



การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ
จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย

ESTIMATING NET ECOSYSTEM PRODUCTION (NEP) IN PRIMARY DRY DIPTEROCARP
FOREST NAKHON RATCHASIMA PROVINCE AND SECONDARY DRY DIPTEROCARP
FOREST RATCHABURI PROVINCE, THAILAND

วิิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2563

การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ
จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการ
คณะพัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ESTIMATING NET ECOSYSTEM PRODUCTION (NEP) IN PRIMARY DRY DIPTEROCARP
FOREST NAKHON RATCHASIMA PROVINCE AND SECONDARY DRY DIPTEROCARP
FOREST RATCHABURI PROVINCE, THAILAND



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Environmental Technology & Res)
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University
2020
Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ

จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย

ของ

วิตดำนันท์ ธรรมดิษฐ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการ

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนานากิจ) (รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ชิดไธสง)

..... ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ภูวษา ชานนท์เมือง) (อาจารย์ ดร.ศุภิกา วานิชขัง)

ชื่อเรื่อง	การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย
ผู้วิจัย	วิฑิตานันท์ ธรรมดิษฐ์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ภาวษา ชานนท์เมือง

ผลผลิตคาร์บอนสุทธิในป่าปฐุมภูมิและหุติยภูมิมีความสำคัญต่อการประเมินผลผลิตคาร์บอนจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ทั้งการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน รวมถึงการศึกษาปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมาและป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 ผลการศึกษาพบว่า ป่าเต็งรังปฐุมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมากกว่าป่าเต็งรังหุติยภูมิ เท่ากับ 80.37 และ 78.49 tC/ha แต่ป่าเต็งรังปฐุมภูมิมีค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (NEP) น้อยกว่าป่าเต็งรังหุติยภูมิ มีค่าเท่ากับ 3.29 และ 14.15 tC/ha/yr เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตและความหนาแน่นของต้นไม้ต่ำ โดยป่าเต็งรังปฐุมภูมิ มีผลผลิตปฐุมภูมิสุทธิ (NPP) เท่ากับ 9.46 tC/ha/yr มีการปลดปล่อยคาร์บอนจากการหายใจผิวดิน (R_s), การหายใจของจุลินทรีย์ (R_m) และ การหายใจของราก (R_r) เท่ากับ 8.16, 6.17 และ 1.99 tC/ha/yr ตามลำดับ ขณะที่ป่าเต็งรังหุติยภูมิ มีผลผลิตปฐุมภูมิสุทธิ เท่ากับ 22.20 tC/ha/yr มีการปลดปล่อยคาร์บอนจาก R_s , R_m และ R_r เท่ากับ 9.95, 8.05 และ 1.90 tC/ha/yr ตามลำดับ ทั้งนี้ ป่าเต็งรังหุติยภูมิมีศักยภาพเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนสุทธิมากกว่าป่าเต็งรังปฐุมภูมิ เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการตัดไม้

คำสำคัญ : การกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอน, การหายใจผิวดิน, ป่าเต็งรัง, ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ

Title	ESTIMATING NET ECOSYSTEM PRODUCTION (NEP) IN PRIMARY DRY DIPTEROCARP FOREST NAKHON RATCHASIMA PROVINCE AND SECONDARY DRY DIPTEROCARP FOREST RATCHABURI PROVINCE, THAILAND
Author	WITTANAN TAMMADID
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2020
Thesis Advisor	Assistant Professor Phongthep Hanpattanakit , Ph.D.
Co Advisor	Phuvasa Chanonmuang , Ph.D.

Net ecosystem production (NEP) in primary and secondary forests is important in evaluating the carbon dynamics from changes in land use. This study aims to estimate and compare NEP, both carbon stock in biomass and CO₂ emissions from soil respiration and its relationship with environmental factors in a primary dry dipterocarp forest (PDDF), in Nakhon Ratchasima province and in a secondary dry dipterocarp forest (SDDF) in Ratchaburi province, and took place in Thailand from January 2019 to March 2020. The results found that carbon stock in biomass at the PDDF was higher than the SDDF by 80.37 and 78.49 tC/ha but NEP in the PDDF was lower than in the SDDF by 3.29 and 14.15 tC/ha/yr because of low plant growth rate and density. Thus, net primary production (NPP) in PDDF was 9.46 tC/ha/yr. Soil respiration (R_s), microbial respiration (R_m) and root respiration (R_r) in the PDDF were 8.16, 6.17 and 1.99 tC/ha/yr, respectively. While, NPP in the SDDF, was 22.20 tC/ha/yr. CO₂ fluxes from R_s , R_m and R_r were 9.95, 8.05 and 1.90 tC/ha/yr, respectively. Therefore, NPP in SDDF was a higher potential carbon stock than PDDF due to the growth rate of aboveground and belowground biomass that the plants in SDDF rapidly increased after deforestation.

Keyword : Carbon stock and emission, Soil respiration, Dry dipterocarp forest, Net ecosystem production

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังหุบเขาภูมิลำเนา จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ทุนรายได้คณะรัฐมนตรีสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี พ.ศ.2562 และทุนการศึกษาเพื่อทำวิจัยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตลอดจนได้รับการเชื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิจัย ณ พื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังหุบเขาภูมิลำเนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี และอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน จากบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดจนได้รับคำแนะนำและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความทุ่มเทอย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และอาจารย์ ดร. ภูวษา ชานนท์เมือง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ชิดไธสง ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ ประธานกรรมการสอบ และ อาจารย์ ดร.ศุภิกา วาณิชชัง กรรมการสอบ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ ขอขอบคุณ คุณจำลอง แปลกสระน้อย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในพื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยขอแสดงความกตัญญูต่เวทิตาคุณแด่บิดามารดา คณาจารย์คณะพัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่สนับสนุนการศึกษา และเป็นกำลังใจสำคัญให้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นในการก้าวข้ามผ่านอุปสรรคในการเรียนและการทำวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ในเชิงวิชาการ เป็นองค์ความรู้และข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนของประเทศ และเป็นข้อมูลเชื่อมโยงกับการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในป่ากับข้อมูลทางภูมิภาคเอเชีย รวมถึงนำข้อมูลจากงานวิจัยไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางนโยบายการอนุรักษ์พื้นที่ป่าเพื่อเป็นพื้นที่สีเขียว เพื่อเพิ่มกลุ่มเป้าหมายให้เกิดจิตสำนึกและเห็นคุณค่าในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ ลดผลกระทบและป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคตได้

วิตานันท์ ธรรมดิษฐ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
1.5 กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	7
1.6 สมมติฐานของการวิจัย.....	9
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	10
2.2 วัฏจักรคาร์บอน	12
2.3 การกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้.....	13
2.4 การประเมินศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบนิเวศป่าไม้	33
2.5 ระบบนิเวศป่าเต็งรัง	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38

3.1 พื้นที่ศึกษา	38
3.2 การเตรียมพื้นที่ศึกษา.....	43
3.3 การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรัง.....	46
3.4 การประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรัง.....	48
3.5 การประเมินศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเต็งรัง.....	53
3.6 การเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม.....	55
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	58
3.8 ระยะเวลาดำเนินการ.....	59
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	60
4.1 คุณสมบัติดินและการกักเก็บคาร์บอนในดิน.....	60
4.2 ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางด้านภูมิอากาศ	62
4.3 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน	64
4.4 การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการหายใจผิวดิน ทั้งการ หายใจของจุลินทรีย์และรากพืช	83
4.5 ผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ.....	102
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	107
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	107
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	108
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	112
บรรณานุกรม	113
ภาคผนวก.....	124
ประวัติผู้เขียน.....	138

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าธรรมชาติประเทศไทย	17
ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยในระบบนิเวศป่าไม้แต่ละชนิด	20
ตาราง 3 สัดส่วนของปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลที่มีการร่วงหล่นในพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ และป่าผลัดใบ	21
ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยผลผลิตเศษซากชีวมวลของป่าไม้ชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย	23
ตาราง 5 อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ป่าไม้ที่สำคัญของประเทศไทย	26
ตาราง 6 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินในระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลก	28
ตาราง 7 ข้อมูลทั่วไปของป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	42
ตาราง 8 ระดับความรุนแรงของความเป็นกรด-ด่างของดิน	57
ตาราง 9 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	59
ตาราง 10 คุณสมบัติทั่วไปของดินในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	61
ตาราง 11 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	62
ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยข้อมูลการเจริญเติบโตและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	65
ตาราง 13 สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชส่วนต่าง ๆ	66
ตาราง 14 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	69

ตาราง 15 การกักเก็บคาร์บอนในพืชคลุมดิน ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	71
ตาราง 16 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ส่วนของราก) ในป่าเต็งรัง ปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	73
ตาราง 17 ปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอย และการกักเก็บคาร์บอน ในมวลชีวภาพของ รากฝอย ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี.....	75
ตาราง 18 ผลผลิตเศษซากชีวมวล และการกักเก็บคาร์บอน ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี.....	80
ตาราง 19 ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา.....	85
ตาราง 20 ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี.....	86
ตาราง 21 การกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอน และผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	105
ตาราง 22 ค่าสัดส่วนคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyzer ในตัวอย่างดิน	133
ตาราง 23 ค่าสัดส่วนคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyzer ในส่วนต่าง ๆ ของพืช.....	134
ตาราง 24 น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน เพื่อกำหนดความหนาแน่นรวม ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ	135
ตาราง 25 น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน เพื่อกำหนดความหนาแน่นรวม ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ	136
ตาราง 26 ชื่อพันธุ์ไม้ที่พบในแปลงทดลอง ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ.....	137
ตาราง 27 ชื่อพันธุ์ไม้ที่พบในแปลงทดลอง ป่าเต็งรังทุติยภูมิ.....	137

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย (conceptual framework)	8
ภาพประกอบ 2 วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle)	13
ภาพประกอบ 3 วัฏจักรคาร์บอน ปริมาณการดูดซับและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	14
ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจผิวดินและอุณหภูมิผิวดินในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี	29
ภาพประกอบ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจผิวดินและความชื้นในดิน บริเวณป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี.....	31
ภาพประกอบ 6 ระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา (A-B) และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี (C-D)	37
ภาพประกอบ 7 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา	39
ภาพประกอบ 8 พื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ ช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม (A) และช่วงฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-เมษายน (B) ณ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา	40
ภาพประกอบ 9 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชนบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี.....	41
ภาพประกอบ 10 พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ ช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม (A) และช่วงฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-เมษายน (B) ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชนบุรี จังหวัดราชบุรี.....	42
ภาพประกอบ 11 การวางแผนทดลองในพื้นที่สำหรับการประเมินการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (site 1) และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (site 2)	44
ภาพประกอบ 12 เทคนิค root extraction ด้วยวิธี trenching	45

ภาพประกอบ 13 ลักษณะการติดตั้งกล่องวัดก๊าซระบบปิดอัตโนมัติ และ carbon dioxide probe ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา	45
ภาพประกอบ 14 ลักษณะการติดตั้งกล่องวัดก๊าซระบบปิดอัตโนมัติ และ carbon dioxide probe ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดราชบุรี	46
ภาพประกอบ 15 ระบบการทำงานของเครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบบวิธี soil gradient โดยใช้ carbon dioxide probe	49
ภาพประกอบ 16 การติดตั้งระบบ carbon dioxide probe รุ่น GMP343	49
ภาพประกอบ 17 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ analyzer) รุ่น Licor-820	51
ภาพประกอบ 18 ระบบการทำงานของเครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบบวิธี automatic closed chambers โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ CO ₂ รุ่น Licor-820	52
ภาพประกอบ 19 การติดตั้งระบบเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รุ่น Licor-820	52
ภาพประกอบ 20 (A) thermocouple probes (B) water content reflectometers	56
ภาพประกอบ 21 อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563	63
ภาพประกอบ 22 อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563	64
ภาพประกอบ 23 ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	66
ภาพประกอบ 24 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	70
ภาพประกอบ 25 ปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ส่วนของราก) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	72
ภาพประกอบ 26 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ส่วนของราก) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	74
ภาพประกอบ 27 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา	77

ภาพประกอบ 28 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี.....	77
ภาพประกอบ 29 ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลในผลผลิตเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	79
ภาพประกอบ 30 การกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	80
ภาพประกอบ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล กับอุณหภูมิอากาศ (A) และอุณหภูมิดิน (B) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา	81
ภาพประกอบ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย กับ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี.....	82
ภาพประกอบ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย (A) และใน ผลผลิตเศษซากชีวมวล (B) กับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	83
ภาพประกอบ 34 ปริมาณเศษซากชีวมวลที่ลดลงจากการย่อยสลาย ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัด นครราชสีมา (PDDF) และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี (SDDF).....	85
ภาพประกอบ 35 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน (R_s) การหายใจ ของจุลินทรีย์ (R_m) การหายใจของรากพืช (R_r) กับอุณหภูมิอากาศ (AT) อุณหภูมิดิน (ST) และ ความชื้นในดิน (SM) เฉลี่ยรอบวัน ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา	87
ภาพประกอบ 36 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน (R_s) การหายใจ ของจุลินทรีย์ (R_m) การหายใจของรากพืช (R_r) กับอุณหภูมิอากาศ (AT) อุณหภูมิดิน (ST) และ ความชื้นในดิน (SM) เฉลี่ยรอบวัน ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี	88
ภาพประกอบ 37 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจ ของ จุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช กับอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน เฉลี่ยราย เดือน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา	90
ภาพประกอบ 38 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจ ของ จุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช กับอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน เฉลี่ยราย เดือน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	91

ภาพประกอบ 39 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจ ของ จุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช เฉลี่ยรายวัน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563.....	93
ภาพประกอบ 40 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจ ของ จุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช เฉลี่ยรายวัน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี ระหว่าง เดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563.....	93
ภาพประกอบ 41 อัตราส่วนระหว่างการหายใจของจุลินทรีย์ต่อการหายใจผิวดิน (R_m/R_s) และการ หายใจของรากพืชต่อการหายใจผิวดิน (R_r/R_s) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา	95
ภาพประกอบ 42 อัตราส่วนระหว่างการหายใจของจุลินทรีย์ต่อการหายใจผิวดิน (R_m/R_s) และการ หายใจของรากพืชต่อการหายใจผิวดิน (R_r/R_s) ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี.....	95
ภาพประกอบ 43 การเปรียบเทียบข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ ผิวดิน โดยใช้ carbon dioxide probe และ automatic closed chambers method	96
ภาพประกอบ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลาย เศษซากชีวมวล กับอุณหภูมิอากาศ (A และ C) และอุณหภูมิดิน (B และ D) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	97
ภาพประกอบ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ ผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของรากพืช รายรอบวัน กับอุณหภูมิอากาศ (A และ C) และอุณหภูมิดิน (B และ D) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา	98
ภาพประกอบ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ ผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของพืช รายรอบวัน กับอุณหภูมิอากาศ (A และ C) และอุณหภูมิดิน (B และ D) ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	100
ภาพประกอบ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ ผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของพืช รายรอบวัน กับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรัง ปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา	101
ภาพประกอบ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ ผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของพืช รายรอบวัน กับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรัง ทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี.....	101

ภาพประกอบ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ ผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของพืช รายเดือนและระหว่างฤดูกาล กับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี	102
ภาพประกอบ 50 พื้นที่ศึกษาในป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา	125
ภาพประกอบ 51 พื้นที่ศึกษาในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี จังหวัดราชบุรี	126
ภาพประกอบ 52 การวางแผนในพื้นที่ศึกษา	126
ภาพประกอบ 53 การขุดร่องรอบ ๆ พื้นที่ศึกษา เพื่อแยกรากและเป็นแนวป้องกันการรุกของรากพืช หรือเรียกว่า วิธี trenching ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา	127
ภาพประกอบ 54 การวางแผนยิปซัม และกลบหลุม trenching	127
ภาพประกอบ 55 การตรวจวัดความสูงและเส้นรอบวงของต้นไม้ เพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพของต้นไม้ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ	127
ภาพประกอบ 56 การเก็บตัวอย่างดิน และตัวอย่างรากฝอยเพื่อประเมินมวลชีวภาพของรากฝอยในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ	128
ภาพประกอบ 57 การติดตั้งอุปกรณ์ การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างผลผลิตเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ	129
ภาพประกอบ 58 การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างการย่อยสลายเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ	130
ภาพประกอบ 59 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide probe รุ่น GMP343) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา	131
ภาพประกอบ 60 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในดิน	131
ภาพประกอบ 61 ตัวอย่างดินและ pH meter สำหรับการตรวจวัดความหนาแน่นรวม และค่าความเป็นกรด-ด่าง	132

ภาพประกอบ 62 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจน ด้วยเครื่อง CHN analyzer รุ่น 628	132
---	-----



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดขึ้นทั่วโลกและทวีความรุนแรงมากขึ้นกว่าในอดีต จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำฝนโดยรวมลดลงและไม่เป็นไปตามฤดูกาล ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงไป และเกิดภัยธรรมชาติขึ้นบ่อยครั้ง เช่น การเกิดพายุหิมะในประเทศแถบยุโรป การเกิดพายุเฮอริเคนบนหมู่เกาะในแถบทะเลแคริบเบียน การเกิดแผ่นดินไหวและอาฟเตอร์ช็อกครั้งใหญ่ในประเทศเม็กซิโก และการเกิดน้ำท่วมจากพายุฝนมากกว่าปกติในประเทศแถบเอเชีย เป็นต้น⁽¹⁾ มีการคาดการณ์ว่าน้ำแข็งขั้วโลกจะละลาย ระดับน้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 90 cm ในอีกหนึ่งร้อยปีข้างหน้า ส่งผลให้หลาย ๆ ประเทศประสบปัญหาสูญเสียพื้นที่ชายฝั่ง หรืออาจจะต้องมีการอพยพประชากรบริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำขนาดใหญ่⁽²⁾ จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีสาเหตุหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การตัดไม้ทำลายป่า ภูเขาไฟระเบิด หรือมาจากการหายใจของพืชและการหายใจผิวดิน จากความรู้และหลักฐานที่มีในปัจจุบันสามารถสรุปได้ว่า การกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่วนสาเหตุที่มาจากธรรมชาตินั้นมีเพียงเล็กน้อย⁽³⁾ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญมี 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ทั้งนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณการปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศมากที่สุด ร้อยละ 76 โดยมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและกระบวนการทางอุตสาหกรรม ร้อยละ 65 และภาคป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ร้อยละ 11⁽⁴⁾ มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเฉลี่ยทั่วโลกเพิ่มขึ้นจาก 285 ppm ในปี พ.ศ.2393 เป็น 403.3 ppm ในปี พ.ศ.2560 โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงปี พ.ศ.2558-2559 เท่ากับ 3.3 ppm ต่อปี^(5, 6) ซึ่งวัฏจักรคาร์บอนบนโลกมีการหมุนเวียนคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก เริ่มต้นจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อิสระที่อยู่ในชั้นบรรยากาศและในน้ำ มีการหมุนเวียนเปลี่ยนรูปโดยพืชและสัตว์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การย่อยสลายของเศษซากพืชและสัตว์ การหายใจ

ของสิ่งมีชีวิต และอื่น ๆ จนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่ชั้นบรรยากาศอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม หากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นในปัจจุบัน จะส่งผลกระทบต่อสมดุลการหมุนเวียนคาร์บอนบนโลก เกิดการสะสมของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมากเกินไป ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การหมุนเวียนคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ เริ่มต้นจากต้นไม้กักเก็บหรือดูดซับคาร์บอน ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศ (carbon sequestration) ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง แล้วนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสร้างอาหารและอินทรีย์สารไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ราก ใบ และส่วนอื่น ๆ ในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) ทั้งในส่วนของเนื้อพื้นดินและใต้พื้นดิน ซึ่งความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในป่าทั่วโลกคิดเป็น 120 PgC/yr ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง ชนิดพันธุ์และพืชพรรณในระบบนิเวศป่าไม้ด้วย โดยพบว่า ป่าเขตร้อนสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ถึงร้อยละ 55 รองลงมาคือป่าสน ร้อยละ 32 และป่าเขตอบอุ่น ร้อยละ 14 ⁽⁷⁾ สำหรับการกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้ในประเทศไทยมีค่าอยู่ในช่วง 135.68-441.50 tonC/ha ขณะเดียวกันระบบนิเวศป่าไม้ก็มีการปลดปล่อยคาร์บอนที่อยู่ในรูปของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการหายใจของพืช และกิจกรรมของจุลินทรีย์ หรือการหายใจของดิน ผ่านกระบวนการย่อยสลายเศษซากพืชและสัตว์จากจุลินทรีย์ในดิน และการหายใจของสัตว์ในดิน เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ⁽⁶⁾ โดยการปลดปล่อยคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลกคิดเป็น 119 PgC/yr ดังนั้นระบบนิเวศป่าไม้จึงมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการหมุนเวียนคาร์บอนบนบกเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ ระบบนิเวศป่าไม้ของประเทศไทย ตั้งอยู่ในพื้นที่ป่าไม้เขตร้อน (tropical forest) มีพื้นที่ป่าไม้คิดเป็น ร้อยละ 31.58 ของพื้นที่ประเทศไทย หรือเท่ากับ 163,479.69 km² ⁽⁸⁾ ส่วนใหญ่เป็นป่าประเภทผลัดใบคิดเป็น ร้อยละ 55 ของพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมดของประเทศ โดยแบ่งเป็นป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง ร้อยละ 34 และ 21 ⁽⁹⁾ ซึ่งป่าเต็งรังเป็นป่าที่มีความสำคัญยิ่งต่อภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะประเทศไทย เพราะมีพื้นที่ป่าครอบคลุมภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตกของประเทศ ประชาชนมีการใช้ประโยชน์จากป่าทั้งประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม เช่น เป็นแหล่งอาหาร ยาสมุนไพร และเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างแหล่งที่อยู่อาศัยของคนและสัตว์ เป็นต้น แต่ในปัจจุบันพื้นที่ป่าเต็งรังลดน้อยลงกว่าในอดีตมาก เนื่องจากมีความต้องการใช้ประโยชน์

จากป่ามากขึ้น ประกอบกับป่าชนิดนี้เมื่อถูกทำลายแล้ว จะกลับฟื้นคืนเป็นป่าดั้งเดิมได้ยาก การปลูกขึ้นใหม่ก็ยากยิ่งกว่า จึงทำให้ป่าเต็งรังลดลงอย่างรวดเร็ว

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาผลผลิตคาร์บอนสุทธิในระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อประเมินศักยภาพการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการประเมินค่าการกักเก็บ และปลดปล่อยคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านทางการประมาณค่ามวลชีวภาพ ของพืช มวลชีวภาพของรากฝอย ผลผลิตเศษซากชีวมวล การย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการหายใจผิวดิน จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาวงจรคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ ที่ถูกรบกวน ทั้งจากภัยธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ ซึ่งในปัจจุบันป่าได้ถูกบุกรุกทำลาย หรือมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ลักษณะโครงสร้างป่าไม้ และการเจริญเติบโตของพืชมีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ ระบบนิเวศป่าไม้แต่ละประเภทมีความ แตกต่างกัน ทั้งพันธุ์ไม้ พรรณพืช และอายุของต้นไม้ รวมทั้งมีความสำคัญต่อการประเมิน การกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอน ทำให้ทราบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการหายใจของรากพืช และการหายใจของจุลินทรีย์ในดิน และทราบถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อม ที่ควบคุมการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิของประเทศไทย ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ (net ecosystem production: NEP) ทั้งการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพและการปลดปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินทั้งการหายใจของจุลินทรีย์และรากพืช ตลอดจน การศึกษาปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่า เต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ ของประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พื้นที่ทำการศึกษาคือ ป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัด นครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี จังหวัดราชบุรี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ จากการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรัง โดยการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่า เต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ จากการตรวจวัดการเจริญเติบโตของพืชและนำมาคำนวณการกักเก็บ คาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) อีกทั้งประเมินปริมาณมวลชีวภาพ

ของรากฝอย และประเมินผลผลิตเศษซากชีวมวล โดยใช้ litter trap ส่วนการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ จะประเมินอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล โดยวิธี litter bag และตรวจวัดการหายใจผิวดิน โดยทำการตรวจวัดด้วยวิธี soil gradient โดยใช้ carbon dioxide probe และวิธีกล่องวัดก๊าซระบบปิดอัตโนมัติ (automatic closed chambers method) ซึ่งในแปลงทดลองแต่ละพื้นที่จะทำการวาง carbon dioxide probe ทั้งหมด 4 ตัว ส่วนกล่องวัดก๊าซ (chamber) จะทำการวางกล่องวัดก๊าซทั้งหมด 5 กล่อง ในแปลงทดลองป่าเต็งรังปฐมภูมิ และวางกล่องวัดก๊าซ 6 กล่องในแปลงทดลองป่าเต็งรังทุติยภูมิ แบ่งเป็นการวัดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินรวม และการหายใจของจุลินทรีย์รวมถึงจะทำการเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางด้านภูมิอากาศ และคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้การวางแผนการทดลองเป็นแบบสุ่มทั้งในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยมีระยะเวลาการศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

การกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ ระบบนิเวศป่าไม้มีบทบาทและคุณสมบัติในการเป็นแหล่งกักเก็บ (sink) และปลดปล่อย (source) คาร์บอน การกักเก็บหรือการดูดซับคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้นั้น เกิดจากการที่ต้นไม้ดูดซับคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง แล้วนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสร้างอาหารและอินทรีย์สารไปสะสมในส่วนต่าง ๆ เป็นการเพิ่มผลผลิตชีวมวล โดยการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ ประเมินได้จากการประมาณค่ามวลชีวภาพของต้นไม้ ผ่านการศึกษาเจริญเติบโตของพืช (ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้) มวลชีวภาพของรากฝอย และผลผลิตเศษซากชีวมวล ส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนกลับสู่ชั้นบรรยากาศในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากการหายใจของพืช และกิจกรรมของจุลินทรีย์ หรือการหายใจผิวดิน ผ่านกระบวนการย่อยสลายซากพืชและสัตว์ของจุลินทรีย์ในดิน และการหายใจของสัตว์ในดิน⁽⁶⁾ โดยกระบวนการหายใจผิวดิน เป็นกระบวนการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ ประเมินได้จากอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการหายใจผิวดิน

มวลชีวภาพ (biomass) เป็นน้ำหนักของพืชทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งทั่วไปนิยมวัดในรูปน้ำหนักแห้ง โดยมวลชีวภาพของพืชได้มาจาก

กระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหารและอินทรีย์สารไปใช้ในการเจริญเติบโตและสะสมในส่วนลำต้น กิ่ง ราก และใบ การประมาณค่ามวลชีวภาพ เพื่อศึกษาการกักเก็บหรือการดูดซับคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตัดต้นไม้ที่ต้องการศึกษาในพื้นที่ทั้งหมด โดยตัดแบ่งต้นไม้ออกเป็นชั้น ๆ ที่ช่วงความหนาแน่นของชั้นนั้น ๆ เท่ากัน นำไปชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบแล้วชั่งน้ำหนักแห้งที่คงที่ เพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพทั้งหมดต่อพื้นที่ เรียกวินี้ว่า harvest method และอีกวิธีหนึ่ง คือการชั่งน้ำหนักบางส่วนของต้นไม้ การวัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าไม้ แล้วนำมาประมาณค่ามวลชีวภาพทั้งหมดต่อพื้นที่ โดยใช้สมการแอลโลเมตริก เรียกวินี้ว่า allometric method ^(10, 11)

มวลชีวภาพของรากฝอย (fine root biomass) คือน้ำหนักของรากฝอยทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ รากฝอย (fine root) เป็นรากขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 mm ทำหน้าที่ในการหาอาหาร ดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ มีความสำคัญกับการหมุนเวียนคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ เนื่องจากรากฝอยมีช่วงชีวิตสั้น มีอัตราการเกิดรากใหม่หรือการตายไปของรากฝอยเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต การเกิดหรือการเสื่อมสภาพของรากฝอยเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน ⁽¹²⁾ และการตรึงคาร์บอนในดินในรูปของอินทรีย์วัตถุ ⁽¹³⁾ ซึ่งปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยในแต่ละระบบนิเวศป่าไม้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิดิน ความชื้นในดิน อายุของต้นไม้และความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน ⁽¹⁴⁾

ผลผลิตเศษซากชีวมวล (litterfall production) หรือปริมาณการร่วงหล่นของเศษซากพืชเป็นน้ำหนักของส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ตายแล้วร่วงหล่นลงสู่ดินในหนึ่งหน่วยพื้นที่เหนือพื้นดินภายในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่กำหนด ⁽¹⁵⁾ โดยเศษซากชีวมวล (litterfall) คือส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบไม้ กิ่ง ดอก ผล และส่วนอื่น ๆ ที่ตายและร่วงหล่นสู่พื้นดิน หรือสะสมอยู่บนพื้นดินหรือยังคงอยู่ภายในดิน เศษซากชีวมวลที่ร่วงหล่นสู่พื้นดินบางส่วนอาจถูกกักกินเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณผิวดิน เช่น ไส้เดือนดิน และบางส่วนแตกหักเป็นชิ้นเล็ก ๆ ย่อยต่อการย่อยสลายเป็นธาตุอาหารให้แก่จุลินทรีย์ ⁽¹⁶⁾ ทั้งนี้ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลในระบบนิเวศป่าไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ ความหลากหลายและความหนาแน่นของพรรณพืช เป็นต้น

การย่อยสลายเศษซากชีวมวล (litterfall decomposition) คือกระบวนการที่ทำให้ชิ้นส่วนของพืชที่ตายและร่วงหล่นลงสู่พื้นดิน เกิดการแตกหักย่อยสลายกลายเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ในรูปของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือบางส่วนที่เหลือก็จะสะสม

อยู่ในดิน เรียกว่า อินทรีย์วัตถุในดิน⁽¹⁷⁾ กระบวนการในการย่อยสลายสามารถจำแนกออกเป็น 3 กระบวนการคือ การชะล้าง (leaching) การผุพัง (weathering) และการกระทำจากสิ่งมีชีวิต (biological action)⁽¹⁸⁾ โดยการย่อยสลายเป็นกลไกที่มีความสำคัญต่อการหมุนเวียนธาตุอาหาร และการปลดปล่อยคาร์บอนจากระบบนิเวศป่าไม้ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้การย่อยสลายเศษซากชีวมวลมีความแปรผันกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดยปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายเศษซากชีวมวลแบ่งเป็น 3 ปัจจัยหลักคือ ปัจจัยสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติของเศษซากชีวมวล และกลุ่มผู้ย่อยสลาย ปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์ร่วมกัน⁽¹⁹⁾

