

งบประมาณคาร์บอนของซากเนื้อไม้หายาบในป่าชายเลนทุติยภูมิ



นางสาวสุธาทิพย์ อำนวยสิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CARBON BUDGET OF COARSE WOODY DEBRIS IN SECONDARY MANGROVE FOREST

Miss Suthathip Umnouysin



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Botany

Department of Botany

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

สุธาทิพย์ อำนวยสิน : งบประมาณคาร์บอนของซากเนื้อไม้หยาบในป่าชายเลนทุติยภูมิ (CARBON BUDGET OF COARSE WOODY DEBRIS IN SECONDARY MANGROVE FOREST) อ.ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ศศิธร พ่วงปาน, 122 หน้า.

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อการลดลงของพื้นที่ และประสิทธิภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศป่าชายเลน ข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของระบบนิเวศป่าชายเลน จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เข้าใจถึงพลวัตของคาร์บอน (carbon dynamics) ที่เกิดขึ้นในป่าชายเลน ประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนสามารถประมาณได้จากผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production; NEP) ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้วิธี summation method โดยการคูณคาร์บอนระหว่างผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (net primary production; NPP) และการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic respiration; HR) ซึ่ง NPP ประกอบด้วยมวลชีวภาพของต้นไม้ที่เพิ่มพูน (biomass increment; ΔB) และ ผลผลิตของซากพืชที่ร่วงหล่น (litter production; L) อย่างไรก็ตาม การประมาณ NEP ของป่าชายเลนโดยวิธี summation method ในอดีตที่ผ่านมาไม่ได้รวมซากเนื้อไม้หยาบ (coarse woody debris; CWD) ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากมีการย่อยสลายช้า ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณงบประมาณคาร์บอนของ CWD เพื่อใช้ร่วมในการประมาณ NEP ของป่าชายเลนทุติยภูมิ บริเวณปากแม่น้ำตราด โดยศึกษาการกระจายของ CWD ในแปลงศึกษาถาวรขนาด 1 เฮกเตอร์ ที่มีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้อย่างชัดเจน 3 เขตพันธุ์ไม้จากริมแม่น้ำเข้าไปด้านในแผ่นดิน ได้แก่ เขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่ามวลของ CWD มีค่าสูงสุดในเขตไม้ตะบูน (6.33 ตัน/เฮกเตอร์) รองลงมาคือเขตไม้โกงกาง (6.14 ตัน/เฮกเตอร์) และเขตไม้แสม (3.55 ตัน/เฮกเตอร์) ประเภทของ CWD ที่พบมีความแตกต่างกันในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ มวลของ CWD ในรูป downed wood มีค่ามากที่สุด ในเขตไม้แสม ขณะที่มวล CWD ที่เป็น standing dead tree มีมากที่สุด ในเขตไม้ตะบูน จากนั้นศึกษา ΔB , L และ CWD ที่เพิ่มพูน (CWD input; ΔCWD) ในรอบปี พบว่า ΔB มีค่ามากที่สุด ในเขตไม้แสม ส่วนเขตไม้โกงกาง พบว่ามี ΔCWD สูงที่สุด NPP ซึ่งเป็นผลรวมของ ΔB , L และ ΔCWD มีค่าอยู่ในช่วง 5.97–11.9 ตันคาร์บอน/เฮกเตอร์/ปี โดยเขตไม้โกงกางมีส่วนของ CWD ต่อ NPP มากที่สุด (37%) นอกจากนี้ยังวัดอัตราการหายใจของ CWD ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของ HR พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.22, 0.52 และ 0.28 ตันคาร์บอน/เฮกเตอร์/ปี สำหรับเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ เมื่อนำอัตราการหายใจของ CWD ไปรวมกับการหายใจของดินที่ประมาณโดยใช้สมการของ Pongpan และคณะ (2009) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.30, 2.20 และ 2.12 ตันคาร์บอน/เฮกเตอร์/ปี สำหรับเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ HR จึงมีค่าเท่ากับ 2.52, 2.72 และ 2.40 ตันคาร์บอน/เฮกเตอร์/ปี สำหรับเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ หลังจากคูณ NEP พบว่า NEP มีค่าเท่ากับ 8.88, 9.18 และ 3.57 ตันคาร์บอน/เฮกเตอร์/ปี สำหรับเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า CWD มีความสำคัญสำหรับการประมาณ NEP ในป่าชายเลน ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะเพิ่มความแม่นยำในการประมาณ NEP ในป่าชายเลนโดยวิธี summation method

ภาควิชา พฤษศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา พฤษศาสตร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5572869823 : MAJOR BOTANY

KEYWORDS: COARSE WOODY DEBRIS / CARBON SEQUESTRATION / DECOMPOSITION / MANGROVE

SUTHATHIP UMNOUYSIN: CARBON BUDGET OF COARSE WOODY DEBRIS IN SECONDARY MANGROVE FOREST. ADVISOR: ASST. PROF. SASITORN POUNGPARN, Ph.D., 122 pp.

Climate change has resulted in decreasing area and efficiency of carbon sequestration in mangrove ecosystem. To understand carbon dynamics in mangrove ecosystem, it is necessary to study net ecosystem production (NEP) which is a key to clarify carbon-sink efficiency. A common method of NEP estimation is summation method by balancing between net primary production (NPP) and heterotrophic respiration (HR). NPP is a summation of biomass increment (ΔB) and litter production (L). However, previous NEP estimations by this method in the mangrove forests excluded coarse woody debris (CWD) which has been mentioned as an important carbon pool because of low decomposition rate. Therefore, the aim of this study is to estimate carbon budget of CWD for estimation of NEP in a secondary mangrove forest at the Trat River estuary. The CWD distribution was investigated in 1-ha permanent plot showing clear three vegetation zones of dominant tree species from the river fringe to inland as *Avicennia*, *Rhizophora* and *Xylocarpus* zone, respectively. The results showed that CWD mass was the highest in the *Xylocarpus* zone (6.33 t ha^{-1}), followed by the *Rhizophora* zone (6.14 t ha^{-1}), and the *Avicennia* zone (3.55 t ha^{-1}), respectively. Component of CWD mass in each category differed by vegetation zone. Mass of downed wood CWD was the highest in the *Rhizophora* zone, while mass of CWD in standing dead trees was the highest in the *Xylocarpus* zone. Then, annual ΔB , L and CWD input were recorded, and showed that the *Avicennia* zone had the highest ΔB , while the *Rhizophora* zone had the highest CWD input. Given by the summation of ΔB , L and CWD, the NPP ranged from 5.97 to $11.9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$. The highest contribution of CWD to NPP was in the *Rhizophora* zone (37%). Moreover, the rates of CWD respiration which is a component of HR was also measured. They were 0.22, 0.52 and $0.28 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for the *Avicennia*, *Rhizophora* and *Xylocarpus* zones, respectively. The Soil respiration was calculated by using an equation of Pongparn et al. (2009). It was 2.30, 2.20 and $2.12 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for the *Avicennia*, *Rhizophora* and *Xylocarpus* zones, respectively. The total HR was calculated as 2.52, 2.72, and $2.40 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for the *Avicennia*, *Rhizophora* and *Xylocarpus* zones, respectively. Finally, the NEP was balanced as 8.88, 9.18, and $3.57 \text{ t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for the *Avicennia*, *Rhizophora* and *Xylocarpus* zones, respectively. The results indicated a significant role of the CWD for the NEP estimation in the mangrove forest. The data obtained by this study is a merit for enhancing the accuracy of NEP estimation in the mangrove forest.

Department: Botany

Student's Signature

Field of Study: Botany

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร พ่วงปาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ยิ่งตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญธิดา โฆษิตทรัพย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ต่อศักดิ์ สีลานันท์ และ ดร. ทนวงศ์ แสงเทียน ที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนพัฒนานักวิจัย รหัสโครงการ RSA5680017 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับเงินทุนสนับสนุนการวิจัย

ขอขอบคุณโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) สำหรับทุนการศึกษา

ขอขอบคุณหัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนและป่าชายฝั่ง (ตราด) และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนและป่าชายฝั่ง (ตราด) ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และในการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

ขอขอบคุณภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่กรุณาเสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนามและคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่สนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญภาพ..... | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 6 |
| 1.3 สมมติฐาน..... | 6 |
| 1.4 ขอบเขตการศึกษา..... | 6 |
| 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ..... | 6 |
| บทที่ 2 พื้นที่ศึกษาและลักษณะภูมิอากาศ..... | 7 |
| 2.1 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา..... | 7 |
| 2.2 ลักษณะภูมิอากาศ..... | 11 |
| 2.3 ลักษณะภูมิประเทศ..... | 13 |
| 2.3.1 ความสูงของพื้นที่ในแปลงศึกษา..... | 13 |
| 2.3.2 การท่วมของน้ำทะเล..... | 14 |
| 2.4 โครงสร้างป่า..... | 16 |
| บทที่ 3 มวลชีวภาพ ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย..... | 22 |
| 3.1 บทนำและตรวจสอบเอกสาร..... | 22 |
| 3.2 วิธีการศึกษา..... | 26 |

| | |
|---|----|
| 3.2.1 การวัดขนาดต้นไม้ประจำปี (annual tree census) | 26 |
| 3.2.2 มวลชีวภาพ และมวลของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (tree biomass และ necromass)..... | 26 |
| 3.2.3 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (Litter production; L)..... | 27 |
| 3.2.4 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (Net primary production; NPP)..... | 28 |
| 3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... | 28 |
| 3.3 ผลการศึกษา | 29 |
| 3.3.1 มวลชีวภาพ และผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย..... | 29 |
| 3.3.3 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L)..... | 32 |
| 3.3.4 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP)..... | 34 |
| 3.4 อภิปรายผลการศึกษา | 34 |
| 3.4.1 มวลชีวภาพ และ necromass production | 34 |
| 3.4.2 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L)..... | 35 |
| 3.4.3 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP)..... | 37 |
| บทที่ 4 การกระจาย และมวลที่เพิ่มพูนของซากเนื้อไม้หยาบ..... | 38 |
| 4.1 บทนำและตรวจสอบเอกสาร..... | 38 |
| 4.2 วิธีการศึกษา..... | 40 |
| 4.2.1 การจำแนกประเภทและระดับการย่อยสลายของ CWD | 40 |
| 4.2.2 การวัดขนาดของ CWD..... | 41 |
| 4.2.3 ปริมาตรของ CWD | 41 |
| 4.2.4 ความหนาแน่นเนื้อไม้..... | 41 |
| 4.2.5 มวลของ CWD..... | 42 |
| 4.2.6 มวลของรากค้ำยัน | 42 |
| 4.2.7 CWD ที่เพิ่มพูน (CWD input)..... | 43 |

| | |
|---|----|
| 4.2.8 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP)..... | 46 |
| 4.3 ผลการศึกษา | 46 |
| 4.3.1 การกระจายของจำนวนและขนาดของ CWD ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ | 46 |
| 4.3.2 ความหนาแน่นเนื้อไม้..... | 49 |
| 4.3.3 ความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีสำหรับน้ำหนักรากค้ำยัน..... | 50 |
| 4.3.4 การกระจายของมวลของ CWD | 51 |
| 4.3.5 CWD ที่เพิ่มพูน..... | 53 |
| 4.3.6 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP)..... | 55 |
| 4.4 อภิปรายผลการศึกษา | 56 |
| 4.4.1 การกระจายของ CWD | 56 |
| 4.4.2 CWD ที่เพิ่มพูน..... | 60 |
| 4.4.3 สัดส่วนของซากเนื้อไม้ต่อ NPP | 61 |
| บทที่ 5 การย่อยสลาย และการหายใจของซากเนื้อไม้หายาบ | 62 |
| 5.1 บทนำและตรวจสอบเอกสาร..... | 62 |
| 5.2 วิธีการศึกษา..... | 64 |
| 5.2.1 การเตรียมตัวอย่าง CWD..... | 64 |
| 5.2.2 การย่อยสลายของ CWD..... | 66 |
| 5.2.3 วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจน | 67 |
| 5.2.4 การหายใจของ CWD..... | 67 |
| 5.2.4.1 วิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)..... | 67 |
| 5.2.4.2 วิธี soda-lime (SL) | 69 |
| 5.2.5 ความชื้นของ CWD | 71 |
| 5.2.6 การหายใจของดิน..... | 71 |

| | |
|--|----|
| 5.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ | 71 |
| 5.3 ผลการศึกษา | 72 |
| 5.3.1 การย่อยสลายของ CWD..... | 72 |
| 5.3.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของ CWD..... | 74 |
| 5.3.3 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO ₂ ที่ได้จากการหายใจของ CWD ที่วัดโดยวิธี GC และ SL..... | 76 |
| 5.3.4 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO ₂ จากการหายใจระหว่างชนิดไม้ของ CWD | 77 |
| 5.3.5 การปลดปล่อย CO ₂ จากการหายใจของ CWD รายปี..... | 83 |
| 5.3.6 การหายใจของดิน..... | 86 |
| 5.4 อภิปรายผลการศึกษา | 87 |
| 5.4.1 การย่อยสลายของ CWD..... | 87 |
| 5.4.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน | 89 |
| 5.4.3 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO ₂ จากการหายใจของ CWD ที่วัดโดยวิธี GC และ SL | 89 |
| 5.4.4 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO ₂ จากการหายใจของ CWD ระหว่างชนิดไม้..... | 90 |
| 5.4.5 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของ CWD และการหายใจของดิน..... | 93 |
| บทที่ 6 สมดุลคาร์บอนของซากเนื้อไม้หยาบ..... | 95 |
| 6.1 บทนำและตรวจสอบเอกสาร..... | 95 |
| 6.2 วิธีการศึกษา..... | 96 |
| 6.2.1 สมดุลคาร์บอนของซากเนื้อไม้หยาบ | 96 |
| 6.2.2 ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP)..... | 97 |
| 6.3 ผลการศึกษา | 98 |
| 6.3.1 สมดุลคาร์บอนของ CWD | 98 |
| 6.3.2 ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP)..... | 99 |

| | |
|--|-----|
| 6.4 อภิปรายผลการศึกษา | 101 |
| 6.4.1 สมดุลคาร์บอนของ CWD | 101 |
| 6.4.2 ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP)..... | 101 |
| บทที่ 7 สรุปผลการศึกษา | 105 |
| 7.1 มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย..... | 105 |
| 7.2 การกระจาย และมวลที่เพิ่มพูนของ CWD..... | 106 |
| 7.3 การย่อยสลาย และการหายใจของ CWD | 107 |
| 7.4 สมดุลคาร์บอนของ CWD..... | 108 |
| รายการอ้างอิง | 110 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 122 |



สารบัญตาราง

| | | |
|-------------|--|----|
| ตารางที่ 1 | ช่วงเวลาการท่วมของน้ำทะเลเฉลี่ยต่อวัน (ชั่วโมง/วัน) ในฤดูฝนและฤดูแล้งตามระยะห่างจากแม่น้ำเข้าไปด้านในแผ่นดิน..... | 15 |
| ตารางที่ 2 | โครงสร้างป่าในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ในปี พ.ศ.2556..... | 18 |
| ตารางที่ 3 | มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB , ต้น/เฮกแตร์/ปี) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L, ต้น/เฮกแตร์/ปี) ผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (necromass production, ต้น/เฮกแตร์/ปี) และผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP, ต้น/เฮกแตร์/ปี) ของป่าชายเลนในพื้นที่ต่าง ๆ ที่ประมาณโดยวิธี summation method | 25 |
| ตารางที่ 4 | โครงสร้างป่าในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ระหว่างปี พ.ศ.2557–2558 | 30 |
| ตารางที่ 5 | ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพ มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L) ผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (necromass production) และผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP) ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ระหว่างปี พ.ศ.2557–2558 | 31 |
| ตารางที่ 6 | จำนวน ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และค่าเฉลี่ยความยาวของ CWD แต่ละประเภทในทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ ได้แก่ downed wood, stump และ standing dead tree | 47 |
| ตารางที่ 7 | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของเนื้อไม้ที่มีชีวิต และ CWD class I II และ III (กรัม/ลบ. ซม.)..... | 49 |
| ตารางที่ 8 | มวลของ CWD class I II และ III ของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ในเดือนตุลาคม พ.ศ.2556 | 52 |
| ตารางที่ 9 | ค่าเฉลี่ยจำนวน เส้นผ่านศูนย์กลาง และมวลของ CWD แต่ละประเภทของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ระหว่างปี พ.ศ.2557-2558 | 54 |
| ตารางที่ 10 | จำนวนตัวอย่าง CWD ทั้งหมดที่วางบนพื้นป่าเพื่อศึกษาการย่อยสลายและอัตราการปลดปล่อย CO ₂ จากการหายใจทุก ๆ 3 เดือน | 65 |
| ตารางที่ 11 | ค่าคงที่ของการย่อยสลาย (k) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ถูกปรับค่าแล้ว (adjusted R ²) และค่า P-value ของ CWD แต่ละชนิด | 74 |
| ตารางที่ 12 | ค่าเฉลี่ยของคาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ของ CWD ของไม้แต่ละชนิด..... | 75 |

| | |
|---|-----|
| ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ปริมาณความชื้น และอัตราการปลดปล่อย CO ₂ (กรัม CO ₂ /กก.CWD/วัน) จากการหายใจของ CWD ที่วัดด้วยวิธี SL ของไม้แสม ไม้โก้งกาง และไม้ตะบูน (ค่าเฉลี่ย±1SD)..... | 79 |
| ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาแน่นเนื้อไม้ ความชื้น และอัตราการปลดปล่อย CO ₂ จากการหายใจของ CWD ของไม้แต่ละชนิด..... | 81 |
| ตารางที่ 15 ผลของความหนาแน่นเนื้อไม้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความชื้นของ CWD ต่ออัตราการปลดปล่อย CO ₂ จากการหายใจของ CWD ระหว่างชนิดไม้ (n=144) ซึ่งวิเคราะห์โดย linear mixed effects model..... | 82 |
| ตารางที่ 16 การปลดปล่อย CO ₂ จากการหายใจของ CWD ในแต่ละระดับการย่อยสลายของไม้แสม ไม้โก้งกาง และไม้ตะบูน..... | 85 |
| ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยมวลของ CWD class I II และ III ในเขตไม้แสม โก้งกาง และตะบูน ระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2558..... | 85 |
| ตารางที่ 18 อัตราการย่อยสลาย ละติจูดของพื้นที่ศึกษา อุณหภูมิอากาศ และระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย CWD ในระบบนิเวศป่าต่าง ๆ..... | 88 |
| ตารางที่ 19 ปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูน ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD และสมดุลคาร์บอนของ CWD ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ ระหว่างปี พ.ศ.2557–2558..... | 98 |
| ตารางที่ 20 งบประมาณคาร์บอนในองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบนิเวศป่าชายเลน ได้แก่ มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น มวลของ CWD ที่เพิ่มพูน ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP) การหายใจของดิน การหายใจของ CWD การหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (HR) และผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP) ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ ระหว่างปี พ.ศ.2556–2558..... | 100 |
| ตารางที่ 21 เปรียบเทียบความหนาแน่นของต้นไม้และองค์ประกอบของ NEP (ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) ของการศึกษาครั้งนี้ กับการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2012)..... | 104 |

สารบัญภาพ

| | | |
|-----------|---|----|
| ภาพที่ 1 | การประมาณ NEP โดยวิธี summation method | 3 |
| ภาพที่ 2 | แผนที่ประเทศไทย แสดงที่ตั้งของจังหวัดตราด (จาก maps.google.com) | 8 |
| ภาพที่ 3 | พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด (จาก maps.google.com)..... | 9 |
| ภาพที่ 4 | แปลงศึกษาถาวรขนาด 1 เฮกแตร์ แปลงย่อย 1–60 คือแปลงเดิมก่อนขยาย และแปลงย่อย 61–100 คือส่วนที่ขยายในปี พ.ศ.2556 | 10 |
| ภาพที่ 5 | ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนในช่วง พ.ศ.2526–2555 ของสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)..... | 11 |
| ภาพที่ 6 | ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนในช่วงที่ทำการศึกษา พ.ศ.2556–2558 ของสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)..... | 12 |
| ภาพที่ 7 | ความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วงที่ทำการศึกษา พ.ศ.2556–2558 ของสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)..... | 13 |
| ภาพที่ 8 | แผนที่แสดงความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่ (เซนติเมตร)..... | 14 |
| ภาพที่ 9 | แผนที่แสดงความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่และตำแหน่งของต้นไม้ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้..... | 20 |
| ภาพที่ 10 | ลักษณะพื้นที่ใน ก) เขตไม้แสม ข) เขตไม้โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูน..... | 21 |
| ภาพที่ 11 | การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นไม้..... | 26 |
| ภาพที่ 12 | ก) กระบะรองรับซากพืชขนาด 1 × 1 ตารางเมตร ในแปลงศึกษาป่าชายเลนทุติยภูมิบริเวณปากแม่น้ำตราด และซากพืชหลังจากแยกเป็น ข) ใบ ค) กิ่งขนาดเล็ก และ ง) ส่วนสืบพันธุ์.. | 28 |
| ภาพที่ 13 | ปริมาณซากใบ ซากกิ่งขนาดเล็ก และซากส่วนสืบพันธุ์เฉลี่ยรายเดือนระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงกรกฎาคม พ.ศ.2558 ของ ก) เขตไม้แสม ข) เขตไม้โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูน ตามลำดับ..... | 33 |
| ภาพที่ 14 | เปอร์เซ็นต์ของมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L) และ necromass production ต่อ NPP ใน ก) เขตไม้แสม ข) เขตไม้โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูนตามลำดับ..... | 34 |
| ภาพที่ 15 | CWD ประเภทต่าง ๆ ก) downed wood ข) stump และ ค) standing dead tree กับ รากค้ำยัน..... | 40 |

| | | |
|-----------|--|----|
| ภาพที่ 16 | ระดับการย่อยสลายของ CWD ทั้ง 3 ระดับ ก) class I ข) class II ค) class III | 41 |
| ภาพที่ 17 | การหาความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD โดยใช้ increment borer | 42 |
| ภาพที่ 18 | แปลงศึกษาย่อยขนาด 5 x 5 ตารางเมตร ห่างกัน 5 เมตร ตลอดความยาวของแปลง ศึกษา | 45 |
| ภาพที่ 19 | แปลงศึกษาย่อยขนาด 5 x 5 ตารางเมตร | 46 |
| ภาพที่ 20 | แผนที่แสดงการกระจายของ CWD ในเขตพันธุ์ไม้ต่าง ๆ ได้แก่ downed wood (เส้น สีแดง) stump (รูปดาวสีแดง) และ standing dead tree (รูปวงกลมสีแดง)..... | 48 |
| ภาพที่ 21 | ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของรากค้ำยันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($D_{RO,3}$) ของไม้โกงกางที่ยืนต้นตาย ภาพ ก) และ ข) คือรากค้ำยัน class I และ II ตามลำดับ | 50 |
| ภาพที่ 22 | สัดส่วนของมวล CWD แต่ละประเภทของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ ก) เขตไม้แสม ข) เขตไม้ โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูน | 53 |
| ภาพที่ 23 | ความผันแปรของมวลของ downed wood ที่เพิ่มพูนในเขตไม้แสมและไม้โกงกางกับ ความเร็วลมสูงสุดรายเดือนที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา | 55 |
| ภาพที่ 24 | สัดส่วนของมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และ CWD ซึ่งประกอบไป ด้วย downed wood และ standing dead tree ของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ ก) เขตไม้แสม ข) เขต ไม้โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูน ตามลำดับ | 56 |
| ภาพที่ 25 | ก) ลักษณะไม้ที่พบปุแสม และสิ่งมีชีวิตกลุ่มครัสเตเชียนจำนวนมาก ข) หนอน ค) และ ง) เห็ดที่พบบน CWD และตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในกลุ่มครัสเตเชียน ได้แก่ จ) ไอโซพอด และ ฉ) แอม ฟิพอด..... | 59 |
| ภาพที่ 26 | การวางชิ้นตัวอย่าง CWD บนพื้นป่าชายเลนเพื่อศึกษาการย่อยสลาย..... | 65 |
| ภาพที่ 27 | ตัวอย่าง CWD ภายในกล่องวัดการหายใจที่วัดด้วยวิธี SL ในห้องปฏิบัติการ..... | 70 |
| ภาพที่ 28 | ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD class I และ II ที่ลดลงและ ช่วงเวลาการย่อยสลายของ ก) ไม้แสม ข) ไม้โกงกาง และ ค) ไม้ตะบูน ตามลำดับ | 73 |
| ภาพที่ 29 | อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของ CWD ของไม้ทั้งสามชนิดในช่วงเวลาที่ศึกษาการ ย่อยสลาย | 76 |
| ภาพที่ 30 | ความสัมพันธ์ของอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD (กรัม CO_2 /กก. CWD/วัน) ที่วัดโดยวิธี GC และ SL ของ CWD ไม้แสม ไม้โกงกาง และไม้ตะบูน..... | 77 |

ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ (กรัม/ลบ.ซม.) และอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD (กรัม CO₂/กก. CWD/วัน)..... 81

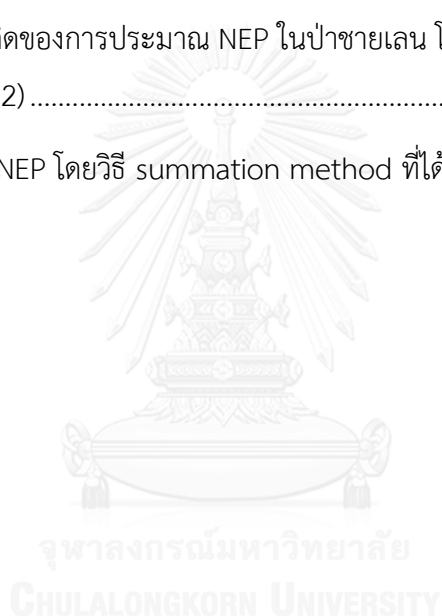
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ (กรัม/ลบ.ซม.) กับความชื้นของ CWD (%) (สัญลักษณ์โปร่ง) และความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ (กรัม/ลบ.ซม.) กับความชื้นของไม้ที่มีชีวิต (%) (สัญลักษณ์ทึบ)..... 83

ภาพที่ 33 ลักษณะของ CWD ของไม้ทั้งสามชนิดที่อยู่ในระดับการย่อยสลายต่าง ๆ 84

ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินทุก ๆ 30 นาที ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2558 86

ภาพที่ 35 ภาพรวมแนวคิดของการประมาณ NEP ในป่าชายเลน โดยวิธี summation method (Poungparn et al., 2012) 96

ภาพที่ 36 การประมาณ NEP โดยวิธี summation method ที่ได้จากการศึกษา..... 97



บทที่ 1

บทนำ

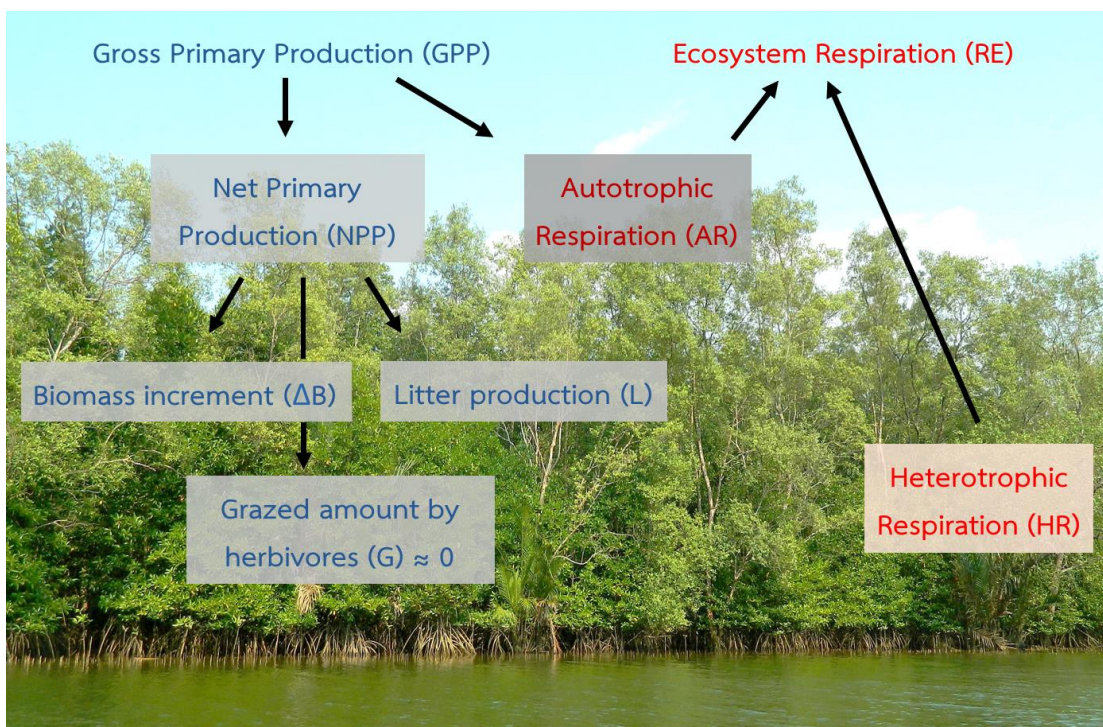
1.1 ที่มาและความสำคัญ

ป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีประสิทธิภาพสูงในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (Twilley et al., 1992; Donato et al., 2011) กระจายอยู่ตามแนวชายฝั่งทะเลทั้งเขตร้อนและกึ่งร้อน จึงได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล ทั้งในแง่ของความเค็ม ระดับการท่วมของน้ำทะเล และความถี่ในการท่วม (Murdiyarso et al., 2009) แต่จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ความรุนแรงของพายุที่มากขึ้น และการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของกระแสน้ำ (Kathiresan and Bingham, 2001; Murdiyarso et al., 2009) ทำให้พื้นที่ป่าชายเลนลดลง และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุดในโลกคือ 51049 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 33.5% ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมดของโลก (Tuck et al., 2012) ดังนั้น การศึกษาสมดุลคาร์บอนของระบบนิเวศป่าชายเลนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เข้าใจถึงพลวัตของคาร์บอน (carbon dynamics) ที่เกิดขึ้นในป่าชายเลน

งบประมาณคาร์บอน (carbon budget) ของระบบนิเวศป่าไม้ประมาณได้จากผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production; NEP) โดยวิธีทั่วไปสำหรับใช้ในการประมาณ NEP ของระบบนิเวศคือ eddy covariance และ summation method วิธี eddy covariance เป็นการวัดการไหลเวียนของอากาศโดยติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และการระเหยของน้ำ ไว้บน tower flux ที่มีความสูงเหนือเรือนยอด ซึ่งความหนาแน่นของ flux ที่วัดได้จากการไหลเวียนของอากาศชี้ให้เห็นถึงปริมาณ CO_2 สุทธิที่แลกเปลี่ยนระหว่างเรือนยอดป่ากับบรรยากาศ เรียกว่า net ecosystem exchange (NEE) (Burba and Anderson, 2007) โดย NEE มีค่าตรงข้ามกับ NEP ($\text{NEP} = -\text{NEE}$) ถ้า NEE มีค่าเป็นลบแสดงว่าระบบนิเวศป่ามีประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอน (carbon sink) แต่ถ้า NEE มีค่าเป็นบวกแสดงว่าระบบนิเวศป่าเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน (carbon source) แม้ว่าวิธีนี้จะเป็นการวัดการแลกเปลี่ยน CO_2 โดยตรง แต่มีข้อจำกัดคือ เครื่องมือมีราคาแพง รวมทั้งลักษณะภูมิประเทศ เช่น

บริเวณที่เป็นหุบเขา หรือพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ซึ่งส่งผลต่อทิศทางลม และการไหลเวียนของอากาศ ค่าการแลกเปลี่ยน CO_2 ที่วัดได้จึงอาจมีความผันแปรสูงเนื่องมาจากปัจจัยเหล่านี้ สำหรับป่าชายเลน การติดตั้ง tower ทำได้ยาก เนื่องจากพื้นป่ามีลักษณะเป็นดินเลนอ่อนนุ่ม การประมาณ NEP ของป่าชายเลนโดยวิธี eddy covariance จึงมีอยู่น้อยมาก เช่น การศึกษาของ Barr และคณะ (2006), (2010) และ (2012) ในป่าชายเลนเขตกึ่งร้อนที่รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธี summation method (ภาพที่ 1) เป็นการดุลคาร์บอนที่สะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของระบบนิเวศ NEP จึงประมาณได้จากผลต่างระหว่างผลผลิตทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (gross primary production; GPP) กับการหายใจของระบบนิเวศ (ecosystem respiration; RE) ดังสมการที่ 1 โดย RE ประกอบด้วยการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองได้ (autotrophic respiration; AR) และการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic respiration; HR) อย่างไรก็ตาม บางส่วนของ GPP ถูกใช้ไปในการหายใจของพืช (autotrophic respiration; AR) ส่วนที่เหลือจากการหายใจจะถูกสะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เรียกว่าผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (net primary production; NPP) ดังสมการที่ 2 NPP จึงประกอบไปด้วยผลผลิตของพืชที่เกิดขึ้นใหม่และยังคงมีชีวิตอยู่ หรือมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (biomass increment; ΔB) ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ผลผลิตของซากพืชที่ร่วงหล่น (litter production; L) และผลผลิตของพืชที่ถูกกัดกินโดยสัตว์กินพืช (grazed amount by herbivores; G) แต่ค่า G ในป่าชายเลนนั้นมีน้อย เนื่องจากพืชป่าชายเลนมีปริมาณแทนนินสูง และการติดตาม G ในเชิงปริมาณทำได้ยาก ค่า G จึงไม่ถูกรวมในการประมาณ NPP ของป่าชายเลน (McNaughton et al., 1996; Pongparn and Komiyama, 2013) ดังนั้น NEP จึงเป็นผลผลิตที่ได้จากผลรวมของ ΔB และ L หักออกด้วย HR (Kira and Shidei, 1967; Clark et al., 2001) ดังสมการที่ 3



ภาพที่ 1 การประมาณ NEP โดยวิธี summation method

$$NEP = GPP - RE \quad (1.1)$$

$$NEP = (NPP + AR) - (AR + HR) \quad (1.2)$$

$$NEP = (\Delta B + L) - HR \quad (1.3)$$

จากการทบทวนเอกสารของ Pongpam และ Komiyama (2013) พบว่าการประมาณ NEP ของป่าชายเลนในเขตร้อนโดยวิธี summation method ที่ประมาณจากผลรวมของ ΔB และ L หักออกด้วย HR นั้น มีค่าอยู่ในช่วง 7.3 ถึง 11.3 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งใกล้เคียงกับ NEP ของป่าชายเลนในเขตกึ่งร้อนที่ประมาณโดยวิธี eddy covariance ที่มีค่าอยู่ในช่วง 7.0 ถึง 11.8 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี แต่ในความเป็นจริงแล้ว NEP ของป่าชายเลนในเขตร้อนควรมีค่าสูงกว่าเขตกึ่งร้อน เนื่องจากในเขตร้อนมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้มากกว่า ทั้งนี้ อาจเป็นไปได้ว่าคาร์บอนจากบางองค์ประกอบในระบบนิเวศไม่ถูกรวมในการประมาณโดยวิธี summation method (Pongpam and Komiyama, 2013) เช่น การศึกษาของ Pongpam และคณะ (2016) พบว่าผลผลิตรากฝอย (fine root production) มีค่าอยู่ในช่วง 1.70 ถึง 2.04 ตัน

คาร์บอน/เฮกแตร์/ปี เมื่อรวมผลผลิตรากฝอยกับ NEP จากการศึกษาในพื้นที่เดียวกันของ Pongpam และคณะ (2012) NEP ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 9.5 ถึง 12.5 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี และมีสัดส่วนของผลผลิตรากฝอยต่อ NEP ประมาณ 15%

อย่างไรก็ตาม ยังคงมีองค์ประกอบอื่นที่ไม่ถูกรวมในการประมาณ NEP โดยวิธี summation method ของป่าชายเลนคือ ซากเนื้อไม้หยาบ (coarse woody debris; CWD) ซึ่งเป็นไม้ตายขนาดใหญ่ที่อยู่เหนือดิน ได้แก่ ต้นหรือกิ่งที่ร่วงอยู่บนพื้นดิน (downed wood) ตอไม้ (stump) และต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (standing dead tree) (Jia-bing et al., 2005; Enrong et al., 2006) รวมทั้งซากรากขนาดใหญ่ (coarse root debris) (Harmon et al., 1986) สำหรับระบบนิเวศป่าบก CWD ถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากเป็นเนื้อไม้ขนาดใหญ่และมีการย่อยสลายช้า คาร์บอนจึงสะสมอยู่ใน CWD เป็นเวลานานในรูปของซากเนื้อไม้ (Harmon et al., 1986; Stevens, 1997; Brais et al., 2005) เช่นการศึกษาของ Ohtsuka และคณะ (2007) ที่พบว่าป่าเขตอบอุ่นเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน เมื่อรวมงบประมาณคาร์บอนของ CWD ระหว่าง CWD ที่เพิ่มพูน (CWD input) และที่สูญเสียไปโดยการหายใจของจุลินทรีย์ระหว่างการย่อยสลาย (CWD respiration) ในการประมาณ NEP โดยวิธี summation method การศึกษา CWD ในป่าชายเลนที่ผ่านมาพบว่าการกระจายของปริมาณ CWD มีค่าอยู่ในช่วงกว้าง คือ 4 ถึง 42 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์ หรือประมาณ 5 ถึง 69% ของมวลชีวภาพเหนือดิน (Murdiyarsa et al., 2009; Kauffman and Cole, 2010; Kauffman et al., 2011) อย่างไรก็ตามการศึกษา CWD ในป่าชายเลนยังมีอยู่น้อย และไม่เคยถูกรวมในการประมาณ NEP ของป่าชายเลน จึงอาจทำให้การประมาณ NEP โดยวิธี summation method มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษางบประมาณคาร์บอนของ CWD ทั้ง CWD ที่เพิ่มพูน และที่สูญเสียไปโดยการย่อยสลาย

การย่อยสลายของ CWD (CWD decomposition) ประกอบด้วย 2 กระบวนการ ได้แก่ การหายใจของ CWD คือการที่คาร์บอนใน CWD ถูกปลดปล่อยในรูปของ CO₂ ผ่านการหายใจของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นผู้ย่อยสลาย และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ที่ทำให้เกิดการแตกหักของ CWD เป็นชิ้นเล็ก ๆ อัตราการย่อยสลาย (decay rate) ของ CWD ในป่าแต่ละประเภทมีค่าแตกต่างกัน เป็นผลมาจากความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศ (Li et al., 2007) โดยอัตราการย่อยสลายของ CWD คือค่าคงที่ (k) ที่ได้จากความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียลระหว่างการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเนื้อไม้ (wood density change) และเวลา (Mackensen et al., 2003; Li et al., 2007) อัตราการ

ย่อยสลายของ CWD ในป่าเขตอบอุ่น (ป่าที่อยู่ในช่วงละติจูด 35–66.5 องศาเหนือและใต้ มีอุณหภูมิ ต่ำ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 800–1500 มิลลิเมตร ต้นไม้มีการผลัดใบก่อนถึงฤดูหนาว) มีค่าอยู่ในช่วง ค่อนข้างต่ำคือ ระหว่าง 0.015 ถึง 0.106 ต่อปี (Janisch et al., 2005; Tobin et al., 2007; Müller-Using and Bartsch, 2009; Yoon et al., 2011) ขณะที่อัตราการย่อยสลายของ CWD ในป่าเขตกึ่ง ร้อน (ป่าที่อยู่ในช่วงละติจูด 23.5–35 องศาเหนือและใต้ มีฤดูร้อนและหนาวที่ชัดเจน และยังพบได้ใน เขตร้อนบริเวณที่มีความสูงมาก) มีค่าอยู่ในช่วงที่สูงกว่า คือช่วงระหว่าง 0.110 ถึง 0.157 ต่อปี (Mackensen and Bauhus, 2003; Garrett et al., 2008; Yang et al., 2010) สำหรับอัตราการ ย่อยสลายของ CWD ในป่าเขตร้อน (ป่าที่อยู่ในช่วงละติจูด 35–66.5 องศาเหนือและใต้ มีอุณหภูมิ เฉลี่ยสูง และมีปริมาณน้ำฝนมาก) พบว่ามีค่าสูงถึง 0.643 ต่อปี (Eaton and Lawrence, 2006) อย่างไรก็ตาม การย่อยสลายของ CWD ส่วนใหญ่ศึกษาในป่าเขตอบอุ่น และเขตกึ่งร้อน ขณะที่ในป่า เขตร้อน โดยเฉพาะป่าชายเลนยังมีการศึกษาน้อย มีเพียงการศึกษาของ Robertson และ Daniel (1989) ที่รายงานว่าอัตราการย่อยสลายของ CWD ในป่าชายเลนมีค่าต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.083 ถึง 0.108 ต่อปี การศึกษาการย่อยสลายของ CWD ในป่าชายเลนจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เข้าใจถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย

เนื่องจากป่าชายเลนได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลซึ่งสัมพันธ์กับความสูงของพื้นที่ ทำให้เกิดการแบ่งเขตพันธุ์ไม้อย่างชัดเจนตั้งแต่ริมแม่น้ำจนถึงด้านในของป่า (Poungsarn et al., 2009) ส่งผลให้ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้มีโครงสร้างป่าและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน ซึ่งอาจ ส่งผลต่อการกระจายของ CWD ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณงบประมาณคาร์บอน ทั้งคาร์บอนที่กักเก็บใน CWD และคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการย่อยสลายของ CWD ในแต่ละเขต พันธุ์ไม้เพื่อใช้ร่วมในการประมาณ NEP โดยวิธี summation method ของป่าชายเลนทุกชนิดใน บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด ผลจากการศึกษานี้จะทำให้ทราบสัดส่วนของ CWD สำหรับการ ประมาณ NEP ในป่าชายเลน อันจะทำให้ค่า NEP ที่ได้จากการประมาณโดยวิธี summation method มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการกระจายของปริมาณ CWD ในป่าชายเลนทุดิยภูมิ
2. เพื่อประมาณคาร์บอนที่กักเก็บใน CWD และ CWD ที่เพิ่มพูนในรอบปี
3. เพื่อประมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการย่อยสลายของ CWD

