies with temperature. Forest Ecology and Management 488: 119046.
- Tomlinson, P. B. 2016. The Botany of Mangroves 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Tully, K. L., Wood, T. E., Schwantes, A. M. and Lawrence, D. 2013. Soil nutrient availability and reproductive effort drive patterns in nutrient resorption in *Pentaclethra macroloba*. Ecology 94: 930-940.
- Umnouysin, S., Sangtjean, T. and Pongpam, S. 2017. Zonal distribution of coarse woody debris and its contribution to net primary production in a secondary mangrove forest. Ecological Research 32: 51-60.
- Vasconcelos, R. W., Gomes, V. D. S., Lucena, D. R. D., Silva, O. A. D., Sousa, A. C. and A.F.D., A. 2014. Soil organic matter and soil acidity in mangrove areas in the river

- Paraiba Estuary, Cabedelo, Paraiba, Brazil. Eurasian Journal of Soil Science 3: 157-162.
- Venkiteswaran, K., McNamara, P. J. and Mayer, B. K. 2018. Meta-analysis of non-reactive phosphorus in water, wastewater, and sludge, and strategies to convert it for enhanced phosphorus removal and recovery. Science of the Total Environment 644: 661-674.
- Vergutz, L., Manzoni, S., Porporato, A., Novais, R. F. and Jackson, R. B. 2012. Global resorption efficiencies and concentrations of carbon and nutrients in leaves of terrestrial plants. Ecological Monographs 82: 205-220.
- Verheyden, A., Kairo, J. G., Beeckman, H. and Koedam, N. 2004. Growth rings, growth ring formation and age determination in the mangrove *Rhizophora mucronata*. Annals of Botany 94: 59-66.
- Wakushima, S., Kuraishi, S. and Sakurai, N. 1994. Soil-salinity and pH in Japanese mangrove forests and growth of cultivated mangrove plants in different soil-conditions. Journal of Plant Research 107: 39-46.
- Wang, J. J., Xu, Y. and Wu, G. F. 2020. The integration of species information and soil properties for hyperspectral estimation of leaf biochemical parameters in mangrove forest. Ecological Indicators 115: 106467.
- Wang, W. Q., Yan, Z. Z., You, S. Y., Zhang, Y. H., Chen, L. Z. and Lin, G. H. 2011. Mangroves: obligate or facultative halophytes? a review. Trees-Structure and Function 25: 953-963.
- Wang'ondou, V. W., et al. 2010. Phenology of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. in a disjunctly-zoned mangrove stand in Kenya Western Indian Ocean Journal of Marine Science 9: 135-144.
- Waring, B. G. 2012. A meta-analysis of climatic and chemical controls on leaf litter decay rates in tropical forests. Ecosystems 15: 999-1009.
- Warren, C. R., Adams, M. A. and Chen, Z. L. 2000. Is photosynthesis related to concentrations of nitrogen and Rubisco in leaves of Australian native plants? Australian Journal of Plant Physiology 27: 407-416.
- Wei, L., et al. 2020. Does leaf resorption efficiency always predict plant nutrient status? a case study from a common mangrove species in China. Authorea

- Wei, L. L., Kao, S. J. and Liu, C. X. 2020. Mangrove species maintains constant nutrient resorption efficiency under eutrophic conditions. Journal of Tropical Ecology 36: 36-38.
- Wei, S. D., et al. 2015. Seasonal changes of nutrient levels and nutrient resorption in *Avicennia marina* leaves in Yingluo Bay, China. Southern Forests 77: 237-242.
- Wium-Andersen, S. 1981. Seasonal growth of mangrove trees in Southern Thailand. III. Phenology of *Rhizophora mucronata* Lamk. and *Scyphiphora hydrophyllacea* Gaertn. Aquatic Botany 10: 371-376.
- Wium-Andersen, S. and Christensen, B. 1978. Seasonal growth of mangrove trees in southern Thailand. II. Phenology of *Bruguiera cylindrica*, *Ceriops tagal*, *Lumnitzera littorea* and *Avicennia marina*. Aquatic Botany 5: 383-390.
- Wong, C. Y. S., D'Odorico, P., Bhatena, Y., Arain, M. A. and Ensminger, I. 2019. Carotenoid based vegetation indices for accurate monitoring of the phenology of photosynthesis at the leaf-scale in deciduous and evergreen trees. Remote Sensing of Environment 233: 111407.
- Wu, J., et al. 2016. Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. Science 351: 972-976.
- Yan, N., Marschner, P., Cao, W. H., Zuo, C. Q. and Qin, W. 2015. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. International Soil and Water Conservation Research 3: 316-323.
- Yan, T., Zhu, J. J. and Yang, K. 2018. Leaf nitrogen and phosphorus resorption of woody species in response to climatic conditions and soil nutrients: a meta-analysis. Journal of Forestry Research 29: 905-913.
- Yuan, Z. Y. and Chen, H. Y. H. 2009. Global-scale patterns of nutrient resorption associated with latitude, temperature and precipitation. Global Ecology and Biogeography 18: 11-18.
- Yuan, Z. Y. and Chen, H. Y. H. 2015. Negative effects of fertilization on plant nutrient resorption. Ecology 96: 373-380.
- Zhang, H., et al. 2018. Tree stoichiometry and nutrient resorption along a chronosequence of *Metasequoia glyptostroboides* forests in coastal China. Forest Ecology and Management 430: 445-450.

Zhang, Y. S., et al. 2021. The role of mangrove fine root production and decomposition on soil organic carbon component ratios. *Ecological Indicators* 125: 107525.

สนิท อักษรแก้ว. 2541. ป่าชายเลน: นิเวศวิทยาและการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้, กรุงเทพฯ.

สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน. 2555. ทรัพยากรป่าชายเลน จังหวัดตราด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายปิยะพล แก่นคง
วัน เดือน ปี เกิด	28 ธันวาคม 2538
สถานที่เกิด	ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอมะนัง จังหวัดสตูล
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (พฤกษศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	ปทุมกาญจน์อพาร์ทเมนต์ 77/1 ตรอกวัดช่างแสง แขวงรองเมือง เขตปทุม วัน กทม. 10330
ผลงานตีพิมพ์	ปิยะพล แก่นคง, สุธาทิพย์ อำนวยสิน, ฉัตรทิพย์ รอดทัศนาศ, ธมนัย ประวีณ วงศ์วุฒิ และศศิธร พ่วงปาน. 2561. การประยุกต์วิธี line intercept สำหรับประมาณมวลซากเนื้อไม้หยาบในป่าชายเลนรุ่นสอง ปากแม่น้ำตราด. การประชุมการป่าไม้ ประจำปี พ.ศ.2561 “การปฏิรูปป่าไม้แห่งชาติ”. หน้า (5-26)–(5-38), 22–24 สิงหาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา เขตบางเขน กรุงเทพฯ.