การหายใจผิวดิน (soil respiration) เป็นกระบวนการทางระบบนิเวศที่ผลิตและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านการหายใจของรากพืช การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของสัตว์ในดิน โดยการศึกษาการหายใจผิวดิน นิยมศึกษาจากผลรวมของการหายใจของรากพืช (root respiration) และการหายใจของจุลินทรีย์ (microbial respiration) เนื่องจากการหายใจของสัตว์ในดิน เป็นองค์ประกอบของการหายใจผิวดินที่มีปริมาณน้อยมาก และไม่ค่อยสำคัญในระบบนิเวศ⁽²⁰⁾

ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production) เป็นการศึกษาว่าระบบนิเวศนั้น ๆ มีการกักเก็บหรือปลดปล่อยคาร์บอน โดยระบบนิเวศใดที่มีการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าการปลดปล่อยคาร์บอน จะจัดเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sinks) และในทางตรงข้ามหากระบบนิเวศใดที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนมากกว่าการกักเก็บคาร์บอน จะจัดเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน (carbon sources)⁽²¹⁾ การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ได้จากผลต่างระหว่างผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary production: NPP) จากปริมาณมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไป และปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการตายหรือร่วงหล่นเป็นเศษซากพืชในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ลบกับการปลดปล่อยคาร์บอนจากการหายใจของจุลินทรีย์ (microbial respiration: R_m)^(20, 22)

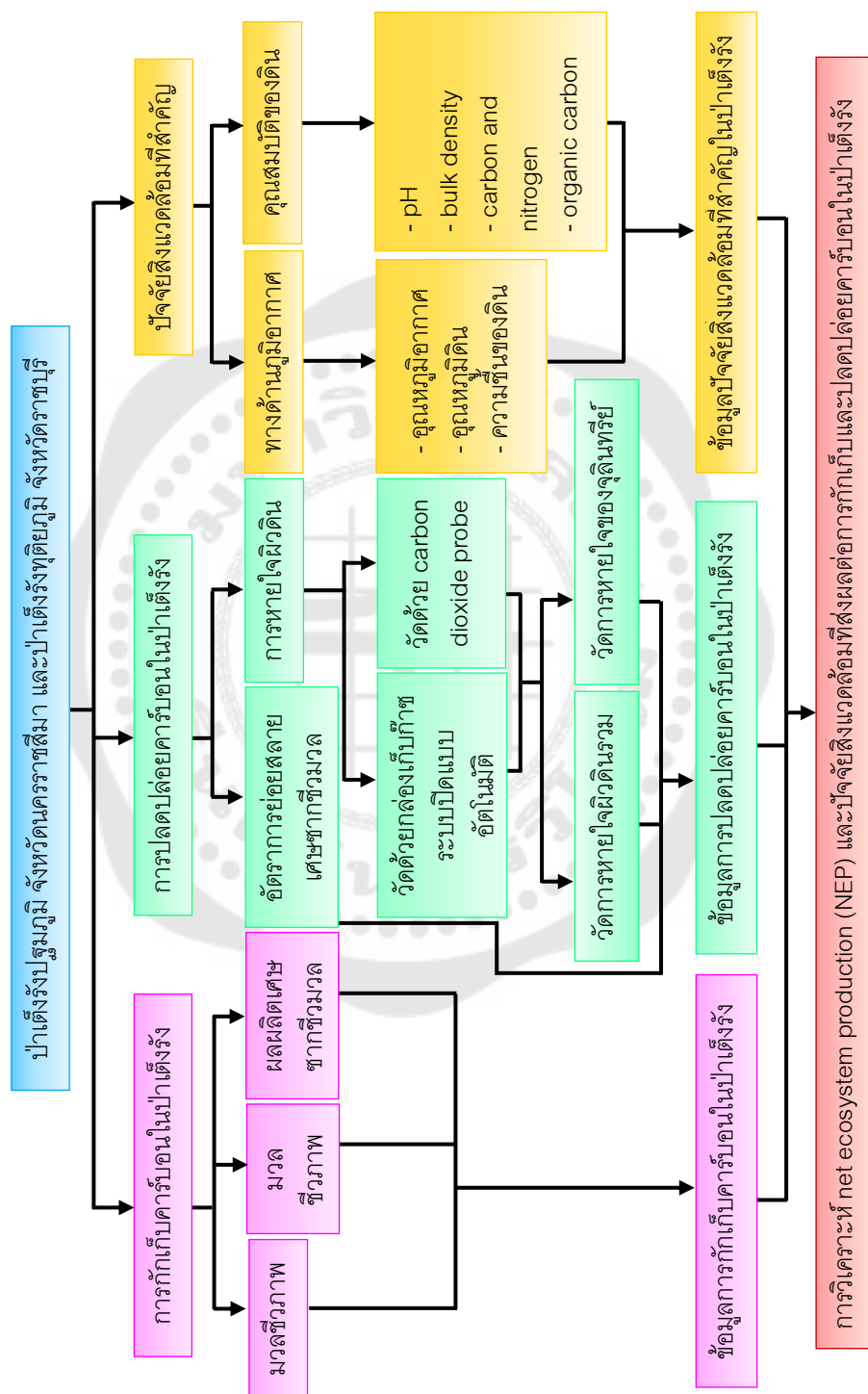
ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary production: NPP) เป็นปริมาณเนื้อเยื่อที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือเรียกว่า มวลชีวภาพ (biomass) โดยไม่รวมส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจของพืช การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ได้จากผลรวมของปริมาณมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการตายหรือร่วงหล่นเป็นเศษซากพืชในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 และปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการกีดกันของแมลงหรือสัตว์อื่น ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ในที่นี้ตั้งสมมติฐานว่ามีค่าเป็นศูนย์⁽²²⁾

ป่าเต็งรัง (dry dipterocarp forest) เป็นป่าที่มีความสำคัญยิ่งต่อประเทศไทย มีพื้นที่ครอบคลุมทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตกของประเทศ มีลักษณะเป็นป่าโปร่ง มักขึ้นในบริเวณที่ราบและบนภูเขาหรือที่ราบสูง ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ มีการชะล้างพังทลายของดิน ดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายและดินลูกรัง พันธุ์ไม้ในป่าเป็นไม้ผลัดใบ จะทิ้งใบในช่วงฤดูแล้ง ไม้เด่นในป่า ประกอบด้วย ไม้วงศ์ยางประเภทผลัดใบ เช่น เต็ง รัง เหียง พลวง ยางกราด ในปัจจุบันพื้นที่ป่าเต็งรังธรรมชาติถูกทำลายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีความต้องการใช้ประโยชน์จากป่ามากขึ้น ทั้งประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม เช่น ใช้ในการก่อสร้าง เเผ่ถ่านผลิตเป็นเชื้อเพลิง เป็นแหล่งอาหารของชาวบ้าน เป็นต้น ประกอบกับป่าชนิดนี้เมื่อถูกทำลายแล้ว จะกลับฟื้นคืนเป็นป่าธรรมชาติดั้งเดิมได้ยาก การปลูกขึ้นใหม่ก็ทำได้ยากยิ่งกว่า จึงทำให้ป่าเต็งรังที่เป็นป่าปฐมภูมิลดลงอย่างรวดเร็วหรือเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นป่าเต็งรังทุติยภูมิ

1.5 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

กรอบแนวคิดในงานวิจัย (conceptual framework) ดังภาพประกอบ 1 เป็นการทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี จังหวัดราชบุรี ประกอบด้วย ขั้นตอนการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ การประมาณค่ามวลชีวภาพ ผ่านการตรวจวัดการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) ประเมินปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอย และประเมินผลผลิตเศษซากชีวมวล โดยใช้ litter trap ขั้นตอนการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิจะประเมินอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล โดยใช้ litter bag และตรวจวัดการหายใจผิวดิน ด้วยวิธี soil gradient โดยใช้ carbon dioxide probe และวิธีกล่องวัดก๊าซระบบปิดอัตโนมัติ (automatic closed chambers method) ซึ่งในแปลงทดลองแต่ละพื้นที่จะทำการวาง carbon dioxide probe ทั้งหมด 4 ตัว ส่วนกล่องวัดก๊าซ (chamber) จะทำการวางกล่องวัดก๊าซทั้งหมด 5 กล่อง ในแปลงทดลองป่าเต็งรังปฐมภูมิ และวางกล่องวัดก๊าซอีก 6 กล่อง ในแปลงทดลองป่าเต็งรังทุติยภูมิ แบ่งเป็นการวัดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินรวม และการหายใจของจุลินทรีย์ รวมทั้งทำการเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางด้านภูมิอากาศ และคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการ แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิของ

ระบบนิเวศ (net ecosystem production: NEP) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ วิเคราะห์ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย (conceptual framework)

1.6 สมมติฐานของการวิจัย

ถ้าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและปัจจัยสิ่งแวดล้อมส่งผลต่อการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนจากการประเมินมวลชีวภาพของต้นไม้ มวลชีวภาพของรากฝอย ผลผลิตเศษซากชีวมวล อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการหายใจผิวดินแล้ว ดังนั้น จะส่งผลต่อปริมาณผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production: NEP) ในป่าเต็งรัง ปฐมภูมิและทุติยภูมิ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ด้านวิชาการ เป็นองค์ความรู้และข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนของประเทศ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการเชื่อมโยงการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในป่ากับข้อมูลทางภูมิภาคเอเชีย และนำความรู้ที่ได้เผยแพร่ในเวทีการนำเสนอผลงานทางวิชาการและตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและองค์ความรู้ระหว่างนักวิชาการและผู้เชี่ยวชาญด้านป่าไม้และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของในและต่างประเทศ

1.7.2 ด้านนโยบาย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางนโยบายการอนุรักษ์และเพิ่มพื้นที่ป่าเพื่อเป็นพื้นที่สีเขียว และเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของประเทศไทยและทั่วโลก

1.7.3 ด้านสังคมและชุมชน เพิ่มกลุ่มเป้าหมายต่อการสร้างจิตสำนึกและเห็นคุณค่าในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ ในการลดผลกระทบและป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคต

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
2. วัฏจักรคาร์บอน
3. การกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้
4. การประเมินศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบนิเวศป่าไม้
5. ระบบนิเวศป่าเต็งรัง

2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศ (climate) คือค่าเฉลี่ยอากาศที่ได้มาจากการตรวจวัด ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ แสงแดด ลม ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ปกติแล้วจะเป็นค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรของปริมาณที่เกี่ยวข้องทั้งหมดยาวนานกว่า 30 ปีขึ้นไป ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก⁽²³⁾ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) คือการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยอากาศ หรือลักษณะของอากาศ รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอากาศ ในระยะยาวหลายสิบปีหรือหลายร้อยปี⁽²⁾ สามารถเกิดขึ้นในหลายระดับ เช่น ระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับโลก มีสาเหตุมาจากปัจจัยทางธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีสาเหตุมาจากปัจจัยทางธรรมชาติส่วนมากใช้ระยะเวลายาวนานจึงจะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน เช่น การเปลี่ยนแปลงแนววงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงการเอียงของแกนโลก การแกว่งไปมาของแกนโลก ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้มีการประมาณการว่า การเกิดปรากฏการณ์เหล่านี้ทำให้อุณหภูมิของโลกในช่วงปี พ.ศ.2443-2543 ลดลงประมาณ 0.02°C ⁽³⁾ และการเปลี่ยนแปลงที่มีสาเหตุมาจากการกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์ ในช่วงเวลาดังแต่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรม ที่มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 0.8°C จากความรู้และหลักฐานที่มีในปัจจุบันสามารถสรุปได้ว่าการกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศอย่างรวดเร็ว ทั้งทางตรงและทางอ้อม ในภาคส่วน

ต่าง ๆ เช่น ภาวะพลังงาน ภาวะอุตสาหกรรม ภาวะการเกษตร เป็นต้น ส่วนสาเหตุที่มาจากธรรมชาติ นั้นมีเพียงเล็กน้อย⁽³⁾

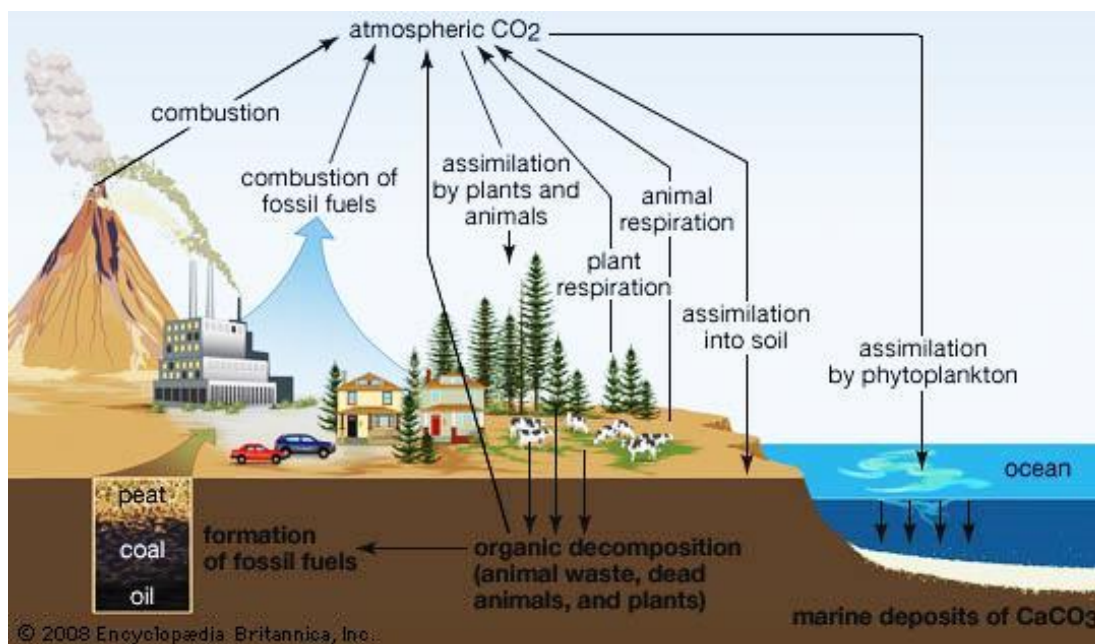
โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระดับโลก จากการรายงานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลกพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกันยายนปี พ.ศ.2560 เป็นปีที่ร้อนที่สุดในประวัติศาสตร์โดยปราศจากอิทธิพลจากปรากฏการณ์เอลนีโญ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 14.31°C มีค่าสูงกว่าปกติ โดยค่าเฉลี่ยปี พ.ศ.2524-2553 มีค่าเท่ากับ $0.46 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ และสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรมถึง $1.1 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในช่วง 5 ปีระหว่างปี พ.ศ.2556-2560 มีค่าสูงกว่าค่าปกติประมาณ 0.4°C และสูงกว่าช่วงก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรมประมาณ 1.03°C และมีแนวโน้มที่จะเป็นค่าที่สูงที่สุดเท่าที่เคยบันทึกไว้⁽⁵⁾ จากการคาดการณ์อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอีก $1.4-5.8^{\circ}\text{C}$ ภายในปี พ.ศ.2643⁽²⁴⁾ ในระดับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบว่า มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 3.77°C ภายในสิ้นศตวรรษนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับเฉลี่ยที่เส้นฐานของช่วงปี พ.ศ.2504-2533 มีแนวโน้มที่จะประสบกับสภาพอากาศที่แห้งแล้งยิ่งขึ้นในช่วง 20-30 ปีข้างหน้า และคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ.2643 ปริมาณผลผลิตข้าวในภูมิภาคนี้จะลดลง จากการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง ทั้งนี้ประเทศไทยพบว่า ในช่วงปี พ.ศ.2508-2549 อุณหภูมิบริเวณประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดได้เพิ่มขึ้น 0.57°C , 0.81°C และ 0.89°C ตามลำดับ ปริมาณฝนรวมรายปีมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันตกเฉียงเหนือ⁽³⁾

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ทั้งทางกายภาพและชีวภาพของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศที่อยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากที่สุดแห่งหนึ่งของโลก เนื่องจากภูมิภาคนี้เป็นที่อยู่อาศัยของประชากรสูงถึง 563 ล้านคน มีพื้นที่ชายฝั่งที่ยาว มีการกระจุกตัวของประชากร และกิจกรรมทางเศรษฐกิจตามแนวชายฝั่ง ประชากรพึ่งพาการเลี้ยงชีพโดยเกษตรกรรมเป็นหลัก และหลายประเทศมีการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติและภาคป่าไม้เป็นหลัก ผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงมีความเด่นชัดและรุนแรงมากขึ้น⁽²⁵⁾ ส่งผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เช่น ผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมลดต่ำลง เกิดการระบาดของแมลงศัตรูพืชและแมลงที่เป็นพาหะนำโรคต่าง ๆ โรคและเชื้อโรคบางชนิดสามารถแพร่กระจายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและเกิดการกลายพันธุ์ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ เช่น การลดลงของปริมาณน้ำจืด เนื่องจาก

ความแห้งแล้งและระดับน้ำทะเลสูงขึ้น การละลายของธารน้ำแข็ง ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง ภัยธรรมชาติที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งน้ำท่วม แผ่นดินไหว พายุไซโคลน-โซนร้อน และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ เช่น การสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตบางชนิด การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ และอาจทำให้ระบบนิเวศและวัฏจักรคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลง ขาดความสมดุล สิ่งเหล่านี้อาจส่งผลให้คุณภาพชีวิตของประชาชนลดลง ทำให้เกิดการสูญเสียทรัพย์สิน สุขภาพอนามัย และชีวิตของประชากร รวมถึงเกิดความเครียดที่เกิดจากความร้อนที่สูงขึ้น

2.2 วัฏจักรคาร์บอน

ธาตุคาร์บอน เป็นธาตุที่มีความสำคัญ เป็นองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด คิดเป็นร้อยละ 50 ของเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต อาจอยู่ในรูปอินทรีย์สาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และวิตามิน โดยธาตุคาร์บอนมีการหมุนเวียนแลกเปลี่ยนกันระหว่างสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) หรือการหมุนเวียนคาร์บอนบนโลก เริ่มต้นจากคาร์บอนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศและในน้ำ ซึ่งอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ⁽²⁶⁾ เข้าสู่สิ่งมีชีวิตผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชดูดซับจะทำปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นสารประกอบอินทรีย์และออกซิเจน ซึ่งสารประกอบอินทรีย์คือ คาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาล ใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต อีกส่วนสะสมในรูปของแป้ง หรืออาจใช้ในการสร้างโปรตีนและไขมัน จากนั้นอินทรีย์สารที่พืชสะสมบางส่วนจะถูกถ่ายทอดไปยังผู้บริโภคโดยการกิน ส่งผ่านธาตุอาหารเข้าสู่ระบบนิเวศตามห่วงโซ่อาหาร ผู้บริโภคเมื่อรับธาตุอาหารก็จะเผาผลาญธาตุอาหารภายในเซลล์ และปลดปล่อยคาร์บอนที่อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศและน้ำผ่านกระบวนการหายใจ ซึ่งกระบวนการหายใจนี้มาจากพืชและสัตว์ ส่วนคาร์บอนบางส่วนยังคงอยู่ในรูปของเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ โดยจะมีการหมุนเวียนหลังจากพืชและสัตว์ขับถ่ายหรือตายลง และมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน ส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายจะทับถมกันเป็นเวลานานจนกลายเป็นถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ หรือเรียกว่า เชื้อเพลิงฟอสซิล ทำให้มีการสะสมคาร์บอนอยู่ในดิน เมื่อมนุษย์นำมาใช้เป็นพลังงาน เชื้อเพลิงก็จะเกิดการเผาไหม้แล้วปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศดั้งเดิม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดกลับโดยพืชหมุนเวียนเป็นวัฏจักรเรื่อย ๆ ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle)

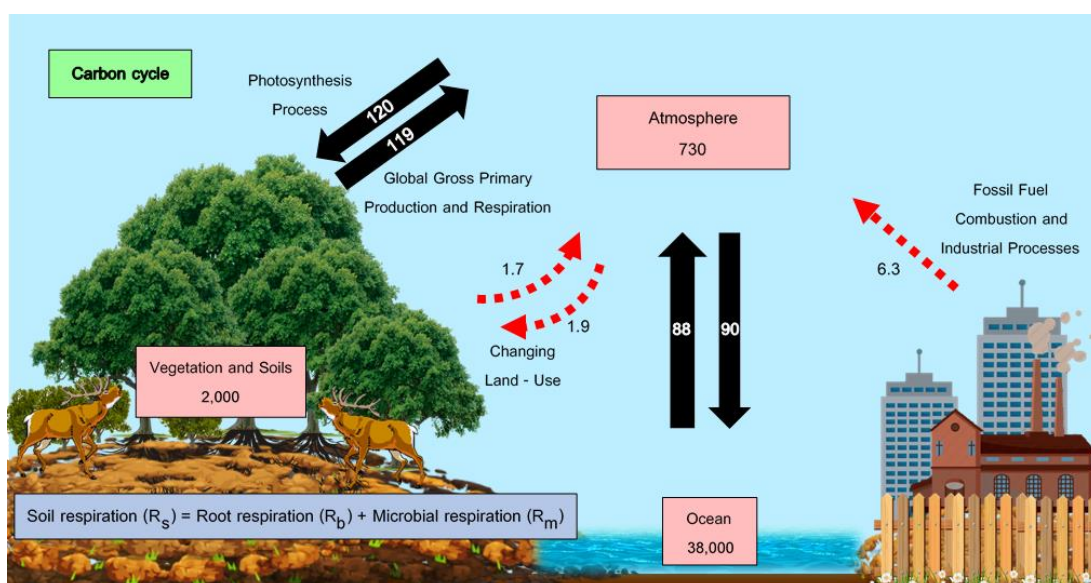
ที่มา: Encyclopedia Britannica ⁽²⁷⁾

โดยทั่วไปวัฏจักรคาร์บอนจะทำงานได้อย่างสมดุล แต่ในปัจจุบันมีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มมากขึ้น แม้ว่าจะมีการปลูกป่าไม้ทดแทน แต่ป่าทดแทนนี้กักเก็บคาร์บอนได้น้อยกว่าป่าธรรมชาติ ประกอบกับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคพลังงาน มีปริมาณสูงเกินกว่าที่ป่าไม้จะสามารถดูดซับได้หมด ⁽⁹⁾ ทำให้มีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร และพื้นดิน มากขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้วัฏจักรคาร์บอนสูญเสียสมดุล

2.3 การกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้

ระบบนิเวศป่าไม้มีบทบาทและคุณสมบัติในการเป็นแหล่งกักเก็บ (sink) และปลดปล่อย (source) คาร์บอน ระบบนิเวศป่าไม้จึงมีความสำคัญกับวัฏจักรคาร์บอนเป็นอย่างมาก การกักเก็บหรือการดูดซับคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้นั้น เกิดจากการที่ต้นไม้ดูดซับคาร์บอนที่อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศ (carbon sequestration) ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง แล้วนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสร้างอาหาร อินทรีย์สาร และอินทรีย์คาร์บอนไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ราก และใบ เป็นการเพิ่มผลผลิตมวลชีวภาพ หรือชีวมวล

ทั้งในส่วนเหนือพื้นดิน (above ground) และใต้พื้นดิน (below ground) ดังนั้นหากพื้นที่ใดมีผลผลิตมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น พื้นที่นั้นก็จะมีการกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากพื้นที่ใดมีผลผลิตมวลชีวภาพลดลง พื้นที่นั้นก็จะมีการกักเก็บคาร์บอนลดลง โดยต้นไม้ 1 ต้น สามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 1.81 ton และปลดปล่อยออกซิเจนประมาณ 1.32 ton⁽²⁸⁾ ป่าไม้มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนทั่วโลกคิดเป็น 120 PgC/yr ดังภาพประกอบ 3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะ ประเภท โครงสร้าง อายุ และชนิดของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าไม้ด้วย



ภาพประกอบ 3 วัฏจักรคาร์บอน ปริมาณการดูดซับและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ที่มา: ดัดแปลงจาก National Oceanic and Atmospheric Administration⁽²⁹⁾

โดยแพน และคณะ⁽⁷⁾ พบว่า ป่าเขตร้อนสามารถกักเก็บคาร์บอนร้อยละ 55 รองลงมาคือ ป่าสน ร้อยละ 32 และป่าเขตอบอุ่น ร้อยละ 14 สำหรับการศึกษากักเก็บคาร์บอนของป่าไม้ในประเทศไทย พบว่า ป่าดิบแล้งสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ 441.50 tonC/ha รองลงมาคือป่าดิบชื้น 383.56 tonC/ha ป่าเบญจพรรณ 354.31 tonC/ha ป่าชายเลน 292.25 tonC/ha และป่าเต็งรัง 135.68 tonC/ha⁽²⁴⁾ ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ จากการประมาณค่ามวลชีวภาพ (biomass) ทั้งเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน ผ่านการศึกษาการเจริญเติบโตของพืช (ความสูง และ เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้) มวลชีวภาพของรากฝอย (fine root biomass) และผลผลิตเศษซาก ชีวมวล (litterfall production)

2.3.1 การประมาณค่ามวลชีวภาพ (biomass)

มวลชีวภาพ (biomass) หมายถึง น้ำหนักของพืชทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศ ทั้งที่อยู่เหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน ต่อหน่วยพื้นที่ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งทั่วไปนิยมวัดในรูป น้ำหนักแห้ง (dry weight) หรือน้ำหนักแห้งที่ปราศจากขี้เถ้า (ash-free dry weight) มีหน่วยเช่น g/m^2 หรือ kg/ha หรือ ton/ha โดยมวลชีวภาพของพืชเป็นผลผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหาร อินทรีย์สารไปใช้ในการเจริญเติบโตและสะสมในส่วนต่าง ๆ เช่น ลำต้น กิ่ง ราก และใบ ซึ่งมวลชีวภาพนี้จะเป็นตัวบ่งชี้การเจริญเติบโตของพืช และความอุดมสมบูรณ์ในแง่ ผลผลิตของพืช^(10, 11, 18) มวลชีวภาพช่วยให้เกิดการไหลเวียนของพลังงานและการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศ นอกจากนี้กระบวนการสร้างมวลชีวภาพยังช่วยทำให้เกิดดุลยภาพของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด⁽¹⁵⁾ การประมาณค่า มวลชีวภาพ เพื่อศึกษาการกักเก็บหรือการดูดซับคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้ สามารถทำได้ หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 harvest method เป็นการประเมินค่ามวลชีวภาพโดยวิธีการตัดฟันต้นไม้ ที่ต้องการศึกษาในพื้นที่ทั้งหมดทุกต้น เพื่อชั่งน้ำหนักหามวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ออกมาเป็นน้ำหนักแห้ง โดยการนำต้นไม้หรือส่วนของต้นไม้ที่ตัดฟันไปทำการอบแห้งให้ได้น้ำหนัก แห้งที่คงที่ แล้วคำนวณปริมาณค่ามวลชีวภาพทั้งหมดต่อพื้นที่ นอกจากนี้ ในการศึกษาปริมาณ การกระจายของมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ตามระดับความสูงของต้นไม้ จึงใช้วิธีการตัดทอนและ ชั่งน้ำหนักของต้นไม้ เพื่อศึกษามวลชีวภาพตามแบบ stratified clip technique ซึ่งเป็นเทคนิค อย่างง่ายในการตัดฟันส่วนของต้นไม้ตัวอย่างออกเป็นชั้น ๆ ในแนวราบ โดยใช้ช่วงความหนาแน่น ของชั้นเท่า ๆ กัน ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาและสรีระวิทยาของใบไม้และเนื้อไม้ที่ แตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่อยู่ภายในที่ว่างของป่า หรือตามบริเวณความเข้มของแสงอาทิตย์ใน บริเวณที่พรรณไม้ขึ้นอยู่ ซึ่ง harvest method เป็นวิธีการประมาณค่าได้โดยตรง ทำให้ได้ค่ามวล ชีวภาพที่มีความแม่นยำสูง แต่วิธีดังกล่าวมักจะใช้สำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (above ground) เท่านั้น ไม่มีการประเมินมวลชีวภาพของราก (root biomass) ซึ่งมีความสำคัญ ต่อการประมาณค่ามวลชีวภาพใต้พื้นดิน (below ground) นอกจากนี้การใช้วิธีนี้ ยังมีขั้นตอน ยุ่งยาก ใช้แรงงานผู้ตรวจวัดจำนวนมาก ใช้งบประมาณสูง และก่อให้เกิดความเสียหายต่อ ทรัพยากรอีกด้วย

วิธีที่ 2 allometric method เป็นการชั่งน้ำหนักบางส่วน of ต้นไม้ การวัดความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าไม้นั้น ๆ แล้วนำมาประมาณค่ามวลชีวภาพ

ทั้งหมดต่อพื้นที่ โดยใช้สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) มีหลักการสำคัญคือการเจริญเติบโตของพืชทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์กับการเจริญและขนาดของอวัยวะบางส่วนของพืชในที่นี้คือ ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ที่ความสูงระดับอก หรือเท่ากับ 1.3 m (diameter at breast height : DBH) ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะอยู่ในรูปสมการ 1 เป็นวิธีประมาณค่ามวลชีวภาพทางอ้อมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน^(10, 11, 18)

$$Y = bx^k \quad (1)$$

โดยที่ Y = มวลชีวภาพทั้งหมดของต้นไม้

x = ตัวแปรอิสระที่วัดได้จากต้นไม้ เช่น ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง

b, k = ค่าคงที่

เมื่อแปลงความสัมพันธ์ที่อยู่ในรูปสมการ 1 โดยล็อกการิทึม จะได้เป็นรูปแบบความสัมพันธ์เส้นตรงดังนี้

$$\log Y = k \log x + \log b \quad (2)$$

ความสัมพันธ์ของกราฟ log-log scale จะได้เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่มีค่า k คือความชันของกราฟ และค่า log b เป็นจุดตัดแกน Y ของกราฟ⁽³⁰⁾ โดยสมการ allometric ที่ใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพของแต่ละระบบนิเวศป่าไม้จะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากต้นไม้แต่ละชนิดมีระบบโครงสร้างและความหนาแน่นที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ วิทเทกเกอร์ และวูดเวลล์⁽³¹⁾ ยังเสนอแนะว่า การประมาณค่ามวลชีวภาพด้วยวิธี allometric ควรคำนึงถึงหลักการ ดังต่อไปนี้