1.3 สมมติฐาน

การกระจายของปริมาณ CWD รวมทั้งคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูน และคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการย่อยสลายของ CWD แตกต่างกันในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ของป่าชายเลน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการกระจายของปริมาณ CWD รวมทั้งคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูน และคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการย่อยสลายของ CWD ใน 3 เขตพันธุ์ไม้ของป่าชายเลนทุดิยภูมิ ได้แก่ เขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

งบประมาณคาร์บอนของ CWD ที่ได้จากการศึกษานี้จะเพิ่มความแม่นยำในการประมาณ NEP ในป่าชายเลนโดยวิธี summation method ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของป่าชายเลน

บทที่ 2

พื้นที่ศึกษาและลักษณะภูมิอากาศ

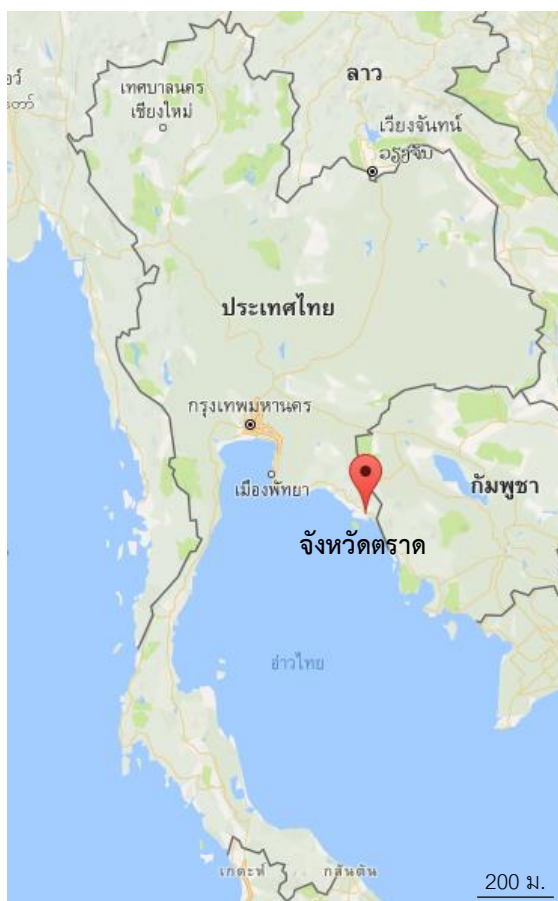
2.1 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดตราดตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทย (ภาพที่ 2) มีพื้นที่ป่าชายเลนมากเป็นอันดับ 2 ของภาค รองจากจังหวัดจันทบุรี จากการสำรวจของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งในปี พ.ศ.2552 จังหวัดตราดมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 9915.87 เฮกแตร์ กระจายอยู่ใน 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเขาสมิง อำเภอเมืองตราด อำเภอแหลมงอบ อำเภอคลองใหญ่ อำเภอเกาะช้าง และอำเภอเกาะกูด อำเภอเมืองตราดมีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุดคือ 8132.16 เฮกแตร์ โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำตราด ด้วยลักษณะภูมิประเทศที่มีแม่น้ำไหลผ่านลงสู่ทะเล ทำให้พบป่าชายเลนกระจายอยู่ตามริมฝั่งแม่น้ำ และริมคลองหลายสายที่เป็นสาขาของแม่น้ำ ซึ่งรูปแบบของป่าชายเลนที่มีลักษณะแบบนี้ เรียกว่า riverine mangrove forest บริเวณปากแม่น้ำตราดมีพื้นที่ป่าชายเลน 3491.10 เฮกแตร์ คิดเป็น 35% ของพื้นที่ป่าชายเลนทั้งจังหวัด (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2555)

ป่าชายเลนส่วนใหญ่บริเวณปากแม่น้ำตราดเป็นป่าชายเลนทุติยภูมิ (secondary mangrove forest) ซึ่งเจริญพื้นที่ตัวจากป่าชายเลนที่ถูกรบกวนจากการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การนำไม้ไผ่ไปทำฟืน การนำไม้ป่าชายเลนไปปลูกสร้างบ้านเรือน หรือใช้ทำเครื่องเรือน และเครื่องมือประมง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อทำนาเกลือ ภายหลังจากมีนโยบายฟื้นฟูป่าชายเลนในปี พ.ศ.2539 ป่าชายเลนบริเวณนี้จึงถูกปล่อยให้มีการฟื้นตัว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาพื้นที่ป่าชายเลนและสมดุลของระบบนิเวศชายฝั่ง ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากป่าชายเลนในด้านป่าไม้จึงมีเพียงการใช้ประโยชน์เล็ก ๆ น้อย ๆ ภายในครัวเรือนเท่านั้น (Pleeklam et al., 2016)

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในป่าชายเลนทุติยภูมิ บริเวณปากแม่น้ำตราด (12° 12' N, 102° 33' E; ภาพที่ 3) ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนและป่าชายฝั่ง (ตราด) กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แปลงศึกษาที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแปลงศึกษาถาวรขนาด 1 เฮกแตร์ วางในแนวตั้งฉากกับแม่น้ำ โดยขยายจากแปลงศึกษาเดิมที่มีขนาด 40 × 110 ตารางเมตร ซึ่งวางแปลงตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 โดยหน่วยปฏิบัติการพฤกษนิเวศวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขยายเป็น 1 เฮก

แต่ร์ ในปี พ.ศ.2556 ภายในแปลงศึกษาแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10×10 ตารางเมตร จำนวน 100 แปลงย่อย (ภาพที่ 4)

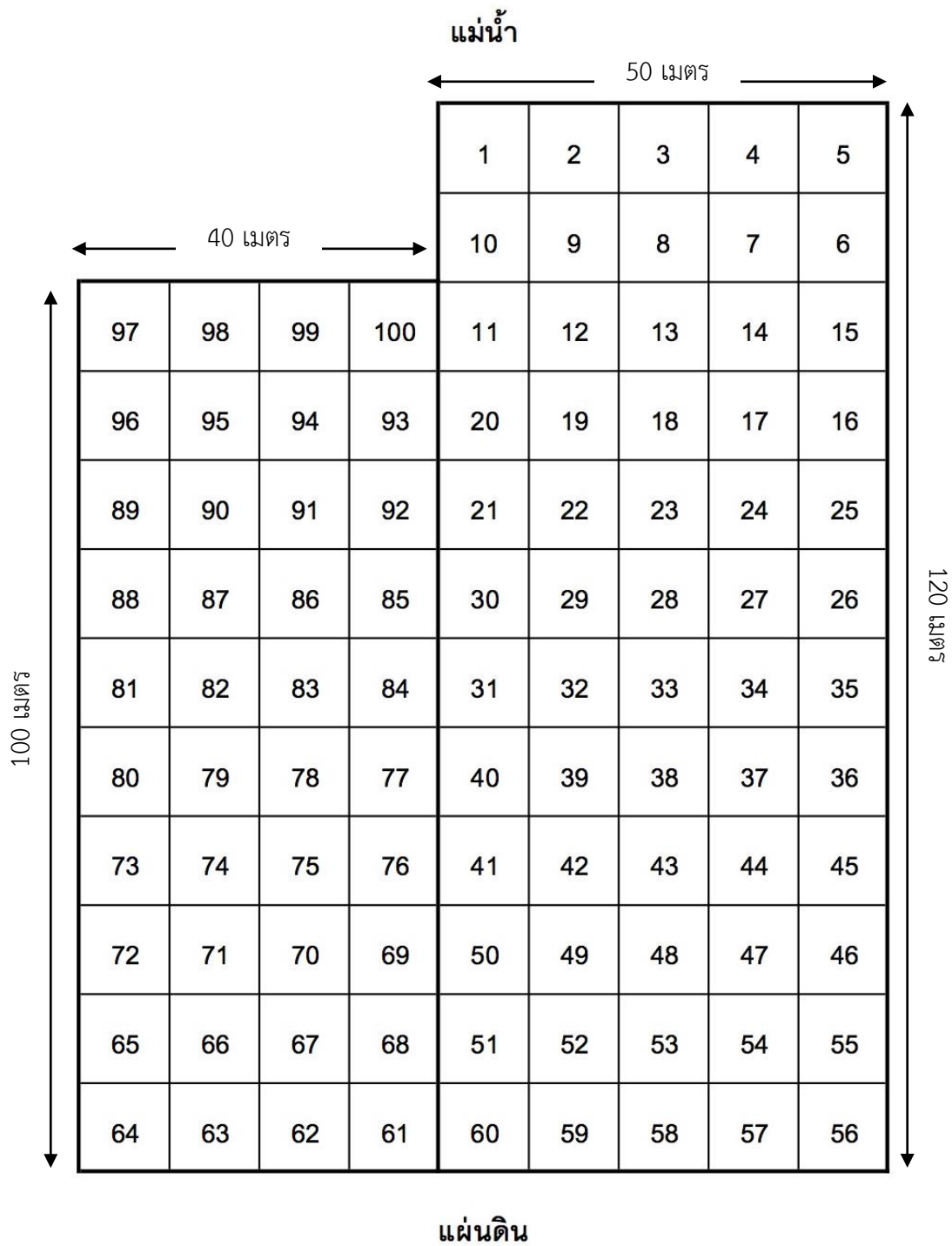


ภาพที่ 2 แผนที่ประเทศไทย แสดงที่ตั้งของจังหวัดตราด (จาก maps.google.com)



ภาพที่ 3 พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด (จาก maps.google.com)

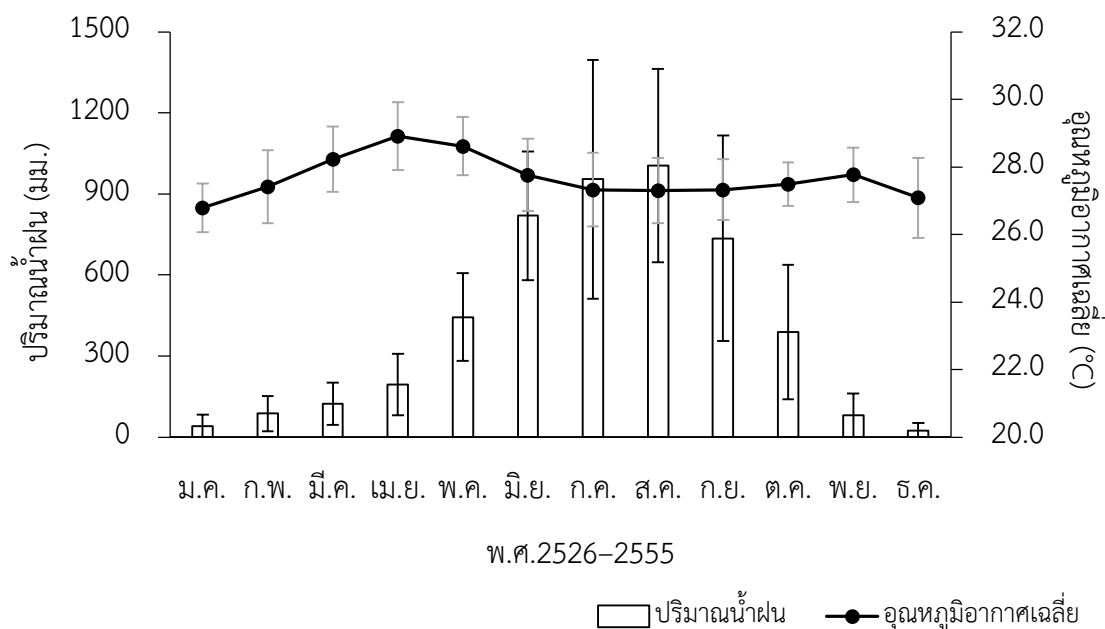




ภาพที่ 4 แปลงศึกษาถาวรขนาด 1 เฮกแตร์ แปลงย่อย 1-60 คือแปลงเดิมก่อนขยาย และแปลงย่อย 61-100 คือส่วนที่ขยายในปี พ.ศ.2556

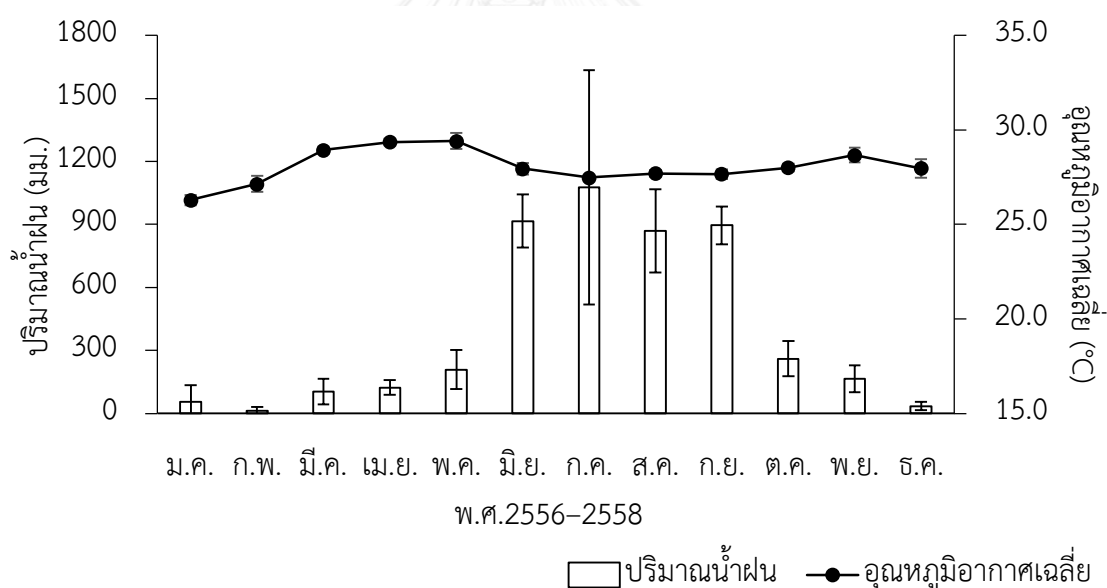
2.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น มีฝนตกชุก เนื่องจากมีทิวเขาบรรทัดซึ่งกั้นขวางอาณาเขตระหว่างไทยและกัมพูชาเป็นแนวปะทะกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2555) จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ พ.ศ.2526–2555 (ภาพที่ 5) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 4898.0 ± 701.1 มิลลิเมตร โดยปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม) มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4345.8 ± 636.5 มิลลิเมตร หรือคิดเป็น 88.7% ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมด ขณะที่ช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเท่ากับ 552.1 ± 187.3 มิลลิเมตร หรือ 11.3% ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมด อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 27.7 ± 0.6 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 31.7 ± 0.8 และ 23.6 ± 0.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ($86.0 \pm 1.7\%$) มีค่าสูงกว่าฤดูแล้ง ($75.9 \pm 4.1\%$) นอกจากนี้ยังพบว่าลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านในช่วงฤดูฝนมีความเร็วลมสูงสุดอยู่ในช่วง 10–42 น็อต ขณะที่ลมมรสุมที่พัดผ่านในช่วงฤดูแล้งมีความเร็วลมสูงสุดอยู่ในช่วง 9–26 น็อต

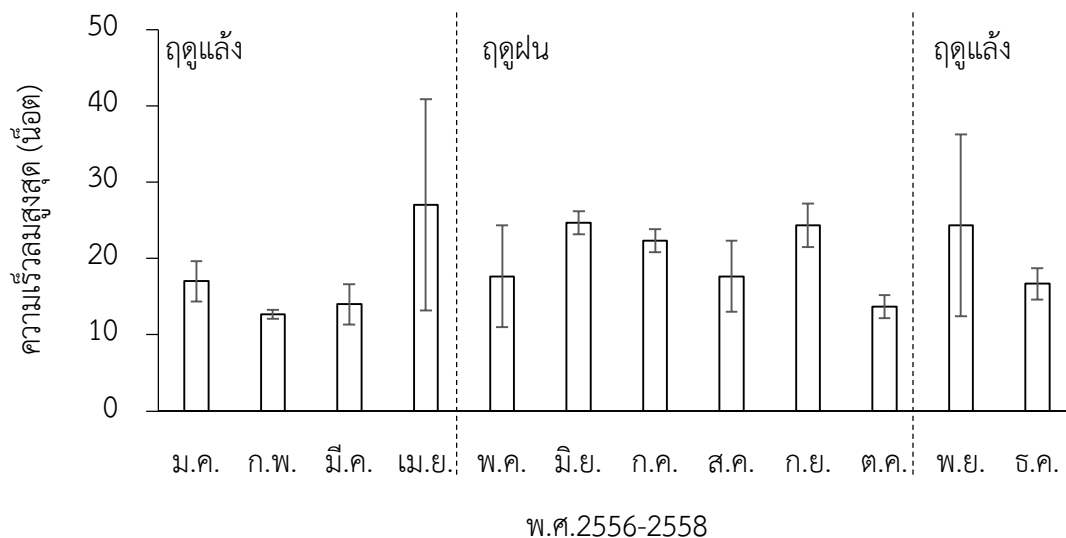


ภาพที่ 5 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนในช่วง พ.ศ.2526–2555 ของสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

ลักษณะภูมิอากาศในช่วงที่ทำการศึกษา พ.ศ.2556–2558 (ภาพที่ 6) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 4722.9 ± 696.9 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนรายปีในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 4229.1 ± 677.9 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 493.8 ± 75.8 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีระหว่างที่ทำการศึกษามีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในช่วง 30 ปีก่อนเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 28.0 ± 0.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 32.3 ± 1.1 และ 23.8 ± 1.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ $86.7 \pm 2.4\%$ และฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ $76.7 \pm 4.1\%$ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านในช่วงฤดูฝนมีความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 14–25 นี้อต ขณะที่ลมมรสุมฤดูแล้งมีความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 13–27 นี้อต (ภาพที่ 7) โดยความเร็วลมสูงสุดในระหว่างที่ทำการศึกษาพบในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 (38 นี้อต) เนื่องจากมีลมมรสุมกำลังแรงพัดผ่าน



ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนในช่วงที่ทำการศึกษา พ.ศ.2556–2558 ของสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

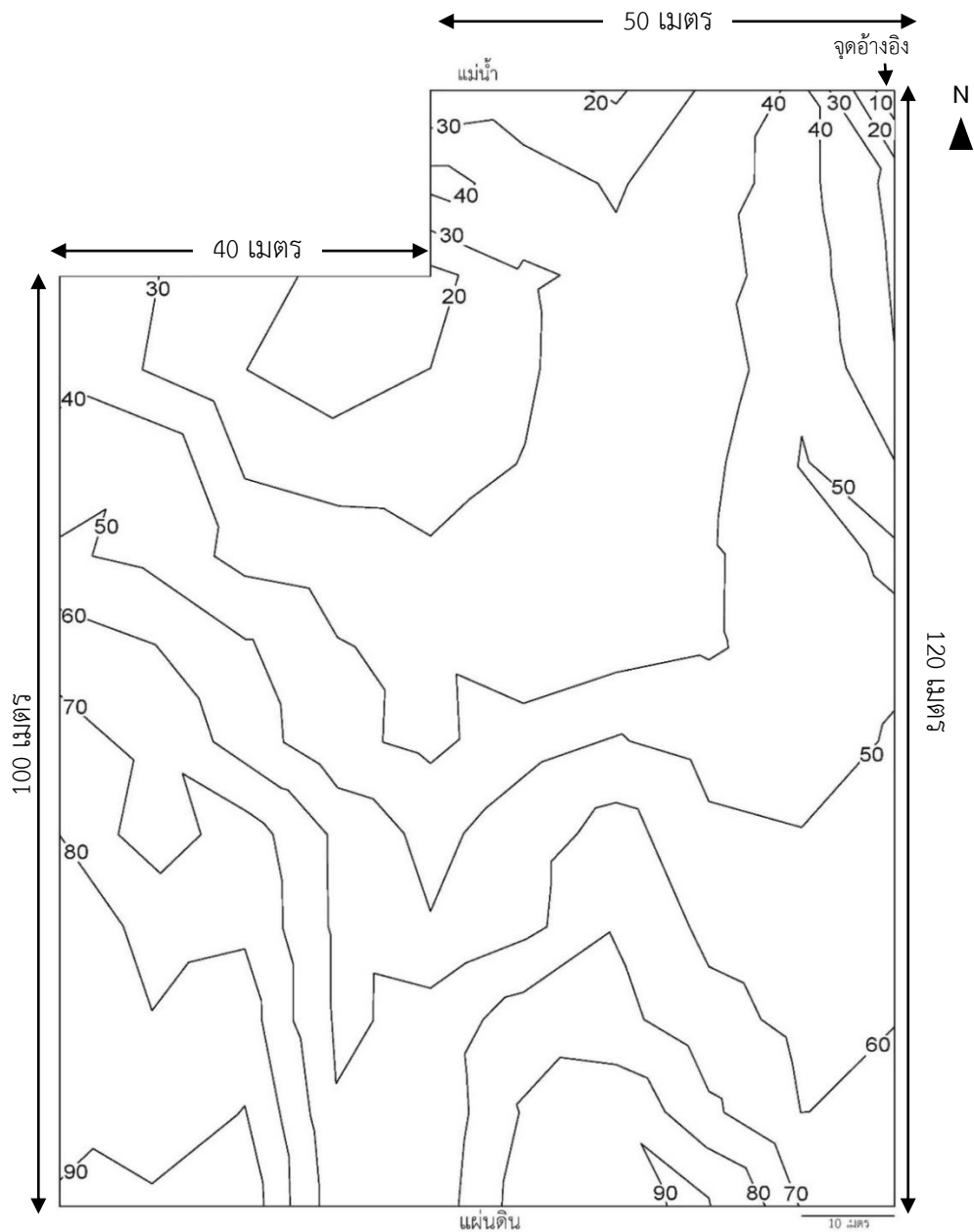


ภาพที่ 7 ความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วงที่ทำการศึกษา พ.ศ.2556–2558 ของสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จังหวัดตราด (กรมอุตุนิยมวิทยา, ประเทศไทย)

2.3 ลักษณะภูมิประเทศ

2.3.1 ความสูงของพื้นที่ในแปลงศึกษา

ความสูงของพื้นที่บริเวณด้านหน้าของแปลงศึกษาซึ่งอยู่ติดกับแม่น้ำ (ภาพที่ 8) มีความสูงสัมพัทธ์จากจุดอ้างอิงตั้งแต่ 0–40 เซนติเมตร และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางห่างจากแม่น้ำมากขึ้น จนถึงด้านในสุดของแปลงศึกษา (120 เมตร จากแม่น้ำ; ภาพที่ 8) ซึ่งมีความสูงสัมพัทธ์เท่ากับ 90 เซนติเมตร บริเวณกลางแปลงจากด้านหน้าลึกเข้าไปด้านในมีลักษณะเป็นร่องน้ำจึงมีความสูงสัมพัทธ์ต่ำเมื่อเทียบกับระยะเดียวกัน (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แผนที่แสดงความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่ (เซนติเมตร)

2.3.2 การท่วมของน้ำทะเล

พื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล 2 ลักษณะ คือ แบบน้ำเดียว และแบบน้ำผสม แบบน้ำเดียวคือเกิดน้ำขึ้น และน้ำลงอย่างละ 1 รอบต่อวัน ขณะที่แบบน้ำผสมคือเกิดน้ำขึ้น 2 ครั้ง และน้ำลง 2 ครั้งต่อวัน โดยน้ำขึ้นทั้ง 2 ครั้ง ขึ้นสูงสุดไม่เท่ากัน และน้ำลงทั้ง 2 ครั้ง ลงต่ำสุดไม่

เท่ากัน ทั้ง 2 ลักษณะนี้เป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปสำหรับการขึ้นลงของน้ำทะเลฝั่งอ่าวไทย ซึ่งแตกต่างจากการขึ้นลงของน้ำทะเลทางภาคใต้ฝั่งอันดามัน ที่การขึ้นลงของน้ำทะเลเป็นแบบน้ำคู่ คือ น้ำขึ้น 2 ครั้ง และน้ำลง 2 ครั้งต่อวัน โดยระดับน้ำขึ้นทั้ง 2 ครั้ง จะขึ้นสูงสุดเท่ากัน และระดับน้ำลงต่ำสุดทั้ง 2 ครั้งจะลงต่ำสุดเท่ากัน

ระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลในแปลงศึกษาลดลงตามระยะห่างจากแม่น้ำเข้าไปด้านในแผ่นดิน โดยระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลเฉลี่ยนานที่สุดบริเวณริมแม่น้ำที่ระยะ 0–20 เมตร (13.25 ± 2.58 ชั่วโมง/วัน) ขณะที่ระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลเฉลี่ยสั้นที่สุดที่ระยะ 101–120 เมตร (1.70 ± 2.53 ชั่วโมง/วัน) และมีความผันแปรสูงเนื่องจากน้ำทะเลท่วมถึงระยะนี้เพียงบางวันเท่านั้น (ตารางที่ 1) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลในฤดูแล้งและฤดูฝน จะเห็นว่าฤดูแล้งมีระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลต่อวันยาวนานกว่าฤดูฝน เนื่องจากในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมเป็นช่วงที่มีน้ำทะเลหนุนสูง สำหรับความถี่ในการท่วมของน้ำทะเลที่ระยะ 0–60 เมตร ส่วนใหญ่มีความถี่ 1 ครั้งต่อวัน ขณะที่ระยะ 61–100 เมตร มีความถี่ในการท่วม 1 ครั้งต่อวันเฉพาะช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูง ส่วนที่ระยะ 101–120 เมตร พบการท่วมของน้ำทะเลเพียงบางวันเท่านั้น

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาการท่วมของน้ำทะเลเฉลี่ยต่อวัน (ชั่วโมง/วัน) ในฤดูฝนและฤดูแล้งตามระยะห่างจากแม่น้ำเข้าไปด้านในแผ่นดิน

| | 0–20 ม. | 21–40 ม. | 41–60 ม. | 61–80 ม. | 81–100 ม. | 101–120 ม. |
|---------|------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|
| ฤดูฝน | 14.40±3.11 | 11.43±3.17 | 10.38±3.12 | 8.28±4.35 | 6.36±3.58 | 3.20±3.27 |
| ฤดูแล้ง | 12.09±2.11 | 9.40±1.32 | 8.46±1.36 | 6.03±2.27 | 4.13±2.19 | 0.20±0.47 |
| เฉลี่ย | 13.25±2.58 | 10.42±2.46 | 9.42±2.44 | 7.16±3.48 | 5.25±3.24 | 1.70±2.53 |

การท่วมของน้ำทะเลยังส่งผลต่อความเค็มของน้ำในป่าชายเลน โดยความเค็มของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ในฤดูฝนความเค็มของน้ำมีค่าต่ำ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน ขณะที่ฤดูแล้งความเค็มของน้ำมีค่าสูง เนื่องจากมีน้ำทะเลหนุนสูง ประกอบกับได้รับอิทธิพลจากน้ำฝนน้อยจากการวัดค่าความเค็มของน้ำบริเวณแปลงศึกษาด้วยเครื่องวัดความเค็มน้ำ (salt meter, YK-31SA, Lutron Electronics Company, USA) ในฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าความเค็มเฉลี่ยในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ $0.50 \pm 0.97\%$ และฤดูแล้งมีค่าความเค็มเฉลี่ยเท่ากับ $2.46 \pm 0.95\%$

2.4 โครงสร้างป่า

แปลงศึกษาเดิม (40×110 ตารางเมตร) ในป่าชายเลนทุติยภูมิ บริเวณปากแม่น้ำตราด มีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้อย่างชัดเจน 4 เขตพันธุ์ไม้จากริมแม่น้ำเข้าไปด้านในแผ่นดิน ได้แก่ เขตไม้ลำพู เขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ (Poungparn et al., 2009) การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างป่าและแบ่งเขตพันธุ์ไม้ใหม่หลังจากขยายแปลงเป็น 1 เฮกเตอร์ โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.3 เมตร (diameter at breast height; DBH) ยกเว้นพันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora*) ที่วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเหนือคอรากค้ำยันสูงสุดที่ยังลงดิน 30 เซนติเมตร ($D_{R0.3}$) และวัดความสูง (height; H) ทำการวัดในเดือนสิงหาคม 2556 ระบุชนิดของต้นไม้ทุกต้นในแปลงศึกษาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป และบันทึกตำแหน่งของต้นไม้เพื่อทำแผนที่ต้นไม้

การวิเคราะห์เขตพันธุ์ไม้

วิเคราะห์เขตพันธุ์ไม้ในแต่ละแถวทุกระยะ 10 เมตร จากริมแม่น้ำเข้าไปด้านในแผ่นดิน โดยใช้ดัชนีความสำคัญ (Important Value Index; IVI) ทำการแยกวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือส่วนแปลงเดิม และส่วนแปลงใหม่ (ภาพที่ 4) เนื่องจากมีร่องน้ำอยู่กลางแปลงศึกษาทำให้ความสูงของแปลงทั้ง 2 ด้านแตกต่างกัน ดังภาพที่ 8 ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเล อันอาจจะส่งผลถึงชนิดของพันธุ์ไม้

ดัชนีความสำคัญ = ความหนาแน่นสัมพัทธ์ + ความถี่สัมพัทธ์ + ความเด่นสัมพัทธ์

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (%) = $\frac{\text{ความหนาแน่นของต้นไม้ชนิดหนึ่ง} \times 100}{\text{ผลรวมความหนาแน่นของต้นไม้ทุกชนิด}}$

ความหนาแน่นของต้นไม้ชนิดหนึ่ง = $\frac{\text{จำนวนต้นไม้ชนิดนั้นทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ทั้งหมด}}$

ความถี่สัมพัทธ์ (%) = $\frac{\text{ความถี่ของต้นไม้ชนิดหนึ่ง} \times 100}{\text{ความถี่ของต้นไม้ทุกชนิด}}$

ความถี่ของต้นไม้ชนิดหนึ่ง = $\frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่ชนิดไม้นั้นปรากฏ}}{\text{ผลรวมจำนวนแปลงที่ไมแต่ละชนิดปรากฏ}}$

$$\text{ความเด่นสัมพัทธ์ (\%)} = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดลำต้นของต้นไม้ชนิดหนึ่ง} \times 100}{\text{ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดลำต้นของต้นไม้ทุกชนิด}}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดลำต้น} = (22/7) (\text{เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น}/2)^2$$

จากการศึกษาโครงสร้างป่าพบว่าความหนาแน่นของต้นไม้ทั้งหมดในแปลงศึกษามีค่าเท่ากับ 2249 ต้น/เฮกแตร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยเท่ากับ 11.2 ± 0.1 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 10.9 ± 0.1 เมตร จากค่าดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้พบว่าป่าชายเลนบริเวณนี้มีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้อย่างชัดเจน 3 เขตพันธุ์ไม้ ได้แก่ เขตไม้แสม (*Avicennia* zone) เขตไม้โกงกาง (*Rhizophora* zone) และเขตไม้ตะบูน (*Xylocarpus* zone) ตามลำดับ (ภาพที่ 9) เขตพันธุ์ไม้ที่อยู่ติดแม่น้ำคือ เขตไม้แสม (แปลงที่ 1–40) โดยมีแสมขาว (*Avicennia alba* Blume) เป็นพันธุ์ไม้เด่น มีค่าดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้มากที่สุด ถัดไปคือเขตไม้โกงกาง (แปลงที่ 41–50 และ 61–100) ซึ่งมีพันธุ์ไม้เด่นคือ โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata* Blume) และโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Poir.) สุดท้ายคือเขตไม้ตะบูน (แปลงที่ 51–60) ที่มีตะบูนขาว (*Xylocarpus granatum* Koenig.) เป็นพันธุ์ไม้เด่น

เขตไม้แสม ความหนาแน่นของต้นไม้ที่มีชีวิตในเขตไม้แสมมีค่าน้อยที่สุดคือ 1175 ต้น/เฮกแตร์ เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นไม้มีขนาดใหญ่ (13.1 เซนติเมตร) พื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมเท่ากับ 23.58 ตารางเมตร/เฮกแตร์ เขตไม้แสมประกอบด้วยพันธุ์ไม้ 4 ชนิด ได้แก่ แสมขาว ลำพู (*Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.) โกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ โดยมีแสมขาวกระจายอยู่มากที่สุด จึงพบรากหายใจ (pneumatophore) กระจายอยู่อย่างหนาแน่นในเขตนี้ (ภาพที่ 10ก) ขณะที่ลำพูพบกระจายอยู่เฉพาะบริเวณริมแม่น้ำ ส่วนโกงกางใบเล็ก และโกงกางใบใหญ่ พบกระจายเป็นหย่อม ๆ จำนวนต้นไม้ที่ตายในเขตไม้แสมคือ 45 ต้น/เฮกแตร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของต้นไม้ที่ตายมีขนาดใหญ่คือ 13.0 ± 6.6 เซนติเมตร (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่าเกือบ 70% ของต้นไม้ที่ตายในเขตไม้แสมคือ ไม้แสม เขตไม้แสมอยู่ติดริมแม่น้ำ มีความสูงสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 28 ± 11 เซนติเมตร จึงได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลเวลาน้ำขึ้นมากที่สุดคือ 12.03 ± 3.09 ชั่วโมง/วัน

เขตไม้โกงกาง ความหนาแน่นของต้นไม้ที่มีชีวิตในเขตไม้โกงกางมีค่าเท่ากับ 2071 ต้น/เฮกแตร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นไม้มีขนาดเท่ากับ 10.8 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดลำต้น

รวมเท่ากับ 25.73 ตารางเมตร/เฮกเตอร์ พันธุ์ไม้ที่พบในเขตนี้ ได้แก่ แสมขาว โกงกางใบเล็ก โกงกางใบใหญ่ โปรงแดง (*Ceriops tagal* (Perr.) C. B. Rob.) พังกาหัวสุมดอกแดง (*Bruguiera gymnorhiza* (L.) Savigny) พังกาหัวสุมดอกขาว (*Bruguiera sexangula* (Lour.) Poir.) ฝาดดอกแดง (*Lumnitzera littorea* (Jack) Voigt) และตะบูนขาว โดยแสมขาวพบกระจายในบริเวณที่ติดกับเขตไม้แสม ขณะที่ตะบูนพบกระจายอยู่บริเวณที่ติดกับเขตไม้ตะบูน พันธุ์ไม้สกุลโกงกางพบกระจายอยู่มากที่สุด จึงพบรากค้ำยัน (prop root) อย่างหนาแน่นในเขตนี้ (ภาพที่ 10ข) สำหรับพันธุ์ไม้ชนิดอื่น ๆ พบกระจายอยู่ทั่วไป จำนวนต้นไม้ที่ตายในเขตไม้โกงกางคือ 37 ต้น/เฮกเตอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของต้นไม้ที่ตายเท่ากับ 9.2 ± 3.7 เซนติเมตร (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่าต้นไม้ที่ตายส่วนใหญ่คือ ไม้โกงกาง (88%) เขตไม้โกงกางอยู่ถัดจากเขตไม้แสม มีความสูงสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 48 ± 12 เซนติเมตร ระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลคือ 8.28 ± 3.30 ชั่วโมง/วัน

เขตไม้ตะบูน ความหนาแน่นของต้นไม้ที่มีชีวิตในเขตไม้ตะบูนมีความหนาแน่นมากที่สุดคือ 3500 ต้น/เฮกเตอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นไม้มีขนาดเท่ากับ 9.6 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมเท่ากับ 32.67 ตารางเมตร/เฮกเตอร์ พันธุ์ไม้ที่พบในเขตนี้ ได้แก่ ตะบูนขาว โปรงแดง โปรงขาว (*Ceriops decandra* (Griff.) Ding Hou) พังกาหัวสุมดอกแดง พังกาหัวสุมดอกขาว ฝาดดอกแดง และฝาดดอกขาว (*Lumnitzera racemosa* Willd.) เนื่องจากพบตะบูนขาวกระจายอยู่มากที่สุด พื้นที่ป่าของเขตพันธุ์ไม้นี้จึงเต็มไปด้วยรากพูพอน (buttress root) (ภาพที่ 10ค) ขณะที่พันธุ์ไม้อื่น ๆ พบกระจายอยู่ทั่วไป จำนวนต้นไม้ที่ตายในเขตไม้ตะบูนคือ 80 ต้น/เฮกเตอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของต้นไม้ที่ตายเท่ากับ 8.1 ± 2.6 เซนติเมตร (ตารางที่ 2) ต้นไม้ที่ตายในเขตไม้ตะบูนประกอบไปด้วยตะบูน 38% และโกงกาง 62% เขตไม้ตะบูนอยู่ด้านในสุดของแปลงศึกษามีความสูงสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงที่สุดคือ 65 ± 11 เซนติเมตร จึงได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลน้อยที่สุดคือ 3.37 ± 3.36 ชั่วโมง/วัน

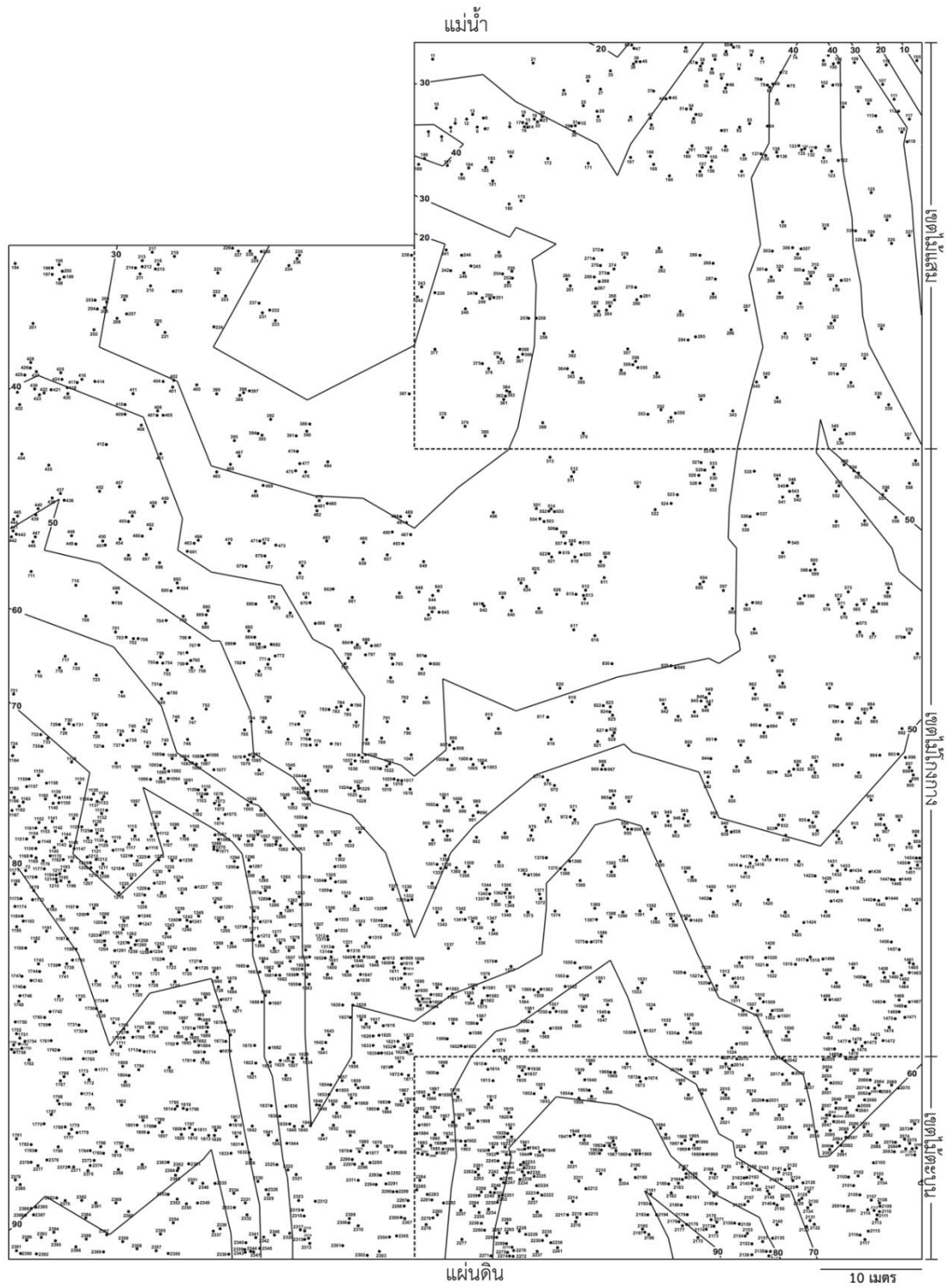
ตารางที่ 2 โครงสร้างป่าในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ในปี พ.ศ.2556

| | เขตไม้แสม | เขตไม้โกงกาง | เขตไม้ตะบูน |
|----------------------------------|-----------|--------------|-------------|
| ต้นไม้ที่มีชีวิต | | | |
| ความหนาแน่นเฉลี่ย (ต้น/เฮกเตอร์) | 1175 | 2071 | 3500 |

| | | | |
|---|----------------|----------------|---------------|
| ค่าเฉลี่ย DBH หรือ $D_{R0.3}$ (ซม.) | 13.1 ± 9.1 | 10.8 ± 6.5 | 9.6 ± 5.2 |
| ค่าเฉลี่ย H (ม.) | 11.8 ± 3.1 | 11.6 ± 4.2 | 9.5 ± 2.6 |
| พื้นที่หน้าตัดลำต้นรวม (ตร.ซม./เฮกแตร์) | 23.58 | 25.73 | 32.67 |
| ต้นไม้ตาย | | | |
| จำนวนเฉลี่ย (ต้น/เฮกแตร์) | 45 | 37 | 80 |
| ค่าเฉลี่ย DBH หรือ $D_{R0.3}$ (ซม.) | 13.0 ± 6.6 | 9.2 ± 3.7 | 8.1 ± 2.6 |
| ค่าเฉลี่ย H (ม.) | 11.6 ± 2.2 | 11.0 ± 3.2 | 9.2 ± 2.9 |

DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.3 เมตร, $D_{R0.3}$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเหนือคอราก
 ค้ำยันสูงสุดที่ยังลงดิน 30 เซนติเมตร, H คือ ความสูงของต้นไม้





ภาพที่ 9 แผนที่แสดงความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่และตำแหน่งของต้นไม้ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้

ก)



ข)



ค)



ภาพที่ 10 ลักษณะพื้นที่ใน ก) เขตไม้แสม ข) เขตไม้โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูน

บทที่ 3

มวลชีวภาพ ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย

3.1 บทนำและตรวจสอบเอกสาร

มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (biomass increment; ΔB) ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (litter production; L) ในช่วงระยะเวลานั้น เป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการประมาณผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (net primary production; NPP) ของระบบนิเวศป่าไม้ โดยวิธี summation method ซึ่งประมาณจากผลรวมของมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น

มวลชีวภาพที่เพิ่มพูนประกอบไปด้วยมวลชีวภาพทั้งส่วนเหนือดินและรากที่เพิ่มพูนในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งมวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูนในป่าชายเลนมีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Amarasinghe และ Balasubramaniam (1992) พบว่าป่าชายเลนที่มีลักษณะเป็น riverine ซึ่งอยู่บริเวณปากแม่น้ำ Kala Oya ในประเทศศรีลังกา มีค่ามวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูนอยู่ในช่วง 5.63–6.77 ตัน/เฮกแตร์/ปี แต่ป่าชายเลนที่มีลักษณะเป็น fringe ซึ่งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลบนเกาะ Erumathivu มีค่ามวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูนอยู่ในช่วง 1.40–4.34 ตัน/เฮกแตร์/ปี การศึกษาของ Sukardjo และ Yamada (1992) พบว่าค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูนในป่าปลูกโกงกางใบใหญ่มีค่าเท่ากับ 14.1 ตัน/เฮกแตร์/ปี Day และคณะ (1996) รายงานว่าป่าชายเลนทางตอนใต้ของอ่าวเม็กซิโกซึ่งมีลักษณะแบบ basin เจริญอยู่บริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะเป็น lagoon คือเป็นแหล่งน้ำตื้น ๆ มีสันดอนกั้นแยกจากทะเล แต่ยังคงมีทางน้ำเชื่อมติดต่อกับอ่าวเม็กซิโก มีมวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูนเท่ากับ 1.80 ตัน/เฮกแตร์/ปี ขณะที่การศึกษาของ Castañeda-Moya และคณะ (2013) รายงานว่าป่าชายเลนที่มีลักษณะแบบ scrub ซึ่งเจริญอยู่ในบริเวณที่มีปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโต ในที่นี้คือ มีธาตุอาหารน้อย และเจริญในเขตบ่อน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำในฤดูหนาว มีมวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูนเท่ากับ 0.62 ตัน/เฮกแตร์/ปี (ตารางที่ 3)

มวลชีวภาพรากที่เพิ่มพูนของป่าชายเลนบริเวณปากแม่น้ำตราด มีสัดส่วนประมาณ 40% ของมวลชีวภาพส่วนเหนือดินที่เพิ่มพูน โดยมวลชีวภาพรากที่เพิ่มพูนมีค่าอยู่ในช่วง 3.00–3.82 ตัน/เฮกแตร์/ปี (Poungparn et al., 2012) ขณะที่มวลชีวภาพรากที่เพิ่มพูนของป่าชายเลนที่เกาะโอ๊ก

นาวา ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีฟังก์ชันหัวสุ่มดอกแดงเป็นพันธุ์ไม้เด่น คิดเป็น 71% ของมวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูน (Kamruzzaman et al., 2017) จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามวลชีวภาพรากที่เพิ่มพูนมีสัดส่วนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับมวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูน ดังนั้น ในการประมาณมวลชีวภาพที่เพิ่มพูนของป่าชายเลนจึงควรประมาณทั้งส่วนเหนือดินและราก

ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นประกอบด้วยซากใบ ซากกิ่งขนาดเล็ก และซากส่วนสืบพันธุ์ ได้แก่ ดอก และผล ซึ่งถูกผลิตขึ้นและร่วงหล่นไปในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นในป่าชายเลนมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมและชนิดพันธุ์ไม้ จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าป่าชายเลนที่มีลักษณะเป็น riverine มีผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นสูงกว่าป่าชายเลนลักษณะอื่น ๆ เนื่องจากป่าชายเลนที่มีลักษณะนี้มักมีความสมบูรณ์ของพันธุ์ไม้มากกว่าป่าชายเลนลักษณะอื่น ๆ เช่น ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นของป่าชายเลนที่มีลักษณะเป็น riverine บริเวณปากแม่น้ำตราดมีค่าอยู่ในช่วง 9.33–12.4 ตัน/เฮกแตร์/ปี มีความหนาแน่นของต้นไม้เท่ากับ 1943 ตัน/เฮกแตร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมีค่าอยู่ในช่วง 4.9–63.2 เซนติเมตร (Poungparn et al., 2012) ขณะที่ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นของป่าชายเลนที่มีลักษณะเป็น riverine ที่ฟลอริดามีค่าเท่ากับ 8.64 ตัน/เฮกแตร์/ปี มีความหนาแน่นของต้นไม้เท่ากับ 4476 ตัน/เฮกแตร์ ความสูงของต้นไม้มีค่าอยู่ในช่วง 5–13 เมตร (Castañeda-Moya et al., 2013) สำหรับป่าชายเลนลักษณะอื่น ๆ เช่น ป่าชายเลนที่มีลักษณะ เป็น basin มีค่าผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเท่ากับ 4.04 ตัน/เฮกแตร์/ปี โดยมีความหนาแน่นของต้นไม้เท่ากับ 1670 ตัน/เฮกแตร์ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเท่ากับ 6.6 เซนติเมตร (Day et al., 1996)

มวลชีวภาพที่เพิ่มพูนและผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นของป่าชายเลนมีค่าค่อนข้างสูง ส่งผลให้ป่าชายเลนมีค่า NPP สูง ป่าชายเลนจึงถือเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ ซึ่ง Komiyama และคณะ (2008) รายงานว่า NPP ของป่าชายเลนในเขตร้อนและกึ่งร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 4.0–26.7 ตัน/เฮกแตร์/ปี นอกจากนี้ จากตารางที่ 3 NPP ของส่วนเหนือดิน (aboveground NPP, ANPP) มีค่าอยู่ในช่วง 3.44–22.4 ตัน/เฮกแตร์/ปี ขณะที่ NPP ทั้งส่วนเหนือดินและรากมีค่าอยู่ในช่วง 19.7–24.8 ตัน/เฮกแตร์/ปี อย่างไรก็ตามเมื่อรวมมวลซากพืชทั้งส่วนเหนือดิน (aboveground necromass) และซากราก (root necromass) ของต้นไม้ที่ยืนต้นตายในระหว่างที่ทำการศึกษาในการประมาณ NPP จะเห็นว่า NPP ของป่าชายเลนที่เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่นมีค่าสูงถึง 42.5 ตัน/เฮกแตร์/ปี (Kamruzzaman et al., 2017) ดังนั้น ผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (necromass production) จึงเป็นส่วนสำคัญที่ควรพิจารณาในการประมาณ NPP ของระบบนิเวศป่าชายเลน

นอกจากนี้การแบ่งเขตพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนเนื่องจากอิทธิพลของการขึ้นลงของน้ำทะเล ทำให้แต่ละเขตพันธุ์ไม้มีโครงสร้างป่าและปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยรวมที่แตกต่างกัน และจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ความรุนแรงของพายุที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของกระแสน้ำ (Gilman et al., 2008) ป่าชายเลนซึ่งอยู่ตามแนวชายฝั่งอาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงอาจส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างป่าและประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนของป่าชายเลน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน และผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น รวมทั้ง necromass production ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ เพื่อใช้ในการประมาณ NPP ของป่าชายเลนในแปลงศึกษาถาวรขนาด 1 เฮกแตร์ บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด



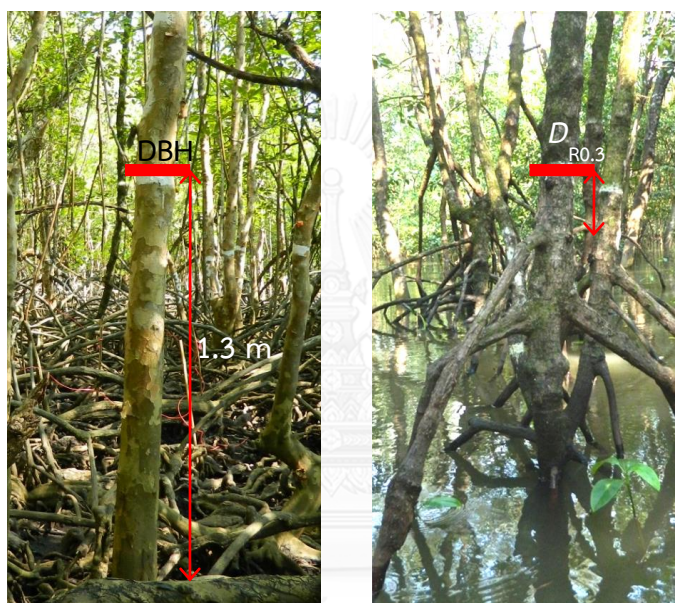
ตารางที่ 3 มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB , ตัน/เฮกแตร์/ปี) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L, ตัน/เฮกแตร์/ปี) ผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (necromass production, ตัน/เฮกแตร์/ปี) และผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP, ตัน/เฮกแตร์/ปี) ของป่าชายเลนในพื้นที่ต่าง ๆ ที่ประมาณโดยวิธี summation method

| สถานที่ | ΔB | | L | necromass production | | NPP | อ้างอิง |
|--------------------------------------|------------|------|------|----------------------|-----|------|--|
| | เหนือดิน | ราก | | เหนือดิน | ราก | | |
| <u>ประเทศศรีลังกา</u> | | | | | | | |
| Riverine mangrove | | | | | | | Amarasinghe และ Balasubramaniam (1992) |
| โก่งกางใบใหญ่ | 6.77 | - | 6.24 | - | - | 13.0 | |
| พันธุ์ไม้ผสม | 5.63 | - | 5.52 | - | - | 11.2 | |
| <u>Fringe mangrove</u> | | | | | | | |
| โก่งกางใบใหญ่ | 4.34 | - | 4.41 | - | - | 8.75 | |
| แสมทะเล | 1.40 | - | 3.74 | - | - | 5.14 | |
| <u>เกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย</u> | | | | | | | |
| ป่าปลูกโก่งกางใบใหญ่ | 14.1 | - | 8.25 | - | - | 22.4 | Sukardjo และ Yamada (1992) |
| <u>ตอนใต้ของอ่าวเม็กซิโก</u> | | | | | | | |
| ประเทศเม็กซิโก | 1.80 | - | 4.04 | - | - | 5.84 | Day และคณะ (1996) |
| <u>Basin mangrove</u> | | | | | | | |
| <u>จ. ตราด ประเทศไทย</u> | | | | | | | |
| Riverine mangrove | | | | | | | Poungpam และคณะ (2012) |
| เขตไม้แสม-ลำพู | 10.2 | 3.82 | 9.93 | - | - | 24.0 | |
| เขตไม้โก่งกาง | 9.24 | 3.20 | 12.4 | - | - | 24.8 | |
| เขตไม้ตะบูน | 7.39 | 3.00 | 9.33 | - | - | 19.7 | |
| <u>รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา</u> | | | | | | | |
| Riverine mangrove | 3.13 | - | 8.64 | - | - | 11.8 | Castañeda-Moya และคณะ (2013) |
| Scrub mangrove | 0.62 | - | 2.82 | - | - | 3.44 | |
| <u>เกาะโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น</u> | | | | | | | |
| พังกาหัวส้มดอกแดง | 8.5 | 6.0 | 11.8 | 7.4 | 8.8 | 42.5 | Kamruzzaman และคณะ (2017) |

3.2 วิธีการศึกษา

3.2.1 การวัดขนาดต้นไม้ประจำปี (annual tree census)

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.3 เมตร (diameter at breast height; DBH) ของต้นไม้ทุกต้นในแปลงศึกษาขนาด 1 เฮกแตร์ ที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป สำหรับพันธุ์ไม้สกุลโกงกาง (*Rhizophora*) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเหนือคอรากค้ำยันสูงสุดที่ยังลงดิน 30 เซนติเมตร ($D_{R0.3}$) (ภาพที่ 11) ทำการวัดในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556, 2557 และ 2558



ภาพที่ 11 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นไม้

3.2.2 มวลชีวภาพ และมวลของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (tree biomass และ necromass)

คำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้โดยใช้สมการแอลโลเมตรีทั่วไปสำหรับพืชป่าชายเลนของ Komiyama และคณะ (2005) มวลชีวภาพเหนือดิน (W_{Top}) คำนวณโดยใช้สมการที่ 3.1 สำหรับมวลชีวภาพราก คำนวณโดยใช้สมการที่ 3.2 มวลชีวภาพทั้งหมดได้จากผลรวมของมวลชีวภาพเหนือดินและมวลชีวภาพราก

$$W_{Top} = 0.251\rho D^{2.46} \quad (3.1)$$

$$W_R = 0.199\rho^{0.899} D^{2.22} \quad (3.2)$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นเนื้อไม้ (ตัน/ลูกบาศก์เมตร) และ D คือ DBH และ $D_{R0.3}$ (เซนติเมตร)

มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน คือมวลชีวภาพของต้นไม้ที่มีชีวิตที่เพิ่มพูนในรอบปี โดยคำนวณจากผลต่างของมวลชีวภาพทั้งหมดของต้นไม้ที่มีชีวิต (รวมต้นไม้ใหม่ที่เพิ่งถูกนับเข้ามาในปีที่วัด) ระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 กับ 2557 และระหว่าง พ.ศ.2557 กับ 2558 สำหรับมวลชีวภาพที่เพิ่มพูนของต้นไม้ที่นับเข้ามาใหม่จะคำนวณจากผลต่างของมวลชีวภาพขณะนั้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ขณะที่มีขนาด 4.5 เซนติเมตร ตามวิธีของ Clark และคณะ (2001)

มวลของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (necromass) คำนวณจากต้นไม้ที่ตายแล้ว (DBH, $D_{R0.3} \geq 4.5$ เซนติเมตร) โดยใช้สมการแอลโลเมตรีทั่วไปสำหรับพืชป่าชายเลนเช่นเดียวกับการคำนวณมวลชีวภาพ จากนั้นคำนวณผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (necromass production) จากผลต่างของมวลของต้นไม้ที่ยืนต้นตายระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 กับ 2557 และระหว่าง พ.ศ.2557 กับ 2558

อัตราการตาย (mortality rate) และอัตราการเกิด (recruitment rate) ของต้นไม้ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ คำนวณโดยใช้ logarithmic model (Miura et al., 2001)

$$\text{อัตราการตาย (\%)} = \frac{\ln(N_b/N_s) \times 100}{t}$$

$$\text{อัตราการเกิด (\%)} = \frac{\ln(N_e/N_s) \times 100}{t}$$

เมื่อ N_b คือ ต้นไม้ที่มีชีวิตที่พบเมื่อเริ่มทำการศึกษ

N_s คือ ต้นไม้ที่อยู่รอดตลอดการศึกษา

N_e คือ ต้นไม้ที่มีชีวิตเมื่อสิ้นสุดการศึกษา

t คือ เวลา (ปี)

3.2.3 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (Litter production; L)

ศึกษาผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น โดยวางกระเบรรับซากพืช (litter trap, ภาพที่ 12) ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 1×1 ตารางเมตร จำนวน 20 กระเบร ให้ครอบคลุมทั้งแปลงศึกษา เก็บซากพืชที่อยู่ในกระเบรทุกเดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงกรกฎาคม พ.ศ.2558 จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แยกซากพืชออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ใบ กิ่งขนาดเล็ก และส่วนสืบพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยดอก ผล และ viviparous seed ของโกงกาง ช้างและบันทึก

น้ำหนักแห้ง จากนั้นคำนวณผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นในแต่ละเขตพันธุ์ไม้จากผลรวมของปริมาณซากพืชรายเดือน



ภาพที่ 12 ก) กระจับกรงรับซากพืชขนาด 1 × 1 ตารางเมตร ในแปลงศึกษาป่าชายเลนทุติยภูมิ บริเวณปากแม่น้ำตราด และซากพืชหลังจากแยกเป็น ข) ใบ ค) กิ่งขนาดเล็ก และ ง) ส่วนสืบพันธุ์

3.2.4 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (Net primary production; NPP)

NPP ของส่วนเหนือดิน (aboveground NPP, ANPP) ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้คำนวณจากผลรวมของมวลชีวภาพเหนือดินที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และผลผลิตเหนือดินของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (aboveground necromass production) ขณะที่ NPP ของส่วนใต้ดิน (belowground NPP, BNPP) คำนวณจากผลรวมของมวลชีวภาพรากที่เพิ่มพูน และผลผลิตซากรากของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (root necromass production) ดังนั้น NPP จึงเป็นผลรวมของทั้ง ANPP และ BNPP

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น necromass production และ NPP ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้โดยใช้ one-way analysis of variance (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS 22 สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows (IBM Corp., Armonk, NY)

3.3 ผลการศึกษา

3.3.1 มวลชีวภาพ และผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย

ความหนาแน่นของต้นไม้ที่มีชีวิตในเขตไม้แสมมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของต้นไม้มีขนาดใหญ่ ขณะที่เขตไม้ตะบูนมีความหนาแน่นของต้นไม้มากที่สุด ต้นไม้ในเขตนี้จึงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยน้อย (ตารางที่ 4 และ 5) ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพเหนือดินของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้มีค่าอยู่ในช่วง 186.5–228.2 ตัน/เฮกแตร์ ขณะที่มวลชีวภาพรากมีค่าอยู่ในช่วง 73.20–98.06 ตัน/เฮกแตร์ ซึ่งคิดเป็น 40% ของมวลชีวภาพเหนือดิน สำหรับค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 259.7–326.3 ตัน/เฮกแตร์ (ตารางที่ 5) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($F = 97.537, P = 0.002$) ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดในเขตไม้ตะบูน และมีค่าไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพทั้งหมดในเขตไม้โกงกาง ขณะที่เขตไม้แสมมีค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพทั้งหมดน้อยที่สุด ถึงแม้ว่าเขตไม้แสมจะมีมวลชีวภาพน้อยที่สุด แต่กลับมีค่ามวลชีวภาพที่เพิ่มพูนสูงที่สุดคือ 10.5 ตัน/เฮกแตร์/ปี เขตไม้โกงกางมีค่ามวลชีวภาพที่เพิ่มพูนเท่ากับ 5.15 ตัน/เฮกแตร์/ปี ขณะที่เขตไม้ตะบูนมีค่ามวลชีวภาพที่เพิ่มพูนต่ำที่สุดคือ 2.59 ตัน/เฮกแตร์/ปี (ตารางที่ 5) และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($F = 6.288, P = 0.085$)

ค่าเฉลี่ยของ necromass production มีค่าอยู่ในช่วง 1.60–4.21 ตัน/เฮกแตร์/ปี (ตารางที่ 5) โดยพบมากที่สุดเขตไม้โกงกาง แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($F = 2.242, P = 0.254$) แม้ว่าทุกเขตพันธุ์ไม้มีจำนวนต้นไม้ที่ตายใกล้เคียงกัน แต่เขตไม้โกงกางมี necromass production มากที่สุดเนื่องจากต้นไม้ที่ตายมีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามอัตราการตายเฉลี่ยของต้นไม้มีค่าสูงที่สุดในเขตไม้แสม ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเกิดที่มีค่าสูงที่สุดในเขตไม้แสมเช่นกัน ตรงกันข้ามกับเขตไม้โกงกางและเขตไม้ตะบูนที่อัตราเฉลี่ยของทั้งการตายและการเกิดมีค่าต่ำ (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ยังพบว่าต้นไม้ที่ตายในแต่ละเขตพันธุ์ไม้คือพันธุ์ไม้เด่นในเขตนั้น ๆ คิดเป็น 73 และ 86% สำหรับเขตไม้แสม และไม้โกงกาง ตามลำดับ ขณะที่เขตไม้ตะบูนพบว่าต้นไม้ที่ตายส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยพังกาหัวสุมดอกแดง 60% ตะบูน 20% และโกงกาง 20%

ตารางที่ 4 โครงสร้างป่าในแต่ละเขตพื้นที่ไม้ระหว่างปี พ.ศ.2557-2558

| | เขตไม้แสม | เขตไม้โกงกาง | เขตไม้ตะบูน |
|-------------------------------------|------------|--------------|-------------|
| ต้นไม้ที่มีชีวิต | | | |
| ความหนาแน่นเฉลี่ย (ต้น/เฮกแตร์) | 1283 ± 4 | 2066 ± 4 | 3580 ± 184 |
| ค่าเฉลี่ย DBH หรือ $D_{R0.3}$ (ซม.) | 12.9 ± 0.1 | 10.9 ± 0.1 | 9.5 ± 0.0 |
| ค่าเฉลี่ย H (ม.) | 11.8 ± 0.2 | 11.7 ± 0.1 | 9.6 ± 0.1 |
| ต้นไม้ตาย | | | |
| จำนวนเฉลี่ย (ต้น/เฮกแตร์) | 28 ± 4 | 31 ± 9 | 25 ± 21 |
| ค่าเฉลี่ย DBH หรือ $D_{R0.3}$ (ซม.) | 9.7 ± 1.9 | 10.6 ± 0.7 | 8.0 ± 0.7 |
| ค่าเฉลี่ย H (ม.) | 10.2 ± 0.6 | 11.7 ± 0.4 | 8.5 ± 1.0 |
| อัตราการตายเฉลี่ย (%) | 2.1 ± 0.2 | 1.5 ± 0.4 | 0.7 ± 0.6 |
| อัตราการเกิดเฉลี่ย (%) | 1.2 ± 1.7 | 0.4 ± 0.6 | 0.7 ± 1.0 |

ค่าเฉลี่ย ± 1SD

DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.3 เมตร, $D_{R0.3}$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเหนือคอราก
 ค้ำยันสูงสุดที่ยังลงดิน 30 เซนติเมตร, H คือ ความสูงของต้นไม้

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพ มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L) ผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (necromass production) และผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP) ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ระหว่างปี พ.ศ.2557–2558

| | เขตไม้แสม | เขตไม้โกงกาง | เขตไม้ตะบูน |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| มวลชีวภาพ (ตัน/เฮกแตร์) | | | |
| ส่วนเหนือดิน | 186.5 ± 5.21 ^b | 223.3 ± 3.61 ^a | 228.2 ± 1.30 ^a |
| ราก | 73.20 ± 2.00 ^c | 90.81 ± 1.31 ^b | 98.06 ± 0.28 ^a |
| ทั้งหมด | 259.7 ± 7.21 ^b | 314.1 ± 4.91 ^a | 326.3 ± 1.02 ^a |
| ΔB (ตัน/เฮกแตร์/ปี) | | | |
| ส่วนเหนือดิน | 7.65 ± 2.13 ^{ns} | 3.88 ± 1.10 ^{ns} | 1.85 ± 1.48 ^{ns} |
| ราก | 2.85 ± 0.85 ^{ns} | 1.27 ± 0.40 ^{ns} | 0.74 ± 0.60 ^{ns} |
| ทั้งหมด | 10.5 ± 2.98 ^{ns} | 5.15 ± 1.51 ^{ns} | 2.59 ± 2.09 ^{ns} |
| L (ตัน/เฮกแตร์/ปี) | | | |
| ใบ | 7.23 ± 0.69 ^a | 7.34 ± 0.23 ^a | 5.33 ± 0.23 ^b |
| กิ่งขนาดเล็ก | 1.26 ± 0.11 ^a | 0.68 ± 0.06 ^b | 1.10 ± 0.16 ^a |
| ส่วนสืบทพันธุ์ | 1.29 ± 0.01 ^{ns} | 1.85 ± 0.12 ^{ns} | 1.31 ± 0.74 ^{ns} |
| ทั้งหมด | 9.78 ± 0.57 ^{ns} | 9.87 ± 0.41 ^{ns} | 7.74 ± 1.14 ^{ns} |
| necromass production (ตัน/เฮกแตร์/ปี) | | | |
| ส่วนเหนือดิน | 1.44 ± 0.92 ^{ns} | 2.97 ± 0.06 ^{ns} | 1.10 ± 1.29 ^{ns} |
| ราก | 0.65 ± 0.37 ^{ns} | 1.24 ± 0.08 ^{ns} | 0.50 ± 0.57 ^{ns} |
| ทั้งหมด | 2.09 ± 1.29 ^{ns} | 4.21 ± 0.15 ^{ns} | 1.60 ± 1.85 ^{ns} |
| NPP (ตัน/เฮกแตร์/ปี) | | | |
| ANPP | 18.9 ± 0.64 ^a | 16.7 ± 0.76 ^a | 10.7 ± 0.94 ^b |
| BNPP | 3.50 ± 0.47 ^a | 2.50 ± 0.48 ^a | 1.24 ± 0.04 ^b |
| NPP | 22.4 ± 1.11 ^a | 19.2 ± 1.24 ^a | 11.9 ± 0.91 ^b |

ค่าเฉลี่ย ± 1SD

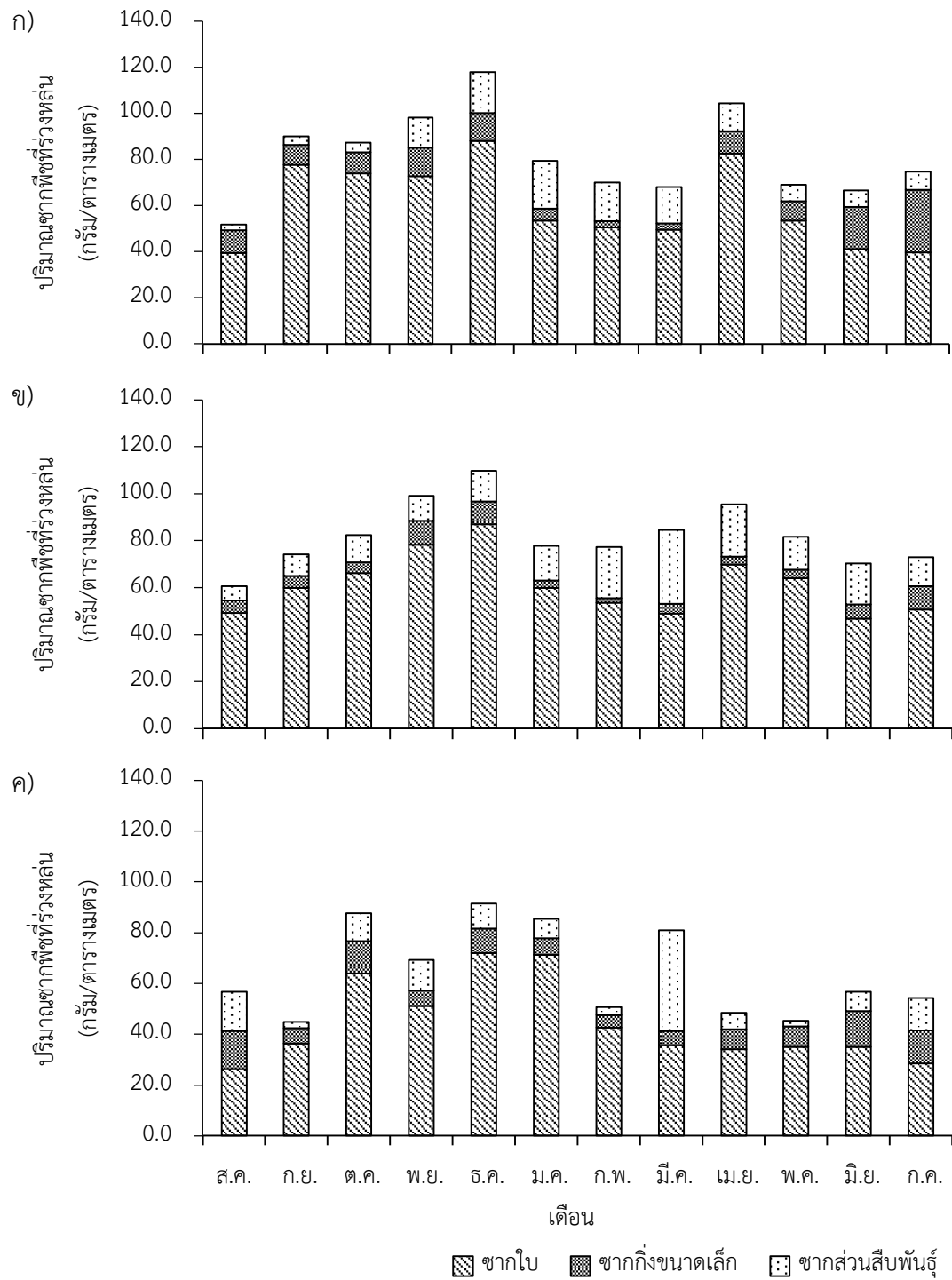
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($P < 0.05$) ซึ่งวิเคราะห์โดย one-way ANOVA และวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ns คือ non-significant

3.3.3 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L)

ค่าเฉลี่ยของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($F = 4.967, P = 0.112$) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นในเขตไม้แสมและไม้โกงกางมีค่าสูงใกล้เคียงกัน (9.78 และ 9.87 ตัน/เฮกแตร์/ปี สำหรับเขตไม้แสมและไม้โกงกาง ตามลำดับ) สำหรับผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นในเขตไม้ตะบูนมีค่าต่ำกว่าคือ 7.74 ตัน/เฮกแตร์/ปี (ตารางที่ 5) ค่าเฉลี่ยของผลผลิตซากใบคิดเป็นสัดส่วนที่สูงที่สุดของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นในทุกเขตพันธุ์ไม้ (69–74% ของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น) ขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลผลิตซากกิ่งขนาดเล็ก และส่วนสับพันธุ์ พบว่ามีสัดส่วนน้อยกว่าประมาณ 5 เท่า (ตารางที่ 5) นอกจากนี้ยังพบว่าผลผลิตซากใบ และกิ่งขนาดเล็ก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($F = 25.193, P = 0.032$ และ $F = 8.949, P = 0.035$ สำหรับผลผลิตซากใบ และกิ่งขนาดเล็ก ตามลำดับ) แต่ผลผลิตของส่วนสับพันธุ์ไม้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($F = 2.301, P = 0.448$)

ปริมาณซากใบร่วงหล่นมากในช่วงฤดูแล้งในทุกเขตพันธุ์ไม้ (ภาพที่ 13) โดยปริมาณซากใบร่วงหล่นมากที่สุดในเดือนธันวาคมคือ 87.9, 87.0 และ 72.0 กรัม/ตารางเมตร/เดือน สำหรับเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณซากใบในเขตไม้แสมมีปริมาณน้อยที่สุดในเดือนสิงหาคม (39.4 กรัม/ตารางเมตร/เดือน) เขตไม้โกงกางมีปริมาณซากใบไม้่น้อยที่สุดในเดือนมิถุนายน (46.8 กรัม/ตารางเมตร/เดือน) และเขตไม้ตะบูนมีปริมาณซากใบไม้่น้อยที่สุดในเดือนสิงหาคม (26.2 กรัม/ตารางเมตร/เดือน)

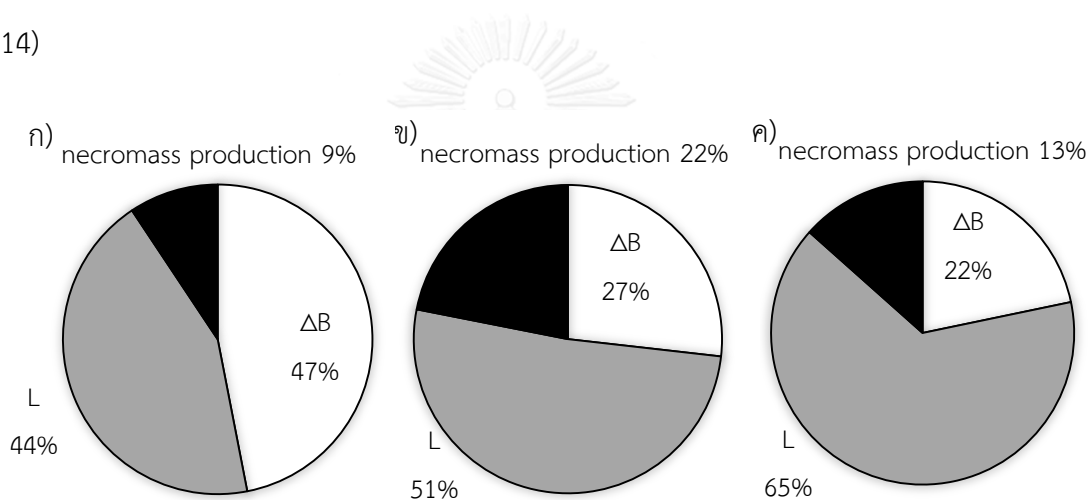
เขตไม้แสมมีปริมาณซากกิ่งขนาดเล็กรายเดือนอยู่ในช่วงกว้าง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.69–27.1 กรัม/ตารางเมตร/เดือน ขณะที่เขตไม้โกงกางและเขตไม้ตะบูนมีปริมาณซากกิ่งขนาดเล็กรายเดือนกระจายอยู่ในช่วงแคบคือ 2.02–9.89 และ 4.92–15.1 กรัม/ตารางเมตร/เดือน ตามลำดับ ปริมาณซากกิ่งขนาดเล็กพบมากในช่วงฤดูฝน โดยพบมากที่สุดในเดือนกรกฎาคม สำหรับเขตไม้แสม และเขตไม้โกงกาง เขตไม้ตะบูนมีปริมาณซากกิ่งขนาดเล็กมากที่สุดในเดือนสิงหาคม (ภาพที่ 13) ซากส่วนสับพันธุ์ในเขตไม้แสมมีปริมาณมากที่สุดในเดือนมกราคม (20.9 กรัม/ตารางเมตร/เดือน) ขณะที่เขตไม้โกงกางและเขตไม้ตะบูนมีปริมาณซากส่วนสับพันธุ์มากที่สุดในเดือนมีนาคมคือ 31.4 และ 39.6 กรัม/ตารางเมตร/เดือน ตามลำดับ (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ปริมาณซากใบ ซากกิ่งขนาดเล็ก และซากส่วนสืบพันธุ์เฉลี่ยรายเดือนระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงกรกฎาคม พ.ศ.2558 ของ ก) เขตไม้แสม ข) เขตไม้โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูน ตามลำดับ

3.3.4 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP)

ค่าเฉลี่ยของ ANPP, BNPP และ NPP (ตารางที่ 5) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($F = 57.845, 16.848, 47.948$ และ $P = 0.004, 0.023, 0.005$ สำหรับ ANPP, BNPP และ NPP ตามลำดับ) โดย ANPP คิดเป็น 84–90% ของ NPP ค่าเฉลี่ยของ NPP ที่สูงที่สุดพบในเขตไม้แสม (22.4 ตัน/เฮกแตร์/ปี) ขณะที่ค่าเฉลี่ยของ NPP ในเขตไม้ตะบูนมีค่าต่ำที่สุด (11.9 ตัน/เฮกแตร์/ปี) ส่วนค่าเฉลี่ยของ NPP ในเขตไม้โกงกางมีค่าเท่ากับ 19.2 ตัน/เฮกแตร์/ปี เมื่อพิจารณาแต่ละองค์ประกอบของ NPP พบว่ามวลชีวภาพที่เพิ่มพูนในเขตไม้แสมมีสัดส่วนสูงที่สุดคือ 47% ขณะที่เขตไม้โกงกางและเขตไม้ตะบูนมีสัดส่วนของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นมากที่สุด (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 เปอร์เซ็นต์ของมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L) และ necromass production ต่อ NPP ใน ก) เขตไม้แสม ข) เขตไม้โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูน ตามลำดับ

3.4 อภิปรายผลการศึกษา

3.4.1 มวลชีวภาพ และ necromass production

การแบ่งเขตพันธุ์ไม้จากการศึกษาในครั้งนี้ (พ.ศ.2556) แตกต่างจากการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2012) ที่พบว่าบริเวณที่ติดริมแม่น้ำเป็นเขตไม้ลำพู-แสม ถัดไปเป็นเขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่ทำให้บริเวณริมแม่น้ำเปลี่ยนจากเขตไม้ลำพู-แสม เป็นเขตไม้แสม มวลชีวภาพที่เพิ่มพูนในเขตไม้แสมมีค่ามากที่สุด เกิดจาก

การเติบโตอย่างรวดเร็วของไม้เบิกนำคือ แสมขาว (*Avicennia alba*) และลำพู (*Sonneratia caseolaris*) นอกจากนี้เขตไม้แสมยังมีอัตราการตายและการเกิดสูง necromass production ในเขตนี้จึงเกิดจากการตายของไม้เบิกนำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแทนที่ เนื่องจากต้นไม้ที่ตายส่วนใหญ่เป็นไม้เบิกนำ และพบไม้โกงกางเจริญเข้ามาแทนที่มากขึ้น มวลชีวภาพที่เพิ่มพูนในเขตไม้โกงกางมีค่าน้อยกว่าเขตไม้แสม อาจมีสาเหตุมาจากการเติบโตอย่างช้า ๆ ของไม้โกงกาง ขณะที่ necromass production ในเขตไม้โกงกางมีค่ามากที่สุด เนื่องจากพบต้นไม้ที่ยืนต้นตายมากในบริเวณที่มีความหนาแน่นของต้นไม้สูง ซึ่งเกิดจากความหนาแน่นของเรือนยอดบดบังแสงทำให้เกิดการแก่งแย่งแสง ต้นไม้ที่ถูกบดบังแสงจะอ่อนแอและตายลงในที่สุด สำหรับเขตไม้ตะบูนมีมวลชีวภาพที่เพิ่มพูนต่ำที่สุด เนื่องจากมีความหนาแน่นของต้นไม้สูงที่สุด ต้นไม้จึงเติบโตได้ช้า การตายของต้นไม้ในเขตนี้ก็เกิดจากการแก่งแย่งแสงเช่นกัน แต่ต้นไม้ที่ตายมีขนาดเล็ก necromass production จึงมีค่าน้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบมวลชีวภาพที่เพิ่มพูนของการศึกษานี้กับการศึกษาอื่น ๆ พบว่าในป่าโกงกางที่ประเทศมาเลเซียมีค่าเพิ่มพูนของมวลชีวภาพมากกว่าในเขตไม้โกงกางของการศึกษานี้ โดยมีค่ามวลชีวภาพที่เพิ่มพูนเท่ากับ 12.4 ตัน/เฮกตาร์/ปี (Ong et al., 1995) อาจเนื่องมาจากลำต้นของโกงกางที่ประเทศมาเลเซียมีขนาดใหญ่กว่า ขณะที่การศึกษาของ Day และคณะ (1996) รายงานว่ามวลชีวภาพเหนือดินในป่าโกงกางที่ประเทศเม็กซิโกมีค่าเพิ่มพูนรายปีเท่ากับ 7.7 ตัน/เฮกตาร์/ปี ซึ่งน้อยกว่าในการศึกษานี้ อาจเนื่องมาจากขนาดลำต้นของโกงกางที่ประเทศเม็กซิโกมีขนาดเล็กกว่า แต่การเพิ่มพูนมวลชีวภาพเหนือดินในป่าแสมทะเลมีค่าเท่ากับ 12.1 ตัน/เฮกตาร์/ปี ซึ่งมากกว่าในเขตไม้แสมของการศึกษารั้งนี้ เนื่องจากต้นไม้ในป่าแสมทะเลมีความหนาแน่นมากกว่า

3.4.2 ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L)

ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นในรอบปีประกอบด้วยซากใบเป็นส่วนใหญ่ ความแตกต่างของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นระหว่างเขตพันธุ์ไม้ จึงเป็นผลมาจากความแตกต่างของปริมาณซากใบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณซากใบในแต่ละเขตพันธุ์ไม้มีทั้งปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ อายุขัยของใบ (leaf longevity) และความหนาแน่นของต้นไม้ ส่วนปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ที่ตั้งของแต่ละเขตพันธุ์ไม้ โดยเขตไม้แสมมีปริมาณซากใบมากที่สุด เนื่องจากพันธุ์ไม้ชนิดเด่นมีอายุขัยของใบน้อยกว่า 1 ปี โดยประมาณ ดังเช่นการศึกษาของ Wang'ondu และคณะ (2013) ที่พบว่าลำพูทะเล (*S. alba* J.