1) ต้นไม้ที่เลือกมาเป็นตัวอย่าง ไม่ควรเลือกเฉพาะต้นไม้ที่ลักษณะดีทั้งรูปร่างและการเจริญเติบโตเพราะจะทำให้ประเมินการสะสมคาร์บอนในป่าไม่ได้ค่ามากเกินความเป็นจริง

2) การเลือกต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในแปลงมาใช้ในการประเมินการสะสมคาร์บอนในป่าไม้จะทำให้ค่าเกิดความคลาดเคลื่อนได้อย่างมาก เพราะเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างต้นไม้ที่มีขนาดเล็ก พบว่า ค่าที่ได้มีค่ามากเกินความจริง

3) การเอาความสูงของต้นไม้มาเป็นตัวแปรอิสระร่วมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ที่ความสูงระดับอก ในรูปของ parabolic volume (D^2H) นั้นช่วยแก้ไขความผิดพลาดให้น้อยลง ทั้งยังทำให้ข้อมูลมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

จากการศึกษามวลชีวภาพที่ผ่านมาพบว่า ปริมาณมวลชีวภาพมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญหลายประการ เช่น อายุ ชนิดไม้ ลักษณะทางพันธุกรรม ชนิดและโครงสร้างของระบบนิเวศป่าไม้ สภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิประเทศ โดยสาพิศ ดิลกสัมพันธ์⁽³²⁾

ได้รวบรวมข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชในป่าธรรมชาติชนิดต่าง ๆ พบว่ามีปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพเฉลี่ยอยู่ระหว่าง ร้อยละ 48-55 ของน้ำหนักแห้ง และมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินที่มีความแปรผันตามชนิดของป่าไม้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 62-128 และ 29-86 tonC/ha ตามลำดับ โดยป่าดงดิบ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินสูงที่สุด รองลงมาคือป่าเบญจพรรณ ป่าชายเลน ป่าสน และป่าเต็งรัง ดังตาราง 1 สอดคล้องกับการศึกษาของนวลปราง นวลอุไร⁽³³⁾ ที่ทำการศึกษาศักยภาพการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบชื้นในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน พบว่า มวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าดิบชื้นโดยเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 336.12 ton/ha รองลงมาคือ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 207.70, 68.53 และ 58.63 ton/ha ตามลำดับ และการศึกษาของสนธยา จำปานิล และนันทนา คัชเสนี⁽³⁴⁾ ที่ได้ทำการประเมินคาร์บอนกักเก็บในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขาในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน โดยป่าเบญจพรรณ ปฐมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เท่ากับ 250.24 tonC/ha ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าป่าเบญจพรรณหุติยภูมิ ป่าดิบเขาปฐมภูมิ และป่าดิบเขาหุติยภูมิ ที่มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 79.34, 142.32 และ 108.51 tonC/ha ตามลำดับ รวมถึงการศึกษาของอภิญา อาคมานุวัตร⁽³⁵⁾ ในพื้นที่ป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 10.59 tonC/ha และปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดินเท่ากับ 7.17 tonC/ha

ตาราง 1 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าธรรมชาติประเทศไทย

ชนิดป่า	ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	การกักเก็บคาร์บอน (ton/ha)		การกักเก็บคาร์บอนรวม (ton/ha)
		เหนือดิน	ใต้ดิน	
ป่าดงดิบ	54	182	86	268
ป่าเบญจพรรณ	52	118	55	173
ป่าเต็งรัง	49	62	29	91
ป่าสน	48	77	36	113
ป่าชายเลน	55	110	52	162

ที่มา: สาทิศ ดิลกสัมพันธ์⁽³²⁾

2.3.2 มวลชีวภาพของรากฝอย (fine root biomass)

รากฝอย (fine root) เป็นรากขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 mm ทำหน้าที่ในการหาอาหาร ดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ มีความสำคัญกับการหมุนเวียนคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ เนื่องจากรากฝอยมีช่วงชีวิตสั้น มีอัตราการเกิดรากใหม่หรือการตายไปของรากฝอยเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต กล่าวคือ มีการสร้างรากขึ้นใหม่ทดแทนรากเดิมที่เสื่อมสภาพ หรือถูกทำลายตามธรรมชาติ การเกิดหรือการเสื่อมสภาพของรากนั้นเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน⁽¹²⁾ และการตรึงคาร์บอนในดินในรูปของอินทรีย์วัตถุ⁽¹³⁾

โดยการศึกษา หรือการประเมินปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 3 วิธี ได้แก่

1) วิธี sequential soil coring เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษามวลชีวภาพของรากฝอย ซึ่งจะทำให้การขุดเก็บตัวอย่างรากโดยใช้ soil core เป็นระยะ ๆ ตามความลึกที่กำหนด เช่น ทุกหนึ่งเดือน หรือสองเดือน เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของรากฝอย แต่ไม่เหมาะสมกับการศึกษาอัตราการเวียนกลับของราก⁽³⁶⁾ เนื่องจากไม่สามารถทราบถึงการตายและการเกิดขึ้นใหม่ของรากในระหว่างช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง

2) วิธี ingrowth core เป็นการศึกษามวลชีวภาพโดยใช้ตาข่ายทรงกระบอกบรรจุดินซึ่งปราศจากรากปะปน หรือที่เรียกว่า ingrowth core ไปฝังในพื้นที่ศึกษา จากนั้นก็ขุดเก็บ ingrowth core ที่ฝังเป็นระยะ ๆ เพื่อศึกษามวลชีวภาพของรากฝอยที่เจริญเติบโตเข้าไปภายในตาข่ายทรงกระบอกในแต่ละครั้ง วิธีนี้มีจุดอ่อนคือ ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินที่ใส่ลงในตาข่ายทรงกระบอกอาจแตกต่างกับดินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตเข้าไปภายใน ingrowth core ของราก⁽³⁶⁾

3) วิธี minirhizotrons เป็นการศึกษาโดยนำท่อโปร่งใสไปฝังไว้ในพื้นที่ศึกษาแล้วใช้กล้องที่มีขนาดเล็กสอดลงไปภายในท่อ เพื่อถ่ายภาพรากที่ระดับความลึกต่าง ๆ เป็นระยะ โดยข้อมูลที่ได้จากภาพถ่าย เช่น ความยาวหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของราก จะนำมาสร้างความสัมพันธ์และแปลงเป็นค่ามวลชีวภาพของรากฝอย วิธีนี้จะทำให้ได้ข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ อีกทั้งยังเหมาะสมกับการศึกษาพลวัตของรากฝอย และผลกระทบของสภาวะสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของราก⁽³⁶⁾

จากการศึกษาวิจัยของอภิญา อาคมานุวัตร⁽³⁵⁾ ที่ทำการศึกษามวลชีวภาพของ รากฝอยในป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ที่ระดับความลึกของดิน 4 ระดับ (0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm) พบว่า มวลชีวภาพของรากฝอยมีค่าอยู่ระหว่าง $0.76-1.12 \text{ kg/m}^3$ โดยที่ระดับ ความลึก 0-5 cm (ชั้นบนสุด) มีปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยมากที่สุด ซึ่งปริมาณมวลชีวภาพ ของรากฝอยลดลงเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น แจ็คสัน และคณะ⁽³⁷⁾ พบว่า ปริมาณ มวลชีวภาพของรากฝอยในระบบนิเวศป่าไม้มีความแตกต่างกัน มีค่าอยู่ระหว่าง $0.13-0.95 \text{ kg/m}^2$ โดยในทุ่งหญ้าเขตอบอุ่นมีปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยมากที่สุด รองลงมาคือทุ่งหญ้าเขตร้อน ป่าสนเขตอบอุ่น ป่าผลัดใบเขตอบอุ่น ทุ่งนรา ป่าดิบชื้น ป่าผลัดใบเขตร้อน ป่าสน และทะเลทราย ตามลำดับ ดังตาราง 2 ซึ่งปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอย และความหนาแน่นของรากฝอย ในแต่ละระบบนิเวศป่าไม้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ จากการศึกษที่ผ่านมา พบว่า การกระจายของรากพืชในดินส่วนใหญ่ประมาณ ร้อยละ 69 จะอยู่ในดินชั้นบนที่ระยะ 10 cm และ ลดปริมาณลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้นจนเหลือประมาณ ร้อยละ 29 และที่ระดับความลึก 70-80 cm รากพืชจะเหลืออยู่เพียง ร้อยละ 1 เท่านั้น⁽³⁸⁾ ซึ่งปริมาณรากฝอยคิดเป็น ร้อยละ 10-30 ของมวลชีวภาพทั้งหมดในระบบนิเวศ และคิดเป็นร้อยละ 40-90 ของมวลชีวภาพของรากทั้งหมด⁽³⁷⁾ และปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยจะลดลงในดินที่มีระดับความลึกมากขึ้น⁽³⁹⁾ อาจเกิดจาก อายุของต้นไม้ กล่าวคือ เมื่อต้นไม้มีอายุน้อยรากจะกระจายหนาแน่นในดินชั้นบน แต่เมื่อต้นไม้ อายุมากขึ้นจะมีความหนาแน่นที่ระดับลึกลงไป ซึ่งสัดส่วนของรากในชั้นผิวดินจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เมื่อต้นไม้โตเต็มที่⁽¹⁵⁾ นอกจากนี้ปัจจัยด้านอายุของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าไม้แล้ว ยังมีปัจจัย สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิดิน ความชื้นในดิน และปริมาณน้ำฝน จากการศึกษานี้ของ โมโลนี และคณะ⁽⁴⁰⁾ พบว่า รากพืชจะมีการกระจาย และความหนาแน่นของรากพืชในพื้นที่แห้ง แล้งสูงกว่าในพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้นสูง เนื่องจากในพื้นที่แห้งแล้งพืชจำเป็นต้องหาธาตุอาหารและ น้ำเป็นบริเวณกว้างจึงจะเพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้มวลชีวภาพของรากฝอย และความ หนาแน่นของรากฝอยจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ ลักษณะทางโครงสร้างของระบบรากพืช ความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน และลักษณะทางโครงสร้างในดิน เนื่องจากการที่มี องค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกัน ย่อมมีรูปแบบการเจริญเติบโตของราก และ ความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารที่ สำคัญในดิน เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลชีวภาพ และความหนาแน่นของรากฝอยเพิ่มขึ้นด้วย⁽¹⁴⁾

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยในระบบนิเวศป่าไม้แต่ละชนิด

ระบบนิเวศป่าไม้	มวลชีวภาพของ รากฝอยทั้งหมด (kg/m ²)	มวลชีวภาพของ รากฝอยที่ยังมีชีวิต (kg/m ²)	มวลชีวภาพของ รากฝอยตายแล้ว (kg/m ²)
ป่าสน	0.60	0.23	0.37
ทะเลทราย	0.27	0.13	0.14
ป่าสน เขตอบอุ่น	0.82	0.50	0.32
ป่าผลัดใบ เขตอบอุ่น	0.78	0.44	0.34
ทุ่งหญ้า เขตอบอุ่น	1.51	0.95	0.56
ป่าผลัดใบ เขตร้อน	0.57	0.28	0.29
ป่าดิบชื้น	0.57	0.33	0.24
ทุ่งหญ้า เขตร้อน	0.99	0.51	0.48
ทุนดรา	0.96	0.34	0.62

ที่มา: แจ็คสัน และคณะ⁽³⁷⁾

2.3.3 ผลผลิตเศษซากชีวมวล (litterfall production)

เศษซากชีวมวล (litterfall) คือส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบไม้ กิ่งไม้ เปลือกไม้ ดอก ผล ราก และส่วนอื่น ๆ ที่ตายและร่วงหล่นสู่พื้นดิน หรือสะสมอยู่บนพื้นดิน หรือยังคงอยู่ภายในดิน เศษซากชีวมวลที่ร่วงหล่นสู่พื้นดินบางส่วนอาจถูกกัดกินเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณผิวดิน เช่น ปลวก ไส้เดือนดิน และบางส่วนแตกหักเป็นชิ้นเล็ก ๆ ง่ายต่อการย่อยสลายเป็นธาตุอาหารให้แก่จุลินทรีย์⁽¹⁶⁾ ปริมาณเศษซากชีวมวลที่ร่วงหล่นเหนือพื้นดินสามารถเก็บรวบรวมได้จากการใช้สิ่งรองรับเศษซากชีวมวล ที่เรียกว่า litter trap⁽¹⁸⁾ โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม หรือวงกลม ซึ่งปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวล (litterfall production) หรือปริมาณการร่วงหล่นของเศษซากชีวมวล อาจให้คำจำกัดความได้ว่า เป็นน้ำหนักของส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ตายแล้วร่วงหล่นลงสู่ดินในหนึ่งหน่วยพื้นที่เหนือพื้นดิน ภายในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่กำหนด⁽¹⁵⁾ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลจะแบ่งเป็นใบ กิ่ง และส่วนอื่น ๆ โดยพบว่าใบ กิ่ง และส่วนอื่น ๆ จากการร่วงหล่นของเศษซากชีวมวลในป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest) คิดเป็นร้อยละ 64, 19 และ 17 ตามลำดับ ขณะที่ผลผลิตในป่าผลัดใบ (deciduous forest) คิดเป็นร้อยละ 80, 15 และ 5 ตามลำดับ⁽⁶⁾ ดังตาราง 3 นอกจากนี้ใน

ป่าไม้ที่มีสภาพป่าที่เจริญและพัฒนาเต็มที่ จะมีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลในส่วนที่เป็นใบมากกว่าเศษซากชีวมวลส่วนที่ไม่ใช่ใบ⁽⁴¹⁾ ทั้งนี้ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลในระบบนิเวศป่าไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ เขตภูมิอากาศ สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ ชนิด อายุ ความหลากหลาย ความหนาแน่นของพรรณพืช ประเภทของป่า ช่วงฤดูกาล และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ตาราง 3 สัดส่วนของปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลที่มีการร่วงหล่นในพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบและป่าผลัดใบ

ชนิดป่า	ผลผลิตรวม (ton/ha/yr)	สัดส่วนของเศษซากชีวมวล (ร้อยละ)		
		ใบ	กิ่ง	อื่น ๆ
ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest)				
- ป่าดิบชื้น	7.86	58.46	20.23	21.31
- ป่าดิบแล้ง	8.83	67.19	17.15	15.66
- ป่าดิบแล้ง	4.88	66.76	17.87	15.37
- ป่าดิบเขา	9.94	64.42	19.78	15.80
- ป่าดิบเขา	6.45	62.90	22.15	14.95
ค่าเฉลี่ย	7.59	63.95	19.45	16.62
ป่าผลัดใบ (deciduous forest)				
- ป่าเบญจพรรณ	7.54	76.05	15.13	8.83
- ป่าเต็งรัง	6.46	84.27	13.86	1.87
ค่าเฉลี่ย	7.00	80.16	14.50	5.35

ที่มา: พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ⁽⁶⁾

จากการศึกษาของเบรย์ และกอร์แฮม⁽⁴²⁾ พบว่า เขตภูมิอากาศที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ผลผลิตของเศษซากชีวมวลแตกต่างกัน โดยในเขตทุนดรา จะมีผลผลิตเศษซากชีวมวลต่ำกว่าในป่าเขตร้อน เขตหนาว และเขตอบอุ่น อีกทั้งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ผลผลิตเศษซากชีวมวลในป่าไม้นอกเขตเส้นศูนย์สูตรมีค่าเท่ากับ 3-5 ton/ha/yr ขณะที่ป่าไม้ในเขตเส้นศูนย์สูตรมีค่าเท่ากับ 6-12 ton/ha/yr ซึ่งสามารถจำแนกผลผลิตเศษซากชีวมวลตามบริเวณการแบ่งเขตเส้นศูนย์สูตรออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ป่าเขตร้อน ป่าเขตอบอุ่น ป่าเขตขั้วโลก

มีค่าเฉลี่ยของปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลเท่ากับ 8.26, 5.43 และ 3.95 ton/ha/yr โดยพบว่า ป่าเขตร้อนชื้นหรือป่าไม้บริเวณเขตเส้นศูนย์สูตรมีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลมากกว่าพื้นที่ป่าเขตอบอุ่นหรือขั้วโลก⁽⁴²⁾ สำหรับป่าไม้ชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย พบว่าผลผลิตเศษซากชีวมวลของป่าดิบชื้นมีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 23.22 ton/ha/yr รองลงมาเป็นป่าสนเขา ป่าดิบแล้ง และป่าเต็งรัง เท่ากับ 11.35, 7.71 และ 4.66 ton/ha/yr ตามลำดับ⁽⁴³⁾ หรือจากการศึกษาของธิดิวิสารัตน์ และชลธิดา เขียวขุนทด⁽⁴⁴⁾ ที่พบว่า ป่าดิบแล้งสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลที่ร่วงหล่นเท่ากับ 7.68 ton/ha/yr หรือจากการศึกษาของประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ⁽⁴⁵⁾ พบว่าป่าดิบแล้ง และป่าเต็งรังจังหวัดขอนแก่น มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลที่ร่วงหล่นเฉลี่ย 5 ปีเท่ากับ 5.52 และ 4.30 ton/ha/yr โดยมีปริมาณมากในช่วงฤดูหนาว-ฤดูร้อน และจากการศึกษาของอภิญา อาคมานุวัตร⁽³⁵⁾ ในป่าเต็งรังห้วยภูมิจังหวัดราชบุรี ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2561 พบว่าผลผลิตเศษซากชีวมวลรวมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.17-2.14 ton/ha โดยในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2561 มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลมากที่สุด และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2560 มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลน้อยที่สุด และส่วนใหญ่ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลเป็นส่วนใบ เนื่องจากในช่วงฤดูแล้งดินขาดความชื้น อากาศแห้ง อุณหภูมิอากาศและการระเหยของน้ำสูง ต้นไม้ในป่าเต็งรังมีการทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำ และปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ร้อนและแห้งแล้ง จึงทำให้ผลผลิตเศษซากชีวมวลในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวสันต์ จันทร์แดง⁽⁴⁶⁾ ศึกษาผลผลิตเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรัง บริเวณสวนป้ามัญจาศิริ จังหวัดขอนแก่น พบว่ามีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลมากที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงแห้งแล้งมีปริมาณฝนน้อย และสราวุธ บุญยะเวชชีวิน และธนิตย์ หนูยิ้ม⁽⁴⁷⁾ ได้ศึกษาผลผลิตเศษซากชีวมวลในป่าพุไ้เต้แดง จังหวัดนราธิวาส พบว่าปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลรวมเฉลี่ยเท่ากับ 6.70 ton/ha โดยเดือนพฤศจิกายน หรือเดือนธันวาคม มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลน้อยที่สุด ซึ่งเป็นช่วงเดือนที่มีความชื้น และปริมาณน้ำฝนสูงสุดในรอบปี แสดงให้เห็นว่าปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับความชื้น และปริมาณน้ำฝน นอกจากนี้ การศึกษาของชีซีมิ และคณะ⁽⁴⁸⁾ พบว่า ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่งผลต่อปริมาณการร่วงหล่นของเศษซากพืช โดยที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้มีปริมาณเศษซากพืชเพิ่มขึ้นเช่นกัน อีกทั้งยังมีการศึกษาปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลในพื้นที่ป่าอื่น ๆ ที่ได้รวบรวมไว้

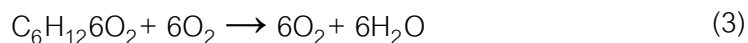
ดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยผลผลิตเศษซากชีวมวลของป่าไม้ชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย

ชนิดป่า	ค่าเฉลี่ยผลผลิต เศษซากชีวมวล (ton/ha)	อ้างอิง
ป่าดิบชื้น	23.22	
ป่าสนเขา	11.35	ประพันธ์ สัมพันธ์พานิช
ป่าดิบแล้ง	7.71	และมณฑล จำเริญพฤษ (43)
ป่าเต็งรัง	4.66	
ป่าดิบแล้งสะแกราช	7.68	จังหวัดนครราชสีมา ธิตี วิสาร์ตัน และชลธิดา เชิญขุนทด (44)
ป่าดิบแล้ง	5.52	จังหวัดขอนแก่น
ป่าเต็งรัง	4.30	ประดิษฐ์ ตริพัฒนาสุวรรณ และคณะ (45)
ป่าเต็งรังห้วยดุม	0.80	จังหวัดราชบุรี อภิญา อาคมานุวัตร (35)
ป่าเต็งรัง	2.05	วสันต์ จันทร์แดง (46)
ป่าพุทไธสง	6.70	สวนป่านัญจาศิริ สวายุทธ บุญยะเวชชีวิน และณินต์ หนูยิ้ม (47)
ป่าดิบชื้น	23.22	จังหวัดตรัง Kira et al. (41)
ป่าเบญจพรรณปฐมภูมิ	7.99	
ป่าเบญจพรรณห้วยดุม	7.66	อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน
ป่าดิบเขาปฐมภูมิ	8.62	สนธยา จำปานิล และนันทนา ศักดิ์ (34)
ป่าดิบเขาห้วยดุม	10.84	
ป่าเต็งรังสะแกราช	7.67	จังหวัดนครราชสีมา ศิริวัฒน์ เผ่าวงศ์ (49)
ป่าชายเลน	9.31	จังหวัดจันทบุรี Aksonkoe and Khemnark (50)

ส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่ชั้นบรรยากาศของระบบนิเวศป่าไม้ เกิดจากการหายใจของพืช (autotrophic respiration หรือ plant respiration) ได้แก่ การหายใจของส่วนใบ ราก ลำต้น และจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ หรือการหายใจผิวดิน (heterotrophic respiration หรือ soil respiration) ผ่านกระบวนการย่อยสลายซากพืชและสัตว์ของจุลินทรีย์ในดิน และการหายใจของสัตว์ในดิน (6) ซึ่งกระบวนการหายใจผิวดินเป็นกระบวนการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ กระบวนการหายใจดังกล่าวแสดงในสมการ 3 โดยการปลดปล่อยคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลกคิดเป็น 119 PgC/yr ดังภาพประกอบ 3 การปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศ

ป่าไม้ ประเมินจากอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล (litterfall decomposition) และการหายใจผิวดิน (soil respiration)



2.3.4 อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล (litterfall decomposition)

การย่อยสลายเศษซากชีวมวล (litterfall decomposition) คือกระบวนการที่ทำให้ชิ้นส่วนของพืชที่ตายและร่วงหล่นลงสู่พื้นดิน เกิดการแตกหักย่อยสลายกลายเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ในรูปของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ หรือบางส่วนที่เหลือก็จะสะสมอยู่ในดิน เรียกว่า อินทรีย์วัตถุในดิน⁽¹⁷⁾ กระบวนการในการย่อยสลายสามารถจำแนกออกเป็น 3 กระบวนการคือ การชะล้าง (leaching) การผุพัง (weathering) และการกระทำจากสิ่งมีชีวิต (biological action)⁽¹⁸⁾ โดยการย่อยสลายเป็นกลไกที่มีความสำคัญในการหมุนเวียนธาตุอาหาร และการปลดปล่อยคาร์บอนจากระบบนิเวศป่าไม้ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ถ้ามีผลผลิตเศษซากชีวมวลในปริมาณสูงและอัตราการย่อยสลายที่รวดเร็ว จะส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศที่รวดเร็วเช่นกัน ซึ่งค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลาย (k-value) ในป่าไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ถ้าค่า k มีค่ามาก แสดงว่าอัตราการย่อยสลายจะเร็ว โดยวิธีที่นิยมใช้ในการศึกษาอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลอย่างแพร่หลาย คือวิธีการบรรจุเศษซากพืชในถุงตาข่าย (litter bag) ที่ทำจากวัสดุที่มีความทนทานต่อการย่อยสลายและการกัดกินของแมลงและสัตว์ต่าง ๆ⁽⁶⁾ ทั้งนี้การย่อยสลายเศษซากชีวมวลมีความแปรผันกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดยปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายเศษซากชีวมวลแบ่งเป็น 3 ปัจจัยหลักคือ ปัจจัยสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติของเศษซากชีวมวล และกลุ่มผู้ย่อยสลาย ปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์ร่วมกัน⁽¹⁹⁾ ได้แก่

1) ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความชื้น ปริมาณน้ำฝนมีผลต่อการลดลงอย่างรวดเร็วของน้ำหนักเศษซากชีวมวลโดยตรง⁽¹⁷⁾ ขณะที่อุณหภูมิและความชื้นมีผลทางอ้อมต่อการย่อยสลาย โดยเอื้ออำนวยสภาพที่เหมาะสมต่อความเป็นอยู่และกิจกรรมของกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ย่อยสลาย⁽⁵¹⁾ บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะมีอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลสูงกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ และความชื้นที่เหมาะสมกับการย่อยสลายเศษซากชีวมวลจะอยู่ในช่วง ร้อยละ 50-60 นอกจากนี้ค่า pH ของดินยังมีส่วนต่อการย่อยสลายเศษซากชีวมวลด้วย โดยค่า pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายเศษซากชีวมวลจะอยู่ในช่วง 6.0-6.5 เนื่องจากค่า pH ดังกล่าวเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2) คุณสมบัติของเศษซากชีวมวล

คุณสมบัติของเศษซากชีวมวลมีผลโดยตรงต่อการย่อยสลาย เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเศษซากชีวมวลบนพื้นป่าแต่ละชนิดมีอัตราการย่อยสลายไม่เท่ากัน องค์ประกอบนั้น ได้แก่ น้ำตาล เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน แวกซ์ และฟีนอล ส่งผลให้เศษซากชีวมวลแต่ละชนิดมีอัตราการสลายตัวที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ในเศษซากชีวมวลที่ทำให้อัตราการย่อยสลายแตกต่างกัน โดยอัตราส่วน C:N ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายเศษซากชีวมวลคือ 10:1 หากใบพืชมีปริมาณคาร์บอนต่ำและมีปริมาณไนโตรเจนสูง จะทำให้มีการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว⁽⁵²⁾ ทั้งนี้ ภาณุมาศ ลาดपालะ⁽⁵³⁾ ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายซากพืชส่วนใบและค่า C:N ratio ของไม้เด่น 5 ชนิด ได้แก่ ประดู่ป่า แดง ตะคร้อ โมกหลวง เลียงมัน และไม้ไผ่เด่น 2 ชนิด ได้แก่ ไผ่บงดำ และไผ่ไร่ ในป่าเบญจพรรณ สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี โดยวิธีการใช้ถุงซากพืช (litter bag method) จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนของซากพืชส่วนใบ มีค่าระหว่าง 14.38-32.60 โดยพบว่า ตะคร้อมีค่า C:N สูงที่สุด แต่มีค่าอัตราการย่อยสลายเฉลี่ยน้อยที่สุด⁽⁵³⁾ โดยเทย์เลอร์ และคณะ⁽⁵⁴⁾ กล่าวว่า อัตราส่วนระหว่าง C:N สามารถใช้บ่งชี้อัตราการย่อยสลาย โดยอัตราส่วน C:N มากจะมีอัตราการย่อยสลายช้า

3) กลุ่มผู้ย่อยสลาย

สัตว์ในดินในระบบนิเวศป่าไม่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายของเศษซากชีวมวลทางกายภาพ ส่วนการเปลี่ยนรูปองค์ประกอบทางเคมีถูกกระทำโดยราและแบคทีเรีย กลุ่มผู้ย่อยสลายจึงเป็นอีกหนึ่งตัวการที่สำคัญต่อการย่อยสลายเศษซากชีวมวลโดยตรง การมีชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในแต่ละพื้นที่จำนวนมาก ประกอบกับกลุ่มจุลินทรีย์ทำงานได้ดีย่อมมีอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลมากขึ้นด้วยเช่นกัน⁽⁵¹⁾

จากการศึกษาอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลในเขตภูมิอากาศต่าง ๆ พบว่า ในป่าเขตร้อนโลกมีค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 0.223-0.446 ต่อเดือน ในป่าเขตอบอุ่นมีค่าเท่ากับ 0.140-0.751 ต่อเดือน และในป่าเขตเส้นศูนย์สูตรหรือร้อนชื้นมีค่าเท่ากับ 0.162-2.813 ต่อเดือน^(6, 55) ทั้งนี้ได้สรุปและรวบรวมอัตราการย่อยสลายและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ได้จากการคำนวณในพื้นที่ป่าไม้ที่สำคัญของประเทศไทยไว้ดังตาราง 5 โดยป่าดิบแล้งมีอัตราการย่อยสลายและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดเท่ากับ 7.44 ton dry matter/ha/yr และ 13.65 tonCO₂/ha/yr รองลงมาคือป่าดิบชื้น และป่าดิบเขา และจากการศึกษาอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลของประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ⁽⁴⁵⁾

พบว่า ป่าเต็งรัง จังหวัดขอนแก่น มีปริมาณการย่อยสลายเศษซากพืชเฉลี่ยเท่ากับ 2.72 ton/ha มีปริมาณการย่อยสลายเศษซากชีวมวลมากที่สุดในเดือนตุลาคม เท่ากับ 0.31 ton/ha และมีปริมาณการย่อยสลายเศษซากชีวมวลน้อยที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์และเดือนเมษายน เท่ากับ 0.11 ton/ha จะเห็นได้ว่าการย่อยสลายของเศษซากชีวมวลจะสูงขึ้นเมื่อดินมีความชื้นสูง ในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้การศึกษาของอภิญญา อาคมานุวัตร⁽³⁵⁾ ที่ศึกษาอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรังห้วยภูมิจังหวัดราชบุรี พบว่ามีค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 0.213 ต่อเดือน โดยที่อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มมากขึ้น ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการย่อยสลายเท่ากับ 5.30 tonCO₂/ha/yr โดยอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลมีความสัมพันธ์กับความชื้นและอุณหภูมิของดินอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 5 อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ป่าไม้ที่สำคัญของประเทศไทย

ชนิดป่า	อัตราการย่อยสลาย (ton dry matter/ha/yr)	การปลดปล่อย CO ₂ (tonCO ₂ /ha/yr)
ป่าดิบชื้น	5.86	10.75
ป่าดิบแล้ง	7.44	13.65
ป่าดิบเขา	2.80	5.14
ป่าเบญจพรรณ	2.63	4.83
ป่าดิบแล้ง	5.58	10.24
ป่าดิบเขา	4.14	7.60

ที่มา: พงษ์เทพ หาญพัฒนานิกิจ⁽⁶⁾

2.3.5 การหายใจผิวดิน (soil respiration)

การหายใจผิวดิน (soil respiration) คือกระบวนการทางระบบนิเวศที่ผลิตและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านการหายใจของรากและเหง้า (rhizome) ของพืชในดิน การหายใจของจุลินทรีย์ ที่เกิดระหว่างกระบวนการย่อยสลายเศษซากชีวมวลและกระบวนการออกซิเดชันอินทรีย์วัตถุในดิน และการหายใจของสัตว์ในดิน (soil fauna)⁽²⁰⁾