Smith) มีอายุขัยของใบประมาณ 5 เดือน ขณะที่แสมทะเล (*A. marina* (Forsk.) Vierh) มีอายุขัยของใบประมาณ 11–13 เดือน (Wium-Andersen and Christensen, 1978; Ochieng and Erftemeijer, 2002) ประกอบกับเขตนี้อยู่ติดแม่น้ำ จึงอาจได้รับอิทธิพลจากลมมากกว่าเขตพันธุ์ไม้อื่น ๆ ที่อยู่ถัดเข้าไปด้านในแผ่นดิน เขตไม้โกงกางมีปริมาณซากใบใกล้เคียงกับเขตไม้แสม อาจเนื่องมาจากลักษณะของใบโกงกางที่มีขนาดใหญ่และหนา อีกทั้งต้นไม้ในเขตไม้โกงกางมีความหนาแน่นมากกว่าเขตไม้แสม ส่วนเขตไม้ตะบูนมีปริมาณซากใบน้อยที่สุด เนื่องจากมีอายุขัยของใบค่อนข้างยาว ซึ่งจากการศึกษาของ Imai และคณะ (2009) ในป่าชายเลนที่จังหวัดระนอง พบว่าไม้ตะบูนมีอายุขัยของใบยืนยาวถึงประมาณ 30 เดือน เมื่อพิจารณาการร่วงหล่นของซากใบรายเดือน พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Pearson correlation, $r = -0.577$, $P = 0.04$, $n = 12$) แสดงว่าปริมาณซากใบร่วงหล่นมากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำฝนลดลง อาจเนื่องมาจากน้ำในดินมีความเค็มสูงขึ้นจึงทำให้เกิดการหลุดร่วงของใบในฤดูแล้งมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Arreola-Lizárraga และคณะ (2004) ที่พบว่าปริมาณน้ำจืดในดินที่มีน้อยในฤดูแล้งส่งผลให้ปริมาณซากใบร่วงหล่นเพิ่มขึ้น เพื่อรักษาประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช

สำหรับผลผลิตซากกิ่งขนาดเล็กเฉลี่ยมีความแตกต่างกันระหว่างเขตพันธุ์ไม้เช่นกัน การร่วงหล่นของปริมาณซากกิ่งขนาดเล็กที่ได้จากกระบะรองรับซากพืชพบได้มากในช่วงฤดูฝน (ภาพที่ 13) โดยพบมากในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กำลังแรงพัดผ่าน ผลผลิตซากส่วนสับพันธุ์ไม้แตกต่างกันระหว่างเขตพันธุ์ไม้ อาจเนื่องมาจากแต่ละเขตพันธุ์ไม้ประกอบด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีช่วงเวลาออกดอกติดผลที่เหลื่อมล้ำกัน กล่าวคือ ลำพูมีช่วงออกดอกติดผลตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงกุมภาพันธ์ แสมขาวมีช่วงออกดอกติดผลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงกันยายน โกงกางมีช่วงออกดอกตั้งแต่เดือนกันยายนถึงมกราคม และฝักแก้งช่วงเดือนมีนาคมถึงธันวาคม ขณะที่ตะบูนขาวและโปรงแดงมีช่วงออกดอกติดผลตลอดทั้งปี (สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2552a และ 2552b)

ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าการศึกษาในป่าชายเลนเขตร้อนอื่น ๆ เช่น ในป่าโกงกางที่ประเทศศรีลังกาและป่าแสมทะเลที่ประเทศเคนยา ซึ่งมีค่าผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นเท่ากับ 5.5 และ 4.4-6.2 ตัน/เฮกเตอร์/ปี ตามลำดับ (Amarasinghe and Balasubramaniam, 1992; Ochieng and Erftemeijer, 2002) แต่มีค่าผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นใกล้เคียงกับป่าโกงกางที่เปอร์โตริโก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.5 ตัน/เฮกเตอร์/ปี (Golley et al., 1962) และมี

ค่าผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นน้อยกว่าป่าโกงกางที่ประเทศมาเลเซีย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.3 ตัน/เฮกแตร์/ปี (Ong et al., 1995) ความแตกต่างของผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นนี้อาจเป็นผลมาจากความหนาแน่นของต้นไม้ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

3.4.3 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP)

ความแตกต่างของ NPP ระหว่างเขตพันธุ์ไม้เกิดจากความผันแปรของมวลชีวภาพที่เพิ่มพูนผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และ necromass production ระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ANPP ของการศึกษานี้มีค่าอยู่ในช่วง 10.7–18.9 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับการรายงานโดย Komiyama และคณะ (2008) ที่รายงานว่า ANPP ของป่าชายเลนในเขตร้อนและกึ่งร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 4.0–20.6 ตัน/เฮกแตร์/ปี สำหรับ BNPP ในการศึกษานี้มีค่าอยู่ในช่วง 1.24–3.50 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.41 ตัน/เฮกแตร์/ปี คิดเป็น 14% ของ NPP อย่างไรก็ตาม BNPP ของการศึกษานี้ไม่ได้รวมผลผลิตรากฝอย (fine root production) ซึ่งมีการศึกษาพบว่าผลผลิตรากฝอยในป่าปลูกโกงกางมีค่าใกล้เคียงกับ ANPP และมีการแนะนำให้รวมผลผลิตรากฝอยในการประมาณผลผลิตของป่าชายเลน (Robertson and Phillips, 1995) จากการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2016) ซึ่งศึกษาผลผลิตรากฝอยในพื้นที่เดียวกัน พบว่าผลผลิตรากฝอยมีค่าอยู่ในช่วง 3.4–4.1 ตัน/เฮกแตร์/ปี เมื่อรวมผลผลิตรากฝอยใน BNPP ของการศึกษานี้ พบว่า BNPP เพิ่มขึ้นเป็น 3.6–6.5 ตัน/เฮกแตร์/ปี หรือประมาณ 30% ของ NPP ดังนั้นผลผลิตรากฝอยจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ควรรวมในการประมาณ NPP ของป่าชายเลน

เมื่อคำนวณ NPP จาก ANPP และ BNPP ที่รวมผลผลิตรากฝอย พบว่า NPP มีค่าอยู่ในช่วง 15.3–25.8 ตัน/เฮกแตร์/ปี และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.5 ตัน/เฮกแตร์/ปี โดยสัดส่วนของ necromass production มีค่าอยู่ในช่วง 8–18% ของ NPP ขณะที่การศึกษาของ Castañeda-Moya และคณะ (2013) มีสัดส่วนของ necromass production เป็น 38% ของ NPP ความแตกต่างของสัดส่วนดังกล่าวอาจเนื่องมาจากโครงสร้างป่าและลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าสัดส่วนของ necromass production ต่อ NPP ของป่าชายเลนมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการรวม necromass production ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของซากเนื้อไม้หยาบ (coarse woody debris; CWD) ในการประมาณ NPP ของป่าชายเลนโดยวิธี summation method

บทที่ 4

การกระจาย และมวลที่เพิ่มพูนของซากเนื้อไม้หายาบ

4.1 บทนำและตรวจสอบเอกสาร

ซากเนื้อไม้หายาบ (coarse woody debris; CWD) ซึ่งเป็นไม้ตายขนาดใหญ่ที่อยู่เหนือดิน ประกอบไปด้วยต้นหรือกิ่งที่ร่วงอยู่บนพื้นดิน (downed wood) ตอไม้ (stump) ต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (standing dead tree) (Jia-bing et al., 2005; Enrong et al., 2006) และซากรากขนาดใหญ่ (coarse root debris) (Harmon et al., 1986) แต่ไม่รวมกิ่งตายที่ยังคงติดอยู่บนต้น และไม้ที่ย่อยสลายจนเกือบเป็นส่วนหนึ่งของพื้นป่า สาเหตุหลักที่ทำให้เกิด CWD คือ ลม การเกิดโรค และการเสื่อมตามอายุของต้นไม้ (senescence) CWD มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศป่าไม้ โดยเป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก อีกทั้งยังเป็นแหล่งธาตุอาหารที่จำเป็น เช่น ไนโตรเจน และคาร์บอน นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ ในระบบนิเวศป่าบก CWD ถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากเป็นซากเนื้อไม้ที่มีขนาดใหญ่และมีการย่อยสลายช้า คาร์บอนจึงสะสมอยู่ใน CWD เป็นเวลานานในรูปของซากเนื้อไม้ (Harmon et al., 1986; Stevens, 1997; Brais et al., 2005) มีหลายการศึกษารายงานว่าคาร์บอนถูกกักเก็บใน CWD ประมาณ 7–20% ของคาร์บอนทั้งหมดในระบบนิเวศป่าบก (Harmon et al., 1990; Alberti et al., 2008)

การศึกษา CWD ในป่าชายเลนที่ผ่านมาพบว่า การกระจายของปริมาณ CWD มีค่าอยู่ในช่วงกว้าง คือ 8.6 ถึง 84.4 ตัน/เฮกตาร์ หรือประมาณ 5 ถึง 69% ของมวลชีวภาพเหนือดิน (Murdiyarso et al., 2009; Kauffman and Cole, 2010; Kauffman et al., 2011) ซึ่งปริมาณของ CWD ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และผลกระทบที่ได้รับ เช่น ป่าชายเลนที่ประเทศอินโดนีเซียมีมวลของ CWD เท่ากับ 8.6–84.4 ตัน/เฮกตาร์ คิดเป็น 15.0–68.7% ของมวลชีวภาพเหนือดิน เนื่องจากป่าชายเลนในบริเวณนี้มีการกัดเซาะสูง และพื้นที่ป่าชายเลนถูกทำลายจากการขยายพื้นที่ของสวนปาล์ม (Murdiyarso et al., 2009) ป่าชายเลนทางตอนใต้ของฟลอริดาซึ่งได้รับผลกระทบจากพายุเฮอริเคนมีมวลของ CWD สูงถึง 36.0 ตัน/เฮกตาร์ (Krauss et al., 2005) ขณะที่ป่าชายเลนที่ไมโครนีเซียซึ่ง

ได้รับผลกระทบจากพายุไต้ฝุ่นมีมวลของ CWD อยู่ในช่วง 25.5–30.5 ตัน/เฮกตาร์ คิดเป็น 7–8% ของมวลชีวภาพเหนือดิน (Kauffman and Cole, 2010)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ความรุนแรงของพายุ และการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของกระแสน้ำ (Gilman et al., 2008) ป่าชายเลนซึ่งอยู่ตามแนวชายฝั่งอาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ประกอบกับป่าชายเลนเป็นระบบนิเวศที่มีผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิสูง (net primary production; NPP) จึงเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ (Komiya et al., 2008; Pongpan et al., 2012) ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนของป่าชายเลน ในการประมาณ NPP ของระบบนิเวศประมาณได้โดยใช้วิธี summation method ซึ่ง NPP เป็นผลรวมของมวลชีวภาพของต้นไม้ที่เพิ่มขึ้น ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และ necromass production ซึ่งเป็น CWD รูปแบบหนึ่ง ดังที่กล่าวในบทที่ 3 แต่อย่างไรก็ตามการประมาณผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นมักใช้กระบะรองรับซากพืชซึ่งมีขนาดเล็ก (Tam et al., 1998; Pongpan et al., 2012; Sukardjo et al., 2013; Capellesso et al., 2016) จึงไม่สามารถรองรับซากพืชที่มีขนาดใหญ่ได้ เช่น ซากพืชที่มีเนื้อไม้ ซึ่งอาจส่งผลให้การประมาณ NPP มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

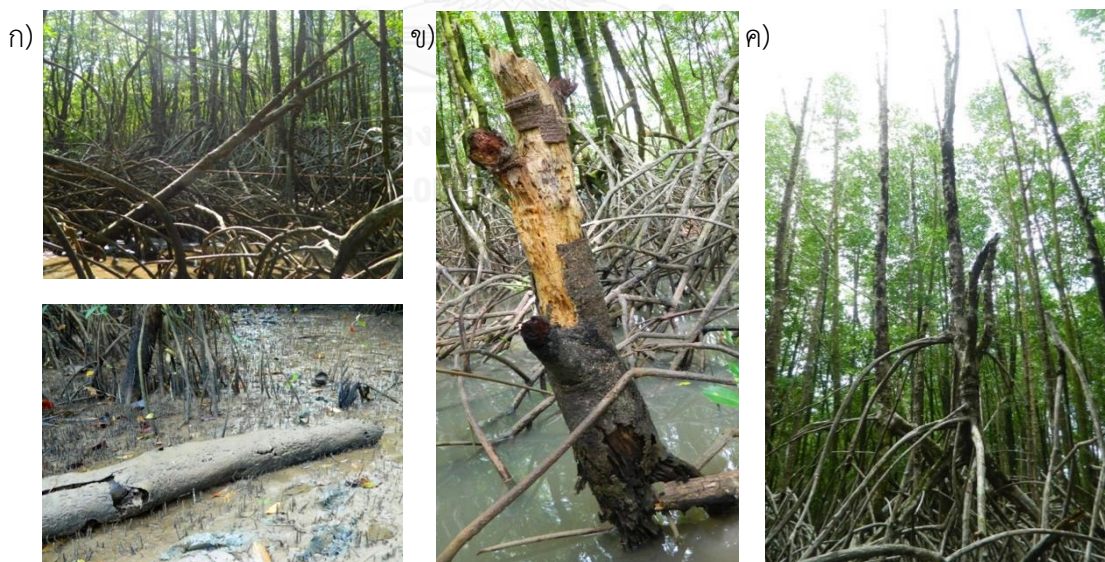
การแบ่งเขตพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนเนื่องจากอิทธิพลของการขึ้นลงของน้ำทะเล ทำให้ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้มีโครงสร้างป่าและปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยรวมที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อการกระจายและปริมาณของ CWD ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ ประกอบกับการศึกษา CWD ในป่าชายเลนยังมีอยู่น้อย และไม่เคยถูกกล่าวถึงในการประมาณ NPP ของป่าชายเลน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายและ CWD ที่เพิ่มพูน (CWD input) ในรอบปีในแต่ละเขตพันธุ์ไม้เพื่อใช้ร่วมในการประมาณ NPP ในป่าชายเลนทุติยภูมิ บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด ผลจากการศึกษานี้จะทำให้ทราบสัดส่วนของซากเนื้อไม้สำหรับการประมาณ NPP ในป่าชายเลน อันจะทำให้ค่า NPP ที่ได้จากการประมาณโดยวิธี summation method มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

4.2 วิธีการศึกษา

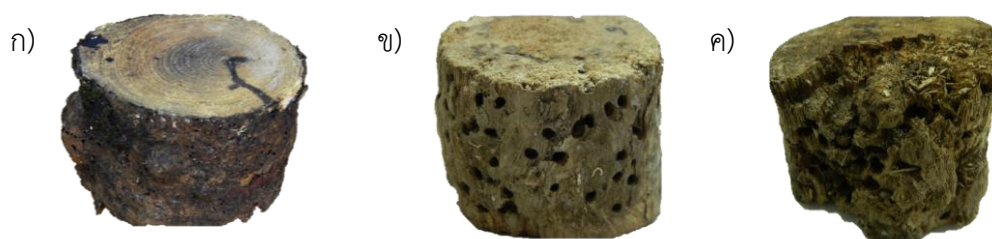
4.2.1 การจำแนกประเภทและระดับการย่อยสลายของ CWD

สำรวจ CWD ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป ในเดือนตุลาคม พ.ศ.2556 บันทึกตำแหน่งของ CWD ที่พบในแปลงศึกษาขนาด 1 เฮกแตร์ จากนั้นแบ่งประเภทของ CWD ออกเป็น 4 ประเภท คือ ไม้ที่ร่วงหล่นอยู่บนพื้นป่า (downed wood) ตอไม้ (stump) (ความสูงของลำต้นน้อยกว่า 1.3 เมตร และรากยังคงยึดติดกับดิน) ต้นไม้ที่ยืนต้นตาย (standing dead tree) และรากค้ำยัน (ภาพที่ 15)

จัดระดับการย่อยสลาย (decay class) ของ CWD แต่ละประเภท ตามลักษณะภายนอกของ ไม้ซึ่งปรับจากวิธีของ Maser และคณะ (1979) และ Enrong และคณะ (2006) เป็น 3 ระดับ ได้แก่ class I เนื้อไม้มีลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์ ยังมีเปลือกติดอยู่ class II เนื้อไม้ถูกย่อยไปประมาณ 25–50% ของรัศมีของ CWD และ class III เนื้อไม้ถูกย่อยไปมากกว่า 50% ของรัศมีของ CWD (ภาพที่ 16) นอกจากนี้ทำการระบุชนิดไม้ของ CWD ยกเว้น CWD ของไม้โกงกาง ที่ระบุเพียงแค่ระดับสกุล เท่านั้น เนื่องจากไม้โกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 15 CWD ประเภทต่าง ๆ ก) downed wood ข) stump และ ค) standing dead tree กับ รากค้ำยัน



ภาพที่ 16 ระดับการย่อยสลายของ CWD ทั้ง 3 ระดับ ก) class I ข) class II ค) class III

4.2.2 การวัดขนาดของ CWD

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายทั้งสองด้าน และความยาวทั้งหมดของ CWD สำหรับ standing dead tree วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนต้น เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 1.3 เมตร (diameter at breast high; DBH) และความสูง (height; H) และประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายยอด (Top diameter) โดยใช้สูตรของ Chambers และคณะ (2001) ดังสมการ

$$\text{Top diameter} = 1.59 \times \text{DBH (ซม.)} \times (\text{H (ซม.)})^{-0.091}$$

4.2.3 ปริมาตรของ CWD

คำนวณปริมาตรของ CWD จากเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายทั้งสองด้าน (D_1 และ D_2) และความยาว (length; L) โดยใช้สูตรของ Smalian (Baker et al., 2007)

$$\text{ปริมาตร} = \frac{[\pi(D_1/2)^2 + \pi(D_2/2)^2] \times L}{2}$$

4.2.4 ความหนาแน่นเนื้อไม้

สุ่มตัด CWD ของไม้ทุกชนิดในแต่ละระดับการย่อยสลายที่พบในแปลงศึกษาออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้มีความยาวประมาณ 5–10 เซนติเมตร ประมาณปริมาตรของ CWD โดยใช้วิธีการแทนที่น้ำ (Chao et al., 2008) จากนั้นนำ CWD ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ซึ่งน้ำหนักแห้ง และคำนวณความหนาแน่นเนื้อไม้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งกับปริมาตรของ CWD

ประมาณความหนาแน่นเนื้อไม้ของต้นไม้ที่มีชีวิตชนิดเดียวกันกับชนิดไม้ของ CWD ที่ศึกษา เพื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD โดยใช้ increment borer (Francis, 1994) (ภาพที่ 17) นำตัวอย่างที่ได้จาก increment borer มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว คำนวณปริมาตรของตัวอย่างไม้โดยใช้สูตรการหาปริมาตรของทรงกระบอก นำตัวอย่างไม้ไปอบที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักแห้ง และคำนวณความหนาแน่น เนื้อไม้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งกับปริมาตรของไม้

วิเคราะห์ความแตกต่างของความหนาแน่นเนื้อไม้ที่มีชีวิต และความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ที่ระดับการย่อยสลายต่าง ๆ โดยใช้ one-way Analysis of Variance (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS 22 สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows (IBM Corp., Armonk, NY)



ภาพที่ 17 การหาความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD โดยใช้ increment borer

4.2.5 มวลของ CWD

คำนวณมวลของ CWD จากปริมาตรที่ได้จากข้อ 4.2.3 คูณกับความหนาแน่นเนื้อไม้

4.2.6 มวลของรากค้ำยัน

เนื่องจากรากค้ำยันของต้นไม้ที่ตายแล้วแต่ละต้นมีจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้การ ประมาณมวลของรากค้ำยันของต้นไม้ที่ตายแล้วแต่ละต้นทำได้สะดวกเร็ว จึงสร้างความสัมพันธ์เชิงแอล โลเมตรีเพื่อใช้ประมาณน้ำหนักแห้งของรากค้ำยันของต้นไม้ที่ตายแล้วในรูปของสมการเอกซ์

โพเนนเชียล $Y = ax^b$ โดย Y คือน้ำหนักแห้งของรากค้ำยัน x คือตัวแปรอิสระซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากต้นไม้ โดย a และ b คือค่าสัมประสิทธิ์

ทำการศึกษาโดยเลือกต้นไม้ที่ยืนต้นตายให้ครอบคลุมทั้งขนาดและระดับการย่อยสลาย วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหนือรากค้ำยันที่สูงที่สุดที่ยังลงพื้นดิน 30 เซนติเมตร ($D_{R0.3}$) จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองด้าน และความยาวของรากค้ำยันทุกกิ่ง เพื่อคำนวณหาปริมาตร สุ่มตัดรากค้ำยันให้ครอบคลุมทุกขนาดเพื่อนำไปหาความหนาแน่นของรากค้ำยัน และคำนวณหาน้ำหนักแห้งของรากค้ำยันจากปริมาตรคูณกับความหนาแน่นของรากค้ำยัน

สร้างความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรี โดยสร้างสมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของรากค้ำยันกับตัวแปรอิสระ เช่น $D_{R0.3}$ วิเคราะห์เชิงสถิติของสมการที่ได้โดยใช้ Regression analysis ด้วยโปรแกรม SPSS 22 สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows (IBM Corp., Armonk, NY)

4.2.7 CWD ที่เพิ่มพูน (CWD input)

วางเส้นแนวตั้งฉากกับแม่น้ำจำนวน 5 แนว จากริมแม่น้ำจนถึงด้านในแผ่นดินตลอดความยาวของแปลงศึกษา จากนั้นวางแปลงศึกษาย่อยขนาด 5×5 ตารางเมตร ห่างกัน 5 เมตร ตลอดแนวดังกล่าว รวมทั้งหมด 56 แปลงย่อย (ภาพที่ 18 และ 19) เก็บ downed wood ที่มีอยู่ก่อนทั้งหมดออกจากแปลงย่อย เมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือนจึงบันทึกข้อมูลของ downed wood ทั้งหมดที่เข้ามาในแปลงศึกษาย่อย ทำการบันทึกทุกเดือนตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2556 ถึงตุลาคม พ.ศ.2558 โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายทั้งสองด้าน (D_1 และ D_2) และความยาว (length; L) จากนั้นใช้สูตรของ Smalian (Baker et al., 2007) เพื่อคำนวณปริมาตรของ downed wood ดังสมการ และคำนวณมวลของ downed wood จากปริมาตรที่ได้คูณกับความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD

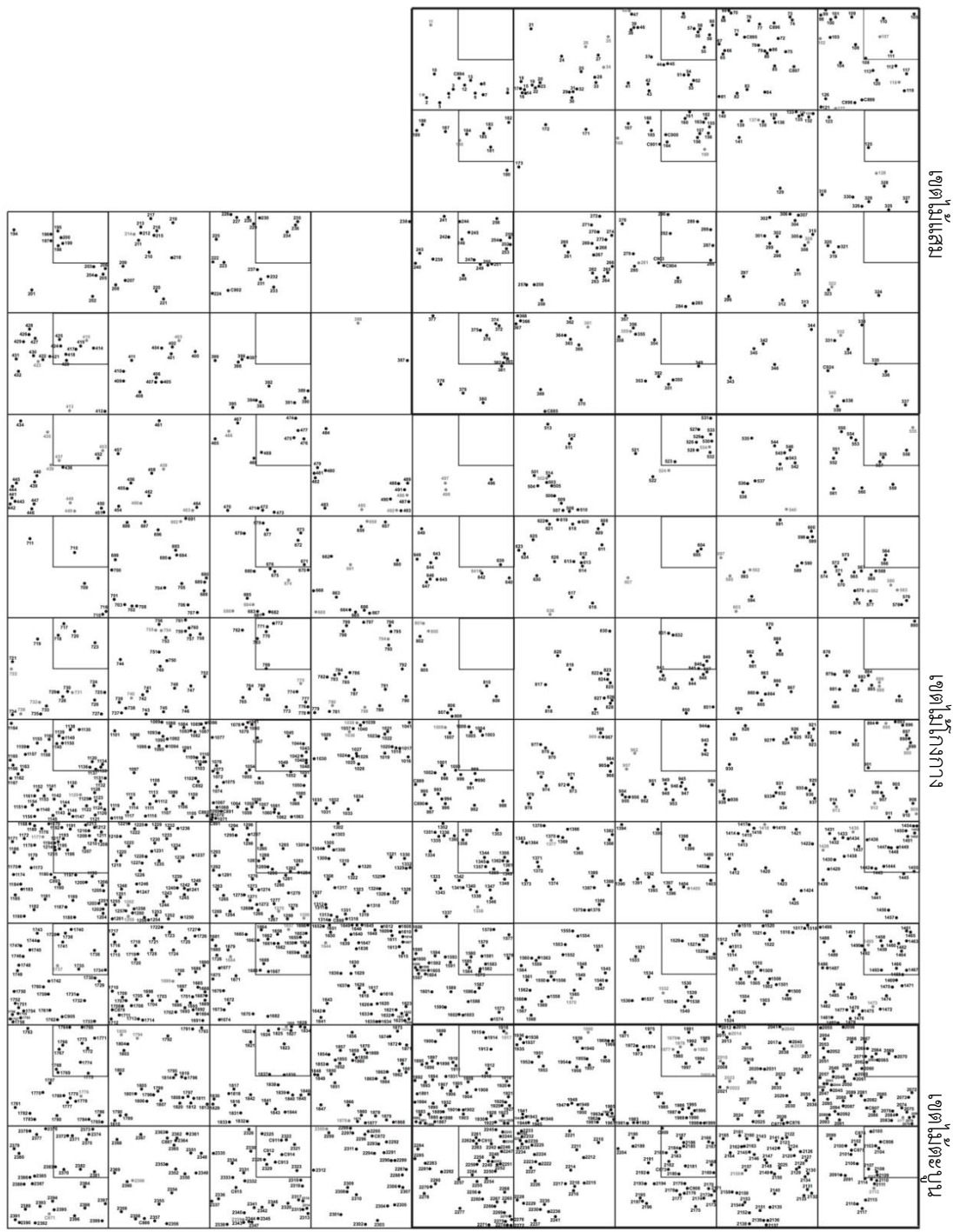
$$\text{ปริมาตร} = \frac{[\pi(D_1/2)^2 + \pi(D_2/2)^2] \times L}{2}$$

วัด DBH ของ standing dead tree ในแปลงศึกษาขนาด 1 เฮกแตร์ ที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2556 ถึงตุลาคม พ.ศ.2558 คำนวณน้ำหนักของ standing dead tree โดยใช้สมการแอลโลเมตรีทั่วไปสำหรับพีชป่าชายเลนของ Komiyama และคณะ (2005)

คำนวณมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนจากผลรวมของน้ำหนัก downed wood และ standing dead tree ที่พบระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2556 ถึงตุลาคม พ.ศ.2558



แม่น้ำ



แผ่นดิน

ภาพที่ 18 แปลงศึกษาย่อยขนาด 5 x 5 ตารางเมตร ห่างกัน 5 เมตร ตลอดความยาวของแปลงศึกษา



ภาพที่ 19 แปลงศึกษาย่อยขนาด 5 x 5 ตารางเมตร

4.2.8 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP)

คำนวณ NPP ในแต่ละเขตพันธุไม้ โดย NPP ประกอบไปด้วยมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และ CWD ที่เพิ่มพูน ซึ่งคือมวลของ downed wood และ standing dead tree ทำการหาสัดส่วนของ CWD ต่อค่า NPP ในแต่ละเขตพันธุไม้

4.3 ผลการศึกษา

4.3.1 การกระจายของจำนวนและขนาดของ CWD ในแต่ละเขตพันธุไม้

ภาพที่ 20 แสดงการกระจายของ CWD ในแต่ละเขตพันธุไม้ การกระจายของจำนวน CWD ในเขตไม้แสมประกอบด้วย downed wood มากที่สุดคือ 60 ชิ้น/เฮกแตร์ หรือประมาณ 50% ของจำนวน CWD ทั้งหมดในเขตไม้แสม รองลงมาคือ standing dead tree มีจำนวน 35 ต้น/เฮกแตร์ เขตไม้โกงกางมีการกระจายของ downed wood มากที่สุดเช่นเดียวกับเขตไม้แสม โดยมีจำนวนมากถึง 203 ชิ้น/เฮกแตร์ คิดเป็น 72% ของจำนวน CWD ทั้งหมดที่พบในเขตไม้โกงกาง รองลงมาคือ standing dead tree จำนวน 71 ต้น/เฮกแตร์ การกระจายของจำนวน CWD ในเขตไม้ตะบูนแตกต่างจากเขตพันธุไม้อื่น ๆ คือพบ standing dead tree มากที่สุด (160 ต้น/เฮกแตร์) คิดเป็น 73% ของ

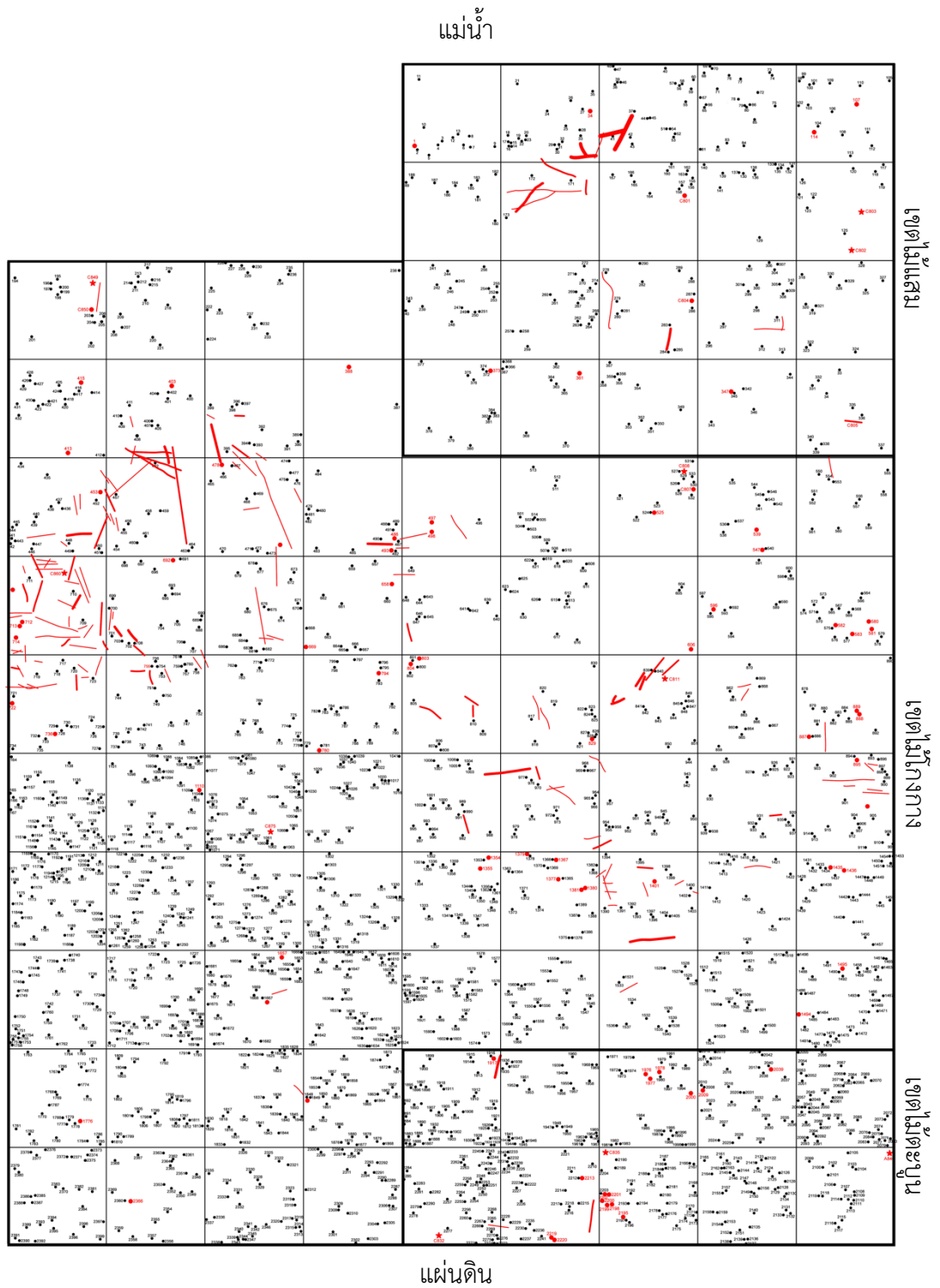
จำนวน CWD ทั้งหมดในเขตไม้ตะบูน รองลงมาคือ downed wood จำนวน 30 ชิ้น/เฮกเตอร์ สำหรับ stump พบว่ามีจำนวนน้อยในทุกเขตพันธุ์ไม้ (ตารางที่ 6)

downed wood ในเขตไม้แสมมีขนาดใหญ่ที่สุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 14.2 เซนติเมตร และความยาวเฉลี่ย 324.7 เซนติเมตร ขนาดของ downed wood ในเขตไม้โกกวางและเขตไม้ตะบูนมีขนาดเล็ก และสั้นกว่า downed wood ที่พบในเขตไม้แสม (ตารางที่ 6) นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนใหญ่ของ CWD ที่พบในแต่ละเขตพันธุ์ไม้เป็นไม้เด่นของเขตพันธุ์ไม้นั้น ๆ

ตารางที่ 6 จำนวน ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และค่าเฉลี่ยความยาวของ CWD แต่ละประเภทในทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ ได้แก่ downed wood, stump และ standing dead tree

| เขตพันธุ์ไม้ | ประเภทของ CWD | จำนวน (ชิ้น/เฮกเตอร์) | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.) | ความยาว (ซม.) |
|--------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|
| ไม้แสม | Downed wood | 60 | 14.2 ± 8.2 | 324.7 ± 152.8 |
| | Stump | 30 | 8.00 ± 0.7 | 48.70 ± 28.70 |
| | Standing dead tree | 35 | 11.3 ± 6.9 | 632.9 ± 416.6 |
| ไม้โกกวาง | Downed wood | 203 | 9.00 ± 3.7 | 220.9 ± 170.6 |
| | Stump | 9 | 7.70 ± 3.9 | 47.00 ± 44.60 |
| | Standing dead tree | 71 | 9.73 ± 4.6 | 867.2 ± 294.0 |
| ไม้ตะบูน | Downed wood | 30 | 11.7 ± 5.3 | 262.3 ± 68.30 |
| | Stump | 30 | 10.6 ± 5.5 | 118.3 ± 81.10 |
| | Standing dead tree | 160 | 8.90 ± 3.9 | 850.0 ± 175.4 |

ค่าเฉลี่ย ± 1SD



ภาพที่ 20 แผนที่แสดงการกระจายของ CWD ในเขตพันธุ์ไม้ต่าง ๆ ได้แก่ downed wood (เส้นสีแดง) stump (รูปดาวสีแดง) และ standing dead tree (รูปวงกลมสีแดง)

4.3.2 ความหนาแน่นเนื้อไม้

ไม้โก่งกางมีความหนาแน่นเนื้อไม้มากที่สุด ขณะที่ไม้ลำพูมีความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำที่สุด ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ทุกชนิดรวมทั้งรากค้ำยันมีค่าลดลงเมื่อไม้มีการย่อยสลายมากขึ้น โดย class I มีความหนาแน่นเนื้อไม้มากที่สุด รองลงมาคือ class II และ III ตามลำดับ (ตารางที่ 7) เมื่อพิจารณาความหนาแน่นเนื้อไม้ของไม้ชนิดเดียวกันพบว่าความหนาแน่นเนื้อไม้ที่มีชีวิตและความหนาแน่นของ CWD class I ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติกับความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD class II และ III (one-way ANOVA, $P < 0.0001$, ตารางที่ 7) สำหรับความหนาแน่นของไม้โปรง class I ไม้ฝาดและไม้พังกาหัวสุ่ม class I และ III และไม้ลำพู class II และ III ไม่ถูกวัด เนื่องจากไม้พบ CWD ของไม้ดังกล่าวที่ระดับการย่อยสลายนั้น ๆ

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของเนื้อไม้ที่มีชีวิต และ CWD class I II และ III (กรัม/ลบ.ซม.)

| ชนิด | ไม้ที่มีชีวิต | CWD | | |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | class I | class II | class III |
| โก่งกาง | 0.742 ± 0.040 ^a | 0.722 ± 0.057 ^a | 0.522 ± 0.053 ^b | 0.321 ± 0.073 ^c |
| ตะบูนขาว | 0.548 ± 0.004 ^a | 0.524 ± 0.027 ^a | 0.426 ± 0.012 ^b | 0.293 ± 0.072 ^c |
| โปรง | 0.733 ± 0.032 ^a | - | 0.536 ± 0.021 ^b | 0.322 ± 0.020 ^c |
| ฝาด | 0.697 ± 0.048 ^a | - | 0.527 ± 0.025 ^b | - |
| พังกาหัวสุ่ม | 0.730 ± 0.032 ^a | - | 0.551 ± 0.022 ^b | - |
| ลำพู | 0.347 ± 0.023 ^{ns} | 0.301 ± 0.024 ^{ns} | - | - |
| แสมขาว | 0.534 ± 0.020 ^a | 0.548 ± 0.027 ^a | 0.434 ± 0.032 ^b | 0.345 ± 0.029 ^c |
| รากค้ำยัน | - | 0.666 ± 0.009 ^a | 0.468 ± 0.028 ^b | 0.323 ± 0.051 ^c |

ค่าเฉลี่ย ± 1SD

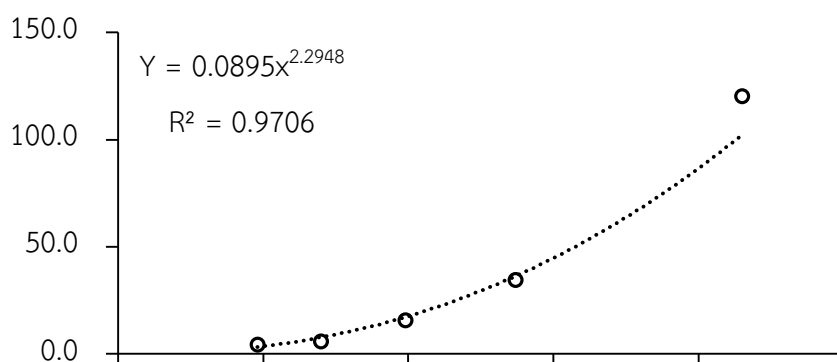
ความแตกต่างของตัวอักษรภาษาอังกฤษในแต่ละแถวแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความหนาแน่นเนื้อไม้ระหว่างระดับการย่อยสลายต่าง ๆ และเนื้อไม้ที่มีชีวิต ที่ $P < 0.0001$ และ ns แสดงให้เห็นว่าข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งวิเคราะห์โดย one-way ANOVA และวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT)

(-) ไม่พบในแปลงศึกษา

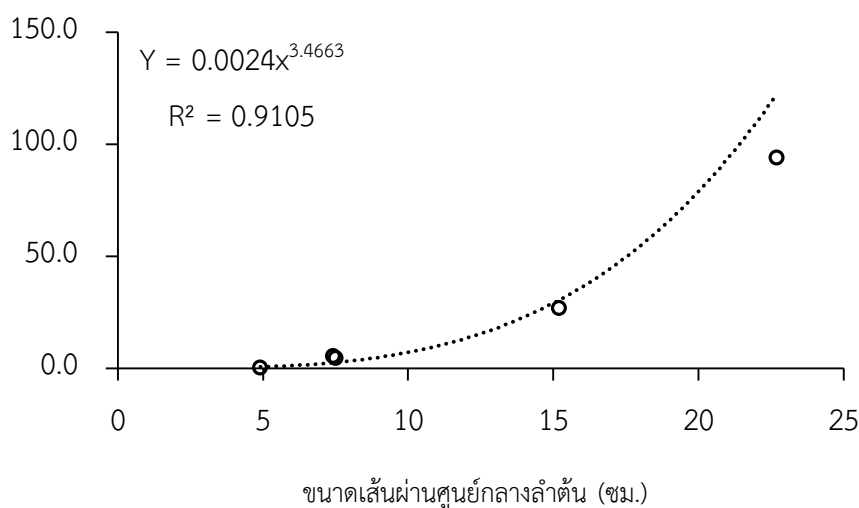
4.3.3 ความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีสำหรับน้ำหนักรากค้ำยัน

น้ำหนักแห้งของรากค้ำยันของไม้โกงกางทั้ง 2 ระดับการย่อยสลาย (class I และ II) เพิ่มขึ้นเมื่อ $D_{R0.3}$ ของต้นโกงกางเพิ่มขึ้น จากการสร้างความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีระหว่างน้ำหนักแห้งของรากค้ำยันกับ $D_{R0.3}$ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของรากค้ำยันกับ $D_{R0.3}$ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99% ทั้ง 2 ระดับการย่อยสลาย โดยสมการที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของรากค้ำยัน class I กับ $D_{R0.3}$ คือ $Y = 0.0895x^{2.2948}$, $R^2 = 0.9706$ และสมการที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของรากค้ำยัน class II กับ $D_{R0.3}$ คือ $Y = 0.0024x^{3.4663}$, $R^2 = 0.9105$ ดังภาพที่ 21

ก) น้ำหนักแห้งของรากค้ำยัน (กก.)



ข)



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของรากค้ำยันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($D_{R0.3}$) ของไม้โกงกางที่ยืนต้นตาย ภาพ ก) และ ข) คือรากค้ำยัน class I และ II ตามลำดับ

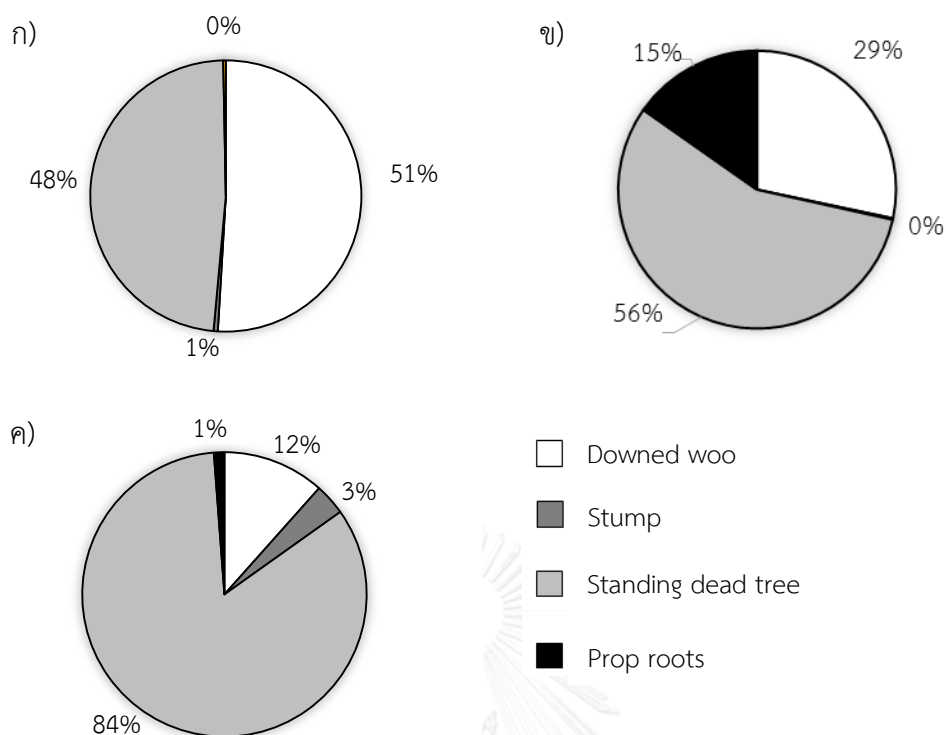
4.3.4 การกระจายของมวลของ CWD

การกระจายของมวล CWD ในเขตไม้แสมพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการกระจายของจำนวน CWD โดย downed wood มีมวลมากที่สุดคือ 1.807 ตัน/เฮกแตร์ คิดเป็น 51% ของมวลทั้งหมดในเขตไม้แสม ขณะที่การกระจายของมวล CWD ของเขตไม้โกงกางต่างจากการกระจายของจำนวน CWD โดยพบว่า standing dead tree มีมวลมากที่สุดคือ 3.452 ตัน/เฮกแตร์ คิดเป็น 56% ของมวล CWD ทั้งหมดในเขตไม้โกงกาง (ภาพที่ 22) สำหรับเขตไม้ตะบูนมีรูปแบบการกระจายของมวล CWD เช่นเดียวกับการกระจายของจำนวน CWD คือ มวลของ standing dead tree มีค่ามากที่สุด (4.981 ตัน/เฮกแตร์ หรือ 84% ของมวล CWD ทั้งหมดในเขตไม้ตะบูน) นอกจากนี้ในแต่ละเขตพื้นที่ไม้ยังประกอบไปด้วยรากค้ำยันซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ได้จากความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีระหว่างน้ำหนักแห้งของรากค้ำยันและ $D_{R0.3}$ ในข้อ 4.3.3 โดยมวลของรากค้ำยันมีค่ามากที่สุดในเขตไม้โกงกางคือ 0.936 ตัน/เฮกแตร์ หรือคิดเป็น 15% ของมวล CWD ทั้งหมดในเขตไม้โกงกาง (ภาพที่ 22) ส่วนใหญ่ของ downed wood ที่พบในเขตไม้แสมอยู่ใน class I ขณะที่ downed wood ของเขตไม้โกงกางและเขตไม้ตะบูนพบมากใน class II สำหรับ standing dead tree ของเขตไม้แสมและเขตไม้โกงกางพบมากใน class I แต่ standing dead tree ของเขตไม้ตะบูนพบมากใน class II (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 มวลของ CWD class I II และ III ของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ในเดือนตุลาคม พ.ศ.2556

| เขตพันธุ์ไม้ | ประเภทของ CWD | มวลของ CWD (ตัน/เฮกแตร์) | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------------|-------|-------|---------|-------|
| | | I | II | III | ทั้งหมด | |
| ไม้แสม | downed wood | 1.255 | 0.552 | - | 1.807 | |
| | stump | 0.011 | 0.001 | 0.006 | 0.018 | |
| | standing dead tree | 1.147 | 0.564 | - | 1.711 | |
| | รากค้ำยัน | - | - | 0.011 | 0.011 | |
| | ไม้โก่งกาง | downed wood | 0.136 | 1.492 | 0.109 | 1.737 |
| ไม้โก่งกาง | stump | - | 0.008 | 0.002 | 0.010 | |
| | standing dead tree | 2.188 | 1.264 | - | 3.452 | |
| | รากค้ำยัน | 0.708 | 0.159 | 0.069 | 0.936 | |
| | ไม้ตะบูน | downed wood | - | 0.375 | 0.027 | 0.402 |
| | | stump | - | 0.234 | 0.005 | 0.239 |
| standing dead tree | | 0.298 | 5.310 | - | 5.608 | |
| รากค้ำยัน | | - | 0.046 | 0.034 | 0.080 | |

(-) ไม่พบในแปลงศึกษา



ภาพที่ 22 สัดส่วนของมวล CWD แต่ละประเภทของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ ก) เขตไม้ผสม ข) เขตไม้ไผ่ และ ค) เขตไม้ตะบูน

4.3.5 CWD ที่เพิ่มพูน

เขตไม้ไผ่มีจำนวน CWD ที่เพิ่มพูนมากที่สุดคือ 217 ชิ้น/เฮกแตร์/ปี ซึ่งประกอบด้วย downed wood จำนวน 187 ชิ้น/เฮกแตร์/ปี และ standing dead tree จำนวน 30 ต้น/เฮกแตร์/ปี (ตารางที่ 9) รองลงมาคือเขตไม้ผสม มีจำนวน CWD ที่เพิ่มพูนเท่ากับ 58 ชิ้น/เฮกแตร์/ปี โดยมีจำนวน downed wood สูงกว่าต้นไม้ที่ยืนต้นตาย ขณะที่จำนวน CWD ที่เพิ่มพูนในเขตไม้ตะบูนพบเพียง standing dead tree เท่านั้น มีจำนวน 20 ต้น/เฮกแตร์/ปี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ downed wood มีค่ามากที่สุดที่เขตไม้ผสม ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ standing dead tree มีค่ามากในเขตไม้ไผ่ (ตารางที่ 9)

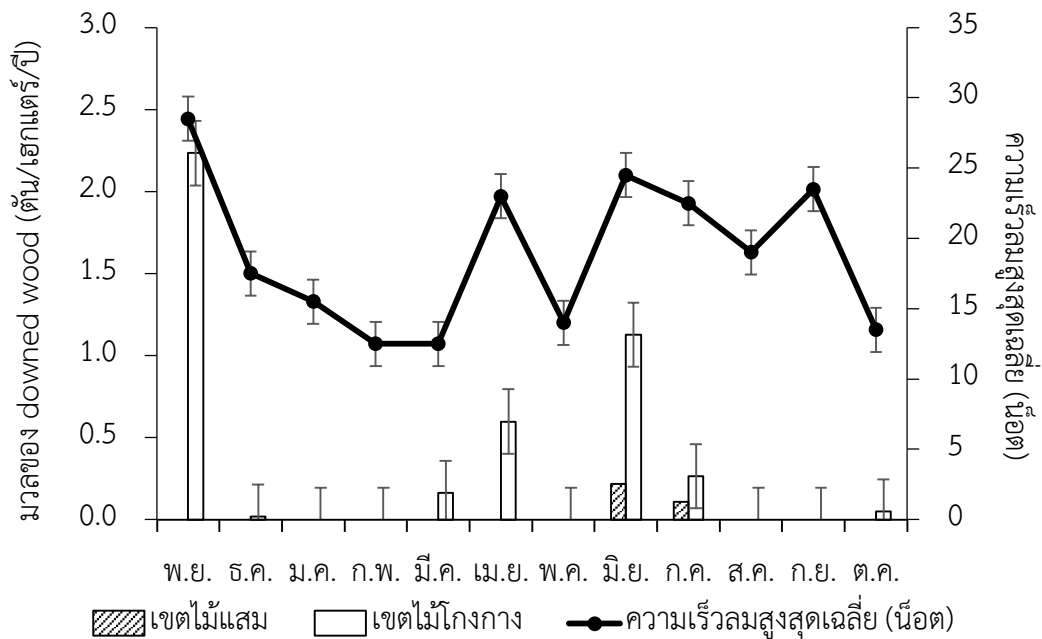
มวลของ CWD ที่เพิ่มพูนมีค่ามากที่สุดที่เขตไม้ไผ่ 8.66 ตัน/เฮกแตร์/ปี โดยเป็นมวลของ downed wood 4.45 ตัน/เฮกแตร์/ปี มวลของ standing dead tree 4.21 ตัน/เฮกแตร์/ปี เขตไม้ผสมมีมวลของ CWD ที่เพิ่มพูน 2.42 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งประกอบด้วยมวลของ standing dead

tree มากกว่ามวลของ downed wood สำหรับมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนในเขตไม้ตะบูนมีค่าเท่ากับ 1.60 ตัน/เฮกแตร์/ปี (ตารางที่ 9) มวลของ downed wood ในเขตไม้โกงกางพบมากในเดือนพฤศจิกายน เมษายน และมิถุนายน ขณะที่ในเขตไม้แสมพบ downed wood มากในเดือนมิถุนายน (ภาพที่ 23)

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยจำนวน เส้นผ่านศูนย์กลาง และมวลของ CWD แต่ละประเภทของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ระหว่างปี พ.ศ.2557-2558

| ประเภทของ CWD | เขตพันธุ์ไม้ | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|-------------|
| | เขตไม้แสม | เขตไม้โกงกาง | เขตไม้ตะบูน |
| Downed wood | | | |
| จำนวน (ชิ้น/เฮกแตร์/ปี) | 33 ± 0 | 187 ± 94 | - |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.) | 9.1 ± 4.6 | 7.8 ± 3.2 | - |
| มวล (ตัน/เฮกแตร์/ปี) | 0.33 ± 0.16 | 4.45 ± 0.68 | - |
| Standing dead tree | | | |
| จำนวน (ตัน/เฮกแตร์/ปี) | 28 ± 4 | 31 ± 9 | 25 ± 21 |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.) | 9.7 ± 1.9 | 10.6 ± 0.7 | 8.0 ± 0.7 |
| มวล (ตัน/เฮกแตร์/ปี) | 2.09 ± 1.29 | 4.21 ± 0.15 | 1.60 ± 1.85 |

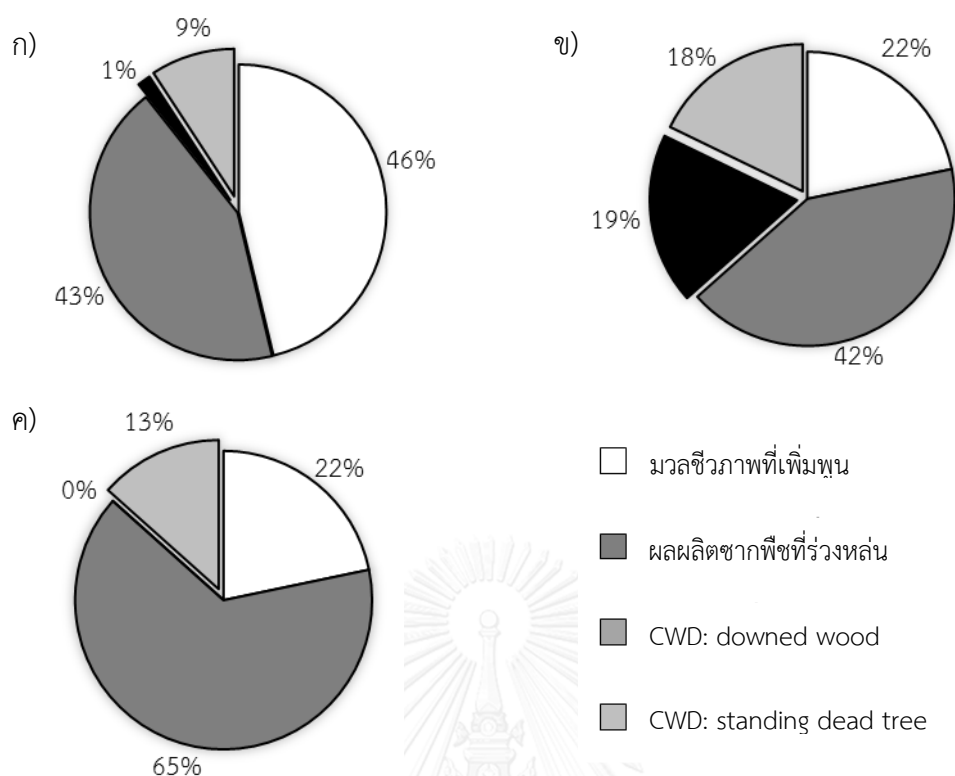
ค่าเฉลี่ย ± 1SD



ภาพที่ 23 ความผันแปรของมวลของ downed wood ที่เพิ่มพูนในเขตไม้แสมและไม้โกงกางกับความเร็วลมสูงสุดรายเดือนที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา

4.3.6 ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP)

ภาพที่ 24 แสดงสัดส่วนมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนต่อ NPP (มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และ necromass production) ที่ได้จากบทที่ 3 ส่วนที่เป็น CWD ประกอบไปด้วย standing dead tree ซึ่งก็คือ necromass production และ downed wood พบว่า NPP ที่ได้เมื่อรวมมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนในเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูนคือ 22.7, 23.7 และ 11.9 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ โดยเขตไม้โกงกางมีมวลของ CWD สูงที่สุดคือ 37% ของ NPP ขณะที่มวลของ CWD ที่เพิ่มพูนในเขตไม้แสม และไม้ตะบูนคิดเป็น 10 และ 13% ของ NPP ตามลำดับ



ภาพที่ 24 สัดส่วนของมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และ CWD ซึ่งประกอบไปด้วย downed wood และ standing dead tree ของทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ ก) เขตไม้เสม ข) เขตไม้โกงกาง และ ค) เขตไม้ตะบูน ตามลำดับ

4.4 อภิปรายผลการศึกษา

4.4.1 การกระจายของ CWD

การกระจายทั้งจำนวนและมวลของ CWD ในเขตไม้เสมน้อยกว่าเขตพันธุ์ไม้อื่น นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสนใจว่า necromass production ในเขตไม้เสมซึ่งกล่าวถึงในบทที่ 3 มีค่ามากกว่าเขตไม้ตะบูน แต่ CWD โดยเฉพาะ standing dead tree ของเขตไม้เสมน้อยกว่าเขตไม้ตะบูน อาจเป็นไปได้ว่าเขตไม้เสมถูกน้ำท่วมเป็นเวลานานจึงทำให้ต้นไม้ที่ตายแล้วเกิดการอ่อนนุ่ม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับจำนวนสิ่งมีชีวิตที่กินไม้เป็นอาหาร (Distel, 2003) โดยพบสิ่งมีชีวิตจำนวนมากใน CWD ของไม้เสม เช่น ปูเสม หนอน ครัสเตเชียน เป็นต้น (ภาพที่ 25) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่กินซากไม้เป็นอาหาร รวมทั้งเห็ดต่าง ๆ ที่เป็นผู้ย่อยสลายซากไม้ ทั้งสองปัจจัยจึงอาจมีส่วนช่วยให้ต้นไม้ที่ตายหักลงได้ง่าย ส่วน downed wood ในเขตไม้เสมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวมากและส่วนใหญ่

พบอยู่ใน class I เนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นเนื้อไม้ในแต่ละระดับการย่อยสลายส่งผลต่อการกระจายของ CWD จึงอาจเป็นไปได้ว่า downed wood ที่มีขนาดเล็กและมีความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำหลังจากถูกย่อยสลาย (class II และ III) ถูกพัดพาออกไปโดยการขังลงของน้ำ

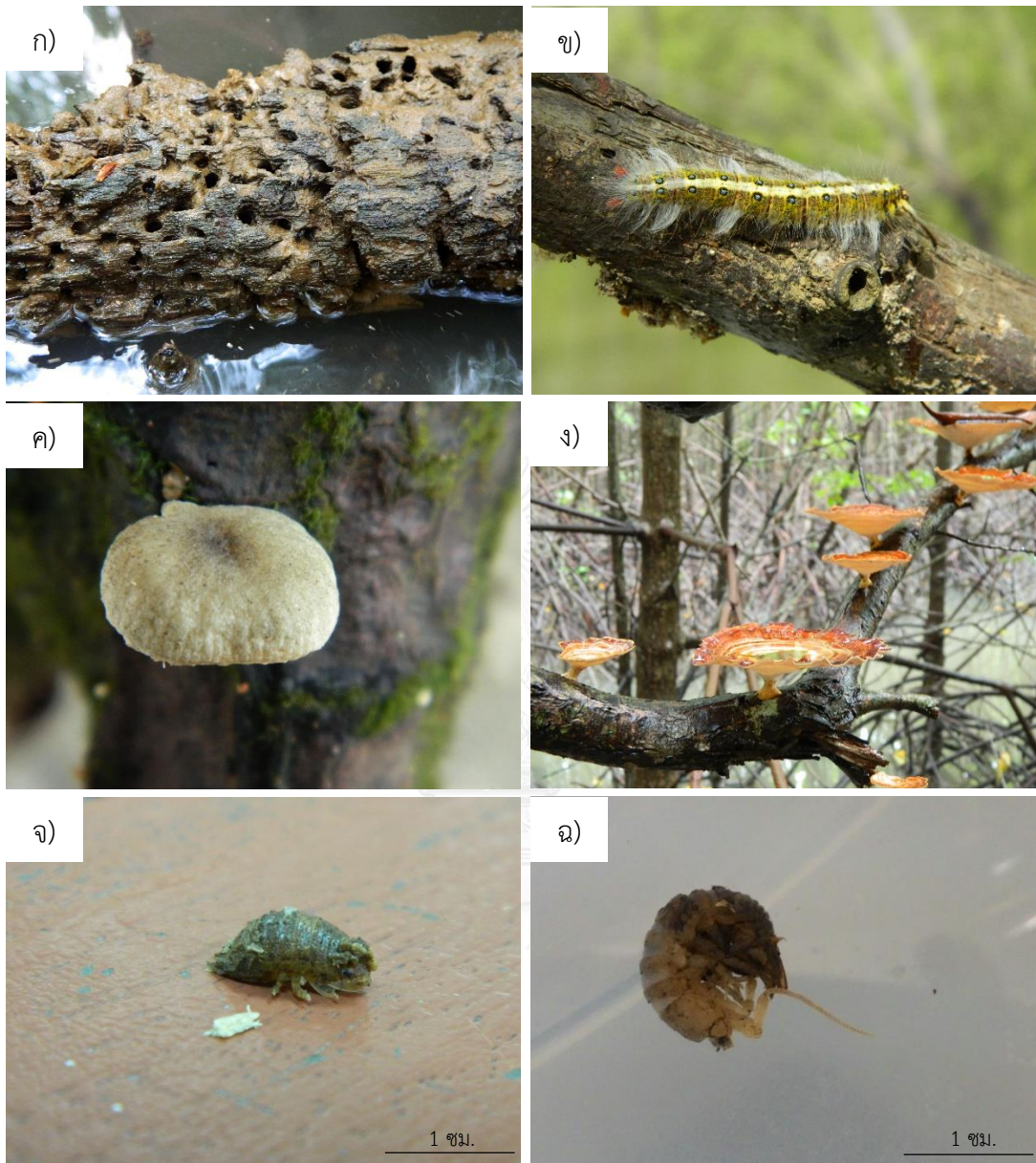
เขตไม้โกงกางมีจำนวนของ downed wood มากที่สุด เนื่องจากพื้นที่ป่ามีความหนาแน่นของรากค้ำยันสูง เมื่อกิ่งขนาดใหญ่หรือต้นไม้ที่ตายหักลงมากกระทบกับรากค้ำยันเกิดการหักเป็นท่อนที่มีขนาดเล็กลง และยังคงอยู่บนพื้นป่าในเขตนี้ได้ เนื่องจากถูกกักด้วยรากค้ำยัน ขณะที่มวลของ standing dead tree ในเขตไม้โกงกางมีค่าสูงและสอดคล้องกับ necromass production ในเขตไม้โกงกางที่มีค่าสูงที่สุด (ตารางที่ 5) การที่ standing dead tree ยังคงอยู่มากในเขตนี้ อาจเป็นผลมาจากไม้โกงกางมีความหนาแน่นเนื้อไม้สูง และเขตไม้โกงกางมีระยะเวลาการท่วมของน้ำทะเลน้อยกว่าเขตไม้แสม จึงอาจทำให้ standing dead tree โค่นล้มได้ยาก นอกจากนี้ standing dead tree ในเขตไม้โกงกางส่วนใหญ่เป็นไม้โกงกางซึ่งประกอบด้วยรากค้ำยันจำนวนมาก มวลของรากค้ำยันจึงมีสัดส่วนถึง 15% ของมวล CWD ทั้งหมดในเขตไม้โกงกาง (ภาพที่ 22)

เขตไม้ตะบูนมีจำนวนและมวลของ standing dead tree สูงกว่า CWD ประเภทอื่น ๆ แม้ว่า necromass production ในเขตไม้ตะบูนมีค่าน้อยที่สุด แต่มวลของ standing dead tree มีค่าสูง แสดงว่าการที่ standing dead tree ในเขตไม้ตะบูนคงอยู่เป็นระยะเวลานานได้นั้น อาจเนื่องมาจากระยะเวลาในการท่วมของน้ำทะเลในเขตไม้ตะบูนสั้นที่สุด และยังมีสิ่งมีชีวิตในไม้ตะบูนน้อย โดยเฉพาะปลวกในไม้ตะบูนที่ถูกย่อยสลายมานาน จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เขตไม้ตะบูนมีมวลของ CWD สูงที่สุด

มวลเฉลี่ยของ CWD ทั้งหมดในการศึกษานี้คือ 4.46 ตัน/เฮกแตร์ หรือประมาณ 2% ของมวลชีวภาพเหนือดิน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Kauffman และ Cole (2010) ซึ่งศึกษาผลของพายุไต้ฝุ่นต่อโครงสร้างป่าชายเลนที่ไมโครนีเซีย พบว่ามวลของ downed wood (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง < 2.5 เซนติเมตร) มีค่าอยู่ในช่วง 25.5–30.5 ตัน/เฮกแตร์ หรือประมาณ 7–8% ของมวลชีวภาพเหนือดิน ซึ่งมีค่ามากกว่ามวลของ CWD ที่ได้จากการศึกษานี้ อาจมีสาเหตุมาจากต้นไม้ในป่าชายเลนที่ไมโครนีเซียมีขนาดใหญ่ และมีอัตราการตายสูงเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากพายุไต้ฝุ่น นอกจากนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ CWD ในการศึกษาของ Kauffman และ Cole (2010) มีขนาดตั้งแต่ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างจากการศึกษานี้ที่มีการบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ CWD ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้มวลของ CWD ในการศึกษาของ Kauffman

และ Cole (2010) มีค่ามากกว่ามวลของ CWD ที่ได้จากการศึกษาอื่น นอกจากนี้มีการรายงานว่ามวลของ CWD ในป่าชายเลนที่ประเทศอินโดนีเซียมีค่าอยู่ในช่วง 8.6–84.4 ตัน/เฮกเตอร์ ซึ่งมากกว่ามวลของ CWD ในการศึกษาอื่น เหตุผลที่ทำให้มวลของ CWD ในป่าชายเลนของประเทศอินโดนีเซียมีค่ามาก เนื่องจากพื้นที่ที่มีการกัดเซาะสูงและยังถูกทำลายจากการขยายพื้นที่ของสวนปาล์ม (Murdiyoso et al., 2009) สำหรับรากใต้ดิน แม้ว่ามวลชีวภาพของรากมีสัดส่วนสูง (ประมาณ 40%) เมื่อเปรียบเทียบกับมวลชีวภาพเหนือดิน แต่ซากรากใต้ดินไม่ถูกรวมในการศึกษาอื่น เนื่องจากอุปสรรคในการเก็บข้อมูลในสถานะที่มีน้ำทะเลขึ้นลงอยู่เสมอ





ภาพที่ 25 ก) ลักษณะไม้ที่พบปูแสม และสิ่งมีชีวิตกลุ่มครัสเตเชียนจำนวนมาก ข) หนอน ค) และ ง) เห็ดที่พบบน CWD และตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในกลุ่มครัสเตเชียน ได้แก่ จ) ไอโซพอด และ ฉ) แอมฟิพอด

4.4.2 CWD ที่เพิ่มพูน

downed wood ในเขตไม้โกงกางมีจำนวนมากที่สุด โดยพบมากบริเวณที่มีช่องว่างระหว่างเรือนยอดกว้าง ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการร่วงหล่นและการคงอยู่ของ CWD ประกอบด้วยปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ความเร็วลม และการท่วมของน้ำทะเล ส่วนปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นของต้นไม้ และระบบรากที่เอื้อต่อการกักเก็บซากเนื้อไม้ เช่น ระบบรากค้ำยันของโกงกาง จากผลการศึกษาที่พบว่ามวลของ downed wood ในเขตไม้โกงกางมีค่ามากในเดือนพฤศจิกายน เมษายน และมีกุนายนนั้น จะเห็นว่ามวลของ downed wood มีความสอดคล้องกับความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยในช่วงเดือนนั้น ๆ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงที่เกิดมรสุมฤดูร้อน เดือนมิถุนายนเป็นช่วงต้นฤดูฝนที่มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งมีกำลังแรงพัดผ่าน และเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงที่เกิดมรสุมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเข้าสู่ฤดูหนาว (ภาพที่ 23) สำหรับเดือนกันยายน แม้จะมีความเร็วลมสูงสุดใกล้เคียงกับเดือนเมษายน แต่ไม่พบการร่วงหล่นของ CWD อาจเนื่องมาจาก CWD ได้ร่วงหล่นในเดือนมิถุนายนซึ่งมีความเร็วลมสูงไปหมดแล้ว นอกจากนี้ยังพบว่าการคงอยู่ของ downed wood ในเขตไม้โกงกางเป็นเพราะมีระบบรากค้ำยันที่ช่วยกีดขวางไม่ให้ถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบ downed wood ในเขตไม้ตะบูนอาจเนื่องมาจากเป็นเขตพันธุ์ไม้ที่อยู่ด้านในสุด จึงได้รับแรงปะทะจากลมน้อยกว่าเขตพันธุ์ไม้ที่อยู่ใกล้แม่น้ำ

สำหรับ CWD ในส่วนของ standing dead tree พบมากในเขตไม้โกงกางบริเวณที่มีกลุ่มของไม้โกงกางค่อนข้างหนาแน่นซึ่งส่งผลทำให้เกิดการแก่งแย่งแสง (light competition) เนื่องจากความหนาแน่นของเรือนยอดจะบดบังแสงทำให้ต้นไม้ที่มีขนาดเล็กตายลง ในขณะที่ปริมาณ standing dead tree ในเขตไม้แสมเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงแทนที่ (succession) เนื่องจากพบการตายของกลุ่มไม้เบิกนำขนาดใหญ่จำนวนมาก และหลังจากนั้นพบว่าไม้โกงกางเติบโตขึ้นมาแทนที่มากขึ้น การศึกษาของ Ohtsuka และคณะ (2007) รายงานว่ามวลของ CWD ที่เพิ่มพูนในป่าผลัดใบเขตอบอุ่นของประเทศญี่ปุ่นมีค่า 1.5 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งน้อยกว่ามวลของ CWD ที่เพิ่มพูนในการศึกษานี้ที่มีค่าเฉลี่ย 4.2 ตัน/เฮกแตร์/ปี อาจเนื่องมาจากโครงสร้างป่าและการได้รับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตทางนิเวศวิทยามีค่าต่างกัน นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนกับซากไม้ที่ได้จากกระบะรองรับซากพืช จะเห็นว่าซากไม้ที่ได้จากกระบะรองรับซากพืช (0.70-1.28 ตัน/เฮกแตร์/ปี) มีค่าน้อยกว่ามวลของ CWD ที่เพิ่มพูนที่มีค่าสูงถึง 8.66 ตัน/เฮกแตร์/ปี

ในเขตไม้โกงกาง ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นความจำเป็นในการศึกษา CWD ในป่าชายเลนควบคู่ไปกับการประมาณค่าผลผลิตซากพืชโดยใช้กระบะรองรับซากพืช

4.4.3 สัดส่วนของซากเนื้อไม้ต่อ NPP

เมื่อรวมมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนในการประมาณ NPP พบว่า NPP ของป่าชายเลนในการศึกษานี้มีค่าอยู่ในช่วง 11.9–23.7 ตัน/เฮกแตร์/ปี โดยเขตไม้โกงกางมีค่า NPP มากที่สุดคือ 23.7 ตัน/เฮกแตร์/ปี เนื่องจากมีมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนสูง (37% ของ NPP) ซึ่งประกอบด้วยมวลของ downed wood ถึง 19% ของ NPP ส่วนในเขตไม้เสมหมี NPP เท่ากับ 22.7 ตัน/เฮกแตร์/ปี โดยส่วนใหญ่เป็นมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (46% ของ NPP) ขณะที่มวลของ CWD ที่เพิ่มพูนมีค่าเท่ากับ 10% ของ NPP สำหรับเขตไม้ตะบูนมีมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนเท่ากับ 13% ของ NPP และมวลส่วนใหญ่ของ NPP ในเขตนี้นี้มาจากผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่นถึง 65%

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่ามวลของ CWD ที่เพิ่มพูนมีความสำคัญต่อการประมาณค่า NPP โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตไม้โกงกาง ปัจจัยทางกายภาพอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของ CWD คือ ความเร็วลม ดังนั้นความรุนแรงของพายุที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน อาจส่งผลให้ปริมาณของ CWD ในป่าชายเลนเพิ่มขึ้น ประกอบกับป่าชายเลนส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นป่าโกงกาง เนื่องจากไม้โกงกางเป็นพืชที่นิยมนำมาใช้ในการปลูกฟื้นฟูป่าชายเลน ดังนั้นการรวมมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนในการประมาณ NPP จะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการบ่งบอกศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนของป่าชายเลนในประเทศไทย

บทที่ 5

การย่อยสลาย และการหายใจของซากเนื้อไม้หยาบ

5.1 บทนำและตรวจสอบเอกสาร

งบประมาณคาร์บอนของ CWD ประกอบด้วยคาร์บอนที่กักเก็บใน CWD และคาร์บอนที่สูญเสียจาก CWD ในระหว่างการย่อยสลาย ดังนั้นนอกจากการศึกษา CWD ที่เพิ่มพูนดังที่กล่าวในบทที่ 4 แล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงการย่อยสลายของ CWD (CWD decomposition) ซึ่งประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ 1) กระบวนการทางชีวภาพ เป็นกระบวนการปลดปล่อย CO₂ ออกสู่บรรยากาศผ่านการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ย่อยสลาย CWD หรือเรียกว่า การหายใจของ CWD (CWD respiration) และ 2) กระบวนการทางกายภาพ ซึ่งเป็นการแตกหักของ CWD (CWD fragmentation) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของ CWD จาก standing dead tree ไปเป็น downed wood หรือการแตกหักของ CWD จากขนาดใหญ่เป็นชิ้นเล็ก ๆ เป็นต้น การแตกหักของ CWD นี้ทำให้พื้นที่ผิวของ CWD เพิ่มขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่เป็นผู้ย่อยสลายสามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวได้มากและเข้าไปในชิ้นไม้ได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้น้ำก็สามารถเข้าไปในชิ้นไม้ได้ง่ายขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้ความชื้นของ CWD เพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการหายใจของ CWD เพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่สนับสนุนกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ย่อยสลาย (Li et al., 2007) การย่อยสลายของ CWD จึงศึกษาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเนื้อไม้และเวลา (Olson, 1963) อย่างไรก็ตามการศึกษากการย่อยสลายในป่าชายเลนยังมีอยู่น้อย Robertson และ Denial (1989) ได้รายงานว่าอัตราการย่อยสลายของ CWD (k) ในป่าชายเลนมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.083 ถึง 0.108 ต่อปี คิดเป็นเวลาที่ต้องใช้ในการย่อยสลาย CWD ทั้งหมดคือ 28–36 ปี

การหายใจของ CWD นับเป็นส่วนหนึ่งของการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic respiration; HR) แต่การประมาณ HR ส่วนใหญ่ในระบบนิเวศเป็นการประมาณการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ที่อยู่ในดิน ซึ่งได้จากการแยกองค์ประกอบของการหายใจของราก (root respiration; RR) ออกจากการหายใจของดิน (soil respiration) (Hanson et al., 2000; Saprnov and Kuzyakov, 2007) เนื่องจากการหายใจของดินประกอบด้วย HR และ RR ดังสมการที่ 5.1 สำหรับในป่าชายเลนที่ดินมักถูกน้ำท่วมสม่ำเสมอ ส่งผลให้ CO₂ ที่เกิดจากการหายใจ

ของรากใต้ดินปลดปล่อยผ่านเลนติเซลที่อยู่บนผิวของรากเหนือดิน (Poungpam et al., 2009) ดังนั้น การประมาณ HR ในป่าชายเลนจึงได้จากการวัดอัตราการหายใจของดินโดยตรง ขณะที่ข้อมูล การศึกษาเกี่ยวกับการประมาณการหายใจของ CWD ในป่าชายเลนในปัจจุบันยังมีอยู่น้อย Troxler และคณะ (2015) ศึกษาการปลดปล่อย CO₂ จากองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ภายใต้เรือนยอดในป่าชายเลนเขตกึ่งร้อนที่รัฐฟลอริดา และพบว่า การหายใจของ CWD คิดเป็นประมาณ 33% ของการหายใจของดิน ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานการหายใจของ CWD ในป่าชายเลนเขตร้อนของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

$$SR = RR + HR \quad (5.1)$$

สำหรับทางนิเวศวิทยาการวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากกระบวนการหายใจสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (gas chromatography; GC) วิธี dynamic infrared gas analysis (IRGA) และวิธี soda-lime (SL) วิธี GC เป็นการเก็บแก๊สจากกล่องวัดการหายใจ (respiration chamber) โดยตรง และฉีดเข้าสู่เครื่อง GC เพื่อวัดความเข้มข้นของ CO₂ (Makky et al., 2014) สำหรับวิธี IRGA เป็นการวัดการหายใจโดยตรงจากการวัดความเข้มข้นของ CO₂ ภายในกล่องวัดการหายใจโดยใช้ infrared gas analyzer (Pongracic et al., 1997; Troxler et al., 2015) แต่วิธี SL เป็นการวัดการหายใจจากการดูดซับ CO₂ โดย soda-lime ภายในกล่องวัดการหายใจ และแปลงค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของ soda-lime เป็นความเข้มข้นของ CO₂ (Grogan, 1998; Progar et al., 2000; Mackensen and Bauhus, 2003; Barker, 2008) ทั้งนี้การวัดการหายใจด้วยวิธี GC และวิธี IRGA ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าการหายใจจริง มากกว่าการวัดด้วยวิธี SL (Knoepp and Vose, 2002)

แม้ว่าวิธี IRGA จะให้ค่าที่มีความแม่นยำ และใช้เวลาค่อนข้างสั้นในการวัด (Pongracic et al., 1997) แต่ไม่เหมาะสมสำหรับใช้วัดการหายใจของ CWD ที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากขนาด chamber ของเครื่อง infrared gas analyzer นั้นมักมีขนาดเล็ก นอกจากนี้เครื่องมือสำหรับใช้ในการวัดด้วยวิธี IRGA และ GC มีราคาแพง อย่างไรก็ตาม วิธี GC มีความเหมาะสมสำหรับวัดการหายใจของ CWD มากกว่าวิธี IRGA เนื่องจากสามารถดัดแปลง chamber ได้ง่ายกว่า ส่วนวิธี SL นั้นมีราคาถูกและสามารถใช้วัดการหายใจของ CWD ในป่าชายเลนซึ่งมีสภาพเป็นดินเลน และมีการท่วมถึงของน้ำทะเลสม่ำเสมอได้ง่ายกว่าวิธี GC และ IRGA จากการตรวจสอบเอกสารพบว่ามีหลายการศึกษาได้

ทำการเปรียบเทียบอัตราการหายใจที่วัดระหว่างวิธี SL และ GC (Raich et al., 1990) และระหว่างวิธี SL และ IRGA (Janssens and Ceulemans, 1998; Herrmann and Bauhus, 2008) ซึ่งพบว่าอัตราการหายใจที่วัดได้จากวิธี SL มีความสัมพันธ์กับวิธี GC และ IRGA ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจด้วยวิธี SL ก่อน เพื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากหายใจที่วัดได้โดยวิธี GC แล้วจึงนำความสัมพันธ์นั้นไปประมาณค่าอัตราการหายใจของ CWD ได้ต่อไป

ในการศึกษานี้จึงศึกษาการย่อยสลายและการหายใจของ CWD โดยการวัดอัตราการย่อยสลายและอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ที่เป็นพันธุ์ไม้เด่นทั้งสามชนิด ได้แก่ ไม้แสม ไม้โกก่าง และไม้ตะบูน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ต่อเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย และวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ด้วยวิธี GC และ SL เพื่อใช้ในการประมาณ NEP ของป่าชายเลน

5.2 วิธีการศึกษา

5.2.1 การเตรียมตัวอย่าง CWD

เนื่องจาก CWD ส่วนใหญ่ที่พบในแปลงศึกษาเป็น CWD ของชนิดไม้ที่เป็นพันธุ์ไม้เด่นของแต่ละเขตพันธุ์ไม้ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 4.5–17.6 เซนติเมตร จึงเก็บตัวอย่าง CWD ของชนิดพันธุ์ไม้เด่นทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไม้แสม ไม้โกก่าง และไม้ตะบูน ให้ครอบคลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่พบในแปลงศึกษา และแบ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง CWD เป็น 2 ระดับ คือ ขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5–10.0 เซนติเมตร) และขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 10.1–17.6 เซนติเมตร) นอกจากนี้ทำการเก็บชิ้นตัวอย่าง CWD ที่อยู่ในทั้ง 2 ระดับการย่อยสลาย (decay class) คือ class I และ II ของทุกชนิดและระดับขนาด นำตัวอย่าง CWD มาตัดให้มีขนาดยาวประมาณ 20 เซนติเมตร จำนวน 12 ตัวอย่าง/ชนิด ระดับขนาด และระดับการย่อยสลาย (รวมทั้งหมดเป็น 144 ตัวอย่าง) และนำตัวอย่าง CWD ทั้งหมดนี้ไปวางบนพื้นป่า (ภาพที่ 26) โดยวาง CWD ของไม้แต่ละชนิดตามเขตพันธุ์ไม้ของไม้ชนิดนั้น ๆ เริ่มวางตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ.2557 จากนั้นเก็บชิ้นตัวอย่าง CWD จากพื้นป่า จำนวน 3 ตัวอย่าง/ชนิด ระดับขนาด และระดับการย่อยสลาย ทุก ๆ 3 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2558 (ตารางที่ 10) ล้างดินที่เกาะอยู่บนผิวของ

ตัวอย่าง CWD ออกจนหมด วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายทั้งสองด้านและความยาวของ CWD เพื่อใช้คำนวณปริมาตรของ CWD จากนั้นเก็บตัวอย่าง CWD แต่ละชิ้นในถุงพลาสติก (1 ชิ้น/ถุง) เพื่อลดการสูญเสียเสียน้ำ นำกลับไปห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาความหนาแน่นเนื้อไม้ที่เปลี่ยนแปลงไป และวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD หลังจากนั้นนำตัวอย่าง CWD ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จึงชั่งน้ำหนักแห้ง



ภาพที่ 26 การวางชิ้นตัวอย่าง CWD บนพื้นป่าชายเลนเพื่อศึกษาการย่อยสลาย



ตารางที่ 10 จำนวนตัวอย่าง CWD ทั้งหมดที่วางบนพื้นป่าเพื่อศึกษาการย่อยสลายและอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจทุก ๆ 3 เดือน

| ชนิด | ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.) | Decay class | จำนวนตัวอย่าง CWD | | | | ทั้งหมด |
|-----------|------------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|---------|
| | | | พฤศจิกายน 2557 | กุมภาพันธ์ 2558 | พฤษภาคม 2558 | สิงหาคม 2558 | |
| ไม้แสม | เล็ก | I | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | (4.5 – 10.0) | II | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | ใหญ่ | I | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | (10.1 – 17.6) | II | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| ไม้โกงกาง | เล็ก | I | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | (4.5 – 10.0) | II | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | ใหญ่ | I | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | (10.1 – 17.6) | II | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| ไม้ตะบูน | เล็ก | I | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | (4.5 – 10.0) | II | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | ใหญ่ | I | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| | (10.1 – 17.6) | II | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| ทั้งหมด | | | 36 | 36 | 36 | 36 | 144 |

5.2.2 การย่อยสลายของ CWD

ศึกษาการย่อยสลายของ CWD จากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเนื้อไม้ของชิ้นตัวอย่าง CWD โดยคำนวณความหนาแน่นเนื้อไม้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งและปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง CWD ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD และช่วงเวลาที่ยาว CWD ไว้บนพื้นป่าถูกแสดงโดยใช้สมการถดถอยแบบ negative single exponential (Olson, 1963)

$$Y_t = Y_0 e^{-kt}$$

โดย Y_0 คือ ความหนาแน่นเนื้อไม้เริ่มต้น

Y_t คือ ความหนาแน่นเนื้อไม้ที่เวลา t (วัน)

k คือ ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลาย หรืออัตราการย่อยสลายของ CWD

ประมาณระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย CWD โดยประมาณระยะเวลาที่ทำให้ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ลดลงไป 95% จากความหนาแน่นเนื้อไม้เริ่มต้น ($T_{0.95}$) จากอัตราส่วนระหว่าง $-\ln(0.05)$ และค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลาย (k) (Yang et al., 2010)

5.2.3 วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจน

นำตัวอย่าง CWD แต่ละชิ้นที่เก็บมาทุก ๆ 3 เดือน มาบดให้ละเอียดและชั่งน้ำหนัก 1 กรัม จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนด้วยเครื่อง CN analyzer (2400 Series II CHNS/O Analyzer, Perkin Elmer, USA) เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

5.2.4 การหายใจของ CWD

วัดการหายใจของ CWD ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography; GC) และวิธี soda-lime (SL)