โดยการศึกษ้อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือการหายใจผิวดิน (soil respiration: R_s) นิยมศึกษาจากผลรวมจากการหายใจของรากพืช (root respiration: R_r) และการหายใจของจุลินทรีย์ (heterotrophic respiration หรือ microbial respiration: R_m) ดังสมการ 4 เนื่องจากการหายใจของสัตว์ในดิน (soil fauna) เป็นองค์ประกอบของการหายใจผิวดินที่มีปริมาณน้อยมาก และไม่ค่อยสำคัญในระบบนิเวศ ⁽²⁰⁾ ทั้งนี้การหายใจผิวดิน มีความสำคัญต่อสมดุลของคาร์บอนในระบบนิเวศ และได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมและลักษณะของพื้นที่ที่แตกต่างกัน รวมทั้งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศและอุณหภูมิโลก

$$R_s = R_r + R_m \quad (4)$$

จากการศึกษาของสำเร็จ ปานอุทัย และคณะ ⁽⁵⁶⁾ ที่ทำการศึกษการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของป่าดิบแล้งสะแกราช และป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณเฉลี่ยเท่ากับ 0.138 และ 0.163 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ หรือเท่ากับ 3.142 และ 3.698 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{yr}$ ตามลำดับ และจากการศึกษาของพงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ และคณะ ⁽⁵⁷⁾ ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงและการควบคุมการหายใจผิวดิน ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี โดยใช้วิธี automatic closed chambers พบว่าการหายใจผิวดินรวมช่วงปี พ.ศ.2551-2554 มีค่าเท่ากับ 3.20, 3.89, 3.52 และ 4.14 $\text{kgCO}_2/\text{m}^2/\text{yr}$ และการหายใจของจุลินทรีย์เป็นตัวส่งเสริมหลักที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะมีค่าสูงกว่าการหายใจของรากพืช อุณหภูมิและความชื้นเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล สอดคล้องกับผลการศึกษาของพัลลภ อินทะนิล ⁽⁹⁾ พบว่าค่าการหายใจผิวดินในป่าเต็งรัง จังหวัดพะเยา ระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ.2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2560 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $99.77 \pm 55.51 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ หรือคิดเป็น $862.04 \pm 479.57 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{yr}$ โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่มาจากการหายใจของจุลินทรีย์ (ร้อยละ 62) มากกว่าการหายใจของรากพืช (ร้อยละ 38) หรือการศึกษาของวิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์ ⁽⁵⁸⁾ ที่ผ่านมาพบว่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของจุลินทรีย์ เท่ากับ 331.36 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ และจากการหายใจของรากพืช เท่ากับ 157.49 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ คิดเป็นร้อยละ 74 และ 24 ตามลำดับ มีความชื้นในดินเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมควบคุมหลัก อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการหายใจผิวดินมีหลากหลายปัจจัย จากการศึกษานของอภาพพร บูลสภาพร และคณะ ⁽⁵⁹⁾ ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินโดยใช้วิธี soil gradient หรือใช้ carbon dioxide probe พบว่า มีค่าการหายใจผิวดินเฉลี่ยเท่ากับ $360 \pm 129 \text{ mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สะสมเท่ากับ $34 \text{ gCO}_2/\text{m}^2/3 \text{ months}$ และสำหรับการศึกษากลับเกี่ยวกับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินในระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลกมีการศึกษาไว้มากมาย ดังตัวอย่างที่ได้รวบรวมไว้ในตาราง 6

ตาราง 6 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินในระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลก

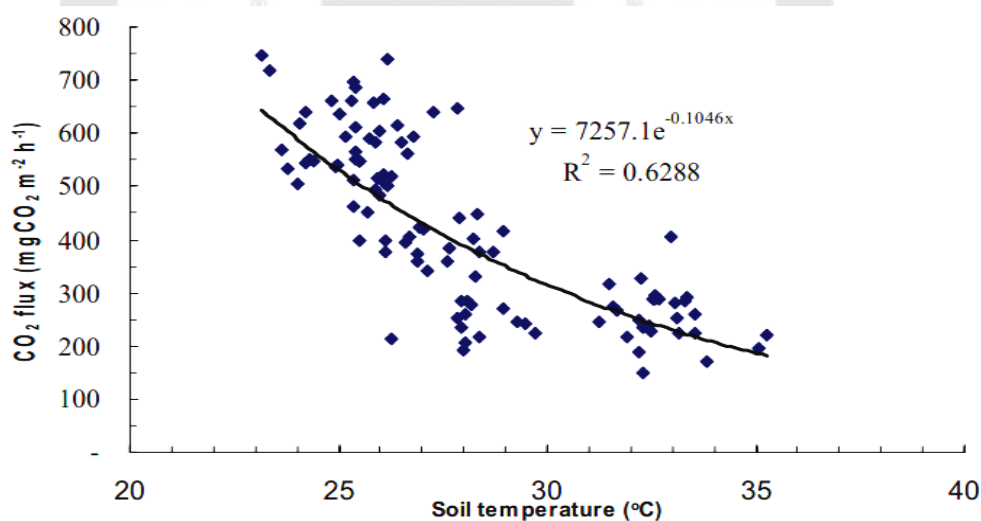
ชนิดป่าไม้	การหายใจผิวดิน ($\text{kgCO}_2/\text{m}^2/\text{yr}$)	อ้างอิง
ป่าไผ่	3.26	ประเทศจีน Tang ⁽⁶⁰⁾
ป่าสน	1.88	ประเทศจีน Wang ⁽⁶¹⁾
ป่าเบญจพรรณ	3.46	
ป่าสน-ผลัดใบ	2.24	สภาพภูมิอากาศเขตอบอุ่น ประเทศเบลเยียม Yuste et al. ⁽⁶²⁾
ป่าดิบเขา	0.28	สภาพภูมิอากาศกึ่งเขตร้อน ประเทศไต้หวัน Chang et al. ⁽⁶³⁾
ป่าไม่ผลัดใบ	9.39	ห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย Hashimoto et al. ⁽⁶⁴⁾
ป่าเบญจพรรณ	4.46	แม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และคณะ ⁽⁶⁵⁾
ป่าเบญจพรรณ	5.07	แม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย สำเร็จ ปานอุทัย และคณะ ⁽⁵⁶⁾
ป่าดิบแล้ง	4.62	พนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย Wiryatangsakul et al. ⁽⁶⁶⁾
ป่าดิบแล้ง	4.90	สระแก้ว จังหวัดนครราชสีมา สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และคณะ ⁽⁶⁵⁾
ป่าดิบแล้ง	4.29	สระแก้ว จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จ ปานอุทัย และคณะ ⁽⁵⁶⁾
ป่าดิบแล้ง	5.88	สระแก้ว จังหวัดนครราชสีมา Dorji ⁽⁶⁷⁾
ป่าเต็งรัง	3.69	จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย Hanpattanakit et al. ⁽⁵⁷⁾
ป่าเต็งรังทุติยภูมิ	1.97	จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์ ⁽⁵⁸⁾
ป่าเต็งรัง	3.83	สระแก้ว จังหวัดนครราชสีมา Dorji ⁽⁶⁷⁾

การหายใจผิวดินจะแปรผันไปตามคุณสมบัติของดิน ปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ รวมทั้งชนิดของพืชพรรณและอายุของพืชพรรณที่ขึ้นอยู่ในระบบนิเวศป่าไม้ เนื่องจากพืชจะมีอัตราการหายใจต่ำในช่วงที่พืชมีอายุน้อย และจะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับสูงสุด

เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ จากนั้นค่าจะเริ่มลดลงจนกระทั่งพืชตาย⁽⁶⁸⁾ ทั้งนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน มีดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) อุณหภูมิ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการหายใจผิวดิน โดยการหายใจ จะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลเมื่ออุณหภูมิไม่สูงมากจนเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิถึงขั้นสุดขีดการหายใจจะหยุดลง⁽⁹⁾ จากการศึกษาของพงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ และคณะ⁽⁶⁹⁾ ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นในดินที่ควบคุมการหายใจผิวดิน ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี พบว่า การหายใจผิวดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิของดิน คือเมื่ออุณหภูมิดินสูงขึ้น การหายใจผิวดินจะลดลง และเมื่ออุณหภูมิดินลดลงการหายใจผิวดินจะเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 4 ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจผิวดินและอุณหภูมิอาจแตกต่างกันไปตามระบบนิเวศป่าไม้ และชนิดของพืช เช่น การศึกษาของเจิง และคณะ⁽⁷⁰⁾ ศึกษาการตอบสนองของการหายใจผิวดินในพืชต่างชนิดพันธุ์ บริเวณป่าทุติยภูมิระบบนิเวศภูเขาสูง ณ ภูเขาไท่หาง ประเทศจีน พบว่า การหายใจผิวดินมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอุณหภูมิของดิน



ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจผิวดินและอุณหภูมิดินในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี

ที่มา: พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ และคณะ⁽⁶⁹⁾

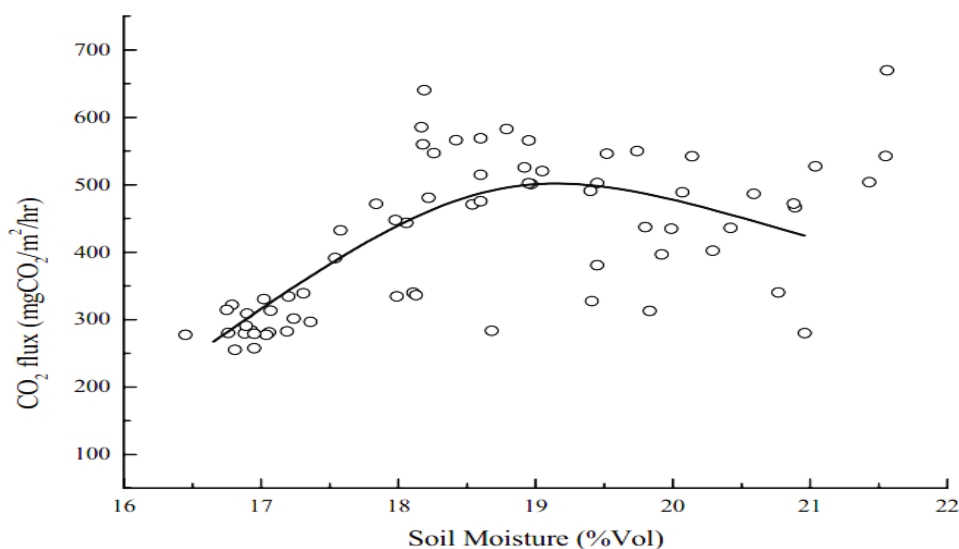
การหายใจของรากพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิดินอยู่ในช่วงต่ำ ดังเช่นการศึกษาของเจียง และคณะ⁽⁷¹⁾ ที่ศึกษาการแยกการหายใจของรากพืชและการหายใจผิวดินรวมบริเวณปาสในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่า การหายใจของรากพืชมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิดิน โดยการหายใจของรากพืชและอุณหภูมิดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกแบบเอกซ์โพเนนเชียล (อุณหภูมิอยู่ในช่วง 6-20°C) แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 35°C การตอบสนองของการหายใจของรากพืชต่ออุณหภูมิดินจะลดลง โดยรากอ่อนจะมีการตอบสนองมากกว่ารากแก่⁽⁹⁾

ทั้งนี้ การหายใจของจุลินทรีย์ในดินมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิในช่วงที่แตกต่างกัน เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินมีหลากหลายชนิด มีทั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่มีอากาศเท่านั้น (aerobic bacteria) กลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีอากาศและไม่มีอากาศ (facultative bacteria) และกลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีอากาศเท่านั้น (anaerobic bacteria) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ แต่ละชนิดเจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากการศึกษาของพงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ และคณะ⁽⁵⁷⁾ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการหายใจของจุลินทรีย์ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี อยู่ในช่วง 24-28°C ขณะที่การศึกษาของพัลลภ อินทะนิล⁽⁹⁾ พบว่า อุณหภูมิดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกแบบเอกซ์โพเนนเชียลกับการหายใจของจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ เมื่ออุณหภูมิไม่เกิน 26°C และอุณหภูมิดินจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับการหายใจของจุลินทรีย์อย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่ออุณหภูมิเกิน 26°C

2) ความชื้นในดิน

ความชื้นในดินมีผลโดยตรงต่อกระบวนการทางกายภาพของรากพืชและจุลินทรีย์ และมีผลโดยอ้อมผ่านกระบวนการแพร่ของสารตั้งต้นและออกซิเจนในดิน จากการศึกษาพบว่า การหายใจผิวดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดิน ดังภาพประกอบ 5 ทั้งนี้ความชื้นต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมและขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่^(64, 69) สอดคล้องกับรายงานของโบร์เคน และคณะ⁽⁷²⁾ พบว่า การเพิ่มขึ้นของความชื้นในดินจะส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเพิ่มขึ้น และเมื่อดินมีสภาพเปียกกลับแห้งจะทำให้การหายใจผิวดินสูงขึ้น ร้อยละ 48-144 เนื่องจากความชื้นเป็นตัวกำหนดการหายใจผ่านสารตั้งต้นและการแพร่ของออกซิเจน โดยปกติก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีอัตราการแพร่กระจายในดินระดับหนึ่ง แต่เมื่อมีน้ำเข้าไปแทนที่อากาศในดินจะทำให้อัตราการแพร่กระจายของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ช่องว่างในดินส่งผลต่อการแพร่ของก๊าซ ด้วยเหตุนี้เมื่อมีฝนตกหรือมีความชื้นแปรปรวนจะทำให้ก๊าซแพร่ออกมาอย่างรวดเร็ว⁽⁹⁾ และการศึกษาบริเวณป่ามรสุมเขตร้อนทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย บริเวณป่าดิบแล้งสะแกราช และบริเวณ

ป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง การหายใจผิวดินค่อนข้างสูงในช่วงฤดูฝนและค่อนข้างต่ำในช่วงฤดูแล้ง ทำให้อัตราการหายใจผิวดินถูกควบคุมโดยความชื้นในดิน^(56, 64)



ภาพประกอบ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจผิวดินและความชื้นในดิน
บริเวณป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี

ที่มา: พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ และคณะ⁽⁶⁹⁾

3) คุณสมบัติของดิน

- ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) ซึ่งส่งผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี การผลิตเอนไซม์ และกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ในดิน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเท่ากับ 4-9 และค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อราเท่ากับ 4-6 ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดินจึงส่งผลต่อการหายใจผิวดินด้วย ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในป่าไม้ประเทศไทย ดินชั้นบนสุดจะมีค่าสูงกว่าดินที่อยู่ในชั้นที่ลึกลงไป เนื่องจากปริมาณเศษซากพืชที่ร่วงหล่นบนพื้นดิน⁽⁷³⁾ จากการศึกษาของโควะเลนโกะ และคณะ⁽⁷⁴⁾ พบว่า ดินที่มีค่า pH เท่ากับ 3 จะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินน้อยกว่า 2-12 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่มีค่า pH เท่ากับ 4 นอกจากนี้หากดินมีค่า pH มากกว่า 7 จะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินลดลงเช่นกัน

- ความหนาแน่นรวม (bulk density) ของดิน เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งของดินต่อปริมาตรทั้งหมดของดิน แสดงถึงปริมาตรของช่องว่างที่อยู่ในดิน ถือเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ ความหนาแน่นรวมขึ้นอยู่กับการจัดเรียงอนุภาคดินเป็นโครงสร้าง ซึ่งความหนาแน่นรวมของดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน เนื่องจากดินชั้นล่างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ น้อยลง และดินอัดกันแน่นขึ้น ความโปร่งและช่องว่างลดลง และความหนาแน่นรวมของดินมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสภาพของดินและการจัดการดินนั้น ๆ ⁽⁷⁵⁾ โดยดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงจะทำให้พืชมีปัญหาด้านการเจริญเติบโต เนื่องจากเป็นอุปสรรคต่อการไหลซึมของน้ำและการเจริญเติบโตของรากพืช ⁽⁷⁶⁾ นอกจากนี้เนื้อดินทรายที่มีช่องว่างในดินขนาดใหญ่ เมื่อมีฝนตกลงมาอัตราการแพร่ของก๊าซในดินจะขึ้นมานบนผิวดินได้อย่างรวดเร็วกว่าเนื้อดินที่มีความละเอียดกว่า ⁽⁹⁾ และจากการศึกษาของพงศ์เทพ สุวรรณวารี และคณะ ⁽⁷⁷⁾ พบว่า ดินในป่าเต็งรัง ดินชั้นบนมีความหนาแน่นเฉลี่ย 30 cm เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายและดินเหนียวปนทราย มีความหนาแน่นรวมต่ำถึงค่อนข้างต่ำ (1.27-1.29 g/ml) และดินในป่าเบญจพรรณ ดินชั้นบนมีความหนาแน่นเฉลี่ย 27.5 cm เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีก้อนกรวดปะปนประมาณ ร้อยละ 7 มีความหนาแน่นรวมต่ำ (1.27-1.36 g/ml)

- อินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon: SOC) เป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญของดิน โดยมาจากเศษซากพืช รากพืช ซากสัตว์ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในดิน สลายตัวทับถมอยู่ในดิน รวมทั้งอินทรีย์สารที่ซึมจากรากพืช และจุลินทรีย์สังเคราะห์ ถ้าหากมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมากพอจะทำให้ธาตุอาหารของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มมากขึ้น ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการหายใจของจุลินทรีย์และการหายใจผิวดิน โดยคาร์บอนอินทรีย์ในดินจะลดลงเมื่อความลึกของดินเพิ่มมากขึ้น ^(73, 78) และจากการศึกษาของเจิง และคณะ ⁽⁷⁰⁾ พบว่า การหายใจผิวดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษาของเจิง และคณะ เป็นพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศกึ่งแห้งแล้ง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้ความสัมพันธ์เป็นไปในเชิงลบ

- ไนโตรเจนในดิน (soil nitrogen) ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารของพืชที่มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์บางชนิด ซึ่งไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) โดยในสภาพที่ดินมีการระบายน้ำดี แอมโมเนียมไอออนจะถูกแปรสภาพเป็นไนเตรทไอออน (NO_3^-) และจุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนไนเตรทไอออนเป็นก๊าซไนโตรเจน และสร้างออกซิเจนออกสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งแหล่งที่มาของไนโตรเจนในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะถูกปลดปล่อยมาจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน หรือสารอินทรีย์ที่เติมลงไปในดินโดย

กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นถ้าอินทรีย์วัตถุหรืออินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินจะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้การหายใจผิวดินเพิ่มขึ้น⁽⁷⁹⁾ แต่จากการศึกษาของเจิง และคณะ⁽⁷⁰⁾ พบว่า การหายใจผิวดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ถ้าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงจะทำให้การหายใจผิวดินต่ำ และถ้าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินต่ำจะทำให้การหายใจผิวดินสูง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษามีสภาพภูมิอากาศกึ่งแห้งแล้ง

2.4 การประเมินศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบนิเวศป่าไม้

การประเมินศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการศึกษาผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production: NEP) เป็นการศึกษาว่าระบบนิเวศนั้น ๆ มีการกักเก็บหรือปลดปล่อยคาร์บอน โดยระบบนิเวศใดที่มีการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าการปลดปล่อยคาร์บอน ระบบนิเวศนั้นจัดเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sinks) และในทางตรงข้ามหากระบบนิเวศใดที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนมากกว่าการกักเก็บคาร์บอน ระบบนิเวศนั้นจะจัดเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน (carbon sources) โดยการประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ได้จากผลต่างระหว่างผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary production: NPP) จากการปริมาณมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไป และปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการตายหรือร่วงหล่นเป็นเศษซากพืชในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 กับ การปลดปล่อยคาร์บอนจากการหายใจของจุลินทรีย์ (microbial respiration: R_m) ดังสมการ 5 ถึง 10⁽²⁰⁻²²⁾ ซึ่งผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary production: NPP) เป็นปริมาณเนื้อเยื่อที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือเรียกว่า มวลชีวภาพ (biomass) โดยไม่รวมส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจของพืช การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ได้จากผลรวมของปริมาณมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการตายหรือร่วงหล่นเป็นเศษซากพืชในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 และปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการกักกินของแมลงหรือสัตว์อื่น ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 ในที่นี้ตั้งสมมติฐานว่ามีค่าเป็นศูนย์⁽²²⁾

$$NEP = GPP - R_e \quad (5)$$

โดยที่ NEP = ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production)
(tonC/ha/yr)

GPP = ผลผลิตปฐมภูมิรวม (gross primary production) เป็นปริมาณเนื้อเยื่อทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือเรียกว่า มวลชีวภาพ

(biomass) รวมทั้งส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจ ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง⁽²²⁾ (tonC/ha/yr)

R_e = การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (ecological respiration) (tonC/ha/yr)

$$R_e = R_a + R_s \quad (6)$$

$$NEP = GPP - R_a - R_s \quad (7)$$

โดยที่ R_a = การหายใจของพืช (autotrophic respiration) (tonC/ha/yr)

R_s = การหายใจผิวดิน (soil respiration) (tonC/ha/yr)

$$NEP = NPP - R_m \quad (8)$$

$$NPP = \Delta B + \Delta L + \Delta C \quad (9)$$

$$NEP = (\Delta B + \Delta L) - R_m \quad (10)$$

โดยที่ NEP = ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production) (tonC/ha/yr)

NPP = ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary production) เป็นปริมาณเนื้อเยื่อที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือเรียกว่า มวลชีวภาพ (biomass) โดยไม่รวมส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจของพืช⁽²²⁾ (tonC/ha/yr)

R_m = การหายใจของจุลินทรีย์ (microbial respiration) (tonC/ha/yr)

ΔB = ปริมาณมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 (tonC/ha/yr)

ΔL = ปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการตายหรือร่วงหล่นเป็นเศษซากพืช ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 (tonC/ha/yr)

ΔC = ปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการกักเก็บของแมลงหรือสัตว์อื่น ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 เนื่องจากการประเมิน ΔC มีวิธีการค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน ประกอบกับปริมาณในส่วนนี้มีค่อนข้างน้อย⁽²²⁾ ในที่นี้จึงตั้งสมมติฐานว่ามีค่าเป็นศูนย์ (tonC/ha/yr)

จากการศึกษาของสำโรง ปานอุทัย และคณะ⁽²¹⁾ พบว่าป่าดิบแล้งสะแกราช ป่าเต็งรัง สะแกราช จังหวัดนครราชสีมา และป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี มีศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 20.35, 17.75 และ 16.65 tonCO₂/ha/yr ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์บอนสะสมเท่ากับ 441.50, 135.71 และ 354.34 tonC/ha/yr ตามลำดับ โดยป่าดิบแล้งมีศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด รองลงมาคือป่าเต็งรัง

และป่าเบญจพรรณ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และคณะ⁽⁶⁵⁾ ที่พบว่า ป่าดิบแล้งสะแกราชมีอัตราการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศสูงกว่าป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง โดยป่าทั้งสองแห่งมีผลผลิตคาร์บอนสุทธิเท่ากับ 5.66 และ 0.73 tonCO₂/ha/yr

2.5 ระบบนิเวศป่าเต็งรัง

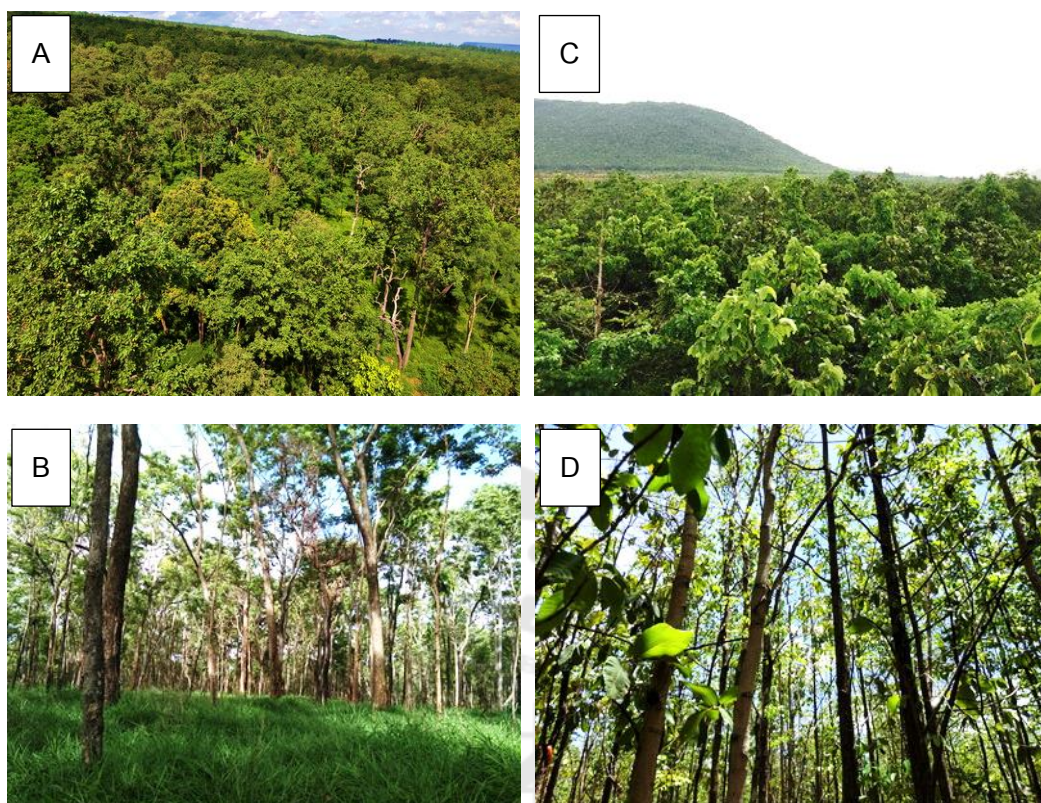
ป่าไม้เขตร้อน (tropical forest) เป็นป่าไม้ที่อยู่ในเขตภูมิอากาศร้อน มีฝนตกตลอดปีและมีฤดูแล้งสั้น หรือมีฤดูฝนสลับกับฤดูแล้งทุก ๆ 6 เดือน ป่าเขตร้อนมีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 7 ของพื้นที่โลกส่วนที่เป็นแผ่นดิน เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตมากกว่า 5 ล้านชนิด หรือคิดเป็นร้อยละ 40-50 ของสิ่งมีชีวิตทั้งหมด⁽⁸⁰⁾ จึงทำให้ป่าไม้เขตร้อนมีความหลากหลายทางชีวภาพสูง ครอบคลุมถึงความหลากหลายของชนิดพันธุ์ ความหลากหลายทางพันธุกรรม และความหลากหลายทางระบบนิเวศ โดยเป็นแหล่งกักเก็บและหมุนเวียนระดับความชื้นในบรรยากาศ รวมทั้งเป็นแหล่งสะสมธาตุคาร์บอนที่สำคัญเป็นแหล่งกักเก็บและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีอัตราดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปีละ 1-2 kg/m² ซึ่งมากกว่าป่าประเภทอื่น ๆ

โดยป่าเขตร้อน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ ป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest) เป็นป่าไม้ที่มีพันธุ์ไม้ส่วนใหญ่ไม่ทิ้งใบ เนื่องจากป่าอยู่ในเขตที่มีความชื้นในอากาศและฝนตกชุกมากตลอดปี ป่าไม้ในประเภทนี้ เช่น ป่าดิบเมืองร้อน ป่าสนเขา ป่าพรุ และป่าชายหาด และอีกประเภทคือ ป่าผลัดใบ (deciduous forest) เป็นป่าไม้ที่มีพันธุ์ไม้ส่วนใหญ่ทิ้งใบทั้งต้นเนื่องจากอยู่ในเขตที่มีความชื้นและปริมาณฝนน้อย พื้นที่แห้งแล้ง ป่าไม้ในประเภทนี้ เช่น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าหุบหรือป่าหญ้า ซึ่งป่าไม้ส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นป่าเขตร้อน ประเภทป่าผลัดใบคิดเป็นร้อยละ 55 ของพื้นที่ป่าทั้งหมดที่มีพื้นที่ประมาณ 14,500,000 ha โดยแบ่งเป็นป่าเบญจพรรณ ร้อยละ 34 และป่าเต็งรัง ร้อยละ 21^(9, 73)

เนื้อที่ป่าเต็งรัง (deciduous dipterocarp forest หรือ dry dipterocarp forest) ในประเทศไทย มีพื้นที่ร้อยละ 21 ของพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด เป็นป่าที่มีความสำคัญยิ่งต่อประเทศไทย มีพื้นที่ครอบคลุมทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตกของประเทศไทย ลักษณะสำคัญของป่าเต็งรัง คือมีลักษณะเป็นป่าโปร่ง มักขึ้นในบริเวณที่ราบและบนภูเขาหรือที่ราบสูง ที่ระดับ 50-1,300 m เหนือระดับน้ำทะเล⁽⁸¹⁾ พื้นดินขาดความอุดมสมบูรณ์ มีการชะล้างพังทลายของดิน ดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายและดินลูกรัง สภาพป่าเป็นป่าแห้งแล้ง มีความแตกต่างอย่างชัดเจนของฤดูกาล ระหว่างฤดูฝนกับฤดูแล้ง ซึ่งมีฤดูฝนประมาณ 5-6 เดือน

และมีฤดูแล้งมากกว่า 4 เดือนต่อปี ทำให้เกิดไฟป่าเป็นประจำทุกปี พันธุ์ไม้ในป่าเป็นไม้ผลัดใบ จะทิ้งใบในช่วงฤดูแล้ง ต้นไม้มีความสามารถในการปรับตัวให้ทนต่อไฟป่า ไม้เด่นในป่า ประกอบด้วย ไม้วงศ์ยางประเภทยักษ์โต ใบ เช่น เต็ง รัง เหียง พลวง ยางกราด เป็นต้น