5.2.4.1 วิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

นำชิ้นตัวอย่าง CWD มาชั่งน้ำหนักสดก่อนวางลงในกล่องสำหรับวัดการหายใจ (ภาพที่ 27) ซึ่งทำจากโพลีคาร์บอเนต (ขนาดกว้าง 20.5 ซม. × ยาว 27.0 ซม. × สูง 19.5 ซม.) ปิดด้วยฝากล่องที่มีซิลิโคนหุ้มอยู่ที่ขอบเพื่อป้องกันการไหลเข้าและออกของอากาศระหว่างภายในและภายนอกของกล่อง เจาะตรงกลางฝากล่องให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรและปิดด้วยจุกยางเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหลเข้าและออกของอากาศ วางตัวอย่าง CWD ทิ้งไว้ในกล่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ใช้หลอดฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร ดูดแก๊สภายในกล่องผ่านจุดยางที่ฝากล่อง เพื่อนำแก๊สมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของ CO_2 ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-RIA, Shimadzu, Kyoto, Japan) (Makky et al., 2014) โดยวัดจำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง ก่อนการวัดทุกครั้งทำการสเปรย์น้ำกลั่นปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร ลงบน CWD เพื่อรักษาความชื้นของ CWD ให้คงที่ และชั่งน้ำหนักสดทุกครั้งก่อนวางชิ้นตัวอย่าง CWD ลงในกล่องวัดการหายใจ นอกจากนี้ยังวัดความเข้มข้นของ CO_2 ภายในกล่องวัดการหายใจที่ไม่มีตัวอย่าง CWD จำนวน 3 กล่อง ในช่วงเวลาเดียวกันกับการวัดการหายใจของ CWD เพื่อใช้เป็น blank จากนั้นจึง

คำนวณอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD จากความแตกต่างของความเข้มข้นของ CO₂ ระหว่างกล่องที่มีตัวอย่าง CWD และไม่มี CWD

การคำนวณ

สมมติให้ ความเข้มข้นของ CO₂ ที่ได้จากกล่องวัดการหายใจ (ปริมาตร 16.296 ลิตร) ที่มีตัวอย่าง CWD ที่วัดโดยวิธี GC มีค่าเท่ากับ A%

แสดงว่า แก๊ส 100 ลิตร มี CO₂ A ลิตร

$$\text{แก๊สทั้งหมดในกล่อง } (16.296 - V_{\text{CWD}}) \text{ ลิตร มี CO}_2 \frac{A \times (16.296 - V_{\text{CWD}})}{100} = B \text{ ลิตร}$$

โดย V_{CWD} คือ ปริมาตรของ CWD (ลิตร)

16.296 คือ ปริมาตรของกล่องวัดการหายใจ (ลิตร)

จากกฎสมบรูณ์แก๊ส

$$\begin{aligned} PV &= nRT \\ &= \frac{g}{M} RT \\ g &= \frac{PVM}{RT} \\ &= \frac{(1 \text{ atm}) (B \text{ ลิตร}) (44 \text{ กรัม/โมล})}{(0.08206 \text{ L atm/โมล/องศาเคลวิน}) (273.15+25 \text{ องศาเคลวิน})} \end{aligned}$$

จากวิธีดังกล่าวจะได้ CO₂ ในหน่วยกรัม/วัน

กรณีการคำนวณความเข้มข้นของ CO₂ ที่ได้จากกล่องที่ไม่มีตัวอย่าง CWD แก๊สทั้งหมดในกล่อง เท่ากับปริมาตรของกล่องซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.296 ลิตร

คำนวณ CO₂ ในหน่วยกรัม/กก. CWD/วัน

$$= \frac{\text{CO}_2 \text{ ของ CWD} - \text{CO}_2 \text{ ของกล่องที่ไม่มี CWD } (1 - V_{\text{CWD}}/16.296)}{\text{น้ำหนักของ CWD (กก.)}}$$

5.2.4.2 วิธี soda-lime (SL)

วัดการปลดปล่อย CO₂ จากตัวอย่างเดียวกันกับวิธี GC ด้วยวิธี SL (ภาพที่ 27) ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2–5 มิลลิเมตร ประกอบไปด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) (Indicator Grade, Merck KGaA, Germany) ในการหาปริมาณของ soda-lime ที่เหมาะสมสำหรับการวัดการหายใจของ CWD จากป่าชายเลน โดยทดลองชั่ง soda-lime ปริมาณ 15, 20 และ 25 กรัม เพื่อใช้ในการดูดซับ CO₂

สำหรับการวัด CO₂ จากการหายใจของ CWD โดยวิธี SL ทำโดยใส่ soda-lime ในขวดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร (ภาพที่ 27) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักทั้งขวดที่ใส่ soda-lime หลังจากนั้นปิดฝาขวดและพันด้วยพาราฟิล์มเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

วัดการหายใจของ CWD ในกล่องวัดการหายใจ โดยนำขวดใส่ soda-lime จากโถดูดความชื้นมาสเปรย์ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง soda-lime และ CO₂ วางขวดใส่ soda-lime ที่สเปรย์น้ำแล้วในกล่องวัดการหายใจที่มีตัวอย่าง CWD อยู่ภายใน ปิดกล่องปล่อยไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำขวดที่บรรจุ soda-lime ไปอบอีกครั้งจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ และนำมาชั่งน้ำหนัก (Barker, 2008) วัดจำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง ก่อนการวัดทุกครั้งทำการสเปรย์น้ำกลั่นปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร ลงบน CWD เพื่อรักษาความชื้นของ CWD ให้คงที่ และชั่งน้ำหนักสดก่อนวางตัวอย่าง CWD ลงในกล่องวัดการหายใจ นอกจากนี้ยังวัด CO₂ ภายในกล่องวัดการหายใจที่ไม่มีตัวอย่าง CWD จำนวน 3 กล่อง ในช่วงเวลาเดียวกันกับการวัดการหายใจของ CWD

คำนวณอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD จากความแตกต่างของน้ำหนัก soda-lime ระหว่างกล่องที่มีตัวอย่าง CWD และไม่มี CWD (หรือ blank) ตามวิธีของ Ohtsuka และคณะ (2014)

คำนวณ CO₂ ในหน่วยกรัม/กก.CWD/วัน

$$= \frac{(\text{น้ำหนัก soda-lime ในกล่องที่มี CWD} - \text{น้ำหนัก soda-lime ในกล่องที่ไม่มี CWD}) (1 - V_{\text{CWD}}/V_{\text{chamber}})}{\text{น้ำหนักของ CWD (กิโลกรัม)}} \times 1.69$$

โดย น้ำหนัก soda-lime ในกล่องที่มี CWD คือ ความแตกต่างระหว่างน้ำหนักแห้งของ soda-lime จากกล่องที่มี CWD ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง (กรัม)

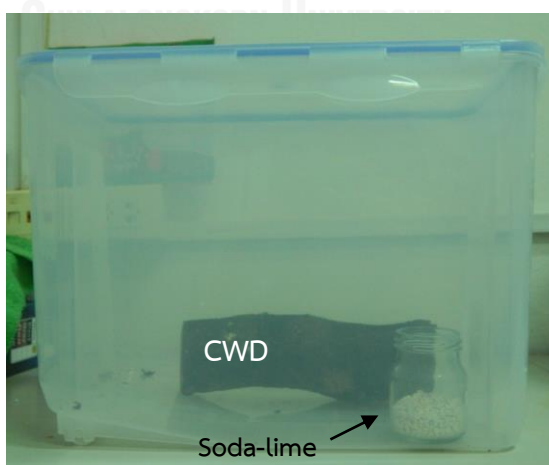
น้ำหนัก soda-lime ในกล่องที่ไม่มี CWD คือ ความแตกต่างระหว่างน้ำหนักแห้งของ soda-lime จากกล่องที่ไม่มี CWD ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง (กรัม)

V_{CWD} คือ ปริมาตรของ CWD (ลูกบาศก์เมตร)

$V_{chamber}$ คือ ปริมาตรของกล่องวัดการหายใจ (0.016 ลูกบาศก์เมตร)

1.69 คือ correction factor

จากผลการศึกษาเพื่อหาปริมาณของ soda-lime ที่เหมาะสมสำหรับใช้วัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ของไม้ป่าชายเลน พบว่าค่า CO_2 ที่ได้จากการวัดด้วย soda-lime ปริมาณ 20 กรัม สูงกว่าค่า CO_2 ที่ได้จากการวัดด้วย soda-lime ปริมาณ 15 กรัม แต่ค่า CO_2 ที่ได้จากการวัดด้วย soda-lime ปริมาณ 20 กรัม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่า CO_2 ที่ได้จากการวัดด้วย soda-lime ปริมาณ 25 กรัม แสดงว่า soda-lime ปริมาณ 15 กรัม ไม่เพียงพอต่อการใช้เพื่อดูดซับ CO_2 ที่ปลดปล่อยจากการหายใจของ CWD ขณะที่ soda-lime ปริมาณ 25 กรัม ก็มากเกินไปจนจำเป็น ดังนั้นจึงเลือกใช้ soda-lime ปริมาณ 20 กรัม สำหรับวัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ของทุกตัวอย่างสำหรับการศึกษานี้



ภาพที่ 27 ตัวอย่าง CWD ภายในกล่องวัดการหายใจที่วัดด้วยวิธี SL ในห้องปฏิบัติการ

5.2.5 ความชื้นของ CWD

หลังจากวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD โดยทั้งสองวิธีแล้ว นำตัวอย่าง CWD ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง CWD และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่าง CWD (Ohtsuka et al., 2014)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นของ CWD} = \frac{\text{น้ำหนักสดของ CWD} - \text{น้ำหนักแห้งของ CWD}}{\text{น้ำหนักแห้งของ CWD}}$$

5.2.6 การหายใจของดิน

ประมาณปริมาณ CO₂ ที่ได้จากการหายใจของดินด้วยสมการของ Pongpam และคณะ (2009) คือ $Y = 0.0004X^{2.204}$ โดย Y คือ CO₂ ที่ได้จากการหายใจของดิน X คือ อุณหภูมิของดินที่ได้จาก temperature sensors และ data loggers (Tidbit v2 Temp logger, Onset Computer Co., Ltd., U.S.A.) โดยฝัง sensors ที่ระดับความลึก 10 ซม. จากผิวดินในทุกเขตพันธุ์ไม้ กำหนดให้บันทึกอุณหภูมิของดินทุก ๆ 30 นาที ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2558

5.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

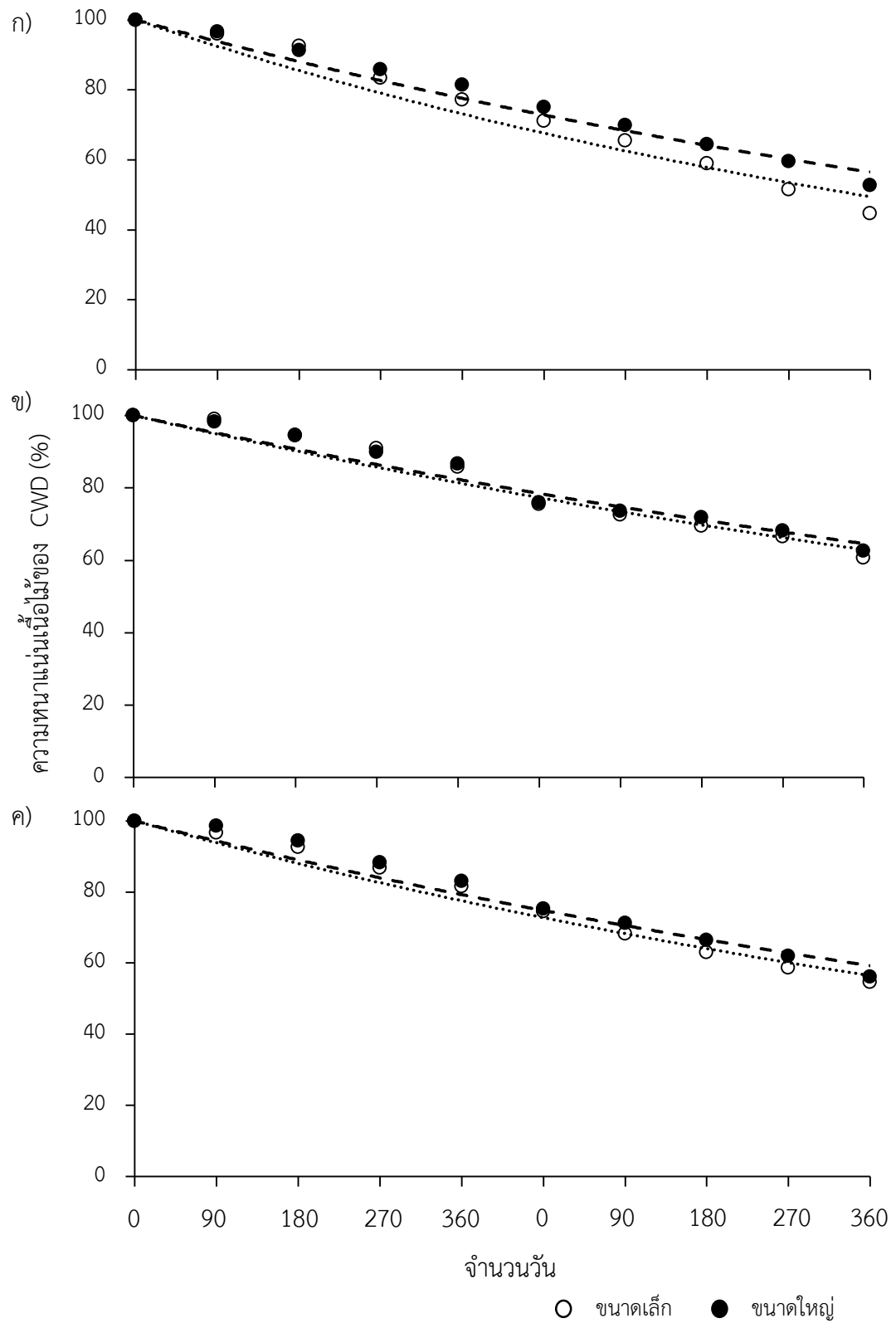
วิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ระหว่างชนิดไม้ โดย one-way analysis of variance (ANOVA) และวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ที่ได้จากการวัดด้วยวิธี GC และ soda-lime โดย Pearson correlation และสร้างสมการเพื่อประมาณค่า CO₂ จากวิธี SL วิเคราะห์ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาแน่นเนื้อไม้ และความชื้นของ CWD ต่อการปลดปล่อย CO₂ ระหว่างชนิดไม้ด้วย linear mixed effected model (lme4) โดยใช้ค่า Akaike's information criterion (Raich et al.) ในการคัดเลือกโมเดลที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่า AIC น้อยที่สุด การวิเคราะห์ทางสถิติที่กล่าวมาทั้งหมดใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 3.3.2 (R development Core Team 2016) และ library lme4 เวอร์ชัน 1.1-12

5.3 ผลการศึกษา

5.3.1 การย่อยสลายของ CWD

การย่อยสลายของ CWD เริ่มศึกษาจาก CWD ที่อยู่ในระดับการย่อยสลายที่ I (decay class I) และระดับการย่อยสลายที่ II (decay class II) พบว่าความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการย่อยสลายเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ระดับการย่อยสลาย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ที่ลดลงและช่วงเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายที่ได้จากสมการถดถอยแบบ negative single exponential (ภาพที่ 28) จะเห็นว่าความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ไม้แสมขนาดเล็กลดลงเร็วกว่าความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ไม้แสมขนาดใหญ่ โดยเริ่มเห็นความแตกต่างของความหนาแน่นเนื้อไม้ทั้ง 2 ขนาดเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 360 วันของการย่อยสลาย CWD ของไม้ตะบูนขนาดเล็กก็มีความหนาแน่นเนื้อไม้ลดลงเร็วกว่า CWD ของไม้ตะบูนขนาดใหญ่ แต่มีอัตราการลดลงที่ช้ากว่า CWD ของไม้แสม ขณะที่ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ไม้โกงกางทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีการลดลงอย่างช้า ๆ ตลอดการศึกษา

ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลาย (k) ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ที่ลดลงและช่วงเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายที่ได้จากสมการถดถอยแบบ negative single exponential แสดงในตารางที่ 11 โดยค่า k ของ CWD ไม้แสมขนาดเล็กมีค่ามากที่สุดคือ 0.0009 ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายของ CWD ไม้แสมขนาดใหญ่และไม้ตะบูนขนาดเล็กมีค่าเท่ากันคือ 0.0007 ขณะที่ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายของ CWD ไม้ตะบูนขนาดใหญ่มีค่าเท่ากับ 0.0006 ส่วนค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายของ CWD ไม้โกงกางทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีน้อยที่สุดคือ 0.0005



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD class I และ II ที่ลดลงและช่วงเวลาการย่อยสลายของ ก) ไม้แสม ข) ไม้โกงกาง และ ค) ไม้ตะบูน ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ค่าคงที่ของการย่อยสลาย (k) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ถูกปรับค่าแล้ว (adjusted R^2) และค่า P -value ของ CWD แต่ละชนิด

| ชนิดไม้ | ขนาดของ CWD | ค่าคงที่ของการย่อยสลาย | Adjusted R^2 | P -value |
|-----------|-------------|------------------------|----------------|------------|
| ไม้แสม | เล็ก | 0.0009 | 0.995 | < 0.0001 |
| | ใหญ่ | 0.0007 | 0.998 | < 0.0001 |
| ไม้โกงกาง | เล็ก | 0.0005 | 0.977 | < 0.0001 |
| | ใหญ่ | 0.0005 | 0.976 | < 0.0001 |
| ไม้ตะบูน | เล็ก | 0.0007 | 0.994 | < 0.0001 |
| | ใหญ่ | 0.0006 | 0.991 | < 0.0001 |

เมื่อประมาณเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย $T_{0.95}$ ของ CWD แต่ละชนิด พบว่า CWD ของไม้แสมขนาดเล็กถูกย่อยสลายได้เร็วที่สุดคือ 9 ปี รองลงมาคือ CWD ไม้แสมขนาดใหญ่ และไม้ตะบูนขนาดเล็ก (12 ปี) CWD ของไม้ตะบูนขนาดใหญ่ (14 ปี) ขณะที่เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายไม้โกงกางทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่นานที่สุดคือ 16 ปี

5.3.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของ CWD

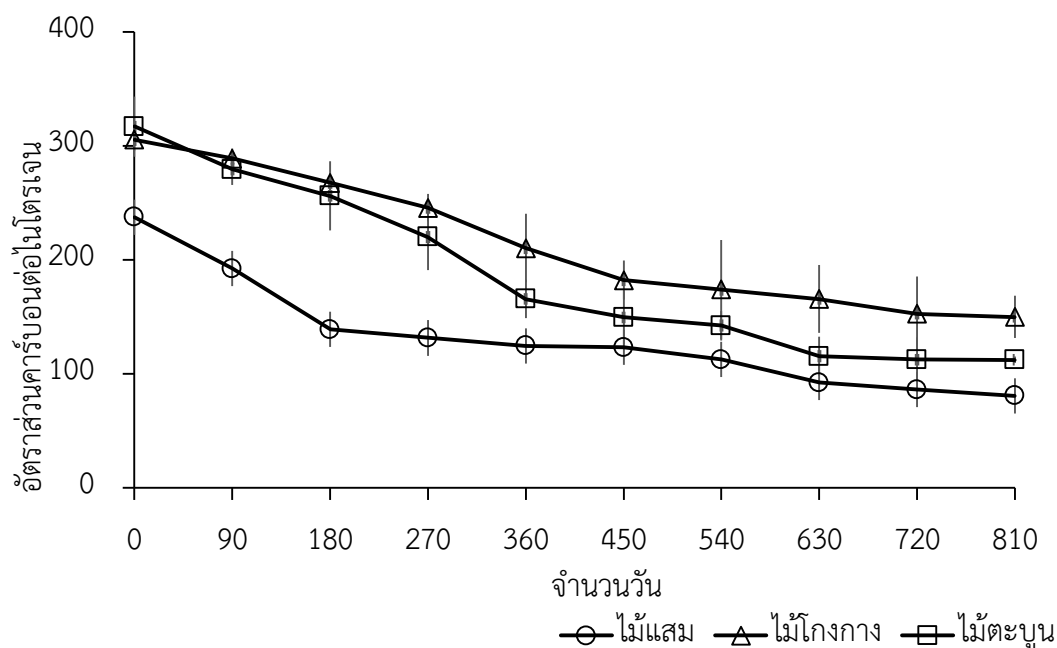
ปริมาณคาร์บอนใน CWD มีค่าแตกต่างกันระหว่างชนิดไม้ ($F = 11.211$, $P < 0.0001$) โดยปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยของ CWD ไม้แสมมีค่าน้อยที่สุดคือ 46.06% ขณะที่ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยของ CWD ไม้โกงกาง และไม้ตะบูนมีค่าใกล้เคียงกันคือ 46.71 และ 47.11% ตามลำดับ สำหรับปริมาณไนโตรเจนใน CWD ของไม้ทุกชนิดพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการย่อยสลายเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 12) ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยของ CWD ไม้แสมมีค่ามากที่สุดคือ 0.40% และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไนโตรเจนของ CWD ไม้โกงกาง และไม้ตะบูน ($F = 15.570$, $P < 0.0001$) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 และ 0.29% ตามลำดับ

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของ CWD ทุกชนิดมีค่าสูงที่สุดเมื่อเริ่มทำการศึกษา โดย CWD ของไม้แสมมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 180 วันแรกของการย่อยสลาย ขณะที่ CWD ของไม้โกงกาง และไม้ตะบูนมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงช้ากว่า

ไม้แสมคือประมาณ 360 วันแรกของการย่อยสลาย หลังจากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงอย่างช้า ๆ จนสิ้นสุดการศึกษา (ภาพที่ 29) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของไม้แต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 12.516, P < 0.0001$)

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยของคาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ของ CWD ของไม้แต่ละชนิด

| จำนวน วัน | CWD ของไม้แสม | | | CWD ของไม้โกงกาง | | | CWD ของไม้ตะบูน | | |
|--------------|---------------|-------|--------------|------------------|-------|--------------|-----------------|-------|--------------|
| | C (%) | N (%) | C:N ratio | C (%) | N (%) | C:N ratio | C (%) | N (%) | C:N ratio |
| 0 | 47.02 | 0.21 | 237.41 | 47.17 | 0.17 | 285.42 | 48.91 | 0.17 | 276.35 |
| 90 | 46.74 | 0.26 | 192.34 | 47.24 | 0.18 | 274.02 | 47.19 | 0.21 | 271.73 |
| 180 | 46.88 | 0.35 | 139.05 | 47.40 | 0.20 | 247.50 | 48.58 | 0.22 | 239.80 |
| 270 | 45.43 | 0.38 | 124.68 | 45.95 | 0.22 | 210.29 | 47.73 | 0.30 | 160.50 |
| 360 | 45.79 | 0.37 | 123.23 | 45.84 | 0.26 | 175.85 | 46.11 | 0.32 | 149.48 |
| 450 | 46.46 | 0.42 | 112.57 | 46.18 | 0.31 | 172.55 | 47.12 | 0.37 | 132.51 |
| 540 | 44.90 | 0.50 | 92.24 | 47.23 | 0.33 | 165.70 | 46.95 | 0.37 | 115.38 |
| 630 | 44.48 | 0.54 | 86.15 | 45.97 | 0.32 | 152.82 | 46.67 | 0.43 | 113.36 |
| 720 | 46.03 | 0.62 | 80.85 | 47.23 | 0.32 | 149.98 | 47.16 | 0.43 | 110.82 |

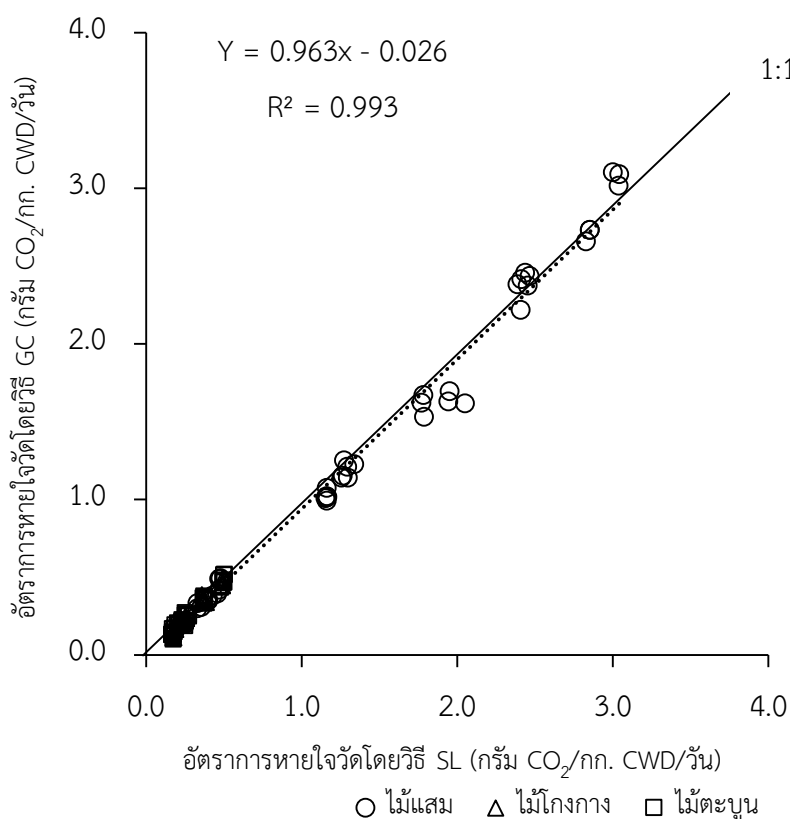


ภาพที่ 29 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของ CWD ของไม้ทั้งสามชนิดในช่วงเวลาที่ศึกษาการย่อยสลาย

5.3.3 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO₂ ที่ได้จากการหายใจของ CWD ที่วัดโดยวิธี GC และ SL

อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากอัตราการหายใจของ CWD ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.104–3.101 และ 0.168–3.045 กรัม CO₂/กก. CWD/วัน สำหรับการวัดด้วยวิธี GC และ SL ตามลำดับ (ตารางที่ 13) จะเห็นว่าอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ที่วัดด้วยวิธี SL มีแนวโน้มสูงกว่าอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ที่วัดด้วยวิธี GC เล็กน้อย อัตราส่วนของการปลดปล่อย CO₂ จากอัตราการหายใจของ CWD ที่วัดด้วยวิธี GC และ SL คือ 0.99 0.89 และ 0.90 สำหรับไม้แสม ไม้โกงกาง และไม้ตะบูน ตามลำดับ อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยที่อัตราการหายใจต่ำ ๆ และมีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้นเมื่ออัตราการหายใจเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 30) นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจด้วยวิธี SL เปรียบเทียบกับวิธี GC โดยใช้ความสัมพันธ์ของการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ที่วัดโดยวิธี GC และ SL สมการที่ได้คือ $Y = 0.963x - 0.026$ ($P < 0.0001$, $R^2 = 0.993$) ความชันที่ได้จากสมการมีค่าเท่ากับ 0.963 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติจากเส้น 1:1 ($P = 0.119$) และค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 0.997 จึงกล่าวได้ว่าอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ที่วัดโดยวิธี SL สามารถใช้แทนวิธี GC ได้



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ของอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD (กรัม CO_2 /กก. CWD/วัน) ที่วัดโดยวิธี GC และ SL ของ CWD ไม้แสม ไม้โกงกาง และไม้ตะบูน

5.3.4 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจระหว่างชนิดไม้ของ CWD

เนื่องจากการวัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ด้วยวิธี SL ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธี GC ดังนั้นในการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจระหว่างชนิดไม้ของ CWD จึงเปรียบเทียบโดยใช้ค่าอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจที่ได้จากวิธี SL ผลการศึกษาพบว่าอัตราการหายใจของ CWD เมื่อเริ่มศึกษา (เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557) มีค่าต่ำ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ CWD ถูกย่อยสลายนานขึ้น (ตารางที่ 13) ตัวอย่าง CWD ของไม้แสมมีอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 ถึง

เดือนสิงหาคม พ.ศ.2558 กระจายอยู่ในช่วงกว้างคือ 0.237 ถึง 3.030 กรัม CO₂/กก. CWD/วัน ขณะที่อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ไม้โกงกางและไม้ตะบูนมีการกระจายอยู่ในช่วงแคบ (0.170–0.496 และ 0.168–0.507 กรัม CO₂/กก. CWD/วัน) อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ไม้แสมมีค่าสูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ไม้โกงกางและไม้ตะบูน ($F = 61.028, P < 0.0001$) แต่อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ไม้โกงกางและไม้ตะบูนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14)

ภาพที่ 31 แสดงให้เห็นว่าอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ของไม้ทั้งสามชนิดมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD มีค่าสูงกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม. อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ไม้แสมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD มีค่าต่ำกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม. ขณะที่อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ไม้โกงกางและไม้ตะบูนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นเนื้อไม้ที่คล้ายกันและมีอัตราการปลดปล่อย CO₂ ต่ำกว่า CWD ของไม้แสม นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้กับความชื้นของ CWD และระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความชื้นของ CWD ที่มีต่อการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ($P < 0.01$, ตารางที่ 15) แต่อย่างไรก็ตามค่า AIC ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้กับความชื้นของ CWD ต่ำกว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกับความชื้นของ CWD ดังนั้นจึงสรุปว่าความแตกต่างของอัตราการหายใจของ CWD ระหว่างชนิดไม้เป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้กับความชื้นของ CWD

แม้ว่าความชื้นของ CWD (ความหนาแน่นเนื้อไม้มีค่าสูงกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม.) มีค่าน้อยกว่าความชื้นของไม้ที่มีชีวิตสำหรับไม้ชนิดเดียวกัน แต่ความชื้นของ CWD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเนื้อไม้ลดลง (ภาพที่ 32) โดยความชื้นของ CWD มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบเมื่อความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD มีค่าสูงกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม. ขณะที่ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ที่ต่ำกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม. พบว่ามีความชื้นของ CWD เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันในทุกชนิด โดย CWD ของไม้แสมมีค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ปริมาณความชื้น และอัตราการปลดปล่อย CO₂ (กรัม CO₂/กก.CWD/วัน) จากการหายใจของ CWD ที่วัดด้วยวิธี SL ของไม้แสม ไม้โกงกาง และ ไม้ตะบูน (ค่าเฉลี่ย±1SD)

| ชนิดไม้ | ขนาดของ CWD | ระดับการย่อยสลายเริ่มต้น | เวลาที่ศึกษา | ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD (กรัม/ลบ.ซม.) | ความชื้นของ CWD (%) | อัตราการหายใจจากการวัดด้วยวิธี SL |
|---------|-------------|--------------------------|--------------|--|---------------------|-----------------------------------|
| แสม | เล็ก | I | พ.ย. 2557 | 0.524±0.009 | 113.1±4.05 | 0.237±0.004 |
| | | | ก.พ. 2558 | 0.505±0.014 | 123.0±5.99 | 0.400±0.002 |
| | | | พ.ค. 2558 | 0.455±0.026 | 140.3±11.4 | 0.465±0.029 |
| | | | ส.ค. 2558 | 0.371±0.007 | 169.5±2.77 | 1.164±0.005 |
| | | II | พ.ย. 2557 | 0.408±0.008 | 135.2±12.0 | 1.305±0.034 |
| | | | ก.พ. 2558 | 0.382±0.007 | 163.9±26.5 | 1.985±0.059 |
| | | | พ.ค. 2558 | 0.321±0.010 | 182.2±20.5 | 2.456±0.015 |
| | | | ส.ค. 2558 | 0.244±0.114 | 218.4±90.2 | 3.030±0.023 |
| | ใหญ่ | I | พ.ย. 2557 | 0.508±0.003 | 91.75±7.48 | 0.239±0.005 |
| | | | ก.พ. 2558 | 0.498±0.016 | 102.2±10.3 | 0.342±0.015 |
| | | | พ.ค. 2558 | 0.480±0.013 | 109.5±5.62 | 0.469±0.007 |
| | | | ส.ค. 2558 | 0.446±0.013 | 111.7±10.5 | 1.165±0.001 |
| | | II | พ.ย. 2557 | 0.416±0.018 | 141.8±14.8 | 1.275±0.022 |
| | | | ก.พ. 2558 | 0.398±0.001 | 156.4±1.53 | 1.784±0.008 |
| | | | พ.ค. 2558 | 0.377±0.004 | 155.2±9.70 | 2.405±0.013 |
| | | | ส.ค. 2558 | 0.326±0.019 | 166.9±33.2 | 2.847±0.013 |
| โกงกาง | I | พ.ย. 2557 | 0.724±0.011 | 57.04±1.92 | 0.175±0.003 | |
| | | ก.พ. 2558 | 0.681±0.007 | 58.70±6.59 | 0.171±0.001 | |
| | | พ.ค. 2558 | 0.645±0.002 | 61.59±5.02 | 0.187±0.006 | |
| | | ส.ค. 2558 | 0.638±0.003 | 79.66±18.2 | 0.214±0.006 | |
| | II | พ.ย. 2557 | 0.556±0.026 | 74.42±10.1 | 0.233±0.006 | |
| | | ก.พ. 2558 | 0.519±0.008 | 111.1±1.45 | 0.254±0.001 | |
| | | พ.ค. 2558 | 0.467±0.005 | 114.9±9.91 | 0.373±0.016 | |
| | | ส.ค. 2558 | 0.424±0.037 | 128.3±23.2 | 0.493±0.003 | |

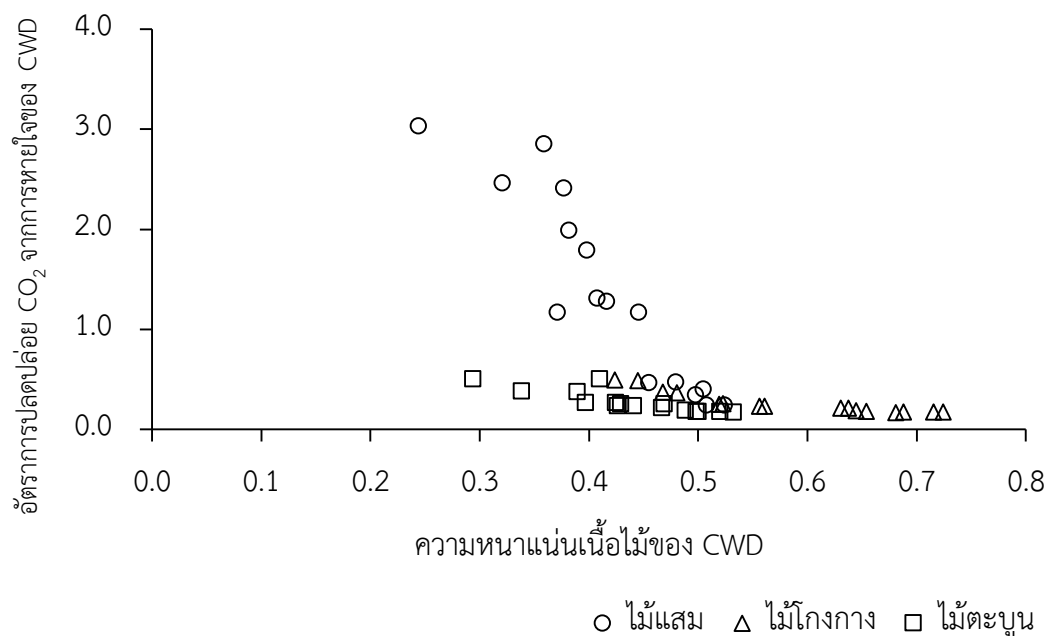
| | | | | | |
|-------|------|-----------|-------------|------------|-------------|
| ใหญ่ | I | พ.ย. 2557 | 0.715±0.008 | 55.51±0.73 | 0.175±0.001 |
| | | ก.พ. 2558 | 0.688±0.007 | 66.94±5.71 | 0.174±0.001 |
| | | พ.ค. 2558 | 0.654±0.007 | 71.12±6.68 | 0.185±0.006 |
| | | ส.ค. 2558 | 0.630±0.003 | 80.24±0.44 | 0.215±0.002 |
| | II | พ.ย. 2557 | 0.561±0.006 | 66.51±9.23 | 0.236±0.004 |
| | | ก.พ. 2558 | 0.523±0.012 | 79.49±21.7 | 0.260±0.001 |
| | | พ.ค. 2558 | 0.480±0.022 | 106.2±3.20 | 0.369±0.001 |
| | | ส.ค. 2558 | 0.444±0.008 | 112.5±10.6 | 0.486±0.008 |
| ตะบูน | เล็ก | พ.ย. 2557 | 0.520±0.007 | 73.76±5.14 | 0.177±0.002 |
| | | ก.พ. 2558 | 0.499±0.002 | 79.45±7.14 | 0.175±0.001 |
| | | พ.ค. 2558 | 0.467±0.006 | 81.72±21.8 | 0.215±0.006 |
| | | ส.ค. 2558 | 0.429±0.003 | 87.92±31.7 | 0.254±0.002 |
| | II | พ.ย. 2557 | 0.441±0.009 | 88.85±11.0 | 0.236±0.001 |
| | | ก.พ. 2558 | 0.397±0.015 | 105.8±24.7 | 0.267±0.009 |
| | | พ.ค. 2558 | 0.339±0.010 | 123.7±9.79 | 0.377±0.003 |
| | | ส.ค. 2558 | 0.294±0.009 | 144.4±20.8 | 0.504±0.002 |
| ใหญ่ | I | พ.ย. 2557 | 0.532±0.012 | 76.91±6.84 | 0.171±0.004 |
| | | ก.พ. 2558 | 0.500±0.002 | 88.09±10.1 | 0.178±0.001 |
| | | พ.ค. 2558 | 0.487±0.015 | 91.88±5.79 | 0.187±0.003 |
| | | ส.ค. 2558 | 0.469±0.013 | 98.62±7.67 | 0.253±0.003 |
| | II | พ.ย. 2557 | 0.427±0.008 | 79.45±7.14 | 0.175±0.001 |
| | | ก.พ. 2558 | 0.425±0.005 | 107.4±10.9 | 0.265±0.010 |
| | | พ.ค. 2558 | 0.389±0.052 | 116.0±16.1 | 0.375±0.004 |
| | | ส.ค. 2558 | 0.345±0.013 | 124.6±12.8 | 0.501±0.003 |

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนาแน่นเนื้อไม้ ความชื้น และอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ของไม้แต่ละชนิด

| ชนิดไม้ | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.) | ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD (กรัม/ลบ.ซม.) | ความชื้นของ CWD (%) | อัตราการหายใจ (กรัม CO ₂ /กก.CWD/วัน) |
|---------|-----------------------------|--|--------------------------|--|
| แสม | 9.09±2.92 ^{ns} | 0.418±0.079 ^b | 142.0±40.01 ^a | 1.348±0.946 ^a |
| โกงกาง | 10.2±4.06 ^{ns} | 0.585±0.099 ^a | 82.76±24.99 ^b | 0.262±0.106 ^b |
| ตะบูน | 8.28±2.60 ^{ns} | 0.446±0.074 ^b | 96.07±23.07 ^b | 0.273±0.107 ^b |

ค่าเฉลี่ย±1SD

ความแตกต่างของตัวอักษรภาษาอังกฤษในแต่ละแถวแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.0001$ และ ns แสดงให้เห็นว่าข้อมูลในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งวิเคราะห์โดย one-way ANOVA และวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT)

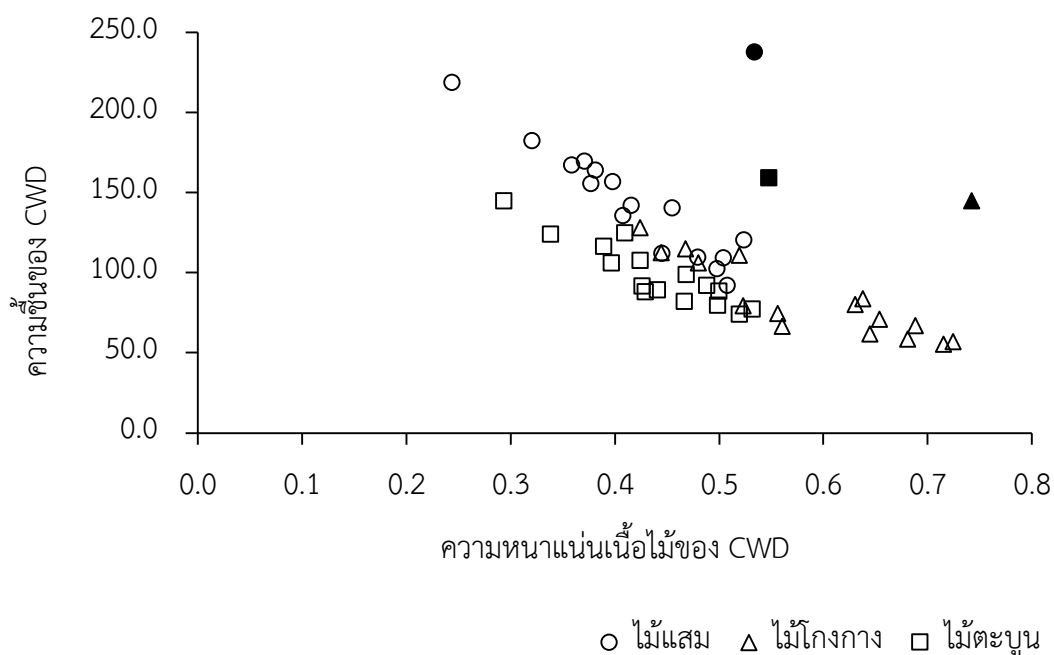


ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ (กรัม/ลบ.ซม.) และอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD (กรัม CO₂/กก. CWD/วัน)

ตารางที่ 15 ผลของความหนาแน่นเนื้อไม้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความชื้นของ CWD ต่ออัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ระหว่างชนิดไม้ (n=144) ซึ่งวิเคราะห์โดย linear mixed effects model

| พารามิเตอร์ | F-value | P-value | AIC |
|---|---------|----------|--------|
| ความหนาแน่นเนื้อไม้ | 103.29 | < 0.0001 | 292.03 |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง | 1.9027 | 0.170 | 322.32 |
| ความชื้นของ CWD | 154.54 | < 0.0001 | 201.16 |
| ความหนาแน่นเนื้อไม้ x ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง | 0.0044 | 0.947 | 293.32 |
| ความหนาแน่นเนื้อไม้ x ความชื้นของ CWD | 15.233 | 0.0001 | 196.33 |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง x ความชื้นของ CWD | 10.100 | 0.002 | 198.25 |
| ความหนาแน่นเนื้อไม้ x ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง x ความชื้นของ CWD | 2.1318 | 0.146 | 181.40 |

AIC: Akaike's information criterion



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ (กรัม/ลบ.ซม.) กับความชื้นของ CWD (%) (สัญลักษณ์โปร่ง) และความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเนื้อไม้ (กรัม/ลบ.ซม.) กับความชื้นของไม้ที่มีชีวิต (%) (สัญลักษณ์ทึบ)

5.3.5 การปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD รายปี

หลังจากสิ้นสุดการศึกษาการย่อยสลายของ CWD ในระยะเวลา 1 ปี พบว่าระดับการย่อยสลายของ CWD ของไม้ทุกชนิดเมื่อเริ่มศึกษาที่อยู่ใน class I ยังคงอยู่ใน class I เช่นเดิม ขณะที่ CWD ของไม้ทุกชนิดที่อยู่ใน class II เมื่อเริ่มศึกษาใช้ระยะเวลาประมาณ 360 วัน จึงเปลี่ยนไปเป็น class III (ภาพที่ 28) ลักษณะของ CWD class I II และ III ของไม้ทุกชนิดแสดงในภาพที่ 33 อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD แต่ละชนิดมีค่าสูงสุดที่ class III รองลงมาคือ class II และ I ตามลำดับ ($F = 27.569$, $P < 0.0001$, ตารางที่ 16)

ขณะที่มวลของ CWD ที่พบในแปลงศึกษาในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2557 และเดือนสิงหาคม พ.ศ.2558 มีค่ามากที่สุดในพื้นที่ไม้โกงกางคือ 9.89 ตัน/เฮกเตอร์ เขตไม้แสมและไม้ตะบูนมีมวลของ CWD เท่ากับ 3.04 และ 7.05 ตัน/เฮกเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 17 นำค่าอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ของไม้แต่ละชนิดและระดับการย่อยสลายมาคูณกับมวลของ CWD แต่ละ

ชนิดและระดับการย่อยสลาย ยกเว้น CWD ที่อยู่ใน class III เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 360 วัน ในการเปลี่ยนจาก class II เป็น class III จึงคำนวณอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD class III ของไม้แต่ละชนิดจากอัตราการปลดปล่อย CO₂ ของ CWD class II ของไม้ชนิดนั้น ๆ คูณกับมวลของ CWD

อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD รายปี พบว่ามีค่ามากที่สุดในเขตไม้ โกงกางคือ 0.52 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี เนื่องจากมีมวลของ CWD มากที่สุด รองลงมาคือเขตไม้ ตะบูนมีค่าการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD เท่ากับ 0.28 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี และ เขตไม้แสมมีค่าการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD เท่ากับ 0.22 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี



ภาพที่ 33 ลักษณะของ CWD ของไม้ทั้งสามชนิดที่อยู่ในระดับการย่อยสลายต่าง ๆ

ตารางที่ 16 การปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ในแต่ละระดับการย่อยสลายของไม้แสม ไม้โกงกาง และไม้ตะบูน

| | ระดับการย่อยสลาย | อัตราการหายใจ (กรัม CO ₂ /กก. CWD/วัน) |
|-----------|------------------|---|
| ไม้แสม | I | 0.359±0.099 ^c |
| | II | 1.583±0.459 ^b |
| | III | 2.778±0.254 ^a |
| ไม้โกงกาง | I | 0.187±0.017 ^c |
| | II | 0.288±0.062 ^b |
| | III | 0.490±0.007 ^a |
| ไม้ตะบูน | I | 0.194±0.029 ^c |
| | II | 0.272±0.049 ^b |
| | III | 0.461±0.063 ^a |

ค่าเฉลี่ย±1SD

ความแตกต่างของตัวอักษรภาษาอังกฤษในแต่ละแถวแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการหายใจของ CWD ในแต่ละระดับการย่อยสลายที่ $P < 0.0001$ ซึ่งวิเคราะห์โดย one-way ANOVA และวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT)

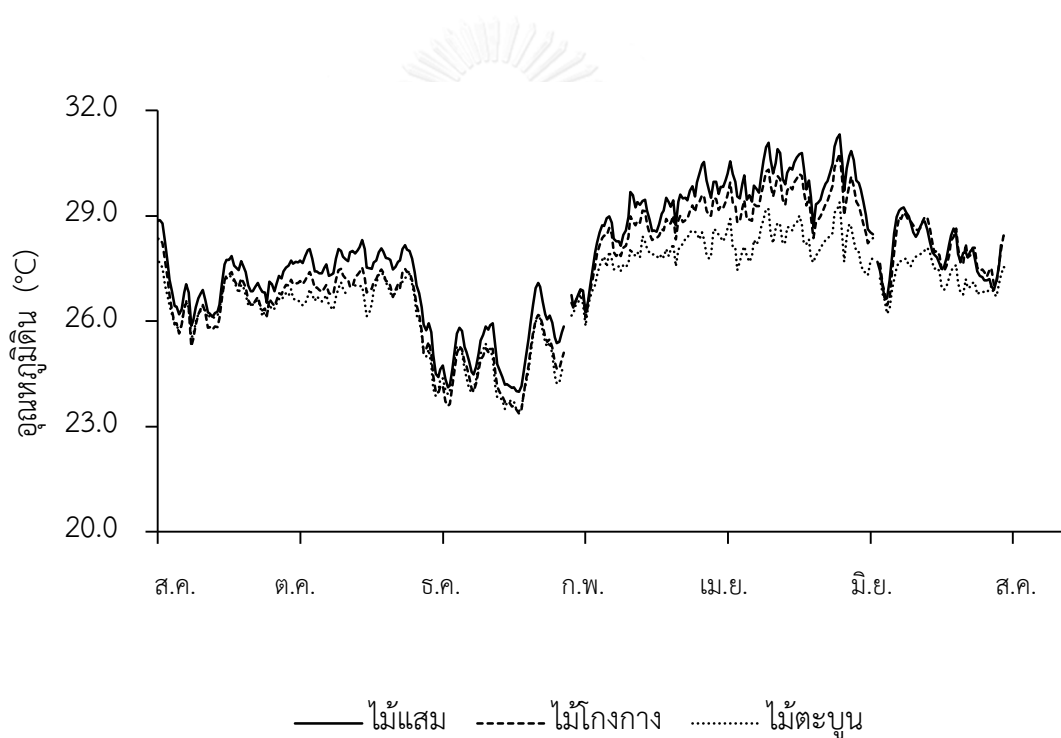
ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยมวลของ CWD class I II และ III ในเขตไม้แสม โกงกาง และตะบูน ระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2558

| เขตพันธุ์ไม้ | ประเภทของ CWD | มวลของ CWD (ตัน/เฮกแตร์/ปี) | | | |
|--------------|--------------------|-----------------------------|------|------|---------|
| | | I | II | III | ทั้งหมด |
| ไม้แสม | downed wood | 0.40 | 0.45 | 0.07 | 0.92 |
| | stump | - | 0.01 | - | 0.01 |
| | standing dead tree | 1.70 | 0.41 | - | 2.11 |
| ไม้โกงกาง | downed wood | 1.31 | 1.45 | 0.13 | 2.89 |
| | stump | - | - | - | - |
| | standing dead tree | 6.00 | 2.00 | - | 7.00 |
| ไม้ตะบูน | downed wood | 0.37 | 0.40 | 0.02 | 0.79 |
| | stump | - | - | - | - |
| | standing dead tree | 0.38 | 5.88 | - | 6.26 |

(-) ไม่พบในแปลงศึกษา

5.3.6 การหายใจของดิน

อุณหภูมิดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเขตพันธุ์ไม้ ($F= 35.778, P < 0.0001$) โดยเขตไม้แสมมีอุณหภูมิดินสูงที่สุด รองลงมาคือเขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ อุณหภูมิดินเฉลี่ยในเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน มีค่าเท่ากับ 27.84, 27.38 และ 26.89 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ภาพที่ 34 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิดินมีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคมถึง พฤษภาคม เมื่อใช้อุณหภูมิดินประมาณการหายใจของดินพบว่าอัตราการหายใจของดินมีค่าเท่ากับ 2.30, 2.20 และ 2.12 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี สำหรับเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินทุก ๆ 30 นาที ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2558

5.4 อภิปรายผลการศึกษา

5.4.1 การย่อยสลายของ CWD

เมื่อพิจารณา $T_{0.95}$ ที่ประมาณจากค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลาย พบว่าเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย CWD ของพันธุ์ไม้เด่นทั้งสามชนิดในป่าชายเลนทุดิยภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 10–16 ปี โดย CWD ของไม้แสมใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเร็วกว่าไม้ชนิดอื่น ๆ (9–12 ปี) อาจเนื่องมาจาก CWD ของไม้แสมอยู่ในเขตแสมซึ่งอยู่ติดแม่น้ำ จึงได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลมากกว่าเขตพันธุ์ไม้อื่น ๆ ประกอบกับ CWD ของไม้แสมมีความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำ จึงทำให้เกิดการย่อยสลายได้ง่าย ขณะที่ CWD ของไม้โกงกางใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานที่สุด (16 ปี) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลน้อยกว่าเขตไม้แสม และมีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูง ส่วน CWD ของไม้ตะบูน แม้ว่าจะได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลน้อยกว่าเขตไม้โกงกาง แต่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายน้อยกว่า CWD ของไม้โกงกาง เนื่องจากมีความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่ำกว่า

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายของ CWD ในป่าชายเลนกับระบบนิเวศป่าต่าง ๆ (ตารางที่ 18) พบว่าการย่อยสลายของ CWD ในป่าชายเลนในการศึกษานี้ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเร็วกว่าเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย CWD ในป่าชายเลนจากการศึกษาของ Robertson และ Daniel (1989) ที่พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย CWD ในป่าชายเลนที่ออสเตรเลียคือ 28–36 ปี นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายของ CWD ในป่าชายเลนในการศึกษานี้เร็วกว่าการย่อยสลายของ CWD ในป่าเขตอบอุ่นและป่าเขตกึ่งร้อนที่มีค่าอยู่ในช่วง 22–429 และ 19–27 ปี ตามลำดับ แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย CWD ของป่าชายเลนกลับมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายของ CWD ในป่าบกเขตร้อนที่ประเทศเม็กซิโก ที่พบว่าระยะเวลาในการย่อยสลายมีค่าอยู่ในช่วง 3–24 ปี ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นผลมาจากชนิดไม้ที่แตกต่างกัน และความแตกต่างของพื้นที่ที่ส่งผลต่อลักษณะของภูมิอากาศและชนิดของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ย่อยสลาย อย่างเช่น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความชื้นจะช่วยสนับสนุนกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย CWD (Li et al., 2007) สำหรับปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการย่อยสลายของ CWD ในป่าชายเลนจะอธิบายในหัวข้อการหายใจของ CWD เนื่องจากการหายใจของ CWD เป็นกระบวนการสำคัญของการย่อยสลาย CWD

ตารางที่ 18 อัตราการย่อยสลาย ละติจูดของพื้นที่ศึกษา อุณหภูมิอากาศ และระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย CWD ในระบบนิเวศป่าต่าง ๆ

| สถานที่ | ละติจูด | อุณหภูมิอากาศ(°C) | k (ต่อปี) | T0.95 (ปี) | อ้างอิง |
|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------|------------|---------------------------------|
| <i>ป่าเขตอบอุ่น</i> | | | | | |
| Vancouver, Canada | 49°15'N | 10.0 | 0.022 | 136 | Stone และคณะ (1998) |
| North Carolina, USA | 44°37'N | 6–13 | 0.069 | 43 | Schowalter และคณะ (1998) |
| Washington D.C., USA | 45°49'N | 8.7 | 0.007–0.036 | 83–429 | Janisch และคณะ (2005) |
| Australia | 35°25'– 35°33'N | 7.3–19.5 | 0.127 | 24 | Mackensen และ Bauhus (2003) |
| New Zealand | 38°13'S | 14.8 | 0.137 | 22 | Garrett และคณะ (2008) |
| Ireland | 52°24'– 53°08'N | 9.3 | 0.047–0.059 | 51–64 | Tobin และคณะ (2007) |
| Germany | 51°18'N | 7.0 | 0.089 | 34 | Muller-Using and Bartsch (2009) |
| Korea | 38°0'– 38°5'N | 9.9 | 0.106 | 28 | Yoon และคณะ (2011) |
| <i>ป่าเขตร้อน</i> | | | | | |
| South China | 23°09'– 23°11'N | 21.5 | 0.110–0.157 | 19–27 | Yang และคณะ (2010) |
| <i>ป่าบกเขตร้อน</i> | | | | | |
| South Mexico | 18°49'N | 25.0 | 0.124–0.643 | 3–24 | Eaton และ Lawrence (2006) |
| <i>ป่าชายเลน</i> | | | | | |
| Queensland, Australia | 18°15'S | - | 0.083–0.108 | 28–36 | Robertson และ Daniel (1989) |

5.4.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการศึกษา สอดคล้องกับการศึกษาของ Robertson และ Daniel (1989) ที่ศึกษาการย่อยสลายของ CWD ในป่าชายเลนที่ประเทศออสเตรเลีย และพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของ CWD ในป่าชายเลนมีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 เดือนแรกของการย่อยสลาย จากนั้นอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของ CWD มีการลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งการศึกษาของ Robertson และ Daniel (1989) เห็นการเปลี่ยนแปลงได้เร็วกว่าการศึกษานี้เนื่องจาก CWD ที่ใช้ศึกษาการย่อยสลายของ Robertson และ Daniel (1989) มีขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ≤ 1 ซม.)

การลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่เป็นผู้ย่อยสลาย เนื่องจาก CWD มักอยู่บนพื้นดิน ส่งผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่เป็นผู้ย่อยสลายได้มากขึ้น (Palviainen et al., 2010; Noh et al., 2017) นอกจากนี้ไนโตรเจนยังอาจมากับน้ำ ในระหว่างการขึ้นลงของน้ำทะเล (Reef et al., 2010) สำหรับปริมาณคาร์บอนจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักอาจเนื่องมาจากระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษามีช่วงสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การศึกษาของ Yang และคณะ (2010) ที่ศึกษาการย่อยสลายของ CWD ในป่าเขตกึ่งร้อน ทางตอนใต้ของ ประเทศจีน และพบว่าปริมาณคาร์บอนลดลงอย่างรวดเร็วหลังจาก CWD ถูกย่อยสลายไป 5 ปี แสดงให้เห็นว่า CWD มีการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศอย่างช้า ๆ CWD จึงเป็น องค์ประกอบที่สำคัญในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศ และยังเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจน ที่สำคัญอีกด้วย

5.4.3 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ที่วัดโดยวิธี GC และ SL

อัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ที่วัดด้วยวิธี SL ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าไม่แตกต่างจากอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจที่วัดด้วยวิธี GC ซึ่งความแม่นยำในการวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ขึ้นอยู่กับปริมาณของ CO₂ ในกล่องวัดอัตราการหายใจและขนาดของกล่องวัดอัตราการหายใจ เนื่องจากทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อการแพร่ของ CO₂ ภายใน

กล่อง ดังเช่นการศึกษาของ Nay และคณะ (1994) ได้แสดงให้เห็นว่าที่อัตราการหายใจของดินต่ำ ๆ (2.9 และ 5.8 กรัม CO₂/ตร.ม./วัน) การวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของดินด้วยวิธี SL จะได้ค่า CO₂ ที่สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากที่อัตราการหายใจต่ำ ๆ มีความเข้มข้นของ CO₂ ภายในกล่องน้อย โมเลกุลของ CO₂ (ประกอบไปด้วยโมเลกุลของ CO₂ ที่ถูกปล่อยจากตัวอย่าง CWD และ CO₂ ที่มีอยู่เดิม) เกิดการแพร่ได้ดี SL จึงสามารถดูดซับ CO₂ ได้มาก แต่ที่อัตราการหายใจของดินสูง ๆ (18.5 กรัม CO₂/ตร.ม./วัน) การวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของดินด้วยวิธี SL มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากความเข้มข้นของ CO₂ ภายในกล่องมีมาก ทำให้การแพร่ของ CO₂ ภายในกล่องน้อยกว่าที่ความเข้มข้นของ CO₂ ต่ำ ๆ SL จึงดูดซับ CO₂ ได้น้อย นอกจากนี้ที่อัตราการหายใจสูง ๆ การดูดซับ CO₂ อาจถูกจำกัดด้วยปริมาณของ SL เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kirita และ Hozumi (1966) ที่ใช้สารละลาย KOH ในการดูดซับ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากการหายใจของดิน โดยพบว่าการดูดซับ CO₂ ลดลงตามปริมาณสารละลาย KOH ที่เหลืออยู่ แม้ว่าสารละลาย KOH จะมีสถานะเป็นของเหลว SL มีสถานะเป็นของแข็ง แต่น่าจะมีความสามารถในการดูดซับ CO₂ ที่คล้ายคลึงกัน

อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD โดยวิธี GC และ SL ที่ได้ในการศึกษานี้ไม่แตกต่างจากเส้น 1:1 แสดงว่าอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจที่ได้จากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ของไม้ป่าชายเลนทั้งสามชนิดนี้สามารถวัดได้ด้วยวิธี SL ซึ่งมีข้อดีคือมีราคาถูกและสามารถวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ในป่าชายเลนซึ่งมีสภาพเป็นดินเลนและมีน้ำทะเลท่วมถึงสม่ำเสมอได้ง่ายกว่าการวัดอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD โดยวิธี GC

5.4.4 เปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของ CWD ระหว่างชนิดไม้

อัตราการหายใจของไม้ทั้งสามชนิดแตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นเนื้อไม้และความชื้นของ CWD เมื่อเปรียบเทียบความชื้นของ CWD ที่ระดับความหนาแน่นเนื้อไม้มากกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม. กับความชื้นของไม้ที่มีชีวิต จะเห็นว่าความชื้นของ CWD ที่ระดับความหนาแน่นเนื้อไม้มากกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม. มีค่าน้อยกว่าความชื้นของไม้ที่มีชีวิต เนื่องจากไม้ที่ตายใหม่ ๆ

เกิดการสูญเสียน้ำจากเซลล์หลังการตาย (Markstrom et al., 1977) และเมื่อ CWD ถูกย่อยสลายมากขึ้นโดยสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ย่อยสลาย ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD มีค่าลดลง ประกอบกับ CWD ในป่าชายเลนถูกน้ำท่วมสม่ำเสมอ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ความชื้นของ CWD ที่ระดับความหนาแน่นเนื้อไม้น้อยกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม. มีค่าเพิ่มขึ้นตามการลดลงของความหนาแน่นเนื้อไม้

ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ไม้โกงกางที่ตายใหม่ ๆ (ความหนาแน่นเนื้อไม้มากกว่า 0.500 กรัม/ลบ.ซม.) มีค่าสูงใกล้เคียงกับความหนาแน่นเนื้อไม้ของไม้โกงกางที่มีชีวิต ขณะที่ความชื้นของ CWD ไม้โกงกางที่ตายใหม่ ๆ มีค่าต่ำ จนเมื่อความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ไม้โกงกางลดลงถึงประมาณ 0.500 กรัม/ลบ.ซม. ความชื้นของ CWD มีค่าเพิ่มขึ้นตามการลดลงของความหนาแน่นเนื้อไม้ สำหรับความชื้นของ CWD ไม้ตะบูนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเนื้อไม้ลดลงเช่นกัน ส่วน CWD ไม้แสมและไม้แสมที่มีชีวิตมีความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่ำที่สุด และมีความชื้นสูงที่สุด ซึ่งความหนาแน่นเนื้อไม้ที่มีค่าต่ำของไม้แสมสอดคล้องกับความหนาแน่นเนื้อไม้กับการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของไม้เบิกนำชนิดต่าง ๆ ในป่าชายเลนที่รายงานโดย Komiyama และคณะ (2005) นอกจากนี้ความชื้นของ CWD ของไม้แสมมีค่าสูง เนื่องจาก CWD ของไม้แสมมีความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่ำและระยะเวลาการท่วมของน้ำในเขตไม้แสมยาวนานกว่าเขตพันธุ์ไม้อื่น ๆ ส่งผลให้เนื้อไม้อ่อนนุ่มได้ง่ายขึ้น จึงเกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่าไม้ชนิดอื่น ๆ

สำหรับการหายใจของ CWD ในป่าบก พบว่าการหายใจของ *Quercus variabilis* CWD (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 6.1–17.2 ซม.) ในป่าเขตอบอุ่นของประเทศเกาหลีมีค่าเท่ากับ 0.76–1.06 กรัม CO₂/กก. CWD/วัน มีความชื้นของ CWD อยู่ในช่วง 26–33% (Yoon et al., 2014) ขณะที่การหายใจของ CWD ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 5.0–19.4 ซม. ที่ป่าทากายามาตอนกลางของประเทศญี่ปุ่น มีค่าเท่ากับ 0.29–0.51 กรัม CO₂/กก. CWD/วัน มีความชื้นของ CWD อยู่ในช่วง 128.1–208.8% (Ohtsuka et al., 2014) ในการศึกษาครั้งนี้ CWD ที่ศึกษามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงเดียวกับทั้งสองการศึกษาที่กล่าวมา แต่มีการหายใจของ CWD อยู่ในช่วง 0.262–1.348 กรัม CO₂/กก. CWD/วัน และมีความชื้นของ CWD อยู่ในช่วง 82.76–142.0% ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่กว้างกว่าการหายใจของ CWD ในป่าเขตอบอุ่น โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของ CWD รวมทั้งความชื้นของ CWD ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการหายใจของ CWD เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยที่สนับสนุนกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นผู้ย่อยสลาย ส่งผลให้อัตราการหายใจของ CWD ในป่าบกมีค่าเพิ่มขึ้น (Rayner and Boddy, 1988;

Barker, 2008; Forrester et al., 2012; Olajuyigbe et al., 2012) แต่ในป่าชายเลนที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมแตกต่างจากป่าบก ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างการหายใจของ CWD ในป่าชายเลนและป่าบกจึงอาจเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น การท่วมของน้ำทะเล และความเค็มของน้ำทะเล เป็นต้น นอกจากนี้การย่อยสลายยังขึ้นอยู่กับสิ่งมีชีวิตที่กินไม้เป็นอาหาร (Distel, 2003) ตัวอย่างของสิ่งมีชีวิตที่พบใน CWD ได้แก่ ปูแสม หนอน สิ่งมีชีวิตกลุ่มครัสเตเชียน โดยส่วนใหญ่พบใน CWD ไม้แสม จากนั้นจึงเป็นกลุ่มราที่เข้ามาย่อยสลายเนื้อไม้ ราที่เคยมีรายงานว่าพบบน CWD ของไม้ป่าชายเลนในประเทศไทยเป็นราที่อยู่ในกลุ่มแอสโคไมโคตา เบสิดิโอไมโคตา รวมทั้งราที่ยังไม่สามารถระบุชนิดได้อีกจำนวนมาก (ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ และสำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, 2557) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าชนิดราที่พบบน CWD ของไม้แต่ละชนิดแตกต่างกัน เช่น *Eutypella naqsii* และ *Julella avicenniae* เป็นราที่พบบน CWD ไม้แสม ขณะที่ *Cytospora rhizophorae* และ *Rhizophila marina* เป็นราที่พบบน CWD ไม้โกงกาง ส่วนราที่พบบน CWD ไม้ตะบูน ได้แก่ *Coronopapilla mangrovei* (Sarma and Hyde, 2001) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ยังไม่เพียงพอที่จะสรุปได้อย่างละเอียดว่าปัจจัยใดที่ส่งผลให้การหายใจของ CWD ในป่าชายเลนแตกต่างจากป่าบก การศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ต่อการหายใจของ CWD จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาต่อไปในอนาคต

การหายใจต่อปีของ CWD ซึ่งคำนวณจากผลคูณของอัตราการหายใจและมวลของ CWD ทั้งหมด พบว่าการหายใจของ CWD เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.34 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ขณะที่การหายใจของ CWD ในป่าชายเลนพบเพียงการศึกษาของ Troxler และคณะ (2015) ที่รายงานว่า การหายใจของ CWD ในป่าชายเลนเขตกึ่งร้อนที่รัฐฟลอริดาซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 10 ซม. มีค่าเท่ากับ 1.6 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี แต่เหตุผลที่จะอภิปรายความแตกต่างระหว่างการหายใจของ CWD ในป่าชายเลนเขตกึ่งร้อนและเขตร้อนยังไม่ชัดเจน เนื่องจากขาดข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจากการศึกษาของ Troxler และคณะ (2015) เช่น ปริมาณของ CWD ที่พบ ระดับการย่อยสลายของ CWD และรูปแบบการท่วมของน้ำทะเล เป็นต้น

5.4.5 เปรียบเทียบอัตราการหายใจของ CWD และการหายใจของดิน

การหายใจของดินในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ที่ได้จากการศึกษานี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษาในพื้นที่เดียวกัน และพบว่าการหายใจของดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างจากแม่น้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าการหายใจของดินขึ้นกับอุณหภูมิดิน ในเขตไม้แสมซึ่งมีอุณหภูมิดินสูงที่สุด จึงพบว่าการหายใจของดินสูงที่สุดเช่นกัน Pongparn และคณะ (2009) ได้อธิบายไว้ว่าอุณหภูมิดินที่มีค่าสูงในเขตไม้แสม เกิดจากเขตไม้แสมถูกน้ำท่วมเป็นระยะเวลา นานกว่าเขตพันธุ์ไม้อื่น ๆ น้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนจึงเป็นตัวชักนำให้อุณหภูมิดินในเขตนี้มีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้จะกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้การหายใจของดินมีค่าสูง

การหายใจของ CWD ในป่าชายเลนอาจถูกจำกัดด้วยการท่วมของน้ำทะเลเช่นเดียวกับการหายใจของดิน การหายใจของดินในป่าชายเลนมีค่าต่ำกว่าการหายใจของดินในป่าบก เนื่องจากดินในป่าชายเลนถูกท่วมโดยน้ำทะเลสม่ำเสมอ (Lovelock, 2008; Pongparn et al., 2009; Troxler et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินลดลงเมื่อระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น เนื่องจากขณะที่น้ำท่วม ดินมีสถานะขาดออกซิเจน ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของการปลดปล่อย CO₂ จากการหายใจของดิน แต่กลับไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มของดินกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (Chambers et al., 2001)

การหายใจของดินเฉลี่ยจากทุกเขตพันธุ์ไม้ในการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 2.21 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ขณะที่การหายใจของ CWD มีค่าเท่ากับ 0.34 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งคิดเป็น 15% ของการหายใจของดิน ขณะที่การศึกษาของ Troxler และคณะ (2015) รายงานว่าการหายใจของ CWD มีค่าเท่ากับ 1.6 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี คิดเป็น 33% ของการหายใจของดิน (4.8 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) จากทั้งสองการศึกษาที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการหายใจของ CWD มีค่าต่ำกว่าการหายใจของดิน อย่างไรก็ตามอัตราการตายของต้นไม้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิด CWD ซึ่งส่งผลต่อค่าการหายใจของ CWD ป่าชายเลนซึ่งตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งจึงอาจได้รับอิทธิพลจากความรุนแรงของพายุที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน อันเป็นสาเหตุให้อัตราการตายของต้นไม้สูงขึ้น ดังเช่นการศึกษาของ Kauffman และ Cole (2010) ที่รายงานว่าอัตราการตายของต้นไม้ในป่าชายเลนที่ไมโครนีเซียซึ่งได้รับอิทธิพลจากพายุไต้ฝุ่น มีอัตราการตายค่อนข้างสูง (6-32%) และมีมวล

ของ CWD สูงถึง 34.8 ตัน/เฮกแตร์ ดังนั้นการหายใจของ CWD จึงควรถูกรวมในการประมาณ NEP ของป่าชายเลนในกรณีดังกล่าว



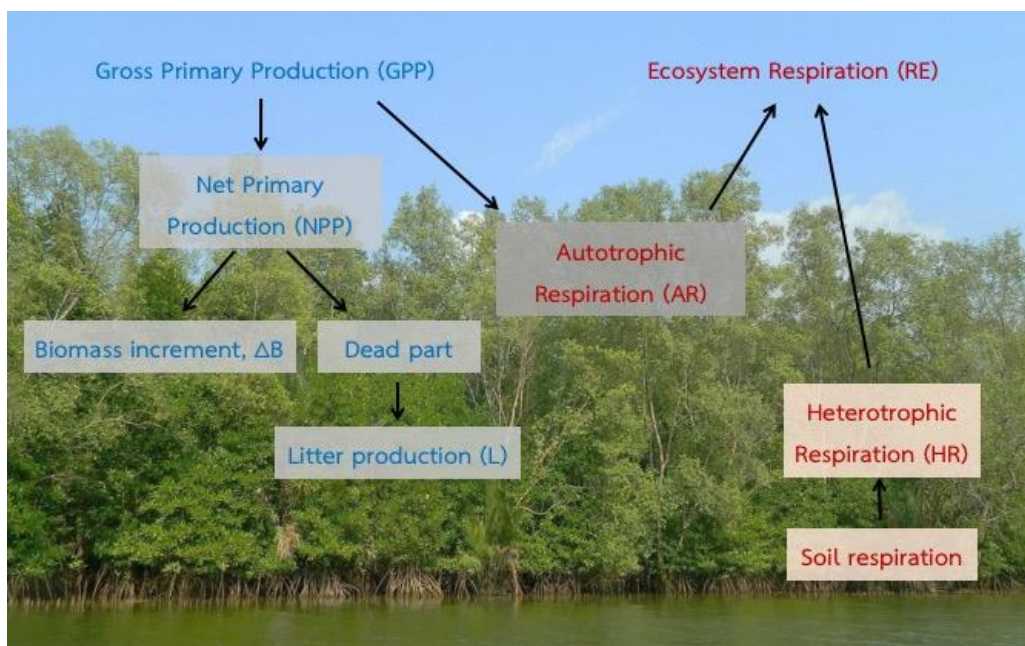
บทที่ 6

สมดุลคาร์บอนของซากเนื้อไม้หายาบ

6.1 บทนำและตรวจสอบเอกสาร

จากบทที่ 4 และ 5 จะเห็นได้ว่ามวลของ CWD ที่เพิ่มพูนมีค่าสูง ขณะที่การหายใจของ CWD มีค่าต่ำ ในบทนี้จะทำการดุลคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูนและคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD ดังเช่นการศึกษาของ Lie และคณะ (2006) ที่ศึกษาสมดุลคาร์บอนของ CWD ในป่าเขตอบอุ่นที่รัฐแมสซาชูเซตส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา และพบว่าสมดุลคาร์บอนของ CWD มีค่าเป็นบวกคือ 0.35 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี แสดงว่าคาร์บอนยังคงกักเก็บอยู่ใน CWD มากกว่าการปลดปล่อยคาร์บอนในรูปของ CO₂ จากการหายใจของ CWD เช่นเดียวกับการศึกษาของ Jomura และคณะ (2007) ที่รายงานว่าสมดุลคาร์บอนของ CWD ในป่าเขตอบอุ่น ที่ประเทศญี่ปุ่น มีค่าเท่ากับ 0.11 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบเอกสารยังไม่พบการศึกษาสมดุลคาร์บอนของ CWD ในป่าชายเลน

การศึกษาของ Ohtsuka และคณะ (2007) ได้ประมาณผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production; NEP) ในป่าเขตอบอุ่น ที่ประเทศญี่ปุ่น โดยคิดรวมสมดุลคาร์บอนของ CWD พบว่าเมื่อรวมสมดุลคาร์บอนของ CWD ในการประมาณ NEP ทำให้ป่าเขตอบอุ่นมีค่าการกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดย NEP มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นจาก 0 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี เป็น 1.0 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี อย่างไรก็ตามสมดุลคาร์บอนของ CWD ไม่เคยถูกนำมาคำนวณในการประมาณ NEP ของระบบนิเวศป่าชายเลนดังที่กล่าวในข้างต้น (ภาพที่ 35) นอกจากนี้ป่าชายเลนซึ่งอยู่ตามแนวชายฝั่งมีโอกาสสูงที่จะได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนมากยิ่งขึ้น เช่น ความรุนแรงของพายุที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล อาจส่งผลให้ปริมาณ CWD สะสมในป่าชายเลนเพิ่มขึ้น ประกอบกับการย่อยสลายของ CWD ในป่าชายเลนค่อนข้างช้า คาร์บอนจึงยังถูกกักเก็บอยู่ใน CWD เป็นเวลานาน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณสมดุลคาร์บอนของ CWD ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ เพื่อใช้ร่วมในการประมาณ NEP ของระบบนิเวศป่าชายเลนโดยวิธี summation method



ภาพที่ 35 ภาพรวมแนวคิดของการประมาณ NEP ในป่าชายเลน โดยวิธี summation method (Poungparn et al., 2012)

6.2 วิธีการศึกษา

ประมาณปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของป่า ได้แก่ มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และมวลของ CWD ที่เพิ่มพูน โดยอ้างอิงว่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชคิดเป็น 50% ของน้ำหนักแห้งโดยประมาณ (Dixon et al., 1994; Losi et al., 2003) เพื่อแปลงปริมาณน้ำหนักแห้งเป็นปริมาณคาร์บอน

6.2.1 สมดุลคาร์บอนของซากเนื้อไม้หยาบ

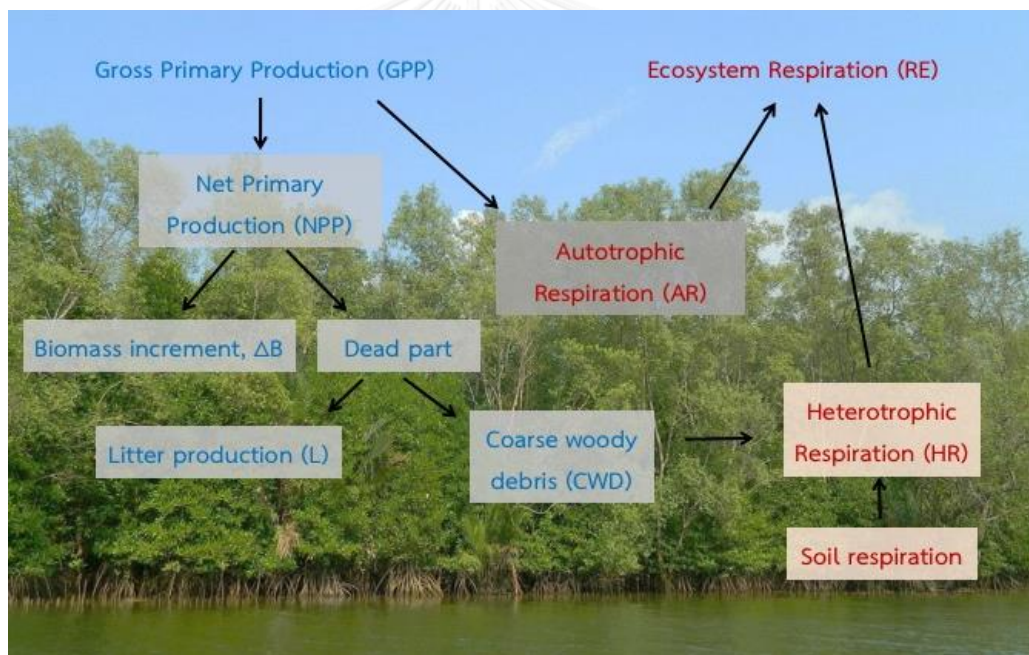
ประมาณสมดุลคาร์บอนของซากเนื้อไม้หยาบในแต่ละเขตพันธุ์ไม้จากผลต่างของปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูน และปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD โดยปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูนคำนวณจากมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนระหว่างปี พ.ศ.2557–2558 ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 และปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD คำนวณจากอัตราการหายใจของ CWD ทั้งหมดที่พบในแปลงศึกษาระหว่างปี พ.ศ.2557–2558 ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 5

6.2.2 ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP)

NEP ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้คำนวณจากผลต่างของผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (net primary production; NPP) และการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic respiration; HR) ซึ่ง NPP ประกอบด้วยมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB) ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L) และมวลของ CWD ที่เพิ่มพูน (ΔCWD) ระหว่างปี พ.ศ.2557–2558 ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ขณะที่ HR ประกอบด้วย การหายใจของดิน (SR) และการหายใจของ CWD (R_{CWD}) ระหว่างปี พ.ศ.2557–2558 ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 5 (ภาพที่ 36)

$$NEP = NPP - HR$$

$$NEP = (\Delta B + L + \Delta CWD) - (SR + R_{CWD})$$



ภาพที่ 36 การประมาณ NEP โดยวิธี summation method ที่ได้จากการศึกษา

6.3 ผลการศึกษา

6.3.1 สมดุลคาร์บอนของ CWD

แม้ว่าในเขตไม้โกงกางมีปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD สูงกว่าเขตพันธุ์ไม้อื่น ๆ แต่ก็มีปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูนสูงที่สุดเช่นกัน (ตารางที่ 19) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD กับปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูนในเขตไม้โกงกาง พบว่าปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD มีค่าเพียง 12% ของปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูน จึงทำให้สมดุลคาร์บอนของ CWD ในเขตไม้โกงกางจึงมีค่ามากที่สุดคือ 3.81 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี สมดุลคาร์บอนของ CWD ในเขตไม้แสมมีค่าเท่ากับ 0.98 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งมีค่ามากกว่าสมดุลคาร์บอนของ CWD ในเขตไม้ตะบูน (0.52 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) เนื่องจากเขตไม้แสมมีปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูนสูงกว่า และมีปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD ต่ำกว่าเขตไม้ตะบูน โดยสัดส่วนปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD ต่อปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูนในเขตไม้แสมจะมีค่าเท่ากับ 19% ขณะที่เขตไม้ตะบูนมีสัดส่วนปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD ต่อปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูนสูง คือมีค่าเท่ากับ 35%

ตารางที่ 19 ปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูน ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD และสมดุลคาร์บอนของ CWD ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ ระหว่างปี พ.ศ.2557–2558

| งบประมาณคาร์บอน (ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) | เขตไม้แสม | เขตไม้โกงกาง | เขตไม้ตะบูน |
|---|-----------|--------------|-------------|
| CWD ที่เพิ่มพูน (Δ CWD) | 1.21 | 4.33 | 0.80 |
| การหายใจของ CWD (R_{CWD}) | 0.22 | 0.52 | 0.28 |
| สมดุลคาร์บอนของ CWD (Δ CWD – R_{CWD}) | 0.99 | 3.81 | 0.52 |

6.3.2 ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP)

แม้ว่ามวลชีวภาพที่เพิ่มพูนในเขตไม้แสมมีค่าสูงที่สุด แต่เขตไม้โกงกางมีมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนสูงกว่าเขตไม้แสมมากกว่า 3 เท่า จึงทำให้ NPP ของเขตไม้โกงกางมีค่าสูงที่สุด ส่วนเขตไม้ตะบูนมีมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนน้อยกว่าเขตพันธุ์ไม้อื่น ๆ ดังนั้น NPP ของเขตไม้ตะบูนจึงมีค่าน้อย

HR ของป่าชายเลนประกอบด้วยการหายใจของดินและการหายใจของ CWD ซึ่งพบว่า HR มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ (2.40–2.72 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์/ปี) โดยองค์ประกอบของ HR ส่วนใหญ่มาจากการหายใจของดิน ขณะที่การหายใจของ CWD มีค่าน้อยกว่าการหายใจของดิน คิดเป็น 10–24% ของการหายใจของดิน เมื่อเปรียบเทียบ HR กับ NPP พบว่า HR มีค่าน้อยกว่า NPP โดยในเขตไม้แสมและเขตไม้โกงกางพบว่าค่า HR คิดเป็น 22 และ 23% ของ NPP ตามลำดับ แต่เขตไม้ตะบูนมีค่า HR ถึง 40% ของ NPP ดังนั้นเมื่อดุลคาร์บอนระหว่าง NPP และ HR จึงพบว่าเขตไม้โกงกางมีค่า NEP สูงที่สุด รองลงมาคือเขตไม้แสม และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 งบประมาณคาร์บอนในองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบนิเวศป่าชายเลน ได้แก่ มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น มวลของ CWD ที่เพิ่มพูน ผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (NPP) การหายใจของดิน การหายใจของ CWD การหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (HR) และผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP) ในแต่ละเขตพันธุ์ไม้ ระหว่างปี พ.ศ.2556–2558

| งบประมาณคาร์บอน (ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) | เขตไม้แสม | เขตไม้โกงกาง | เขตไม้ตะบูน |
|--|-----------|--------------|-------------|
| มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB) | 5.25 | 2.58 | 1.30 |
| ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น (L) | 4.89 | 4.94 | 3.87 |
| มวลของ CWD ที่เพิ่มพูน (ΔCWD) | 1.21 | 4.33 | 0.80 |
| NPP ($\Delta B + L + \Delta CWD$) | 11.4 | 11.9 | 5.97 |
| การหายใจของดิน (SR) | 2.30 | 2.20 | 2.12 |
| การหายใจของ CWD (R_{CWD}) | 0.22 | 0.52 | 0.28 |
| HR ($SR + R_{CWD}$) | 2.52 | 2.72 | 2.40 |
| NEP ($NPP - HR$) | 8.88 | 9.18 | 3.57 |