ลักษณะโครงสร้างของป่าเต็งรังที่สมบูรณ์โดยทั่วไปมี 3 ชั้นเรือนยอดไม่นับพืชใน ชั้นพื้นป่า เรือนยอดชั้นบนสุดมีความสูง 15-20 m ไม้เด่นในชั้นเรือนยอดนี้ ได้แก่ เต็ง รัง พะยอม ยางเหียง รกฟ้า สมอไทย และกระบก เป็นต้น เรือนยอดชั้นรอง มีความสูงประมาณ 10-15 m ไม้เด่นในชั้นเรือนยอดนี้ ได้แก่ แครกฟ้า มะขามป้อม เหมือดโหลด ตับเต่าตัน และมะม่วงหาวมะงวง เป็นต้น และชั้นไม้พื้นล่างของป่าเต็งรัง มีความสูงของต้นไม้ไม่เกิน 5 m ไม้เด่นในชั้นเรือนยอดนี้ เป็นพืชในวงศ์หญ้า และไม้ล้มลุกในวงศ์ถั่ว รวมถึงไม้ล้มลุกอื่น ๆ ได้แก่ เล้า ไผ่เพ็ก ถั่วผี และ มะหิ๋งดง เป็นต้น โดยการเติบโตและการสืบพันธุ์ของไม้ ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความชื้นและคุณภาพ ของดิน ป่าชนิดนี้จะสมบูรณ์ที่สุดเมื่อขึ้นอยู่บนพื้นที่ที่มีโครงสร้างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) และมีลักษณะค่อนข้างเป็นกรด⁽⁴⁶⁾ จากการศึกษาของสมศักดิ์ ศรีสันติสุข⁽⁸²⁾ พบว่า ป่าเต็งรังมีการเจริญเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกเฉลี่ยของไม้ทุกชนิดประมาณ 1-2 mm/yr ในปัจจุบันพื้นที่ป่าเต็งรังลดน้อยลงกว่าในอดีตมาก เนื่องจากมีความต้องการ ใช้ประโยชน์จากป่ามากขึ้น ทั้งประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม ประกอบกับป่าชนิดนี้เมื่อถูกทำลาย แล้ว จะกลับฟื้นคืนเป็นป่าดั้งเดิมได้ยากการปลูกขึ้นใหม่ก็ทำได้ยากยิ่งกว่า จึงทำให้ป่าเต็งรังที่เป็น ป่าปฐมภูมิลดลงอย่างรวดเร็วหรือเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นป่าเต็งรังทุติยภูมิ



ภาพประกอบ 6 ระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา (A-B) และป่าเต็งรังทุติยภูมิ
จังหวัดราชบุรี (C-D)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

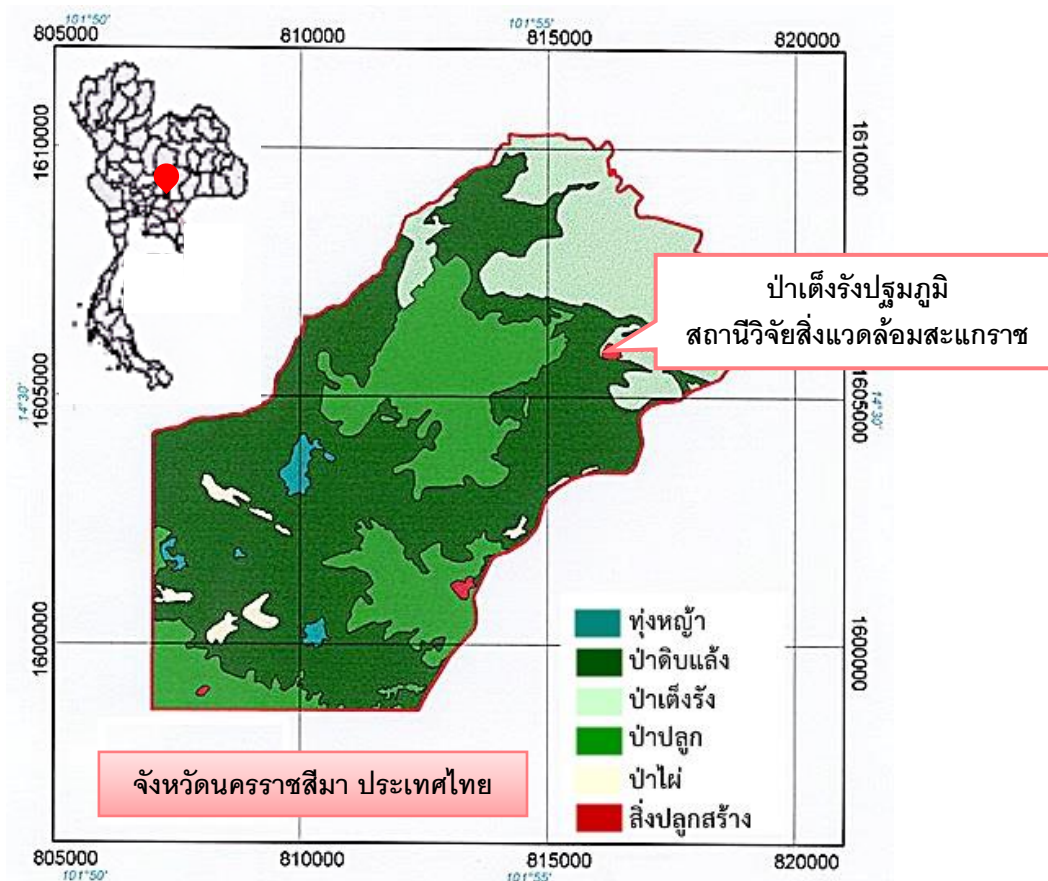
ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. พื้นที่ศึกษา
2. การเตรียมพื้นที่ศึกษา
3. การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรัง
4. การประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรัง
5. การประเมินศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเต็งรัง
6. การเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม
7. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์
8. ระยะเวลาดำเนินการ

3.1 พื้นที่ศึกษา

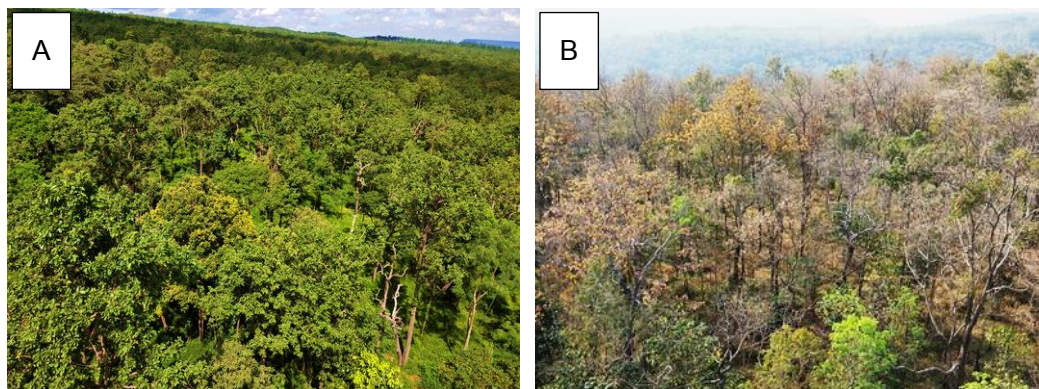
งานวิจัยนี้ทำการทดลองในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ ตั้งอยู่ที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช ตำบลอุดมทรัพย์ อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา (ละติจูด: $14^{\circ} 30' 29.80''$ N, ลองจิจูด: $101^{\circ} 56' 58.50''$ E) ดังภาพประกอบ 7 และ 8 มีความสูง 390 m จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่แหล่งชีวมณฑลสะแกราช ที่มีพื้นที่ทั้งหมด 49,755 ไร่ หรือเท่ากับ 79.61 km^2 ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ 7,373 ไร่ หรือเท่ากับ 11.80 km^2 (1,180 ha) คิดเป็นร้อยละ 14.8 ของพื้นที่ทั้งหมด มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,260 mm อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 20.44°C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 30.39°C และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 21.18°C ⁽⁸³⁾ ดินในพื้นที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย ⁽⁸⁴⁾ มีความเป็นกรด ค่า pH ของดินอยู่ในช่วง 4.44-4.73 ความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในช่วง $0.55\text{-}0.63 \text{ g/cm}^3$ ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 1.17-1.56 และ 0.10-0.13 และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในช่วง 3.70-4.29 tonC/ha ต้นไม้ในป่าเต็งรังปฐมภูมิมี 185 ชนิดพันธุ์ 49 วงศ์ ⁽⁸³⁾ ชนิดพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ เต็ง (*Shorea cbluse*) แดง (*Xylia xylocarpa* var. *kerrii*) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) กุ๊ก (*Lannea coromandelica*) และก่อแพะ (*Quercus kerrii*) ⁽⁸⁵⁾ ส่วนพืชคลุมดินที่พบมากที่สุด ได้แก่ ไม้แพ็ก (*Arundinaria pusilia*) ไม้โจด (*Arundinaria cililla*) และปรองป่า (*Cycas siamensis* Miq.) ⁽⁸³⁾ ต้นไม้มีความสูง และเส้นรอบวงเฉลี่ยเท่ากับ 11.01 m

และ 39.19 cm มีพื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นของต้นไม้ เท่ากับ $0.11 \text{ m}^2/\text{ha}$ และ 325 ต้น/ha
 ดังตาราง 7



ภาพประกอบ 7 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ป่าเต็งรังปทุมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช
 จังหวัดนครราชสีมา

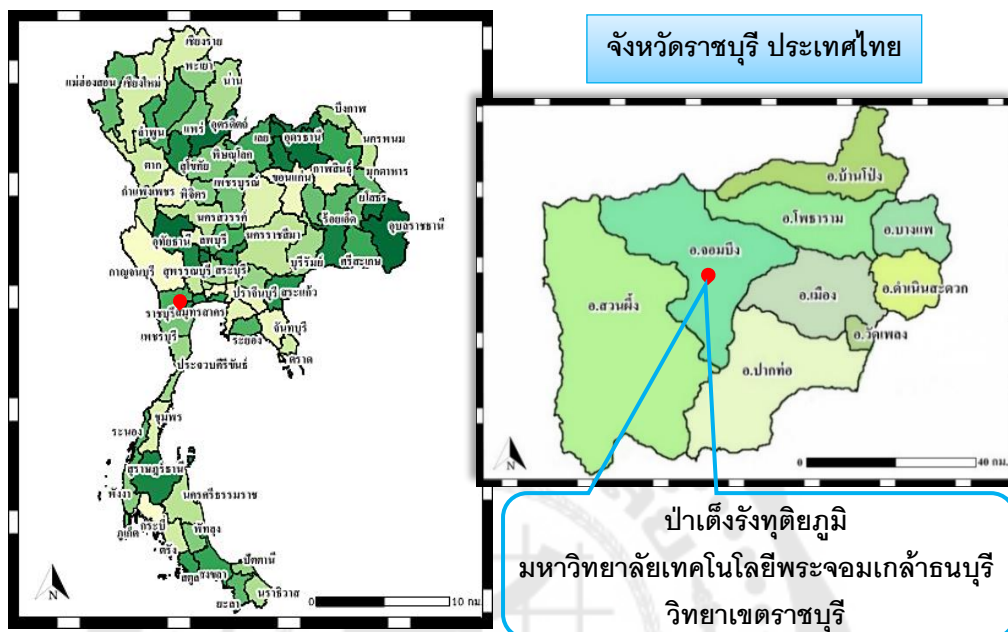
ที่มา: ดัดแปลงจากสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช⁽⁸³⁾



ภาพประกอบ 8 พื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ ช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม (A) และช่วง ฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-เมษายน (B) ณ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา

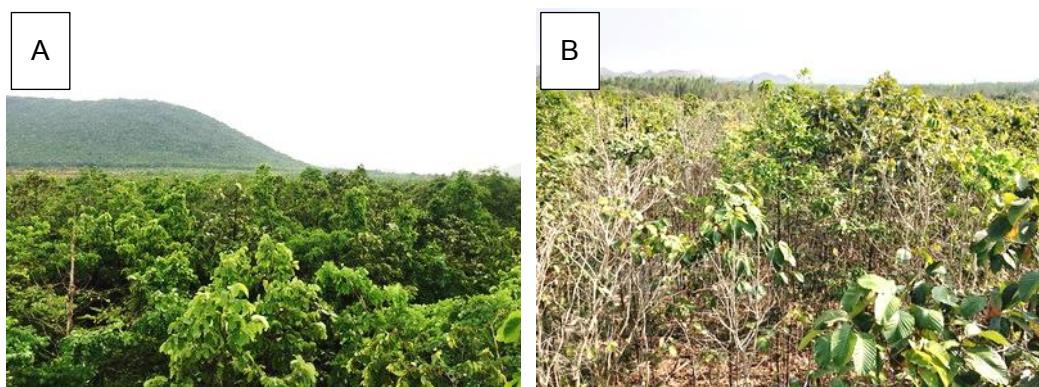
ในส่วนของพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ ตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี อยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศไทย (ละติจูด: $13^{\circ} 35' 13.3''$ N, ลองจิจูด: $99^{\circ} 30' 3.9''$ E ความสูง 110 m เหนือระดับน้ำทะเล) ดังภาพประกอบ 9 และ 10 พื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิมีขนาดเท่ากับ 187.2 ha ป่าได้รับการอนุรักษ์ และเก็บรักษาไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 ภายหลังจากมีการตัดต้นไม้ในป่าเพื่อผลิตถ่าน ทำให้ต้นไม้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงการฟื้นฟู⁽⁵⁷⁾ ในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2554-2558 พื้นที่ศึกษา มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,028.98 mm โดยเดือนที่มีฝนตกปริมาณมากอยู่ระหว่างเดือน พฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 28.46°C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ 34.18°C และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 22.82°C ⁽⁸⁶⁾ ดินในพื้นที่เป็นดินในชุดดินจอมบึง มีลักษณะเป็นดินทรายปนดินร่วน ที่ระดับความลึก 100 cm จากผิวดิน องค์ประกอบของดินเป็น ดินทรายมากกว่าร้อยละ 70 และมีดินทรายแป้งและดินเหนียวปะปนเล็กน้อย ดินมีความเป็นกรด ค่า pH อยู่ในช่วง 4.78-5.53 ความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $0.95\text{-}1.12\text{ g/cm}^3$ ปริมาณคาร์บอนและ ไนโตรเจนในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 0.21-0.38 และ 0.03-0.05 และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน อยู่ในช่วง $1.15\text{-}1.99\text{ tonC/ha}$ ต้นไม้ในป่าเต็งรังปฐมภูมิมี 77 ชนิดพันธุ์⁽⁸⁷⁾ ชนิดพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ ยางกราด (*Dipterocarpus intricatus*) เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) พ ลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) เต็ง (*Shorea cbtuse*) และรัง (*Shorea siamensis*) ส่วนพืชคลุม ดินที่พบมากที่สุด ได้แก่ กัลยเต่า (*Polyalthia debilis* (Pierre) Finet & Gagnep)⁽⁸⁷⁾ ต้นไม้มี

ความสูง และเส้นรอบวงเฉลี่ยเท่ากับ 8.11 m และ 20.48 cm มีพื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นของต้นไม้ เท่ากับ 0.16 m²/ha และ 2,538 ต้น/ha ดังตาราง 7



ภาพประกอบ 9 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชนบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี

ที่มา: ดัดแปลงจากดวงแก้ว พันธุรัตน์⁽⁸⁸⁾



ภาพประกอบ 10 พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ ช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม (A) และช่วง
ฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-เมษายน (B) ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วิทยาเขตราษฎร์บุรี จังหวัดราชบุรี

ตาราง 7 ข้อมูลทั่วไปของป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ
จังหวัดราชบุรี

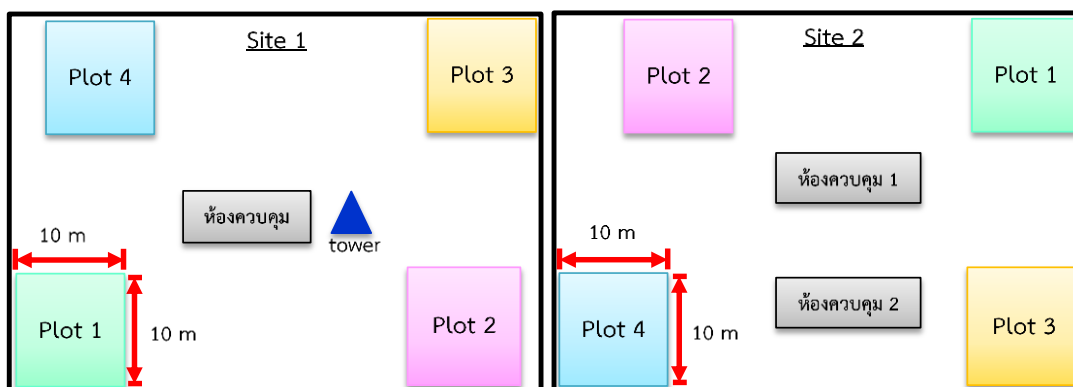
ข้อมูลทั่วไป	ป่าเต็งรังปฐมภูมิ	ป่าเต็งรังทุติยภูมิ
ความสูงของพื้นที่ป่า (m)	390	110
ขนาดพื้นที่ป่า (ha)	1,180	187.2
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (mm)	1,260	1,028.98
อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปี (°C)	20.44	28.46
ลักษณะดิน	ดินร่วนปนดินทราย	ดินทรายปนดินร่วน
คุณสมบัติดิน		
- ค่า pH	4.44-4.73	4.78-5.53
- ความหนาแน่นรวม (g/cm ³)	0.55-0.63	0.95-1.12
- ปริมาณคาร์บอน (%)	1.17-1.56	0.21-0.38
- ปริมาณไนโตรเจน (%)	0.10-0.13	0.03-0.05
- ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (tonC/ha)	3.70-4.29	1.15-1.99

ตาราง 7 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	ป่าเต็งรังปฐมภูมิ	ป่าเต็งรังทุติยภูมิ
ชนิดพันธุ์ไม้เด่น		
- ไม้ต้น	เต็ง (<i>Shorea cbtuse</i>) แดง (<i>Xylia xylocarpa</i> var. <i>kerrii</i>) ประดู่ (<i>Pterocarpus macrocarpus</i>) กุ่ม (<i>Lanea coromandelica</i>) ก่อแพะ (<i>Quercus kerrii</i>)	ยางกราด (<i>Dipterocarpus intricatus</i>) เหียง (<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>) พลวง (<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>) เต็ง (<i>Shorea cbtuse</i>) รัง (<i>Shorea siamensis</i>)
- พืชคลุมดิน	ไผ่เพ็ก (<i>Arundinaria pusilia</i>) ไผ่โจด (<i>Arundinaria cililta</i>) ปรงป่า (<i>Cycas siamensis</i> Miq.)	กล้วยเต่า (<i>Polyalthia debilis</i> (Pierre) Finet & Gagnep)
ความสูงของต้นไม้ (m)	11.01	8.11
เส้นรอบวงของต้นไม้ (cm)	39.19	20.48
พื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ (m ² /ha)	0.11	0.16
ความหนาแน่นของต้นไม้ (ต้น/ha)	325	2,538

3.2 การเตรียมพื้นที่ศึกษา

ทำการสุ่มวางแผนแปลงทดลองรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดราชบุรี ขนาดความกว้าง 10 m ความยาว 10 m จำนวนทั้งหมด 4 แปลง ดังภาพประกอบ 11 เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ โดยตรวจวัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ ข้อมูลปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอย ข้อมูลผลผลิตเศษซากชีวมวล และข้อมูลอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล



ภาพประกอบ 11 การวางแผนทดลองในพื้นที่สำหรับการประเมินการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (site 1) และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (site 2)

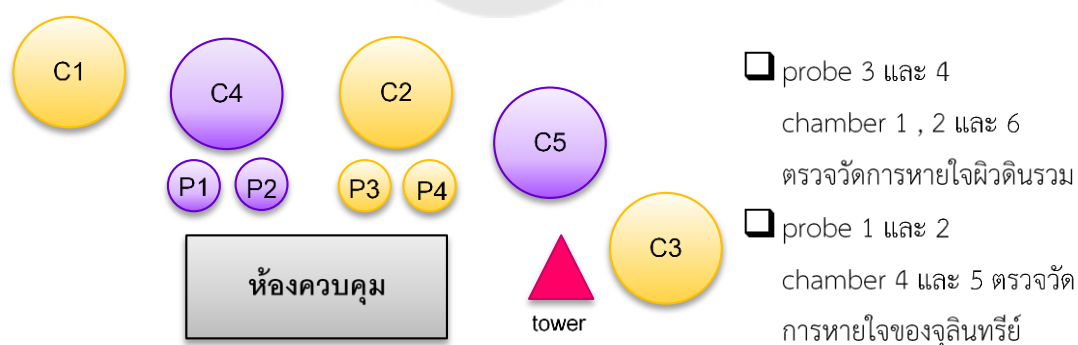
ส่วนการเตรียมพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการวัดการหายใจผิวดินรวม และการวัดการหายใจของจุลินทรีย์ โดยการเตรียมพื้นที่ศึกษาเพื่อตรวจวัดการหายใจของจุลินทรีย์ จะทำการแยกการหายใจของรากพืชและจุลินทรีย์ออกจากกันโดยใช้เทคนิค root extraction ด้วยวิธี trenching หรือการขุดร่องรอบ ๆ พื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นแนวป้องกันการรุกรานของรากพืช ซึ่งวิธีนี้ได้รับความนิยมและมีการใช้อย่างกว้างขวาง⁽⁹⁾ โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่รบกวนดินผิวน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ มีความสะดวกในการดำเนินการวิจัย และยังสามารถสกัดกั้นคาร์บอนที่ได้จากต้นไม้ลงสู่ดิน⁽⁷³⁾ อีกทั้งยังสามารถรักษาสภาวะภายในดิน (ความชื้น อุณหภูมิ) ได้ใกล้เคียงกับสภาวะเดิม ซึ่งการศึกษานี้ ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ จะทำการขุดร่องรอบ ๆ พื้นที่ศึกษาลึก 30 cm กว้าง 10 cm รอบพื้นที่ศึกษาขนาด 1 m² ส่วนในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิจะทำการขุดร่องรอบ ๆ พื้นที่ศึกษาลึก 1 m กว้าง 10 cm รอบพื้นที่ศึกษาขนาด 1 m²⁽⁵⁷⁾ จากนั้นนำแผ่นยับยั้งมาวางขึ้นรูปเป็นแนวป้องกันการรุกรานของรากพืช แล้วกลบดินให้เรียบร้อย



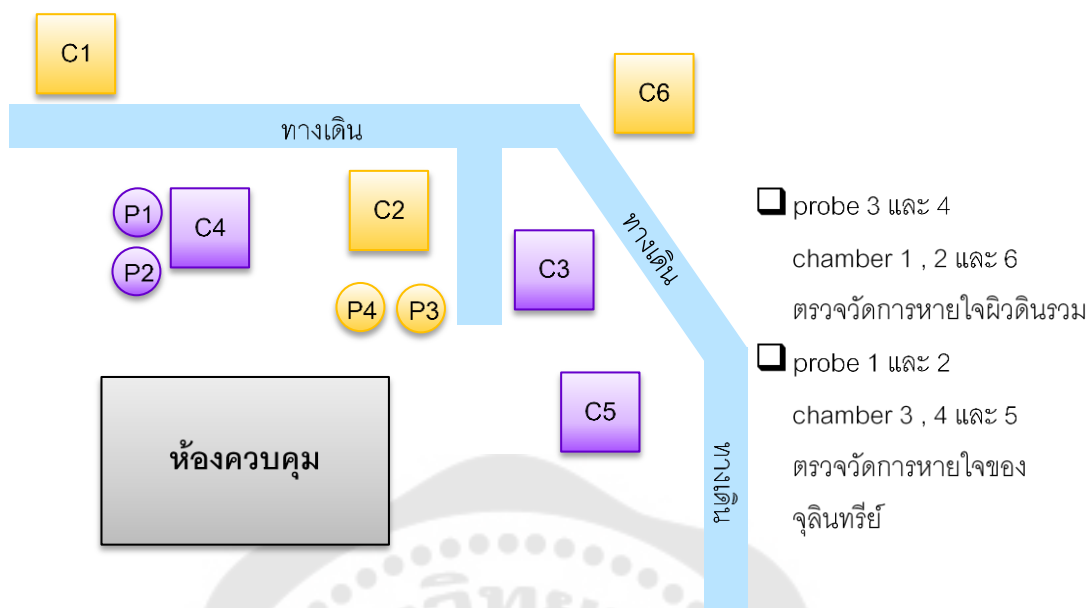
ภาพประกอบ 12 เทคนิค root extraction ด้วยวิธี trenching

ที่มา: วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์⁽⁵⁸⁾

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ carbon dioxide probe และกล่องวัดก๊าซระบบปิดอัตโนมัติ (automatic closed chambers) โดยพื้นที่แต่ละพื้นที่จะทำการวาง probe ทั้งหมด 4 ตัว แบ่งเป็นการวัดการหายใจผิวดินรวม และการหายใจของจุลินทรีย์อย่างละ 2 ตัว โดยทำการฝังดินที่ความลึก 5 cm และ 20 cm สำหรับกล่องวัดก๊าซ (chamber) ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐุมภูมิจะวางกล่องวัดก๊าซ (chamber) ทั้งหมด 5 กล่อง แบ่งเป็นการวัดการหายใจผิวดินรวม 3 กล่องและการหายใจของจุลินทรีย์ 2 กล่อง ในพื้นที่ป่าเต็งรังหุติยภูมิจะวางกล่องวัดก๊าซอีก 6 กล่อง แบ่งเป็นการวัดการหายใจผิวดินรวม และการหายใจของจุลินทรีย์อย่างละ 3 กล่อง ดังภาพประกอบ 13 และ 14



ภาพประกอบ 13 ลักษณะการติดตั้งกล่องวัดก๊าซระบบปิดอัตโนมัติ และ carbon dioxide probe ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 14 ลักษณะการติดตั้งกล่องวัดก๊าซระบบปิดอัตโนมัติ และ carbon dioxide probe ในพื้นที่ป่าเต็งรังห้วยดงภูมิจังหวัดขอนแก่น

3.3 การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรัง

3.3.1 การประมาณค่ามวลชีวภาพ

การประมาณค่ามวลชีวภาพ เพื่อศึกษาการกักเก็บหรือการดูดซับคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้ จะใช้วิธี allometric โดยจะทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชในป่าเต็งรัง ป่าสน และป่าเต็งรัง โดยจะวัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ ซึ่งการวัดความสูงของต้นไม้จะใช้ clinometer (Tandem 360PC 360R SUUNTO) ส่วนการวัดเส้นรอบวงเพื่อหาเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้จะใช้สายวัด โดยทำการวัดเส้นรอบวงของต้นไม้ที่ระดับความสูง 1.3 m เหนือพื้นดิน หรือทำการวัดที่ระดับอก ซึ่งความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จะนำไปประมาณค่ามวลชีวภาพ เพื่อหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรัง ทั้งนี้การประมาณค่ามวลชีวภาพในป่าเต็งรังป่าสนและป่าเต็งรังเป็นดังสมการ 11 ถึง 14 ⁽⁸⁹⁾

$$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.9326} \quad (11)$$

$$W_B = 0.003487 (D^2H)^{1.027} \quad (12)$$

$$W_L = W_S / (22.5 + 0.025 W_S) \quad (13)$$

$$W_R = 0.0264 (D^2H)^{0.775} \quad (14)$$

- โดยที่ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ (cm)
 H = ความสูงของต้นไม้ (m)
 W_S = ปริมาณมวลชีวภาพแห้งจากลำต้น (kg/ต้น)
 W_B = ปริมาณมวลชีวภาพแห้งจากกิ่ง (kg/ต้น)
 W_L = ปริมาณมวลชีวภาพแห้งจากใบ (kg/ต้น)
 W_R = ปริมาณมวลชีวภาพแห้งจากราก (kg/ต้น)

3.3.2 มวลชีวภาพของรากฝอย

การประเมินมวลชีวภาพของรากฝอย (fine root biomass) ทำโดยการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงทดลองด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ทุก ๆ เดือน ที่ระดับความลึก 4 ระดับ ได้แก่ 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm จากนั้นทำการแยกรากฝอย (ขนาด ≤ 2 mm) ออกจากดิน โดยนำไปล้างน้ำให้สะอาดอย่างระมัดระวัง และนำรากไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จึงนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง

3.3.3 ผลผลิตเศษซากชีวมวล

การประเมินผลผลิตเศษซากชีวมวล (litterfall production) ใช้วิธีการวางกระเบิกรองรับเศษซากพืช หรือเศษซากชีวมวล (litter trap) ที่ร่วงหล่นมาจากต้นไม้ มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความกว้าง 1 m ความยาว 1 m และตั้งสูงจากพื้นดินประมาณ 1 m ซึ่งตัวกระเบิรทำจากตาข่ายไนลอน มีขนาดช่องตาข่ายที่เหมาะสม ส่วนโครงของกระเบิรทำจากท่อ PVC โดยทำการวางกระเบิรในแปลงทดลองแบบสุ่ม แปลงละ 3 จุด รวมทั้งหมด 12 จุด ภายในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ และทำการเก็บเศษซากพืชที่ร่วงหล่นลงในกระเบิรทุก ๆ เดือน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จึงนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง

สำหรับการคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอน จากมวลชีวภาพของต้นไม้ มวลชีวภาพของรากฝอย และผลผลิตเศษซากชีวมวล สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักแห้ง โดยนำปริมาณชีวมวลแห้งคูณด้วยสัดส่วนของชีวมวลที่เป็นคาร์บอน จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN analyzer