6.4 อภิปรายผลการศึกษา

6.4.1 สมดุลคาร์บอนของ CWD

CWD ที่เพิ่มพูนในการศึกษานี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.11 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งมากกว่า CWD ที่เพิ่มพูนในป่าเขตอบอุ่นที่รัฐแมสซาชูเซตส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (0.63 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) (Liu et al., 2006) และป่าเขตอบอุ่นที่ประเทศญี่ปุ่น (0.61 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) (Jomura et al., 2007) ขณะที่การหายใจของ CWD ในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าการหายใจของ CWD ในป่าเขตอบอุ่นที่ประเทศญี่ปุ่น (0.50 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) (Jomura et al., 2007) แต่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับการหายใจของ CWD ในป่าเขตอบอุ่นที่รัฐแมสซาชูเซตส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (0.28 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) (Liu et al., 2006) ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สมดุลคาร์บอนของ CWD ในการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าการศึกษาอื่น ๆ

6.4.2 ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศ (NEP)

เมื่อเปรียบเทียบ NEP ที่รวมสมดุลคาร์บอนของ CWD ในการศึกษานี้กับการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2012) พบว่า NEP ที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่า NEP จากการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2012) ที่ประมาณ NEP โดยไม่รวมสมดุลคาร์บอนของ CWD ในพื้นที่เดียวกันกับการศึกษานี้ เนื่องจากความหนาแน่นของต้นไม้เพิ่มขึ้นทุกเขตพันธุ์ไม้ ทำให้การเติบโตของต้นไม้โดยรวมลดลง ซึ่งเห็นได้ชัดจากการลดลงของมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ตารางที่ 21) นอกจากความหนาแน่นของต้นไม้ที่เพิ่มขึ้นแล้ว การเปลี่ยนแปลงแทนที่ยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มวลชีวภาพที่เพิ่มพูนในเขตไม้ผสมลดลง โดยพบว่ากลุ่มไม้เบิกนำซึ่งเป็นไม้ที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วมีการตายเพิ่มขึ้น ได้แก่ ไม้แสม และไม้ลำพู และมีไม้โกงกางเจริญเข้ามาแทนที่มากขึ้น แม้ว่า NEP ที่ได้จากการศึกษานี้จะมีค่าน้อยกว่า NEP ที่ได้จากการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2012) แต่การศึกษานี้ก็แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของ CWD ซึ่งหากไม่รวมสมดุลคาร์บอนของ CWD ในการประมาณ NEP จะทำให้ค่า NEP ที่ได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

นอกจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของ NEP ที่กล่าวมาแล้ว ผลผลิตรากฝอย (fine root production) ก็นับว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับระบบนิเวศป่าชายเลน เนื่องจากสัดส่วนของรากฝอยในป่าชายเลนมีมากถึง 40–90% ของมวลชีวภาพรากทั้งหมด (Jackson et al.,

1997) และรากฝอยยังมีอัตราการเวียนกลับเร็วกว่ารากขนาดใหญ่ ทำให้การประมาณมวลชีวภาพรากโดยใช้สมการแอลโลเมตรีได้ค่ามวลชีวภาพรากที่น้อยกว่าความเป็นจริง (Poungparn et al., 2016) ซึ่งผลผลิตรากฝอยจากการศึกษาในพื้นที่เดียวกันของ Poungparn และคณะ (2016) ในเขตไม้แสม ไม้โกงกาง และไม้ตะบูน มีค่าเท่ากับ 1.70, 2.04 และ 1.72 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ เมื่อรวมผลผลิตรากฝอยใน NEP ที่ได้จากการศึกษานี้พบว่า NEP มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 10.6, 11.2 และ 5.29 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี สำหรับเขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และเขตไม้ตะบูน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่า NEP ที่รวมผลผลิตรากฝอยกับมีค่า NEP ที่ไม่รวมผลผลิตรากฝอย พบว่า NEP มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 20–49%

เมื่อเปรียบเทียบ NEP ที่ได้จากการรวมผลผลิตรากฝอยกับการศึกษา NEP โดยวิธี eddy covariance ซึ่งเป็นการวัดการแลกเปลี่ยน CO_2 โดยตรงระหว่างเรือนยอดป่ากับบรรยากาศ จากการศึกษาของ Barr และคณะ (2006) (2010) และ (2012) ในป่าชายเลนเขตกึ่งร้อนที่รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมี *R. mangle* *A. germinans* และ *L. racemose* เป็นพันธุ์ไม้เด่น พบว่า NEP ที่ได้จากวิธี eddy covariance มีค่าอยู่ในช่วง 7.0–11.8 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ขณะที่ NEP ที่รวมผลผลิตรากฝอยในการศึกษานี้ของเขตไม้แสม และเขตไม้โกงกาง มีค่าอยู่ในช่วง 10.6–11.2 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี จะเห็นว่า NEP ในป่าชายเลนเขตร้อนในการศึกษานี้และเขตกึ่งร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว NEP ของป่าชายเลนในเขตร้อนควรจะมีค่าสูงกว่าเขตกึ่งร้อน อย่างไรก็ตาม การประมาณ NEP ในการศึกษานี้ไม่ได้รวมมวลซากรากหรือ coarse root debris เนื่องจากป่าชายเลนมีน้ำท่วมสม่ำเสมอ การศึกษาส่วนของซากรากซึ่งอยู่ใต้ดินจึงทำได้ยาก หากศึกษาในส่วนนี้ได้อาจทำให้ค่า NEP ที่ได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

ค่าเฉลี่ยของ NEP จากทั้งสามเขตพันธุ์ไม้ที่ได้จากการศึกษานี้ (7.21 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) มีค่าสูงกว่า NEP ของระบบนิเวศป่าอื่น ๆ ที่ศึกษาโดยวิธีเดียวกัน เช่น NEP ในป่าเขตอบอุ่นที่รัฐมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกามีค่าเท่ากับ 1.53 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี (Gough et al., 2007) ขณะที่ NEP ของป่าเขตอบอุ่นที่ประเทศญี่ปุ่นมีค่าเพียง 1.0 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี (Ohtsuka et al., 2007) ซึ่งความแตกต่างของ NEP ระหว่างระบบนิเวศป่าชายเลนกับป่าเขตอบอุ่นอาจเป็นผลมาจากหลายปัจจัยทั้งลักษณะโครงสร้างป่า และปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน รวมถึงความสมบูรณ์ของธาตุอาหารในป่าชายเลนที่ทำให้ต้นไม้ในป่าชายเลนเจริญเติบโตได้ดี (Onuf et al., 1977; Duarte et al., 1998)

นอกจากนี้ การศึกษาของ Yoneda และคณะ (2016) ศึกษา NEP ของป่าเขตร้อนในประเทศ มาเลเซียซึ่งมีไม้สกุล *Shorea* และ *Dipterocarp* เป็นพันธุ์ไม้เด่น พบว่า CWD เป็นแหล่งปลดปล่อย คาร์บอนที่สำคัญของระบบนิเวศป่านี้โดยเฉพาะเมื่อป่าถูกรบกวน เนื่องจากมีอัตราการย่อยสลายเร็ว ทำให้ระบบนิเวศป่าเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน (NEP มีค่าลบ) แต่จากการศึกษานี้จะเห็นว่า CWD ในป่าชายเลนมีการย่อยสลายช้ากว่า คาร์บอนจึงยังคงกักเก็บอยู่ใน CWD ของป่าชายเลนมากกว่า คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ อีกทั้ง NEP ของป่าชายเลนก็ยังคงมีค่าสูง

จากการศึกษานี้จึงเห็นได้ว่า CWD เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการศึกษาการประมาณ NEP โดยวิธี summation method ซึ่งแสดงให้เห็นว่าป่าชายเลนเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของ ระบบนิเวศป่าเขตร้อน การศึกษาวิธีการประมาณ NEP จึงไม่เพียงพอแต่เพื่อการประมาณ NEP ได้ แม่นยำขึ้นเท่านั้น แต่ก็นำไปสู่การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบ นิเวศป่าชายเลนได้ดีขึ้นในอนาคตอีกด้วย



ตารางที่ 21 เปรียบเทียบความหนาแน่นของต้นไม้และองค์ประกอบของ NEP (ต้นคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) ของการศึกษาครั้งนี้ กับการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2012)

| | เขตไม้แสม | | เขตไม้โกงกาง | | เขตไม้ตะบูน | |
|--|-----------|------|--------------|------|-------------|------|
| | 1* | 2* | 1* | 2* | 1* | 2* |
| ความหนาแน่นของ ต้นไม้ (ต้น/เฮกแตร์) | 1027 | 1283 | 1665 | 2066 | 3136 | 3580 |
| มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน (ΔB) | 7.01 | 5.25 | 6.22 | 2.58 | 5.20 | 1.30 |
| ผลผลิตซากพืชที่ร่วง หล่น (L) | 4.97 | 4.89 | 6.18 | 4.94 | 4.67 | 3.87 |
| มวลของ CWD ที่ เพิ่มพูน (ΔCWD) | - | 1.21 | - | 4.33 | - | 0.80 |
| NPP ($\Delta B + L + \Delta CWD$) | 12.0 | 11.4 | 12.4 | 11.9 | 9.88 | 5.97 |
| การหายใจของดิน (SR) | 2.45 | 2.30 | 1.94 | 2.20 | 2.13 | 2.12 |
| การหายใจของ CWD (R_{CWD}) | - | 0.22 | - | 0.52 | - | 0.28 |
| HR ($SR + R_{CWD}$) | 2.45 | 2.52 | 1.94 | 2.72 | 2.13 | 2.40 |
| NEP ($NPP - HR$) | 9.54 | 8.88 | 10.5 | 9.18 | 7.75 | 3.57 |

* ให้เลข 1 ในตารางแทนการศึกษาของ Pongparn และคณะ (2012) และเลข 2 แทนการศึกษาในครั้งนี้

บทที่ 7

สรุปผลการศึกษา

การศึกษางบประมาณคาร์บอนของ CWD ระหว่างปี พ.ศ.2556–2558 ในแปลงศึกษาถาวร ขนาด 1 เฮกแตร์ ในป่าชายเลนทุติยภูมิ บริเวณปากแม่น้ำตราด จังหวัดตราด ซึ่งมีการแบ่งเขตพันธุ์ไม้ อย่างชัดเจน 3 เขตพันธุ์ไม้ จากริมแม่น้ำเข้าไปด้านในแผ่นดิน ได้แก่ เขตไม้แสม เขตไม้โกงกาง และ เขตไม้ตะบูน ตามลำดับ สามารถสรุปได้ดังนี้

7.1 มวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และผลผลิตของต้นไม้ที่ยืนต้นตาย

มวลชีวภาพที่เพิ่มพูนในรอบปี ระหว่างปี พ.ศ.2557–2558 ในเขตไม้แสมมีค่ามากที่สุด (10.5 ตัน/เฮกแตร์/ปี) เนื่องจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของไม้เบิกนำ ได้แก่ ไม้แสม และลำพู มวลชีวภาพที่เพิ่มพูนในเขตไม้โกงกาง (5.15 ตัน/เฮกแตร์/ปี) มีค่าน้อยกว่าเขตไม้แสม ขณะที่เขตไม้ตะบูนมีมวลชีวภาพที่เพิ่มพูนน้อยที่สุด (2.59 ตัน/เฮกแตร์/ปี) เนื่องจากมีความหนาแน่นของต้นไม้สูง

ผลผลิตของซากพืชที่ร่วงหล่นในรอบปี (พ.ศ.2557–2558) ที่ศึกษาโดยใช้กระบะรองรับซากพืช ของเขตไม้แสมและเขตไม้โกงกางมีค่าใกล้เคียงกัน (9.78 และ 9.87 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ) เนื่องจากเขตไม้แสมอยู่ติดแม่น้ำจึงได้รับอิทธิพลจากลมมากกว่าเขตพันธุ์ไม้อื่น ๆ และไม้แสมยังมีอายุขัยของใบสั้น ขณะที่ผลผลิตของซากพืชที่ร่วงหล่นในรอบปีของเขตไม้โกงกางมีค่าสูงเกิดจากลักษณะของใบที่มีขนาดใหญ่และหนา ส่วนเขตไม้ตะบูนมีผลผลิตของซากพืชที่ร่วงหล่นในรอบปีน้อยที่สุดคือ 7.74 ตัน/เฮกแตร์/ปี เนื่องจากไม้ตะบูนมีอายุขัยของใบยืนยาว

Necromass production (พ.ศ.2557–2558) ในเขตไม้โกงกางมีค่ามากที่สุด (4.21 ตัน/เฮกแตร์/ปี) เนื่องจากพบต้นไม้ที่ยืนต้นตายมากบริเวณที่มีความหนาแน่นของต้นไม้สูง ทำให้ต้นไม้ขนาดเล็กตายเป็นจำนวนมากเนื่องจากการแก่งแย่งแสง เขตไม้แสมมี necromass production เท่ากับ 2.09 ตัน/เฮกแตร์/ปี เกิดจากการตายของไม้เบิกนำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแทนที่ ขณะที่เขตไม้ตะบูนมี necromass production น้อยที่สุด (1.60 ตัน/เฮกแตร์/ปี) เนื่องจากต้นไม้ที่ตายมีขนาดเล็ก

NPP ที่ได้จากการรวมมวลชีวภาพที่เพิ่มพูน ผลผลิตซากพืชที่ร่วงหล่น และ necromass production มีค่ามากที่สุดในเขตไม้แสม (22.4 ตัน/เฮกแตร์/ปี) ขณะที่ NPP ในเขตไม้โกงกางและไม้ตะบูนมีค่าเท่ากับ 19.2 และ 11.9 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนของ necromass production ต่อ NPP มีค่าค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของ necromass production ซึ่งเป็น CWD รูปแบบหนึ่ง สำหรับการประมาณ NPP ในระบบนิเวศป่าชายเลนโดยวิธี summation method

7.2 การกระจาย และมวลที่เพิ่มพูนของ CWD

จากการศึกษาการกระจายของ CWD ทั้ง 3 รูปแบบ คือ downed wood, standing dead tree และ stump ในเดือนตุลาคม พ.ศ.2556 พบว่าเขตไม้โกงกางมีการกระจายของ downed wood มากที่สุด เนื่องด้วยพื้นที่ป่ามีรากค้ำยันอยู่หนาแน่น downed wood จึงถูกกักไว้ด้วยรากค้ำยันเหล่านี้ ขณะที่เขตไม้ตะบูนมีการกระจายของ standing dead tree มากที่สุด เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลน้อย จึงอาจทำให้ standing dead tree โค่นล้มได้ง่าย เขตไม้แสมมี CWD น้อยกว่าเขตพื้นที่อื่น ๆ เนื่องจากอยู่ติดแม่น้ำ จึงได้รับอิทธิพลจากการท่วมของน้ำทะเลน้อยกว่าเขตพื้นที่อื่น ๆ อาจทำให้เนื้อไม้เกิดการอ่อนนุ่มและหักลงได้ง่าย จากนั้นจึงอาจถูกพัดพาออกไปได้ง่ายจากการขึ้นลงของน้ำทะเล

มวลของ CWD ที่เพิ่มพูนระหว่างปี พ.ศ.2557-2558 มีปริมาณมากในเขตไม้โกงกาง (8.66 ตัน/เฮกแตร์/ปี) ทั้ง downed wood และ standing dead tree โดยพบว่าปริมาณ downed wood ในเขตไม้โกงกางแปรผันตามความเร็วลมสูงสุดในช่วงที่มีลมมรสุมกำลังแรงพัดผ่าน ขณะที่ปริมาณ standing dead tree มากบริเวณที่มีกลุ่มของไม้โกงกางค่อนข้างหนาแน่น เขตไม้แสมมีมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนเท่ากับ 2.42 ตัน/เฮกแตร์/ปี ส่วน CWD ที่เพิ่มพูนในเขตไม้ตะบูนพบเพียง standing dead tree เท่านั้น (1.60 ตัน/เฮกแตร์/ปี) นอกจากนี้ยังพบว่ามวลของ CWD ที่เพิ่มพูนมีค่ามากกว่ามวลของซากไม้ขนาดเล็กที่ได้จากกระบะรองรับซากพืช ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการศึกษา CWD ที่เพิ่มพูนในป่าชายเลนควบคู่ไปกับการประมาณค่าผลผลิตซากพืชโดยใช้กระบะรองรับซากพืชที่ใช้กันโดยทั่วไป

หลังจากคำนวณ NPP โดยรวมมวลของ CWD ที่เพิ่มพูน ทั้ง downed wood และ standing dead tree (ซึ่งถูกจำแนกว่าเป็น necromass production) พบว่า NPP ของเขตไม้โกงกางมีค่ามากที่สุด (23.7 ตัน/เฮกแตร์/ปี) เนื่องจากมีมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนสูงถึง 37% ของ NPP ขณะที่ NPP ในเขตไม้แสมและไม้ตะบูนมีค่าเท่ากับ 22.7 และ 11.9 23.7 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ โดยมีมวลของ CWD ที่เพิ่มพูนต่อ NPP เท่ากับ 10 และ 13% แสดงให้เห็นว่ามวลของ CWD ที่เพิ่มพูนมีความสำคัญต่อการประมาณ NPP ในป่าชายเลน โดยเฉพาะเขตไม้โกงกาง ซึ่งป่าชายเลนส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นป่าโกงกาง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณารวมมวลของ CWD ในการประมาณ NPP ของป่าชายเลนโดยวิธี summation method เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น

7.3 การย่อยสลาย และการหายใจของ CWD

จากการศึกษาการย่อยสลายของ CWD ของชนิดพันธุ์ไม้เด่นทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไม้แสม ไม้โกงกาง และไม้ตะบูน โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเนื้อไม้ พบว่า CWD ของไม้แสมมีการย่อยสลายเร็วที่สุด เนื่องจากมีค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย (k) สูงที่สุด เมื่อประมาณระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย CWD โดยประมาณระยะเวลาที่ทำให้ความหนาแน่นเนื้อไม้ของ CWD ลดลงไป 95% จากความหนาแน่นเนื้อไม้เริ่มต้น ($T_{0.95}$) จากค่า k พบว่า CWD ของไม้แสมจะใช้เวลาในการย่อยสลายประมาณ 9–12 ปี รองลงมาคือ CWD ของไม้ตะบูน ใช้เวลาในการย่อยสลายประมาณ 12–14 ปี ขณะที่ CWD ของไม้โกงกางมีค่า k น้อยที่สุด จะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายช้า คิดเป็นประมาณ 16 ปี เนื่องจาก CWD ของไม้โกงกางมีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคาร์บอนของ CWD มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักระหว่างช่วงเวลาของการย่อยสลายที่ศึกษา ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ CWD ถูกย่อยสลายนานขึ้น อาจเกิดจากการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ที่เป็นผู้ย่อยสลาย ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง จึงกล่าวได้ว่า CWD เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของระบบนิเวศป่าชายเลน เนื่องจากมีการย่อยสลายช้า และยังเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนที่สำคัญอีกด้วย

การศึกษานี้ได้ทดลองวัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD โดยวิธี GC ซึ่งเป็นการวัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD โดยตรง และ SL ซึ่งเป็นการวัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD จากการดูดซับ CO_2 โดย soda-lime ผลการศึกษา

พบว่าอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD อัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ที่วัดโดยวิธี GC และ SL ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงสามารถวัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ของไม้ป่าชายเลนทั้งสามชนิดได้ด้วยวิธี SL ได้ ซึ่งมีข้อดีคือมีราคาถูกและสามารถวัดอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ในป่าชายเลนซึ่งมีสภาพเป็นดินเลนและมีน้ำทะเลท่วมถึงสม่ำเสมอได้ง่ายกว่าวิธี GC

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ระหว่างชนิดไม้ที่ศึกษาพบว่าอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ไม้แสมมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ CWD ของไม้ตะบูน และ CWD ของไม้โกงกาง ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ของไม้ทั้งสามชนิดเกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นเนื้อไม้และความชื้นของ CWD อย่างไรก็ตามอาจมีปัจจัยอื่นอีกที่ส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD ในป่าชายเลน เช่น การท่วมของน้ำทะเล และความเค็ม ที่อาจส่งผลกระทบต่อชนิดของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ย่อยสลาย ซึ่งจำเป็นจะต้องศึกษาต่อไปในอนาคต

จากนั้นคำนวณอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD รายปี โดยคิดจาก CWD ทั้งหมดที่อยู่ในแปลงศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2557–2558 พบว่าอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD รายปี มีค่ามากที่สุดในเขตไม้โกงกาง (0.52 ตัน/เฮกแตร์/ปี) เนื่องจากมี CWD มากที่สุด รองลงมาคือเขตไม้ตะบูน (0.28 ตัน/เฮกแตร์/ปี) และเขตไม้แสม (0.22 ตัน/เฮกแตร์/ปี) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD รายปีกับอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของดินพบว่าอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของ CWD รายปีมีค่าน้อยกว่าอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของดิน (2.30, 2.20 และ 2.12 ตัน/เฮกแตร์/ปี สำหรับเขตไม้แสม โกงกาง และตะบูน ตามลำดับ) ซึ่งคิดเป็น 10–24% ของอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากการหายใจของดิน

7.4 สมดุลคาร์บอนของ CWD

สมดุลคาร์บอนของ CWD ซึ่งคำนวณจากผลต่างของปริมาณคาร์บอนของ CWD ที่เพิ่มพูนและปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการหายใจของ CWD ระหว่างปี พ.ศ. 2557–2558 มีค่ามากที่สุดในเขตไม้โกงกางคือ 3.81 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ขณะที่เขตไม้แสมและเขตไม้ตะบูนมีค่าเท่ากับ

0.99 และ 0.52 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนยังคงกักเก็บอยู่ใน CWD มากกว่าถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ เมื่อนำสมมูลคาร์บอนของ CWD ไปรวมในการประมาณ NEP โดยวิธี summation method พบว่า NEP มีค่ามากที่สุดในเขตไม้โกงกาง (9.18 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี) เนื่องจากมี CWD ที่เพิ่มพูนสูง รองลงมาคือเขตไม้เสมหามีค่า NEP เท่ากับ 8.88 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ส่วนเขตไม้ตะบูนมีค่า NEP น้อยที่สุดคือ 3.57 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งการรวมสมมูลคาร์บอนของ CWD ทำให้ NEP มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 25% และ NEP ที่ได้จากการศึกษานี้ยังมีค่าสูงกว่า NEP ของระบบนิเวศป่าอื่น ๆ จึงสามารถสรุปได้ว่า CWD เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการประมาณ NEP ของระบบนิเวศป่าชายเลนโดยวิธี summation method และยังแสดงให้เห็นว่าป่าชายเลนเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ



รายการอ้างอิง

- Alberti, G., Peressotti, A., Piussi, P., and Zerbi, G. 2008. Forest ecosystem carbon accumulation during a secondary succession in the Eastern Prealps of Italy. Forestry 81: 1-11.
- Amarasinghe, M.D., and Balasubramaniam, S. 1992. Net primary productivity of two mangrove forest stands on the northwestern coast of Sri Lanka. Hydrobiologia 247: 37-47.
- Arreola-Lizárraga, J.A., Flores-Verdugo, F.J., and Ortega-Rubio, A. 2004. Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, Mexico. Aquatic botany 79: 137-143.
- Baker, T.R., et al. 2007. Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest. Oecologia 152: 495-504.
- Barker, J.S. 2008. Decomposition of Douglas-fir coarse woody debris in response to differing moisture content and initial heterotrophic colonization. Forest Ecology and Management 255: 598-604.
- Barr, J.G., et al. 2010. Controls on mangrove forest-atmosphere carbon dioxide exchanges in western Everglades National Park. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences 115: doi:10.1029/2009JG001186.
- Barr, J.G., Engel, V., Smith, T.J., and Fuentes, J.D. 2012. Hurricane disturbance and recovery of energy balance, CO₂ fluxes and canopy structure in a mangrove forest of the Florida Everglades. Agricultural and Forest Meteorology 153: 54-66.
- Barr, J.G., Fuentes, J.D., O'Halloran, T.L., Barr, D., and Zieman, J.C. 2006. Carbon assimilation by mangrove forest in the Florida Everglades. Amalgam 1: 27-37.
- Brais, S., Sadi, F., Bergeron, Y., and Grenier, Y. 2005. Coarse woody debris dynamics in a post-fire jack pine chronosequence and its relation with site productivity. Forest Ecology and Management 220: 216-226.
- Burba, G., and Anderson, D. 2007. Introduction to the eddy covariance method: General guidelines and conventional workflow. LI-COR Bioscience, Lincoln.

- Capellesso, E.S., Scrovonski, K.L., Zanin, E.M., Hepp, L.U., Bayer, C., and Sausen, T.L. 2016. Effects of forest structure on litter production, soil chemical composition and litter-soil interactions. Acta Botanica Brasilica 30: 329-335.
- Castañeda-Moya, E., Twilley, R.R., and Rivera-Monroy, V.H. 2013. Allocation of biomass and net primary productivity of mangrove forests along environmental gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. Forest Ecology and Management 307: 226-241.
- Chambers, J.Q., dos Santos, J., Ribeiro, R.J., and Higuchi, N. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. Forest Ecology and Management 152: 73-84.
- Chao, K.J., Phillips, O.L., and Baker, T.R. 2008. Wood density and stocks of coarse woody debris in a northwestern Amazonian landscape. Canadian Journal of Forest Research 38: 795-805.
- Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D.W., Chambers, J.Q., Thomlinson, J.R., and Ni, J. 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. Ecological applications 11: 356-370.
- Day, J.W., et al. 1996. A 7 year record of above-ground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. Aquatic Botany 55: 39-60.
- Distel, D.L. 2003. The biology of marine wood boring bivalves and their bacterial endosymbionts. In (ed.), Wood Deterioration and Preservation, pp. 253-271. ACS Symposium Series.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., and Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 185-189.
- 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.
- Duarte, C.M., et al. 1998. Relationship between sediment conditions and mangrove *Rhizophora apiculata* seedling growth and nutrient status. Marine Ecology Progress Series 175: 277-283.

- Eaton, J.M., and Lawrence, D. 2006. Woody debris stocks and fluxes during succession in a dry tropical forest. Forest Ecology and Management 232: 46-55.
- Enrong, Y., Xihua, W., and Jianjun, H. 2006. Concept and classification of coarse woody debris in forest ecosystems. Frontiers of Biology in China 1: 76-84.
- Forrester, J.A., Mladenoff, D.J., Gower, S.T., and Stoffel, J.L. 2012. Interactions of temperature and moisture with respiration from coarse woody debris in experimental forest canopy gaps. Forest Ecology and Management 265: 124-132.
- Francis, J.K. 1994. Simple and inexpensive method for extracting wood density samples from tropical hardwoods. Tree planters' notes 45: 10-12.
- Garrett, L.G., Oliver, G.R., Pearce, S.H., and Davis, M.R. 2008. Decomposition of *Pinus radiata* coarse woody debris in New Zealand. Forest Ecology and Management 225: 3839-3845.
- Gilman, E.L., Ellison, J., Duke, N.C., and Field, C. 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options. Aquatic Botany 89: 237-250.
- Golley, F., Odum, H.T., and Wilson, R.F. 1962. The structure and metabolism of a Puerto Rican red mangrove forest in May. Ecology 43: 9-19.
- Gough, C.M., Vogel, C.S., Kazanski, C., Nagel, L., Flower, C.E., and Curtis, P.S. 2007. Coarse woody debris and the carbon balance of a north temperate forest. Forest Ecology and Management 244: 60-67.
- Grogan, P. 1998. CO₂ flux measurement using soda lime: correction for water formed during CO₂ adsorption. Ecology 79: 1467-1468.
- Hanson, P.J., Edwards, N.T., Garten, C.T., and Andrews, J.A. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. Biogeochemistry 48: 115-146.
- Harmon, M.E., Ferrell, W.K., and Franklin, J.F. 1990. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. Science 247: 699-703.
- Harmon, M.E., et al. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advances in ecological research 15: 133-302.

- Herrmann, S., and Bauhus, J. 2008. Comparison of methods to quantify respirational carbon loss of coarse woody debris. Canadian journal of forest research 38: 2738-2745.
- Imai, N., Takyu, M., and Nakamura, Y. 2009. Growth, crown architecture and leaf dynamics of saplings of five mangrove tree species in Ranong, Thailand. Marine Ecology Progress Series 377: 139-148.
- Jackson, R.B., Mooney, H.A., and Schulze, E.D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. Proceedings of the National Academy of Sciences 94: 7362-7366.
- Janisch, J.E., Harmon, M.E., Chen, H., Fath, B., and Sexton, J. 2005. Decomposition of coarse woody debris originating by clearcutting of an old-growth conifer forest. Ecoscience 12: 151-160.
- Janssens, I.A., and Ceulemans, R. 1998. Spatial variability in forest soil CO₂ efflux assessed with a calibrated soda lime technique. Ecology Letters 1: 95-98.
- Jia-bing, W., De-xin, G., Shi-jie, H., Mi, Z., and Chang-jie, J. 2005. Ecological functions of coarse woody debris in forest ecosystem. Journal of Forestry Research 16: 247-252.
- Jomura, M., et al. 2007. The carbon budget of coarse woody debris in a temperate broad-leaved secondary forest in Japan. Tellus 59: 211-222.
- Kamruzzaman, M., Osawa, A., Deshar, R., Sharma, S., and Mouctar, K. 2017. Species composition, biomass, and net primary productivity of mangrove forest in Okukubi River, Okinawa Island, Japan. Regional Studies in Marine Science 12: 19-27.
- Kathiresan, K., and Bingham, B.L. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. Advances in marine biology 40: 81-251.
- Kauffman, J.B., and Cole, T.G. 2010. Micronesian mangrove forest structure and tree responses to a severe typhoon. Wetlands 30: 1077-1084.
- Kauffman, J.B., Heider, C., Cole, T.G., Dwire, K.A., and Donato, D.C. 2011. Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. Wetlands 31: 343-352.

- Kira, T., and Shidei, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. Japanese Journal of Ecology 17: 70-87.
- Kirita, H., and Hozumi, K. 1966. Re-examination of the absorption method of measuring soil respiration under field conditions. I. Effect of the amount of KOH on observed values. Seiri, Seitai 14: 23-31.
- Knoepp, J.D., and Vose, J.M. 2002. Quantitative comparison of in situ soil CO₂ flux measurement methods. Res. Pap. SRS-28. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.
- 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.
- Krauss, K.W., Doyle, T.W., Twilley, R.R., Smith, T.J., Whelan, K.R., and Sullivan, J.K. 2005. Woody debris in the mangrove forests of South Florida. Biotropica 37: 9-15.
- Li, Z., Li-min, D., Hui-yan, G., and Lei, Z. 2007. Review on the decomposition and influence factors of coarse woody debris in forest ecosystem. Journal of Forestry Research 18: 48-54.
- Liu, W.H., et al. 2006. Woody debris contribution to the carbon budget of selectively logged and maturing mid-latitude forests. Oecologia 148: 108-117.
- Losi, C.J., Siccama, T.G., Condit, R., and Morales, J.E. 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. Forest Ecology and Management 184: 355-368.
- Lovelock, C.E. 2008. Soil respiration and belowground carbon allocation in mangrove forests. Ecosystems 11: 342-354.
- Mackensen, J., and Bauhus, J. 2003. Density loss and respiration rates in coarse woody debris of *Pinus radiata*, *Eucalyptus regnans* and *Eucalyptus maculata*. Soil Biology and Biochemistry 35: 177-186.

- Mackensen, J., Bauhus, J., and Webber, E. 2003. Decomposition rates of coarse woody debris: a review with particular emphasis on Australian tree species. Australian Journal of Botany 51: 27-37.
- Makky, M., Paschalidis, K.A., Dima, K., and Mangganaris, A. 2014. A New Rapid Gas Chromatographic Method for Ethylene, Respirational, and Senescent Gaseous Production of Climacteric Fruits Stored in Prolonged Low Temperature. in International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences (AEBS-2014). pp. 11-16. April 24-25. Phuket, Thailand.
- Markstrom, D.C., Worth, H.E., and Garbutt, T. 1977. Size and moisture content of pulp chips from living and dead Englemann spruce and subalpine fir. Mountain Forest and Range Experiment Station (Fort Collins, Colo.), United States: Forest Service.
- Maser, C., Anderson, R.G., Cromack Jr, K., Williams, J.T., and Martin, R.E. 1979. Dead and down woody material. In J.W. Thomas (ed.), Wildlife habitats in managed forests: the Blue Mountains of Oregon and Washington, pp. 553. USDA Forest Service Agricultural Handbook.
- 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.
- Miura, M., Manabe, T., Nishimura, N., and Yamamoto, S. 2001. Forest canopy and community dynamics in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest, south-western Japan: a 7-year study of a 4-ha plot. Journal of Ecology 89: 841-849.
- Müller-Using, S., and Bartsch, N. 2009. Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Germany. European Journal of Forest Research 128: 287-296.
- Murdiyarmo, D., Donato, D., Kauffman, J.B., Kurnianto, S., Stidham, M., and Kanninen, M. 2009. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems: a preliminary account from plots in Indonesia. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor.

- Nay, S.M., Mattson, K.G., and Bormann, B.T. 1994. Biases of chamber methods for measuring soil CO₂ efflux demonstrated with a laboratory apparatus. Ecology 75: 2460-2463.
- Noh, N.J., Yoon, T.K., Kim, R.H., Bolton, N.W., Kim, C., and Son, Y. 2017. Carbon and Nitrogen Accumulation and Decomposition from Coarse Woody Debris in a Naturally Regenerated Korean Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) Forest. Forests 8: doi:10.3390/f8060214.
- Ochieng, C.A., and Erftemeijer, P.L. 2002. Phenology, litterfall and nutrient resorption in *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh in Gazi Bay, Kenya. Trees 16: 167-171.
- Ohtsuka, T., Mo, W., Satomura, T., Inatomi, M., and Koizumi, H. 2007. Biometric based carbon flux measurements and net ecosystem production (NEP) in a temperate deciduous broad-leaved forest beneath a flux tower. Ecosystems 10: 324-334.
- Ohtsuka, T., et al. 2014. Role of coarse woody debris in the carbon cycle of Takayama forest, central Japan. Ecological research 29: 91-101.
- Olajuyigbe, S., Tobin, B., and Nieuwenhuis, M. 2012. Temperature and moisture effects on respiration rate of decomposing logs in a Sitka spruce plantation in Ireland. Forestry 85: 485-496.
- Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology 44: 322-331.
- Ong, J.E., Gong, W.K., and Clough, B.F. 1995. Structure and productivity of a 20-year-old stand of *Rhizophora apiculata* Bl. mangrove forest. Journal of Biogeography 22: 417-424.
- Onuf, C.P., Teal, J.M., and Valiela, I. 1977. Interactions of nutrients, plant growth and herbivory in a mangrove ecosystem. Ecology 58: 514-526.
- Palviainen, M., Finér, L., Laiho, R., Shorohova, E., Kapitsa, E., and Vanha-Majamaa, I. 2010. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. Forest Ecology and Management 259: 390-398.
- 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. in The 12th National Naresuan Conference: Research and Innovation to Develop the Country. pp. 384-396. July 21-22, 2016. Naresuan University.
- Pongracic, S., Kirschbaum, M., and Raison, R. 1997. Comparison of soda lime and infrared gas analysis techniques for in situ measurement of forest soil respiration. Canadian Journal of Forest Research 27: 1890-1895.
- Poungparn, S., Charoenphonphakdi, T., Sangteian, T., and Patanaponpaiboon, P. 2016. Fine root production in three zones of secondary mangrove forest in eastern Thailand. Trees 30: 467-474.
- Poungparn, S., and Komiyama, A. 2013. Net ecosystem productivity studies in mangrove forests. Reviews in Agricultural Science 1: 61-64.
- 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.
- Progar, R., Schowalter, T., Freitag, C., and Morrell, J. 2000. Respiration from coarse woody debris as affected by moisture and saprotroph functional diversity in Western Oregon. Oecologia 124: 426-431.
- Raich, J., Bowden, R., and Steudler, P.A. 1990. Comparison of two static chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soils. Soil Science Society of America Journal 54: 1754-1757.
- Rayner, A.D.M., and Boddy, L. 1988. Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. Chichester: Wiley.
- Reef, R., Feller, I.C., and Lovelock, C.E. 2010. Nutrition of mangroves. Tree Physiology 30: 1148-1160.
- Robertson, A., and Phillips, M. 1995. Mangroves as filters of shrimp pond effluent: predictions and biogeochemical research needs. Hydrobiologia 295: 311-321.

- Robertson, A.I., and Daniel, P.A. 1989. Decomposition and the annual flux of detritus from fallen timber in tropical mangrove forests. Limnology and Oceanography 34: 640-646.
- Sapronov, D., and Kuzyakov, Y.V. 2007. Separation of root and microbial respiration: comparison of three methods. Eurasian Soil Science 40: 775-784.
- Sarma, V., and Hyde, K.D. 2001. A review on frequently occurring fungi in mangroves. Fungal Divers 8: 1-34.
- Schowalter, T., Zhang, Y., and Sabin, T. 1998. Decomposition and nutrient dynamics of oak *Quercus* spp. logs after five years of decomposition. Ecography 21: 3-10.
- Stevens, V. 1997. The ecological role of coarse woody debris: An overview of the ecological importance of CWD in British Columbia forests. Research Branch, B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C. Working Paper 30, British Columbia, Ministry of Forests, Research Program.
- Stone, J.N., MacKinnon, A., Parminter, J.V., and Lertzman, K.P. 1998. Coarse woody debris decomposition documented over 65 years on southern Vancouver Island. Canadian Journal of Forest Research 28: 788-793.
- Sukardjo, S., Alongi, D.M., and Kusmana, C. 2013. Rapid litter production and accumulation in Bornean mangrove forests. Ecosphere 4: 1-7.
- Sukardjo, S., and Yamada, I. 1992. Biomass and productivity of a *Rhizophora mucronata* Lamarck plantation in Tritih, Central Java, Indonesia. Forest Ecology and Management 49: 195-209.
- Tam, N.F.Y., Wong, Y.S., Lan, C.Y., and Wang, L.N. 1998. Litter production and decomposition in a subtropical mangrove swamp receiving wastewater. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 226: 1-18.
- Tobin, B., Black, K., McGurdy, L., and Nieuwenhuis, M. 2007. Estimates of decay rates of components of coarse woody debris in thinned Sitka spruce forests. Forestry 80: 455-469.
- Troxler, T.G., et al. 2015. Component-specific dynamics of riverine mangrove CO₂ efflux in the Florida coastal Everglades. Agricultural and Forest Meteorology 213: 273-282.

- Tuck, C.H., Spalding, M., Baba, S., Kainuma, M., Sarre, A., and Johnson, S. 2012. Special edition summarizing the findings of the 2010 World Atlas of Mangroves. Tropical forest update 21: 1-24.
- Twilley, R.R., Chen, R.H., and Hargris, T. 1992. Carbon sinks in mangrove and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. Water Air and Soil Pollution 64: 265-288.
- Wang'ondu, V.W., et al. 2013. Vegetative and reproductive phenological traits of *Rhizophora mucronata* Lamk. and *Sonneratia alba* Sm. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants 208: 522-531.
- 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.
- Yang, F.F., et al. 2010. Dynamics of coarse woody debris and decomposition rates in an old-growth forest in lower tropical China. Forest Ecology and Management 259: 1666-1672.
- Yoneda, T., et al. 2016. Inter-annual variations of net ecosystem productivity of a primeval tropical forest basing on a biometric method with a long-term data in Pasoh, Peninsular Malaysia. Tropics 25: 1-12.
- Yoon, T.K., Han, S., Lee, D., Han, S.H., Noh, N.J., and Son, Y. 2014. Effects of sample size and temperature on coarse woody debris respiration from *Quercus variabilis* logs. Journal of forest research 19: 249-259.
- Yoon, T.K., et al. 2011. Mass dynamics of coarse woody debris in an old-growth deciduous forest of Gwangneung, Korea. Forest Science and Technology 7: 145-150.

ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ และสำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน. 2557.

ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ราทะเลในป่าชายเลน จ.ตราด. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

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

สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน. 2552a. คู่มือการเพาะชำกล้าไม้ป่าชายเลน. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน. 2552b. พันธุ์ไม้ป่าชายเลนในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุธาทิพย์ อำนวยสิน เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนดัดดรุณี จังหวัดฉะเชิงเทรา ในปีการศึกษา 2547 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2551 และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ จากภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 โดยได้รับทุนโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) ต่อเนื่องตั้งแต่ปริญญาตรีจนถึงปริญญาเอก

การนำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์

สุธาทิพย์ อำนวยสิน และศศิธร พ่วงปาน. Fixed-area plot sampling technique for coarse woody debris study in secondary mangrove forest" ใน 19th Biological Sciences Graduate Congress, 12-14 ธันวาคม พ.ศ.2557 ณ National University of Singapore

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. สุธาทิพย์ อำนวยสิน ชนิตา ปาติยะวุฒิ ศศิธร พ่วงปาน และทनुวงศ์ แสงเทียน. 2554. การสังเคราะห์ด้วยแสงของโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Poir.) ที่มีอายุต่างกันที่อ่าวทุ่งคา-สวี จังหวัดชุมพร. ในรายงานการสัมมนาปาชายเลนแห่งชาติ ครั้งที่ 14 “ชุมชนเข้มแข็ง ป้องกันภัยพิบัติ ขจัดโลกร้อน”, หน้า 339-348. 7-8 กันยายน 2554 ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ กรุงเทพฯ.
2. สุธาทิพย์ อำนวยสิน ทनुวงศ์ แสงเทียน และศศิธร พ่วงปาน. 2558. ชากเนื้อไม้ขนาดใหญ่สำหรับการประมาณผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิของปาชายเลนรุ่นสอง" ในรายงานการประชุมวิชาการพฤกษศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9, หน้า 81-93. 3-5 มิถุนายน พ.ศ.2558 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ กรุงเทพฯ
3. Umnouysin, S., Sangtiewan, T., and Pongpan, 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.
4. Umnouysin, S., Sangtiewan, T., Sato, T., and Pongpan, S. (in press). Comparative carbon dioxide efflux rates from respiration of coarse woody debris among three mangrove species in Thailand. *Tropics* 26.