3.4 การประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรัง

3.4.1 การย่อยสลายเศษซากชีวมวล

การประเมินการย่อยสลายเศษซากชีวมวล (litterfall decomposition) จะทำการเก็บเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรัง เพื่อนำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักเศษซากชีวมวลปริมาณ 100 g ใส่ลงในถุงตาข่าย (litter bag) แล้วนำไปวางในแปลงทดลองแบบสุ่มทั้งหมด 4 จุดตามแปลงทดลองที่แบ่งไว้ จุดละ 12 ถุง โดยวางให้เสมือนธรรมชาติมากที่สุด เพื่อประเมินอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล ซึ่งถุงที่ใช้ใส่เศษซากชีวมวลที่อบแห้งเป็นถุงตาข่ายไนลอน ขนาดความกว้าง 50 cm ความยาว 50 cm ช่องตาข่ายมีขนาดเหมาะสมป้องกันเศษซากชีวมวลออกจากถุง หรือเหมาะสมต่อการย่อยสลาย หลังจากนั้นจะทำการเก็บเศษซากชีวมวลในถุงตาข่ายที่มีการย่อยสลายแล้วทุก ๆ เดือน เพื่อนำไปหาอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล โดยนำถุงตาข่ายที่เก็บแต่ละเดือนไปทำความสะอาด ล้างเศษดินที่ติดอยู่ออก ให้เหลือเพียงเศษซากชีวมวล จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งของเศษซากชีวมวล แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล จากสมการ exponential decay model⁽⁹⁰⁾ ดังสมการ 15

$$\ln Y_t = \ln Y_0 - kt \quad (15)$$

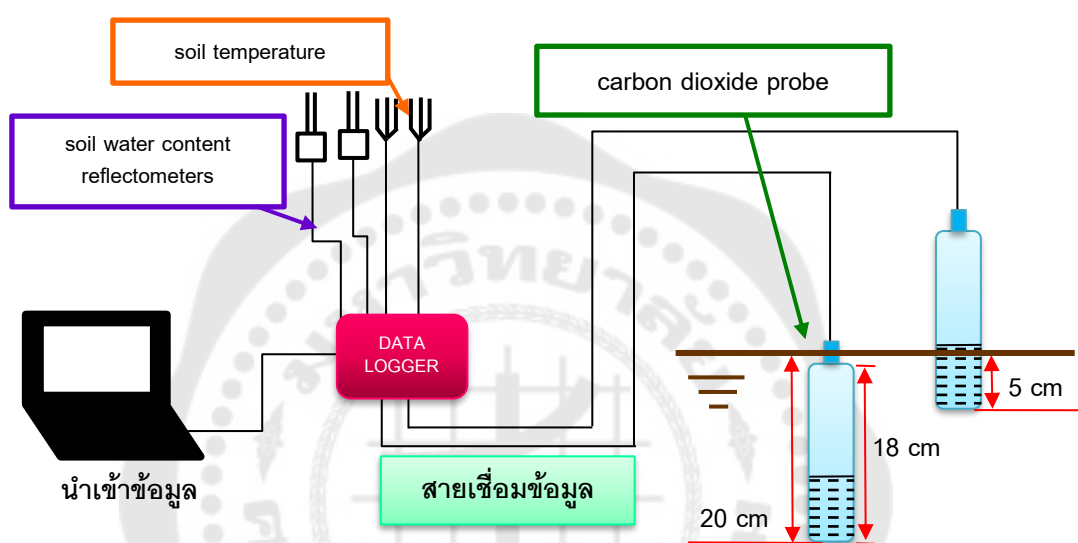
โดยที่ Y_t = น้ำหนักแห้งของเศษซากพืชจากการย่อยสลายในระยะเวลา t (g)
 Y_0 = น้ำหนักแห้งของเศษซากพืชช่วงเริ่มต้น (g)
 k = ค่าคงที่อัตราการย่อยสลายเอ็กซ์โพเนนเชียล (ต่อเดือน)
 t = ช่วงเวลาที่แตกต่างระหว่าง X_t และ X_0 (เดือน)

สำหรับการคำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากกระบวนการย่อยสลายเศษซากพืช สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักแห้งของเศษซากชีวมวล โดยนำปริมาณชีวมวลแห้งคูณด้วยสัดส่วนของชีวมวลที่เป็นคาร์บอน จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN analyzer แล้วคูณด้วย 3.67 เพื่อเปลี่ยนคาร์บอนให้อยู่ในหน่วยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อซากพืชเหล่านั้นมีการย่อยสลาย

3.4.3 การหายใจผิวดิน

การประเมินการปลดปล่อยคาร์บอน โดยทำการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน จะใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ชนิด เครื่องมือชนิดแรกคือ carbon dioxide probe รุ่น GMP343 (Vaisala Inc., Finland) โดยใช้กับวิธี soil gradient ดังภาพประกอบ 15 ซึ่ง probe จะถูกฝังลงในดินลึก 5 cm และ 20 cm⁽⁵⁹⁾ ในพื้นที่ศึกษา โดยจะ

แบ่งออกเป็น probe 2 ตัว สำหรับการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินรวม และ probe อีก 2 ตัว สำหรับการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของจุลินทรีย์ โดย probe จะทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยทุกวินาทีและบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที แล้วจัดเก็บข้อมูลไว้ใน data logger รุ่น CR1000 (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) ดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 15 ระบบการทำงานของเครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
แบบวิธี soil gradient โดยใช้ carbon dioxide probe



ภาพประกอบ 16 การติดตั้งระบบ carbon dioxide probe รุ่น GMP343

การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน จาก carbon dioxide probe จะคำนวณโดยใช้ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน ($\mu\text{mol}/\text{m}^3$) ร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) (F , $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ หรือ $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{h}$) ทำได้ดังสมการ 16 ถึง 20^(59, 91)

$$F = -D_s \frac{dC}{dZ} \quad (16)$$

โดยที่ F = การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 flux) ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
 D_s = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน (m^2/s)
 $\frac{dC}{dZ}$ = อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความลึกดิน
 C = ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($\mu\text{mol}/\text{m}^3$)
 Z = ความลึกของดิน (m)

$$D_s = \xi D_a \quad (17)$$

โดยที่ ξ = ปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของก๊าซ (gas tortuosity factor)
 D_a = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศอิสระ (m^2/s)

$$D_a = D_{a0} \left(\frac{T}{293.15} \right)^{1.75} \left(\frac{P}{101.3} \right) \quad (18)$$

โดยที่ D_{a0} = ค่าอ้างอิงของ D_a ที่ 20°C (293.15 K), 101.3 kPa และ $14.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
 T = อุณหภูมิอากาศ (K)
 P = ความดันอากาศ (kPa)

$$\xi = \frac{\alpha^{10/3}}{\phi^2} \quad (19)$$

โดยที่ α = ปริมาตรของอากาศ
 ϕ = ความพรุนของดิน

$$\phi = \alpha + \theta = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_m} \quad (20)$$

โดยที่ θ = ปริมาตรความชื้นในดิน
 ρ_b = ความหนาแน่นรวมของดิน (g/cm^3)
 ρ_m = ค่าความหนาแน่นของอนุภาคแร่ในดิน (g/cm^3)

ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีค่าความหนาแน่นรวม (ρ_b) เท่ากับ 0.59 g/cm^3 และมีค่าความหนาแน่นของอนุภาคแร่ในดิน (ρ_m) เท่ากับ 2.73 g/cm^3 ส่วนป่าเต็งรังหุบผภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี จังหวัดราชบุรี มีค่าความหนาแน่นรวม (ρ_b) เท่ากับ 1.42 g/cm^3 และมีค่าความหนาแน่นของอนุภาคแร่ในดิน (ρ_m) เท่ากับ 2.68 g/cm^3 ⁽⁵⁹⁾

ส่วนเครื่องมืออีกชนิดคือ เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ analyzer) รุ่น Licor-820 (Licor Corporation, Lincoln, Nebraska, USA) ซึ่งใช้กับวิธีการกล่องวัดก๊าซระบบปิด อัตโนมัติ (automatic closed chambers method) ดังภาพประกอบ 17



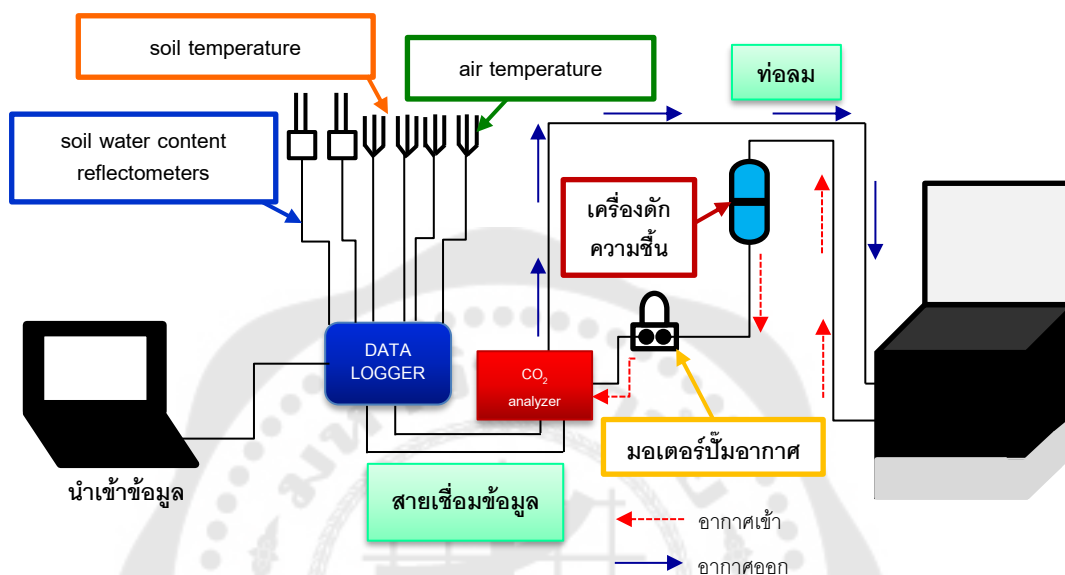
ภาพประกอบ 17 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ analyzer) รุ่น Licor-820

ที่มา: วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์ ⁽⁵⁸⁾

ซึ่งจะทำการต่อท่อลมเข้า (polyurethane tube) จากกล่องเก็บก๊าซ เพื่อนำก๊าซจากกล่องเก็บก๊าซเข้าสู่เครื่องวัดความชื้น และต่อเข้าสู่มอเตอร์ปั๊มอากาศ จากนั้นก๊าซจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รุ่น Licor-820 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน หลังจากการวิเคราะห์แล้ว ก๊าซจะเข้าสู่ท่อลมออกที่ต่อกับเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ก๊าซกลับออกไปสู่กล่องเก็บก๊าซ และข้อมูลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเก็บไว้ใน data logger รุ่น CR10x (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) ดังภาพประกอบ 18 และ 19

การเก็บข้อมูลการหายใจผิวดิน จะทำการเก็บทุกชั่วโมง ด้วยกล่องเก็บก๊าซระบบปิดแบบอัตโนมัติ คือเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ 18 นาที จากนั้นเวลาที่ 19 กล่อง

เก็บก๊าซที่ 1 จะปิดเพื่อเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินไปทำการวิเคราะห์จนครบ 7 นาที กล้องเก็บก๊าซที่ 1 จะเปิด และกล้องเก็บก๊าซที่ 2 จะปิดเพื่อเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินจนครบ 6 กล้อง ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 18 ระบบการทำงานของเครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
แบบวิธี automatic closed chambers โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ CO₂ รุ่น Licor-820

ที่มา: พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ และคณะ⁽⁵⁷⁾



ภาพประกอบ 19 การติดตั้งระบบเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รุ่น Licor-820

การคำนวณอัตราการหายใจผิวดินจากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รุ่น Licor-820 จะคำนวณโดยใช้อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่างระยะเวลาปิดกล่องเก็บก๊าซ โดยขั้นแรกอัตราส่วนผสมหรือความเข้มข้นที่ได้รับจากกล่องเก็บก๊าซจะถูกเปลี่ยนให้เป็นมวลโดยใช้กฎของก๊าซ ดังนั้นต้องอาศัยอุณหภูมิและความดันของอากาศในระบบปิด แสดงดังสมการ 21 จากนั้นค่า soil CO₂ flux จะคำนวณโดยใช้อัตราส่วนเส้นตรงของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซในเวลาต่าง ๆ ดังสมการ 22^(9, 73)

$$C_i = \frac{q_i MP}{RT} \quad (21)$$

$$F = \frac{dC_i V}{dt A} \quad (22)$$

โดยที่	C _i	=	มวลต่อปริมาตรความเข้มข้น (gCO ₂ /m ³)
	q _i	=	ปริมาตรต่อปริมาตรความเข้มข้น (m ³ /m ³)
	M	=	น้ำหนักมวลโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (44 g/mol)
	P	=	ความดันบรรยากาศ (1 atm)
	R	=	ค่าคงที่ของก๊าซ (8.2058 X 10 ⁻⁵ m ³ atm/K/mol)
	T	=	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องเก็บก๊าซ (K)
	F	=	ค่าการไหลของก๊าซ (g/m ² /min)
	V	=	ปริมาตรของ chamber's headspace (m ³)
	A	=	พื้นที่ของดินที่ถูกปิดด้วยกล่องเก็บก๊าซ (m ²)
	$\frac{dC_i}{dt}$	=	อัตราส่วนของการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเวลา (gCO ₂ /m ³ /min)

3.5 การประเมินศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเต็งรัง

การประเมินศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการศึกษาผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production: NEP) สามารถประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศได้จากสมการ 23 ถึง 28⁽²¹⁾

$$NEP = GPP - R_e \quad (23)$$

โดยที่ NEP = ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production)

(tonC/ha/yr)

GPP = ผลผลิตปฐมภูมิรวม (gross primary production) เป็นปริมาณเนื้อเยื่อทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือเรียกว่า มวลชีวภาพ (biomass) รวมทั้งส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจ ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ⁽²²⁾ (tonC/ha/yr)

R_e = การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (ecological respiration) (tonC/ha/yr)

$$R_e = R_a + R_s \quad (24)$$

$$NEP = GPP - R_a - R_s \quad (25)$$

โดยที่ R_a = การหายใจของพืช (autotrophic respiration) (tonC/ha/yr)

R_s = การหายใจผิวดิน (soil respiration) (tonC/ha/yr)

$$NEP = NPP - R_m \quad (26)$$

$$NPP = \Delta B + \Delta L + \Delta C \quad (27)$$

$$NEP = (\Delta B + \Delta L) - R_m \quad (28)$$

โดยที่ NEP = ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production) (tonC/ha/yr)

NPP = ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary production) เป็นปริมาณเนื้อเยื่อที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือเรียกว่า มวลชีวภาพ (biomass) โดยไม่รวมส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจของพืช ⁽²²⁾ (tonC/ha/yr)

R_m = การหายใจของจุลินทรีย์ (microbial respiration) (tonC/ha/yr)

ΔB = ปริมาณมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 (tonC/ha/yr)

ΔL = ปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการตายหรือร่วงหล่นเป็นเศษซากพืช ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 (tonC/ha/yr)

ΔC = ปริมาณมวลชีวภาพที่สูญเสียไปเนื่องจากการกักดินของแมลงหรือสัตว์อื่น ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 เนื่องจากการประเมิน ΔC มีวิธีการค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน ประกอบกับปริมาณในส่วนนี้มีค่าน้อย ⁽²²⁾ ในที่นี้จึงตั้งสมมติฐานว่ามีค่าเป็นศูนย์ (tonC/ha/yr)

ทั้งนี้หากผลการคำนวณพบว่า NEP มีค่าเป็นลบ บ่งชี้ว่าระบบนิเวศมีการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าการปลดปล่อยคาร์บอน ระบบนิเวศนั้นจัดเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sinks)

และหากผลการคำนวณพบว่า NEP มีค่าเป็นบวก บ่งชี้ว่าระบบนิเวศมีการปลดปล่อยคาร์บอนมากกว่าการกักเก็บคาร์บอน ระบบนิเวศนั้นจะจัดเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน (carbon sources)

3.6 การเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม

3.6.1 ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ

ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางด้านภูมิอากาศที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นของดิน โดยอุณหภูมิอากาศและดินตรวจวัดโดยใช้ thermocouple probes (TCAV, Campbell Scientific, Inc., USA) ดังภาพประกอบ 20(A) ส่วนความชื้นของดินใช้ water content reflectometers (CS615, Campbell Scientific, Inc) ดังภาพประกอบ 20(B) ตรวจวัด ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นของดินจะทำการตรวจวัดที่ระดับความลึกของดิน 5 cm ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะเก็บไว้ใน data logger รุ่น CR1000 (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) โดยความชื้นในดินแสดงในหน่วย %water-filled pore space (%WFPS) ที่แปลงมาจากหน่วย %volumetric water content (%VWC) โดยใช้สมการ 29^(9, 73)

$$\%WFPS = \frac{\left(\frac{SWC}{BD} \right)}{1 - \left(\frac{BD}{PD} \right)} \quad (29)$$

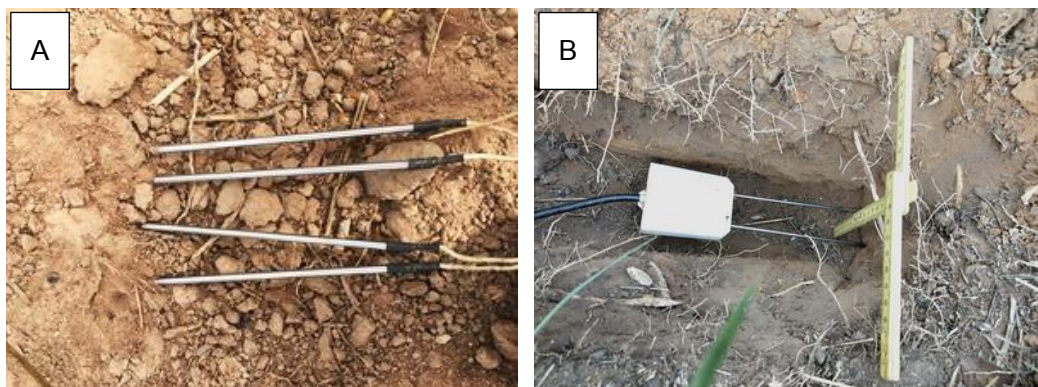
โดยที่ %WFPS = Water-filled pore space (%)

SWC = ความชื้นของดิน (%volumetric water content)

BD = ความหนาแน่นรวมของดิน (g/cm^3)

PD = มีค่าความหนาแน่นของอนุภาคแร่ในดิน (g/cm^3)

ซึ่งในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีค่าความหนาแน่นรวม (ρ_b) เท่ากับ 0.59 g/cm^3 และมีค่าความหนาแน่นของอนุภาคแร่ในดิน (ρ_m) เท่ากับ 2.73 g/cm^3 ส่วนป่าเต็งรังหุบผภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี จังหวัดราชบุรี มีค่าความหนาแน่นรวม (ρ_b) เท่ากับ 1.42 g/cm^3 และมีค่าความหนาแน่นของอนุภาคแร่ในดิน (ρ_m) เท่ากับ 2.68 g/cm^3 ⁽⁵⁹⁾



ภาพประกอบ 20 (A) thermocouple probes (B) water content reflectometers

3.6.2 คุณสมบัติของดิน

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐุมภูมิและทุติยภูมิ เก็บตัวอย่างดิน 4 ระดับ คือ 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm แล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ดังนี้

1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH)

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดิน ตรวจวัดโดยใช้ pH meter รุ่น HI-3220 (Hanna Instruments, Inc., USA) ในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (w/w) ซึ่งตัวอย่างของดินต้องผึ่งลมให้แห้งแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 mm โดยมีอุปกรณ์ วิธีการตรวจวิเคราะห์ และการแปลผล ดังนี้

อุปกรณ์

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| 1. เครื่อง pH meter | 2. เครื่องชั่ง |
| 3. น้ำกลั่น | 4. แท่งแก้วสำหรับคนสาร |
| 5. ช้อนตวง | 6. กระบอกตวง 10 ml |
| 7. ปีกเกอร์ ขนาด 50 ml หรือ 100 ml | |

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 g ใส่ลงในปีกเกอร์
2. เติมน้ำกลั่น 10 ml ใช้แท่งแก้วคนสารให้เข้ากัน หลาย ๆ ครั้ง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ อย่างน้อย 30 นาที

3. วัดค่า pH ของดินในส่วนที่เป็นน้ำใสด้วย pH meter

ตาราง 8 ระดับความรุนแรงของความเป็นกรด-ด่างของดิน

ระดับ	พิสัย	ระดับ	พิสัย
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด	< 3.5	เป็นกลาง	6.6 – 7.3
เป็นกรดรุนแรงมาก	3.5 - 4.5	เป็นด่างอ่อน	7.4 – 7.8
เป็นกรดจัดมาก	4.6 - 5.0	เป็นด่างปานกลาง	7.9 – 8.4
เป็นกรดจัด	5.1 – 5.5	เป็นด่างจัด	8.5 – 9.0
เป็นกรดปานกลาง	5.6 – 6.0	เป็นด่างจัดมาก	> 9.0
เป็นกรดเล็กน้อย	6.1 – 6.5		

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน⁽⁷⁸⁾

2) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density)

ความหนาแน่นรวมของดิน คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งของดินต่อปริมาตรทั้งหมดของดิน มีหน่วยเป็น g/cm^3 ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ 30 โดยนำตัวอย่างดินที่เก็บไว้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง⁽⁷³⁾

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{Dry weight of soil (g)}}{\text{Total volume of soil (cm}^3\text{)}} \quad (30)$$

3) ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน

การประเมินปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน จะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง CHN analyzer รุ่น 628 (LECO Corporation, St Joseph, Michigan, USA) ซึ่งมีอุปกรณ์และวิธีการตรวจวัดดังนี้

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง
2. เครื่องบดตัวอย่าง
3. ทินฟอยล์
4. sample cup holder และถาดใส่ตัวอย่าง

สารเคมี

สารมาตรฐาน EDTA

วิธีการ

1. การเตรียมสารมาตรฐาน EDTA เพื่อทำ Blank โดยจะนำ sample cup holder และทินฟอยล์วางไว้บนเครื่องชั่ง จากนั้นจึงนำสารมาตรฐานไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 0.200 g ห่อปิดด้วยทินฟอยล์ แล้วใส่ภาตตัวอย่างรอไว้ (โดยขนาดของฟอยล์เมื่อห่อเสร็จแล้วจะต้องมีขนาดเล็ก หรือพอดีกับหลุมภาตใส่ตัวอย่าง)

2. เตรียมตัวอย่างดินที่บดเรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนัก โดยทำเช่นเดียวกับการเตรียมสารมาตรฐาน

3. นำสารมาตรฐานที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์โดย CHN analyzer โดยทำการวิเคราะห์ประมาณ 3 ตัวอย่าง หรือจนกว่า ค่า Std. ของสารแต่ละตัวไม่เกินตามที่กำหนดไว้ข้าง ขวดสารมาตรฐาน (คาร์บอน 41.00 ± 0.14 ไฮโดรเจน 5.52 ± 0.04 และไนโตรเจน 9.5 ± 0.05) และ นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์โดย CHN analyzer จากนั้นบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์ ทั้งหมด

4) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon: SOC)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon: SOC) เป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญของดิน โดยมาจากเศษซากพืช รากพืช ซากสัตว์ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ สลายตัวทับถมกัน อยู่ในดิน รวมทั้งอินทรีย์สารที่ซึมจากรากพืช และจุลินทรีย์สังเคราะห์ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณ อินทรีย์คาร์บอนในดินจะวิธีคำนวณ⁽⁹²⁾ ดังสมการ 31

$$SOC = C \times BD \times D \quad (31)$$

โดยที่ SOC = ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (g/m^2)

C = ปริมาณคาร์บอน (%)

BD = ความหนาแน่นรวมของดิน (g/cm^3)

D = ปริมาณความสูงของดิน (cm)

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่ ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทางด้านภูมิอากาศ และคุณสมบัติของดิน กับการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรัง ปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ correlation และ linear regression และการศึกษาความแตกต่างของข้อมูลการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในป่าเต็งรัง

ปฐมนิเทศและทฤษฎีภูมิ ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ one-way ANOVA โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics for windows, version 20 (IBM Corp., Armonk, N.Y. USA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.8 ระยะเวลาดำเนินการ

ในการทำวิจัยในครั้งนี้ มีกิจกรรมการทำการทดลอง และระยะเวลาดำเนินการวิจัย ดังตาราง 9

ตาราง 9 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลาการดำเนินการวิจัย						
	พ.ศ.2561		พ.ศ.2562		พ.ศ.2563		
	เม.ย.-ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.-ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.-เม.ย.	พ.ค.-ก.ค.
1. ศึกษาและวางแผนการดำเนินงาน							
2. เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช							
3. เก็บข้อมูลมวลชีวภาพของรากฝอย							
4. เก็บข้อมูลผลผลิตเศษซากชีวมวล							
5. เก็บข้อมูลการย่อยสลายของเศษซากชีวมวล							
6. เก็บข้อมูลการหายใจผิวดิน							
7. วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล							
8. เขียนเล่มรายงานวิจัย							
9. ตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการ							
10. นำเสนอผลงานวิจัย							

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยการศึกษาตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยมีผลการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. คุณสมบัติดินและการกักเก็บคาร์บอนในดิน
2. ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางด้านภูมิอากาศ
3. การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน
4. การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการหายใจผิวดิน ทั้งการหายใจของจุลินทรีย์และรากพืช
5. ผลผลิตคาร์บอนสุทธิในป่าเต็งรังปฐุมภูมิและทุติยภูมิ

4.1 คุณสมบัติดินและการกักเก็บคาร์บอนในดิน

4.1.1 คุณสมบัติของดิน

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความหนาแน่นรวม (bulk density) ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในดิน ป่าเต็งรังปฐุมภูมิและป่าเต็งรังทุติยภูมิ ที่ระดับความลึก 4 ระดับ ได้แก่ 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm แสดงดังตาราง 10 พบว่า ดินในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 4.44–4.73 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.54 ดินมีความเป็นกรดจัดมาก ส่วนในป่าเต็งรังทุติยภูมิดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 4.78-5.53 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.15 ดินมีความเป็นกรดจัด ซึ่งลักษณะทั่วไปของดินในดินป่าเขตร้อน จะมีความเป็นกรด⁽⁹³⁾ จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า ความเป็นกรด-ด่างระดับนี้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน⁽⁷³⁾

การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน พบว่า ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิมีความหนาแน่นรวมของดิน มีค่าอยู่ในช่วง 0.55-0.63 g/cm³ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.59 g/cm³ และในป่าเต็งรังทุติยภูมิมีความหนาแน่นรวมของดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.95-1.12 g/cm³ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.04 g/cm³ ดังตาราง 10 โดยดินชั้นบน (ระดับความลึก 0-5 cm) มีความหนาแน่นรวมต่ำที่สุด และความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินชั้นบนจะมีการสะสมอินทรีย์วัตถุ ซึ่งมีอิทธิพลมาจากใบไม้ที่ร่วงหล่นลงมาสะสมที่ผิวดิน รวมทั้งมีแร่ธาตุและอินทรีย์คาร์บอนสะสมอยู่ ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินชั้นบนต่ำ⁽⁹⁴⁾ ส่วนดินชั้นล่าง

มีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยลง และดินอัดกันแน่นขึ้น ความโปร่งและช่องว่างลดลง จึงส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินชั้นล่างสูงขึ้น⁽⁷⁵⁾

ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในดินเฉลี่ยของป่าเต็งรังปฐุมภูมิ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.17-1.56 และ 0.10-0.13 โดยมีค่าเฉลี่ย ร้อยละ 1.35 และ 0.11 ตามลำดับ ส่วนในป่าเต็งรังหุติยภูมิ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.21-0.38 และ 0.03-0.05 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.27 และ 0.03 ตามลำดับ ดังตาราง 10 โดยปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนของทั้งสองพื้นที่มีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น

ตาราง 10 คุณสมบัติทั่วไปของดินในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

ระดับ ความลึก ของดิน (cm)	ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ				ป่าเต็งรังหุติยภูมิ			
	pH	bulk density (g/cm ³)	ปริมาณ คาร์บอน (%)	ปริมาณ ไนโตรเจน (%)	pH	bulk density (g/cm ³)	ปริมาณ คาร์บอน (%)	ปริมาณ ไนโตรเจน (%)
0-5	4.46	0.55	1.56	0.13	5.53	1.05	0.38	0.05
5-10	4.73	0.58	1.33	0.12	4.78	0.95	0.27	0.03
10-15	4.44	0.60	1.34	0.10	5.38	1.03	0.24	0.03
15-20	4.52	0.63	1.17	0.10	4.89	1.12	0.21	0.03
ค่าเฉลี่ย	4.54	0.59	1.35	0.11	5.15	1.04	0.27	0.03

4.1.2 อินทรีย์คาร์บอนในดิน

อินทรีย์คาร์บอนในดิน ที่ระดับความลึกของดิน 4 ระดับ จากการวิเคราะห์ พบว่าป่าเต็งรังปฐุมภูมิ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน อยู่ในช่วง 3.70-4.29 tonC/ha เฉลี่ยเท่ากับ 3.98 tonC/ha และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินรวมเท่ากับ 15.91 tonC/ha ส่วนในป่าเต็งรังหุติยภูมิ มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในช่วง 1.15-1.99 tonC/ha เฉลี่ยเท่ากับ 1.42 tonC/ha และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินรวมเท่ากับ 5.67 tonC/ha ดังตาราง 11 โดยอินทรีย์คาร์บอนในดินมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น อีกทั้งจากการวิเคราะห์ยังพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในป่าเต็งรังปฐุมภูมิมีค่าสูงกว่าป่าเต็งรังหุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกระดับชั้น เนื่องจากโครงสร้างป่าเต็งรังปฐุมภูมิไม่เคยถูกรบกวนและใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้โครงสร้างป่า แร่ธาตุและสารอาหารต่าง ๆ ยังคงสภาพเดิมหรือเปลี่ยนแปลงช้า ขณะที่

ป่าเต็งรังทุติยภูมิถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น มีการการตัดไม้ทำลายป่า และมีการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแตกต่างกับการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าเขตร้อนปฐมภูมิและทุติยภูมิ ในประเทศสิงคโปร์ พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 0-20 cm ของป่าเขตร้อนปฐมภูมิและทุติยภูมิรวมทั้งหมด เท่ากับ 34.3 และ 47.8 tonC/ha ซึ่งปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินของป่าเขตร้อนทุติยภูมิสูงกว่าปฐมภูมิ เนื่องจากลักษณะที่ตั้งของป่าปฐมภูมิอยู่บนภูเขาสูง ขณะที่ป่าทุติยภูมิอยู่บนพื้นราบ เมื่อเกิดฝนตก จะส่งผลให้แร่ธาตุและอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินชะลงด้านล่างทำให้ดินในป่าทุติยภูมิมีการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนมาก⁽⁹⁵⁾

ตาราง 11 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

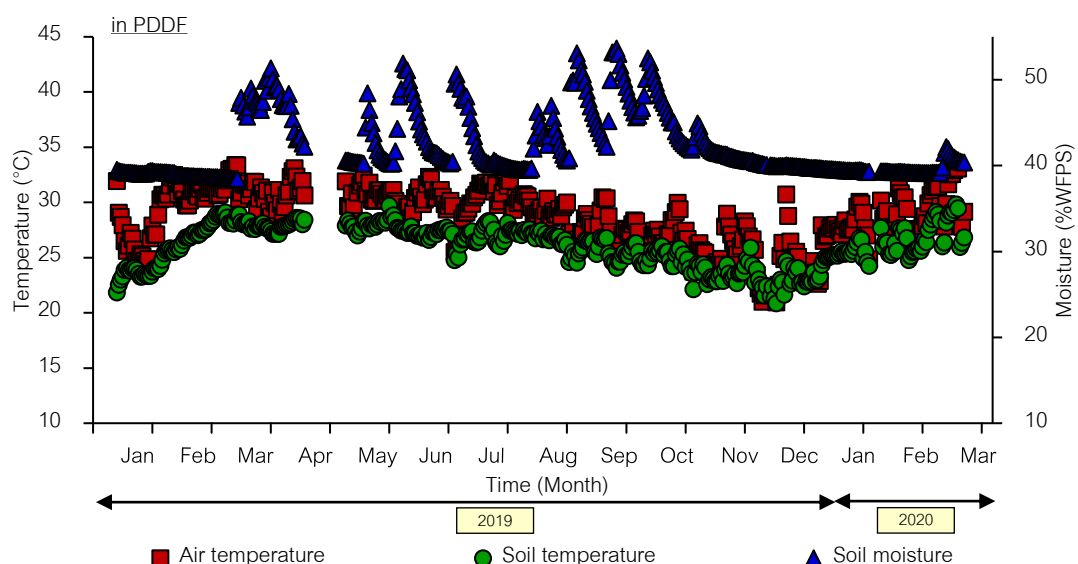
ระดับความลึกของดิน (cm)	ป่าเต็งรังปฐมภูมิ (tonC/ha)	ป่าเต็งรังทุติยภูมิ (tonC/ha)
0-5	4.29 (± 0.10) ^A	1.99 (± 0.07) ^B
5-10	3.89 (± 0.12) ^A	1.29 (± 0.07) ^B
10-15	4.03 (± 0.26) ^A	1.24 (± 0.00) ^B
15-20	3.70 (± 0.27) ^A	1.15 (± 0.04) ^B
ค่าเฉลี่ย	3.98 (± 0.19) ^A	1.42 (± 0.05) ^B
รวมทั้งหมด	15.91 (± 0.75)	5.67 (± 0.18)

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งชี้ว่า มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่ป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

4.2 ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางด้านภูมิอากาศ

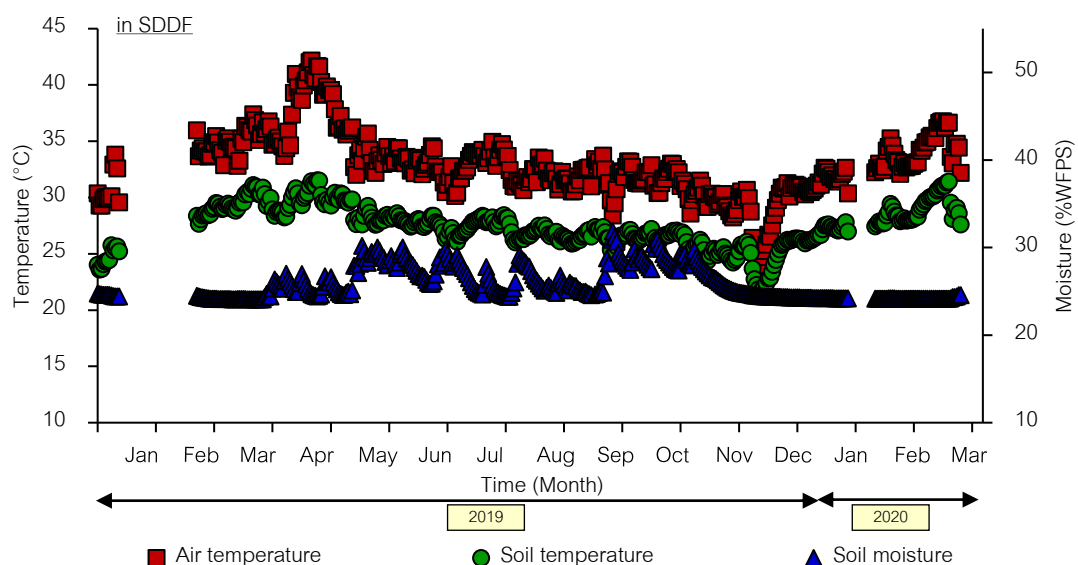
จากการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา มีอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 20.96-33.40°C เฉลี่ยเท่ากับ 28.63°C อุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 20.86-29.82°C เฉลี่ยเท่ากับ 26.05°C อุณหภูมิดินเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ.2562 เท่ากับ 28.27°C และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนธันวาคม พ.ศ.2562 เท่ากับ 22.82°C โดยอุณหภูมิอากาศและดินมีการเปลี่ยนแปลงรายวันใกล้เคียงกัน และความชื้นในดินอยู่ในช่วง 38.48-53.65 %WFPS

ความชื้นในดินเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกันยายน พ.ศ.2562 เท่ากับ 48.62 %WFPS และความชื้นในดินเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2562 เท่ากับ 38.96 %WFPS ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ (PDDF) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563

ในขณะที่ในป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี มีอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 24.00-42.17°C เฉลี่ยเท่ากับ 32.88°C อุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 21.57-31.53°C เฉลี่ยเท่ากับ 27.45°C อุณหภูมิดินเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 เท่ากับ 29.92°C และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนธันวาคม พ.ศ.2562 เท่ากับ 24.62°C โดยอุณหภูมิอากาศและดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกัน และความชื้นในดินอยู่ในช่วง 24.08-31.82 %WFPS ความชื้นในดินเฉลี่ยสูงสุดในเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 เท่ากับ 28.72 %WFPS และความชื้นในดินเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ.2562 เท่ากับ 24.16 %WFPS ดังภาพประกอบ 22 เมื่อทำการเปรียบเทียบปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางภูมิอากาศของทั้งสองป่า พบว่า อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน ของป่าเต็งรังปฐุมภูมิและหุติยภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินในป่าเต็งรังหุติยภูมิสูงกว่าป่าเต็งรังปฐุมภูมิ ขณะที่ความชื้นในดิน เนื่องจากป่าเต็งรังปฐุมภูมิมีความชื้นในดินสูงกว่าป่าเต็งรังหุติยภูมิ



ภาพประกอบ 22 อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน ในพื้นที่ป่าเต็งรังห้วยดง
(SDDF) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563

4.3 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน

4.3.1 การเจริญเติบโตและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้

จากการสำรวจและวิเคราะห์ การเจริญเติบโตและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังห้วยดง จังหวัดราชบุรี ทุก ๆ 3 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2563 โดยทำการวิเคราะห์ตามชนิดพันธุ์ไม้ในแปลงทดลอง ซึ่งในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีพื้นที่ที่หน้าตัดและความหนาแน่นของต้นไม้ เท่ากับ 0.11 m²/ha และ 325 ต้น/ha ประกอบด้วย ไม้วงศ์ DIPTEROCARPACEAE, BURRERACEAE, CONNARACEAE, BURRERACEAE FABACEAE, RUBIACEAE, MELIACEAE, LAMIACEAE, TILIACEAE และ CLUSIACEAE⁽⁹⁴⁾ ส่วนในป่าเต็งรังห้วยดงมีพื้นที่ที่หน้าตัดและความหนาแน่นของต้นไม้ เท่ากับ 0.16 m²/ha และ 2,538 ต้น/ha ประกอบด้วย ไม้วงศ์ DIPTEROCARPACEAE CAESALPINIACEAE และ EUPHORBIACEAE⁽⁹⁴⁾ นอกจากนี้ต้นไม้ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกอยู่ในช่วง 10.72-11.72 m และ 12.24-12.99 cm โดยมีค่าเฉลี่ยของความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก เท่ากับ 11.01 m และ 12.48 cm ขณะที่ป่าเต็งรังห้วยดง ต้นไม้มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกอยู่ในช่วง 7.50-8.53 m และ 6.27-6.70 cm โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.11 m และ 6.52 cm ตามลำดับ ทั้งนี้ ความสูงและเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของต้นไม้ในป่าเต็งรังปฐมภูมิเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตาราง 12

ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยข้อมูลการเจริญเติบโตและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

ปี พ.ศ.	เดือน	ป่าเต็งรังปฐมภูมิ		ป่าเต็งรังทุติยภูมิ	
		ความสูง (m)	DBH (cm)	ความสูง (m)	DBH (cm)
2562	มกราคม	10.77 (± 2.82)	12.25 (± 1.77) ^a	7.50 (± 0.12)	6.27 (± 0.61) ^b
	เมษายน	10.95 (± 2.82)	12.24 (± 2.10) ^a	7.95 (± 0.16)	6.28 (± 0.48) ^b
	กรกฎาคม	10.91 (± 3.19)	12.34 (± 2.12) ^a	8.20 (± 0.13)	6.67 (± 0.37) ^b
	ตุลาคม	10.72 (± 2.45)	12.58 (± 2.18) ^a	8.35 (± 0.14)	6.68 (± 0.38) ^b
2563	มกราคม	11.72 (± 2.28) ^A	12.99 (± 2.25) ^a	8.53 (± 0.09) ^B	6.70 (± 0.37) ^b
ค่าเฉลี่ย		11.01 (± 0.35) ^A	12.48 (± 0.19) ^a	8.11 (± 0.03) ^B	6.52 (± 0.10) ^b

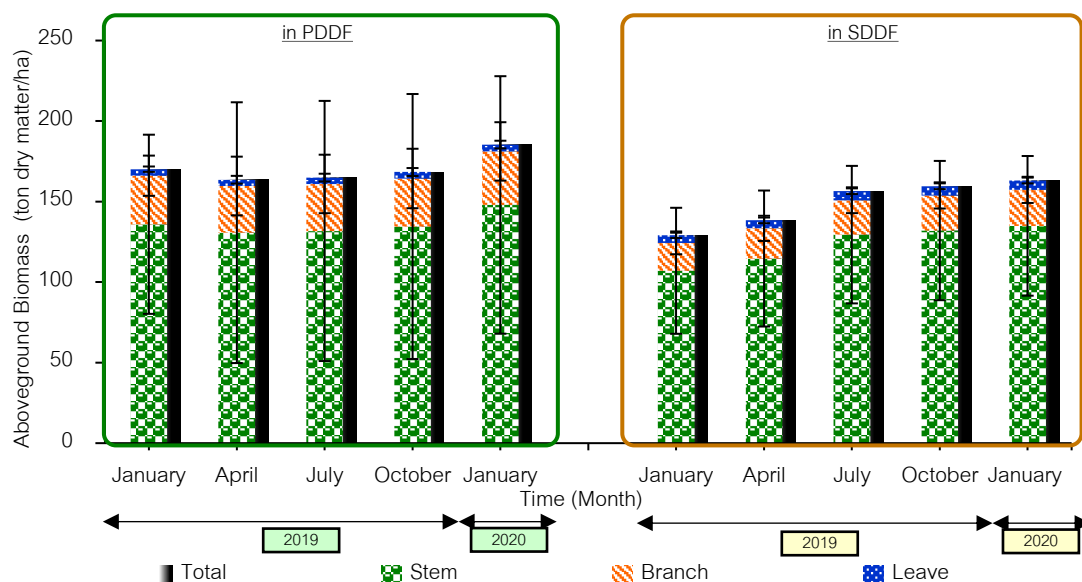
หมายเหตุ: A และ B เปรียบเทียบความสูงของต้นไม้ระหว่างพื้นที่ป่า a และ b เปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลาง (DBH) ของต้นไม้ระหว่างพื้นที่ป่า ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งชี้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

4.3.2 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

4.3.2.1 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2563 จากการใช้สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนเมษายน พ.ศ.2562 มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 170.48 ton dry matter/ha แบ่งเป็นส่วนลำต้น กิ่ง และใบ เฉลี่ยเท่ากับ 136.16, 30.28 และ 4.04 ton dry matter/ha ตามลำดับ ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2562 มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 149.30 ton dry matter/ha แบ่งเป็นส่วนลำต้น กิ่ง และใบ เฉลี่ยเท่ากับ

123.63, 20.32 และ 5.35 ton dry matter/ha ดังภาพประกอบ 23 โดยในป่าเต็งรังปฐุมภูมิปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ยสูงกว่าในป่าเต็งรังหุติยภูมิ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพประกอบ 23 ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ)
ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังหุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

ตาราง 13 สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชส่วนต่าง ๆ

องค์ประกอบ	สัดส่วนคาร์บอน (%)	
	ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ	ป่าเต็งรังหุติยภูมิ
กิ่ง	43.38	44.56
ใบไม้	45.69	45.77
อื่นๆ	31.57	39.02
รวม	45.77	47.34

การวิเคราะห์สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืช พบว่า ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ มีสัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ส่วนกิ่ง ใบ และอื่นๆ เท่ากับ ร้อยละ 43.38, 45.69 และ 31.57 ตามลำดับ ขณะที่ป่าเต็งรังหุติยภูมิ มีสัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ส่วนกิ่ง ใบ และอื่นๆ เท่ากับ ร้อยละ 44.56, 45.77 และ 39.02 ดังตาราง 13 เมื่อวิเคราะห์การกักเก็บ

คาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ) โดยใช้สัดส่วนดังกล่าว พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ) ทั้งหมดสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และมีการกักเก็บคาร์บอนต่ำสุดเดือนเมษายน พ.ศ.2562 โดยการกักเก็บคาร์บอนมีค่าอยู่ในช่วง 71.04-80.52 tonC/ha เฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 74.04 tonC/ha แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในส่วนลำต้นมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 59.06 tonC/ha รองลงมาเป็นการกักเก็บในส่วนกิ่ง และส่วนใบ เฉลี่ยเท่ากับ 13.13 และ 1.84 tonC/ha ตามลำดับ ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และมีการกักเก็บคาร์บอนต่ำสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2562 โดยการกักเก็บคาร์บอนมีค่าอยู่ในช่วง 57.55-72.75 tonC/ha เฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 66.59 tonC/ha แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในลำต้นมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 55.09 tonC/ha รองลงมาเป็นการกักเก็บในส่วนกิ่ง และส่วนใบ เฉลี่ยเท่ากับ 9.05 และ 2.45 tonC/ha ดังตาราง 14

โดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในป่าเต็งรังปฐมภูมิ สูงกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ โดยการกักเก็บคาร์บอนส่วนกิ่ง ในป่าเต็งรังปฐมภูมิสูงกว่าในป่าเต็งรังทุติยภูมิ และส่วนใบของป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าในป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตาราง 14 และภาพประกอบ 24 เนื่องจากในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ต้นไม้มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อีกทั้งในแปลงทดลองป่าเต็งรังปฐมภูมิ ต้นไม้ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (DBH) น้อยกว่า 10 cm (32 ต้น) มีต้นไม้ขนาด DBH มากกว่า 10 cm จำนวน 16 ต้น และมีต้นไม้ขนาด DBH มากกว่า 30 cm จำนวน 4 ต้น เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าป่าปฐมภูมิแห่งนี้ยังมีกระบวนการทดแทนที่ เนื่องจากต้นไม้ส่วนใหญ่ยังมีขนาด DBH เล็ก⁽⁹⁶⁾ ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ส่งผลให้มวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ยสูงกว่าในป่าเต็งรังทุติยภูมิ โดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมาจากการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชดูดซับจะทำปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนและออกซิเจน ซึ่งสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนส่วนหนึ่งใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และสะสมในส่วนต่าง ๆ เช่น ลำต้น กิ่ง ราก และ ใบ^(10, 11, 18) หากมวลชีวภาพของต้นไม้มีปริมาณมาก ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจะสูงด้วยเช่นกัน มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญหลายประการ เช่น อายุ พันธุ์ไม้ ความหนาแน่น อัตราการเจริญเติบโตของพืช ชนิดและโครงสร้างของระบบนิเวศป่าไม้ สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ และไฟป่า^(32, 97) สอดคล้องกับการศึกษาของสนธยา จำปานิล และนันทนา คัชเสนี⁽³⁴⁾ พบว่า ป่า

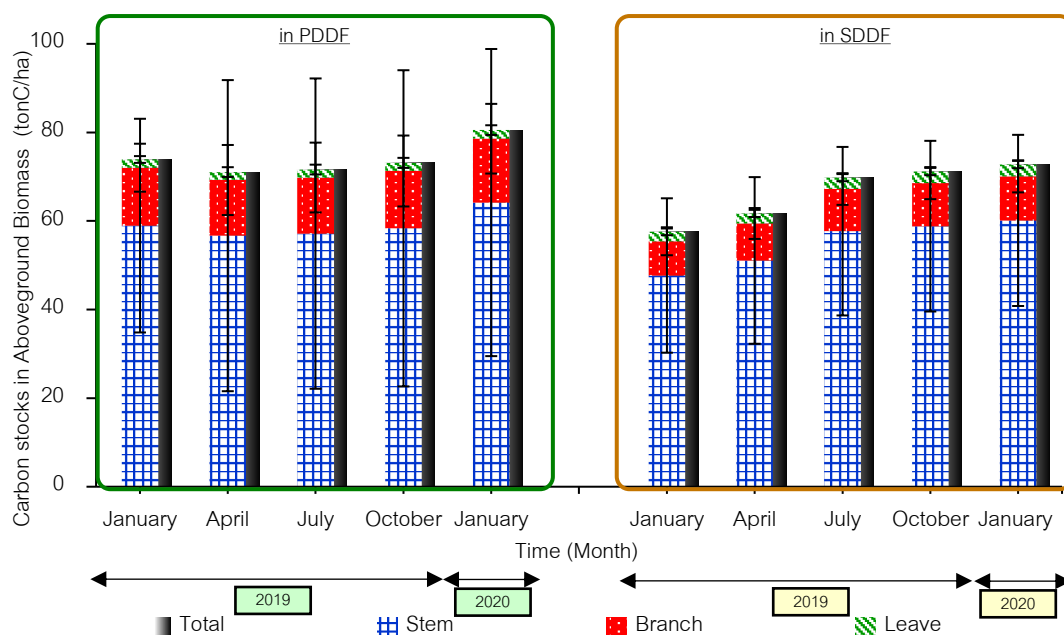
เบญจพรรณปฐมภูมิ ป่าเบญจพรรณหุบผภูมิ ป่าดิบเขาปฐมภูมิ และป่าดิบเขาหุบผภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เท่ากับ 250.24, 79.34, 142.32 และ 108.51 tonC/ha ตามลำดับ และการวิจัยของพงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา และคณะ⁽⁹⁷⁾ ศึกษาการสะสมธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน บริเวณป่าดิบชื้นผสมป่าพรุพื้นที่ป่ากักทรัพยากร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จำนวน 3 แปลง พบว่า พื้นที่ป่าแห่งนี้มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ยเท่ากับ 160.90 ton dry matter/ha มีปริมาณธาตุคาร์บอนสะสมเฉลี่ย 80.50 tonC/ha โดยแปลงที่ 3 มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสูงสุด เท่ากับ 223.2 ton dry matter/ha คิดเป็นปริมาณธาตุคาร์บอนสะสม เท่ากับ 111.60 tonC/ha เนื่องจากมีจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ และความหนาแน่นของต้นไม้มากที่สุด รวมถึงพันธุ์ไม้ส่วนใหญ่มีขนาด DBH น้อยกว่า 10 cm (527 ต้น) และต้นไม้ที่มีขนาด DBH มากกว่า 30 cm มี 27 ต้น ดังนั้นพันธุ์ไม้หลายชนิดยังคงเจริญเติบโตได้อีก ทำให้มีมวลชีวภาพและการสะสมคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นด้วย

ทั้งนี้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ลดลงในเดือนเมษายน พ.ศ.2562 และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2562 เนื่องจากเกิดไฟป่าในพื้นที่ป่า ต้นไม้ได้รับผลกระทบจากไฟป่า เปลือกไม้ได้รับความเสียหาย รวมทั้งต้นไม้ขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษาถูกไฟป่าเผาไหม้จนตายลง ส่งผลให้ขนาด DBH ปริมาณมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในชีวมวลลดต่ำกว่าทุกเดือน จากการศึกษาของสาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และคณะ⁽⁶⁵⁾ ในป่าดิบแล้งสะแกราช และป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง พบว่า ป่าดิบแล้งสะแกราชมีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เท่ากับ 304.31 ton/ha หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนสะสม เท่ากับ 143.02 tonC/ha ขณะที่ป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง มีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เท่ากับ 172.34 ton/ha หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนสะสม เท่ากับ 86.17 tonC/ha โดยป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง มีปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสมน้อยกว่าป่าดิบแล้งสะแกราช เนื่องจากมีการเกิดไฟป่าในแปลงป่าเบญจพรรณในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ต้นไม้ตายไปจำนวนหนึ่ง โดยเฉพาะต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 4.5 cm แต่มีความสูงตั้งแต่ 1.30 m ขึ้นไป

ตาราง 14 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ)
ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

ปี พ.ศ.	เดือน	ป่าเต็งรังปฐมภูมิ (tonC/ha)				ป่าเต็งรังทุติยภูมิ (tonC/ha)			
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ทั้งหมด	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ทั้งหมด
2562	มกราคม	58.95 (±24.13)	13.08 (±5.42)	1.86 (±0.77)	73.89	47.69 (±17.43)	7.73 (±3.16)	2.3 (±0.76)	57.55
	เมษายน	56.69 (±35.12)	12.56 (±7.91)	1.79 (±1.10)	71.04	51.09 (±18.82)	8.35 (±3.49)	2.27 (±0.81)	61.71
	กรกฎาคม	57.15 (±35.04)	12.66 (±7.88)	1.80 (±1.10)	71.62	57.70 (±19.03)	9.52 (±3.58)	2.56 (±0.81)	69.78
	ตุลาคม	58.35 (±35.69)	12.94 (±8.01)	1.83 (±1.13)	73.12	58.83 (±19.27)	9.72 (±3.62)	2.61 (±0.82)	71.16
2563	มกราคม	64.16 (±24.13)	14.42 (±7.86)	1.94 (±0.06)	80.52	60.09 (±19.32)	9.95 (±3.62)	2.67 (±0.82)	72.75
ค่าเฉลี่ย		59.06 (±2.99)	13.13 (±0.75) ^A	1.84 (±0.06) ^a	74.04 (±3.80)	55.09 (±5.41)	9.05 (±0.96) ^B	2.45 (±0.24) ^b	66.59 (±6.61)

หมายเหตุ: A และ B เปรียบเทียบการกักเก็บคาร์บอนในส่วนกิ่งระหว่างพื้นที่ป่า a และ b
เปรียบเทียบการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดระหว่างพื้นที่ป่า ตัวอักษรที่
แตกต่างกันบ่งชี้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$



ภาพประกอบ 24 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

นอกจากนี้ การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ส่วนของพืชคลุมดิน ของกรรณิการ์ ฤกษ์ขุนทด และคณะ⁽⁹⁴⁾ พบว่า สัดส่วนคาร์บอนของพืชคลุมดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี เท่ากับร้อยละ 41.76 และ 43.22 ตามลำดับ การกักเก็บคาร์บอนในพืชคลุมดิน ของป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ เท่ากับ 0.08 และ 0.03 tonC/ha ดังตาราง 15 โดยในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนในพืชคลุมดินมากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีปริมาณมวลชีวภาพและความหนาแน่นของพืชคลุมดินในพื้นที่มากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ประกอบกับป่าเต็งรังทุติยภูมิเป็นป่าทดแทนอายุน้อย ที่กำลังฟื้นตัวจากสภาพเสื่อมโทรม ทำให้โครงสร้างป่ามีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนาฏสุดา ภูมิจำนงค์⁽⁹⁸⁾ พบว่า ปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินในไม้พื้นล่างของสวนป่าสัก อายุ 10, 14, 18 และ 27 ปี เท่ากับ 0.01, 0.09, 0.02, 0.14 tonC/ha โดยการกักเก็บคาร์บอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของป่า นอกจากนี้ ลักษณะโครงสร้างของป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีความหนาแน่นของต้นไม้มาก โดยมีต้นไม้ปกคลุมบริเวณพื้นที่มากกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ ส่งผลให้แสงสว่างส่องถึงพื้นดินได้น้อย ด้วยเหตุนี้ ชนิดพันธุ์ไม้และการเจริญเติบโตของพืชคลุมดินจึงมีความแตกต่างกัน

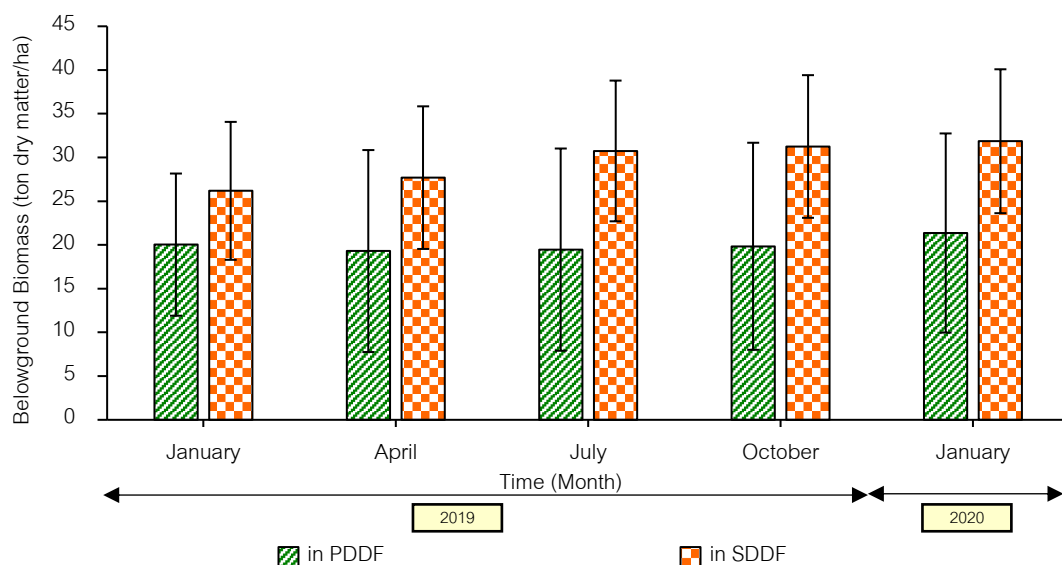
ตาราง 15 การกักเก็บคาร์บอนในพืชคลุมดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

แปลงทดลอง	ป่าเต็งรังปฐมภูมิ (tonC/ha)	ป่าเต็งรังทุติยภูมิ (tonC/ha)
1	0.13	0.06
2	0.08	0.01
3	0.08	0.02
4	0.05	0.02
ค่าเฉลี่ย	0.08 (± 0.03)	0.03 (± 0.02)

ที่มา: กวรรณิการ์ ฤกษ์ขุนทด และคณะ⁽⁹⁴⁾

4.3.2.2 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ส่วนราก) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2563 จากการใช้สมการแอลโลเมตริกพบว่า ปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดินมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยมวลชีวภาพใต้พื้นดินในป่าเต็งรังปฐมภูมิสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนเมษายน พ.ศ.2562 มีค่าอยู่ในช่วง 19.30-21.36 ton dry matter/ha และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.00 ton dry matter/ha ในขณะที่ปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดินในป่าเต็งรังทุติยภูมิสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2562 มีค่าอยู่ในช่วง 26.18-31.86 ton dry matter/ha และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.55 ton dry matter/ha ดังภาพประกอบ 25 โดยในป่าเต็งรังปฐมภูมิปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดินเฉลี่ยต่ำกว่าในป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 25 ปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ส่วนของราก) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

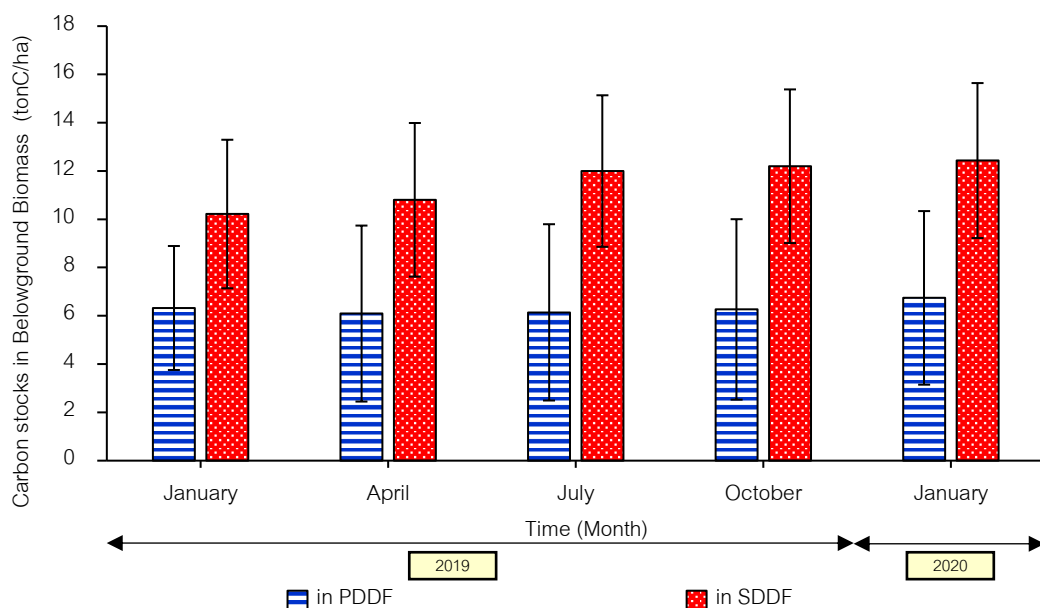
จากการวิเคราะห์สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน พบว่า ป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีสัดส่วนคาร์บอนในรากต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 45.77 และ 47.34 ตามลำดับ ดังตาราง 13 เมื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สัดส่วนคาร์บอน พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนเมษายน พ.ศ.2562 ส่วนในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2562 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินต่อต้นในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่าอยู่ในช่วง 4.66-5.37 kgC/tree เฉลี่ยเท่ากับ 4.87 kgC/tree ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีค่าอยู่ในช่วง 0.99-1.21 kgC/tree เฉลี่ยเท่ากับ 1.13 kgC/tree ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนต่อต้นในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีค่ามากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่เมื่อนำมาคำนวณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินต่อพื้นที่ พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอน อยู่ในช่วง 6.09-6.74 tonC/ha เฉลี่ยเท่ากับ 6.31 tonC/ha ขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ การกักเก็บคาร์บอนมีค่าอยู่ในช่วง 10.22-12.43 tonC/ha เฉลี่ยเท่ากับ 11.53 tonC/ha โดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าในป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตาราง 16 และภาพประกอบ 26 เนื่องจากป่าเต็งรังทุติยภูมิมีการตัดไม้ในส่วนเหนือพื้นดินไปใช้ประโยชน์ แต่ยังคงเหลือในส่วนของราก จากนั้นเมื่อต้นไม้มีการเจริญเติบโตอีกครั้งประกอบกับในป่าเต็งรังทุติยภูมิมีพื้นที่หน้าตัดและความ

หนาแน่นของต้นไม้ รวมทั้งจำนวนต้นไม้ในแปลงมากกว่าป่าเต็งรังปฐุมภูมิ เมื่อคำนวณการกักเก็บคาร์บอนต่อพื้นที่จึงส่งผลให้สัดส่วนของมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินในป่าเต็งรังหุติยภูมิสูงกว่าป่าเต็งรังปฐุมภูมิ แตกต่างกับมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน สอดคล้องกับการศึกษาของกรรณิการ์ ภูกษนทต ปิ่นหทัย เขียวเจริญ และพนปภัส เกิดแสง⁽⁹⁴⁾ พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ ต่ำกว่าในป่าเต็งรังหุติยภูมิ โดยในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินเฉลี่ยเท่ากับ 6.73 tonC/ha ในขณะที่ป่าเต็งรังหุติยภูมิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.07 tonC/ha

ตาราง 16 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ส่วนของราก) ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

ปี พ.ศ.	เดือน	ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ		ป่าเต็งรังหุติยภูมิ	
		kgC/tree	tonC/ha	kgC/tree	tonC/ha
2562	มกราคม	4.81 (±1.65) ^A	6.32 (±2.57)	0.99 (±0.22) ^B	10.22 (±3.08)
	เมษายน	4.66 (±2.10) ^A	6.09 (±3.65)	1.05 (±0.24) ^B	10.81 (±3.18)
	กรกฎาคม	4.71 (±2.13) ^A	6.14 (±3.65)	1.17 (±0.23) ^B	12.00 (±3.14)
	ตุลาคม	4.78 (±2.06) ^A	6.26 (±3.74)	1.19 (±0.23) ^B	12.20 (±3.18)
2563	มกราคม	5.37 (±2.44) ^A	6.74 (±3.60)	1.21 (±0.22) ^B	12.43 (±3.21)
ค่าเฉลี่ย		4.87 (±0.29) ^A	6.31 (±0.26) ^a	1.13 (±0.10) ^B	11.53 (±0.96) ^b

หมายเหตุ: A และ B เปรียบเทียบการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินหน่วย kgC/tree ระหว่างพื้นที่ป่า a และ b เปรียบเทียบการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินหน่วย tonC/ha ระหว่างพื้นที่ป่า ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งชี้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$



ภาพประกอบ 26 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (ส่วนของราก) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

4.3.3 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย

จากการประเมินมวลชีวภาพของรากฝอยด้วยวิธี Soil core ที่ระดับความลึกของดิน 4 ระดับ ได้แก่ 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยเท่ากับ 1.061, 0.851, 0.608 และ 0.535 ton dry matter/ha/yr ตามระดับความลึกของดิน ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิมีปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยเฉลี่ยเท่ากับ 0.971, 0.895, 0.725 และ 0.619 ton dry matter/ha/yr ตามระดับความลึกของดิน ดังตาราง 17

ตาราง 17 ปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอย และการกักเก็บคาร์บอน ในมวลชีวภาพของรากฝอย ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

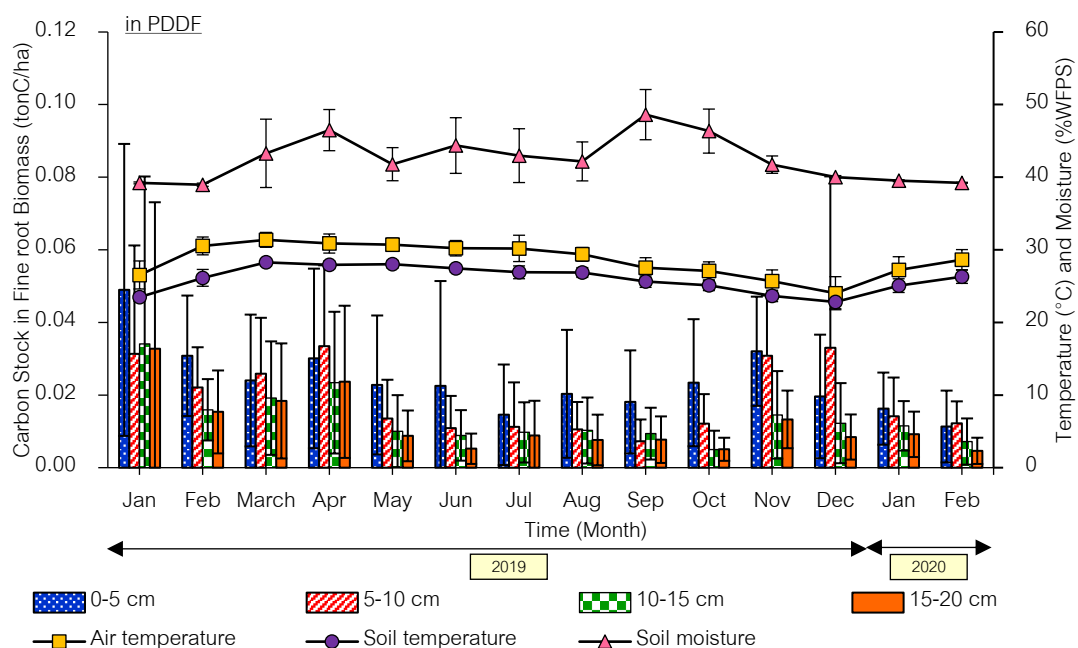
ระดับความลึก ของดิน (cm)	ป่าเต็งรังปฐมภูมิ		ป่าเต็งรังทุติยภูมิ	
	มวลชีวภาพ (ton dry matter/ha/yr)	การกักเก็บ คาร์บอน (tonC/ha/yr)	มวลชีวภาพ (ton dry matter/ha/yr)	การกักเก็บ คาร์บอน (tonC/ha/yr)
0-5	1.061 (± 0.832)	0.335 (± 0.263)	0.971 (± 0.634)	0.379 (± 0.248)
5-10	0.851 (± 0.673)	0.269 (± 0.213)	0.895 (± 0.639)	0.349 (± 0.249)
10-15	0.608 (± 0.547)	0.191 (± 0.173) ^A	0.725 (± 0.467)	0.283 (± 0.182) ^B
15-20	0.535 (± 0.475)	0.169 (± 0.150)	0.619 (± 0.446)	0.242 (± 0.174)
ทั้งหมด	3.055 (± 2.527)	0.964 (± 0.799)	3.210 (± 2.186)	1.253 (± 0.853)

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งชี้ว่า มีความแตกต่างกันระหว่างพื้นที่ป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

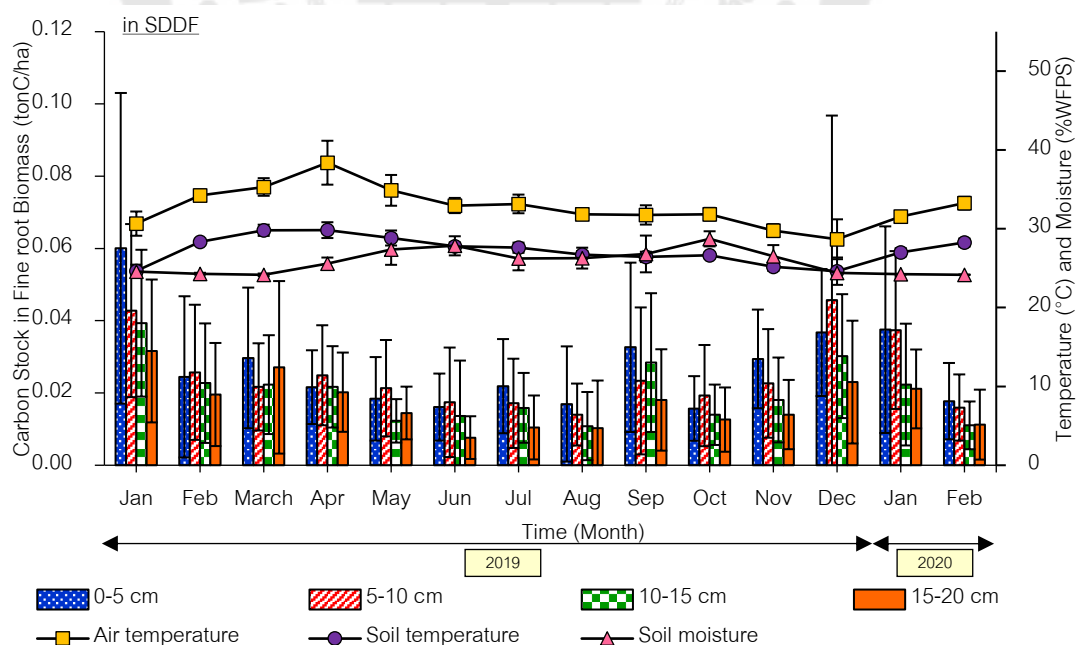
เมื่อคำนวณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย ที่ระดับความลึกของดิน 4 ระดับ พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนรวมรายเดือนสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2562 เท่ากับ 0.147 tonC/ha และต่ำสุดเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 เท่ากับ 0.035 tonC/ha ดังภาพประกอบ 27 มีค่าเฉลี่ยตามระดับความลึกของดินเท่ากับ 0.335, 0.269, 0.191 และ 0.169 tonC/ha/yr โดยมีการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งหมดทุกระดับความลึกของดินเท่ากับ 0.964 tonC/ha/yr ดังตาราง 17 ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนรวมรายเดือนสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2562 เท่ากับ 0.174 tonC/ha และต่ำสุดเดือนสิงหาคม พ.ศ.2562 เท่ากับ 0.052 tonC/ha ดังภาพประกอบ 28 มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดตามระดับความลึกของดินเท่ากับ 0.379, 0.349, 0.283 และ 0.242 tonC/ha/yr มีการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งหมดทุกระดับความลึกของดินเท่ากับ 1.253 tonC/ha/yr ดังตาราง 17 โดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยในป่าทั้งสองแห่งลดลงเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น และในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ที่ระดับความลึกของดิน 15-20 cm มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตาราง 17 เนื่องจากดินชั้นบน (0-5 cm) มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน แร่ธาตุอื่น ๆ น้ำ และอากาศที่พืชต้องการสูงกว่าดินชั้นล่าง รวมถึงที่ดินชั้นบนมีความหนาแน่นรวมของดินต่ำกว่าดินชั้นล่าง ส่งผลให้ดินชั้นบนเหมาะสมกับการเจริญของราก

ฝอยที่มีหน้าที่หลักในการหาแร่ธาตุ สารอาหาร น้ำ และอากาศ เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าดินชั้นล่าง ปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอย และการกักเก็บคาร์บอนในดินชั้นบนจึงสูงกว่าดินชั้นล่าง รวมถึงอาจเกิดจากอายุของต้นไม้ เมื่อต้นไม้อายุน้อยรากจะกระจายหนาแน่นในดินชั้นบน แต่เมื่อต้นไม้อายุมากขึ้นจะมีความหนาแน่นที่ระดับลึกลงไป ซึ่งสัดส่วนของรากในชั้นผิวดินจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อต้นไม้โตเต็มที่⁽¹⁵⁾ จากผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของคัง มิน โง และคณะ⁽⁹⁵⁾ พบว่า มวลชีวภาพราก และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย ในป่าเขตร้อนทุติยภูมิสูงกว่าในป่าเขตร้อนปฐมภูมิ โดยที่ระดับความลึก 0-20 cm ป่าเขตร้อนปฐมภูมิมีมวลชีวภาพของรากฝอยรวมเท่ากับ 3.32 ton/ha และมีการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 1.66 tonC/ha ในขณะที่ ป่าเขตร้อนทุติยภูมิมีปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยรวมเท่ากับ 6.4 ton/ha และมีการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 3.20 tonC/ha ทั้งนี้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนลดลงเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยสอดคล้องกับความชื้นในดินอย่างชัดเจน โดยช่วงที่ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น การกักเก็บคาร์บอนรวมรายเดือนจะลดลง และช่วงที่ความชื้นในดินลดลง การกักเก็บคาร์บอนรวมรายเดือนจะเพิ่มขึ้น เช่น ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ และป่าเต็งรังทุติยภูมิ ช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่การเจริญเติบโตของรากฝอยลดลง และเมื่อเข้าสู่ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ความชื้นในดินลดลง แต่การเจริญเติบโตของรากฝอยเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพประกอบ 27 และ 28 จากการวิจัยที่ผ่านมาของแอนโตนิโอ และคณะ⁽⁹⁹⁾ พบว่า ในสภาพภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียน มวลชีวภาพและความยาวของรากฝอยช่วงฤดูแล้งมีปริมาณมากกว่าช่วงฤดูใบไม้ร่วง โดยช่วงฤดูแล้งมีอุณหภูมิดินสูงกว่าช่วงฤดูใบไม้ร่วง อุณหภูมิดินที่สูงขึ้น น้ำในดินลดลง ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินและการเปิดปิดของปากใบลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากฝอยเพิ่มขึ้นตามความยาวของราก



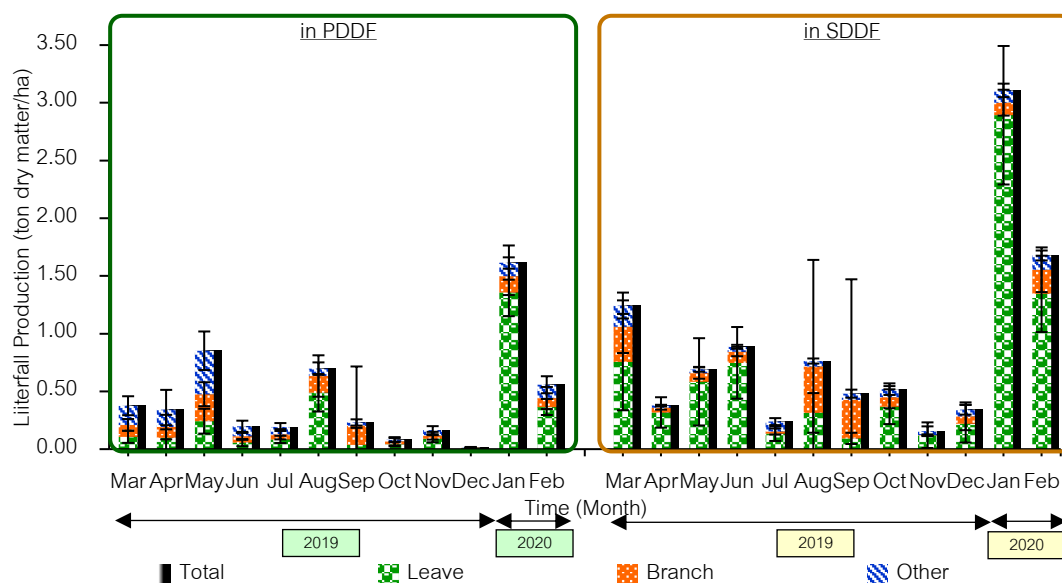
ภาพประกอบ 27 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย
ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ (PDDE) จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 28 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย
ในป่าเต็งรังหุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

4.3.4 การกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล

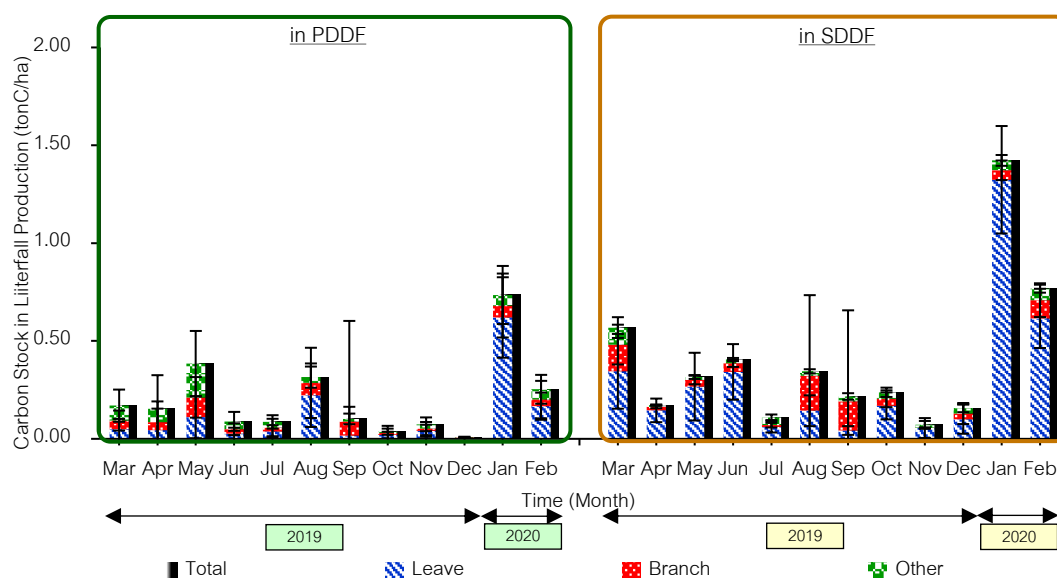
การประเมินผลผลิตเศษซากชีวมวล ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลทั้งหมดสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนธันวาคม พ.ศ.2562 มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 5.32 ton dry matter/ha/yr แบ่งเป็นส่วนใบมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 2.98 ton dry matter/ha/yr รองลงมาคือส่วนอื่น ๆ และส่วนกิ่ง เฉลี่ยเท่ากับ 1.23 และ 1.11 ton dry matter/ha/yr ตามลำดับ ขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลทั้งหมดสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2562 มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 10.49 ton dry matter/ha/yr แบ่งเป็นส่วนใบมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 7.89 ton dry matter/ha/yr รองลงมาคือส่วนกิ่ง และส่วนอื่น ๆ เฉลี่ยเท่ากับ 1.75 และ 0.85 ton dry matter/ha/yr ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 29 และตาราง 18 โดยผลผลิตเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการศึกษาพบว่า ต้นไม้ในป่าเต็งรังมีการผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง เพื่อลดการคายน้ำ และปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ร้อนและแห้งแล้ง ส่งผลให้ผลผลิตเศษซากชีวมวลในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณมาก สอดคล้องกับการศึกษาของวสันต์ จันทร์แดง⁽⁴⁶⁾ ทำการศึกษาลดผลผลิตเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรัง บริเวณสวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น พบว่า ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลมากที่สุดในช่วงแห้งแล้ง และมีปริมาณลดลงในช่วงฤดูฝน และจากการศึกษาของประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ⁽⁴⁵⁾ พบว่าป่าดิบแล้ง และป่าเต็งรังจังหวัดขอนแก่น มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลที่ร่วงหล่นเฉลี่ย 5 ปีเท่ากับ 5.52 และ 4.30 ton/ha/yr โดยมีปริมาณมากในช่วงฤดูหนาว-ฤดูร้อน และจากการศึกษาของอภิญา อาคมานุวัตร⁽³⁵⁾ ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2561 พบว่าผลผลิตเศษซากชีวมวลรวมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.17-2.14 ton/ha โดยในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2561 (ฤดูแล้ง) มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลมากที่สุด และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2560 (ฤดูฝน) มีปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลน้อยที่สุด และส่วนใหญ่ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลเป็นส่วนที่เป็นใบ



ภาพประกอบ 29 ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลในผลผลิตเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

จากการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล พบว่า ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.01-0.74 tonC/ha มีค่าสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และต่ำสุดเดือนธันวาคม พ.ศ.2562 ดังภาพประกอบ 30 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 2.40 tonC/ha/yr แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในส่วนใบมากที่สุด เท่ากับ 1.36 tonC/ha/yr รองลงมาเป็นกักเก็บคาร์บอนในส่วนอื่น ๆ และส่วนกิ่ง เท่ากับ 0.56 และ 0.48 tonC/ha/yr ดังตาราง 18 ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.07-1.42 tonC/ha มีค่าสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และมีค่าต่ำสุดเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2562 ดังภาพประกอบ 30 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 4.79 tonC/ha/yr แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในส่วนใบมากที่สุด เท่ากับ 3.61 tonC/ha/yr รองลงมาเป็นกักเก็บคาร์บอนในส่วนกิ่ง และส่วนอื่น ๆ เท่ากับ 0.78 และ 0.40 tonC/ha/yr ดังตาราง 18 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลของป่าทั้งสองแห่ง พบว่าการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากในป่าเต็งรังปฐุมภูมิมีความหนาแน่นของต้นไม้้น้อยกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ และจากการศึกษาของสนธยา จำปานิล⁽¹⁰⁰⁾ พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลของระบบนิเวศป่าไม้ในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน บริเวณป่าเบญจพรรณ ป่าดงดิบเขา กิโลเมตรที่ 27 ป่าดงดิบเขา กิโลเมตรที่ 29 และป่าดงดิบแล้ง มีค่าเท่ากับ 7.67, 7.23, 6.65

และ 7.31 tonC/ha /yr ตามลำดับ โดยการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลของป่าไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของชนิดพันธุ์ ความหนาแน่น และอายุของต้นไม้ที่พบในป่าไม้ในแต่ละชนิด



ภาพประกอบ 30 การกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

ตาราง 18 ผลผลิตเศษซากชีวมวล และการกักเก็บคาร์บอน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

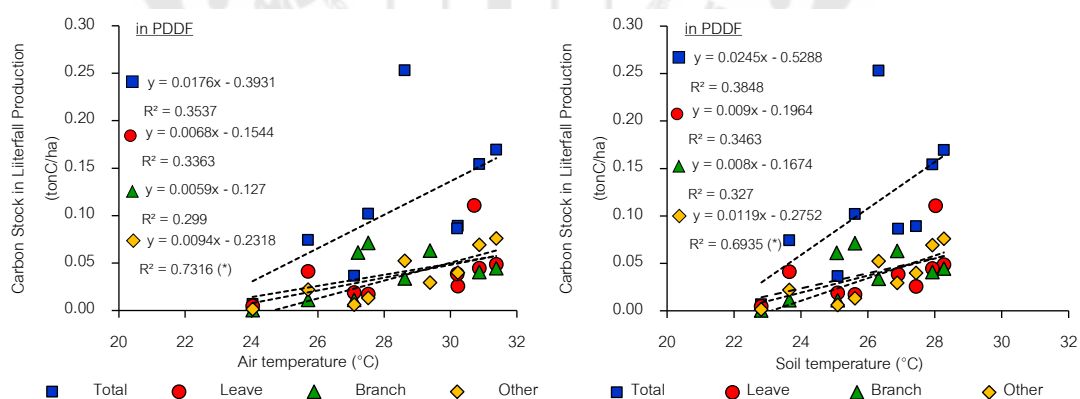
ผลผลิตเศษซากชีวมวล	ป่าเต็งรังปฐมภูมิ		ป่าเต็งรังทุติยภูมิ	
	น้ำหนักแห้ง (ton Dry matter/ha/yr)	การกักเก็บคาร์บอน (tonC/ha/yr)	น้ำหนักแห้ง (ton Dry matter/ha/yr)	การกักเก็บคาร์บอน (tonC/ha/yr)
ใบไม้	2.98 (±0.69)	1.36 (±0.29)	7.89 (±1.95)	3.61 (±0.89)
กิ่ง	1.11 (±1.10)	0.48 (±0.48)	1.75 (±2.55)	0.78 (±1.14)
อื่นๆ	1.23 (±0.64)	0.56 (±0.29)	0.85 (±0.38)	0.40 (±0.18)
ทั้งหมด	5.32 (±2.43)	2.40 (±1.06)	10.49 (±4.88)	4.79 (±2.21)

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันบ่งชี้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

4.3.5.1 อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน

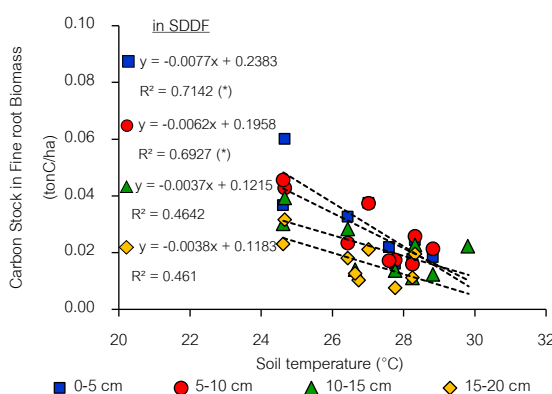
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน มวลชีวภาพของรากฝอย และผลผลิตเศษซากชีวมวล กับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ การกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล ส่วนอื่น ๆ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 31(A-B) ซึ่งปริมาณการกักเก็บคาร์บอนดังกล่าวแปรผันตามปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวล โดยปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลส่วนอื่น ๆ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลเพิ่มสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับการศึกษาของอภิญญา อาคมานุวัตร⁽³⁵⁾ พบว่า ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลจะเพิ่มขึ้นเมื่อต้นไม้มีอายุเพิ่มมากขึ้น และในช่วงฤดูแล้ง มีปริมาณฝนน้อย จะปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลน้อยกว่าช่วงฤดูฝน⁽⁴⁶⁾



ภาพประกอบ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล กับอุณหภูมิอากาศ (A) และอุณหภูมิดิน (B) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา

ขณะที่ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยที่ระดับความลึกของดิน 0-5 และ 5-10 cm มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่ออุณหภูมิดินเพิ่มสูงขึ้น การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยลดต่ำลง

และเมื่ออุณหภูมิดินลดต่ำลง การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยเพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลส่วนอื่น ๆ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 32 ซึ่งแตกต่างจากการวิจัยของหยวน และเซิน⁽¹⁰¹⁾ พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิดิน ในบริเวณที่มีอุณหภูมิดินสูง ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินสูงกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยเพิ่มขึ้น



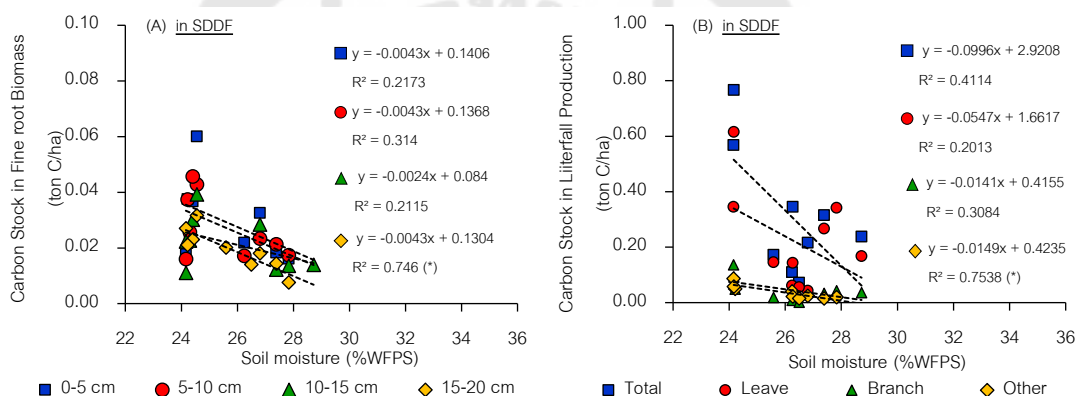
ภาพประกอบ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย กับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

4.3.5.2 ความชื้นในดิน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน ในมวลชีวภาพของรากฝอย และในผลผลิตเศษซากชีวมวล กับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย ที่ระดับความลึกของดิน 15-20 cm มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 33(A) เมื่อความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้น การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยลดต่ำลง และเมื่อความชื้นในดินลดต่ำลง การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการวิจัยของอภิญา อาคมานุวัตร⁽³⁵⁾ พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และการศึกษาของหยวน และเซิน⁽¹⁰¹⁾ พบว่า ความชื้นของดินส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากฝอย เนื่องจากความชื้นสูงส่งผลให้ธาตุอาหารในดินที่อยู่ในรูปของสารละลาย ถูกลำเลียงไปยังพืชได้ง่ายกว่าดินที่มีความชื้นต่ำ ส่งผล

ในช่วงที่มีความชื้นในดินสูงมีปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยสูงกว่าในช่วงที่มีความชื้นต่ำ และส่งผลให้การกักเก็บคาร์บอนสูงด้วย

สำหรับการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลส่วนอื่น ๆ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 33(B) เมื่อความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้น การกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลส่วนอื่น ๆ ลดต่ำลง และเมื่อความชื้นในดินลดต่ำลง การกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลส่วนอื่น ๆ เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินลดต่ำลง ปริมาณน้ำฝนมีน้อย ส่งผลให้ต้นไม้มีการผลัดใบ หรือมีการร่วงหล่นของเศษซากชีวมวลน้อยลง ซึ่งปริมาณการร่วงหล่นของเศษซากชีวมวล หรือผลผลิตเศษซากชีวมวล มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนแบบแปรผันตรง



ภาพประกอบ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย (A) และในผลผลิตเศษซากชีวมวล (B) กับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

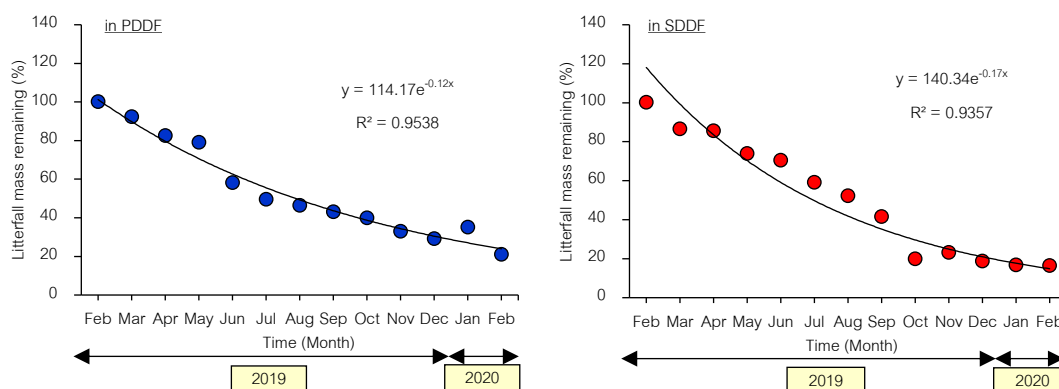
4.4 การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการหายใจผิวดิน ทั้งการหายใจของจุลินทรีย์และรากพืช

4.4.1 การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล

การประเมินการปลดปล่อยคาร์บอน ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 พบว่า ปริมาณเศษซากชีวมวลที่เหลือจากการย่อยสลายในป่าทั้งสองแห่ง มีปริมาณลดลงทุก ๆ เดือน โดยปริมาณเศษซากชีวมวลที่เหลืออยู่ในเดือนสุดท้ายของป่าเต็งรังปฐมภูมิและป่าเต็งรังทุติยภูมิ เท่ากับร้อยละ 21.05 และ 16.45 ของปริมาณเศษซากชีวมวลเริ่มต้น ซึ่งปริมาณเศษซากชีวมวลที่เหลืออยู่

มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับเวลาที่ผ่านไปในแต่ละเดือนอย่างมีนัยสำคัญ ($R^2 = 0.9538$, $R^2 = 0.9357$ และ $p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 34 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล หรือค่า k อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายเศษซากชีวมวลในป่าทั้งสองแห่ง มีค่าเพิ่มขึ้นในทุก ๆ เดือน และมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับเวลาที่ผ่านไปอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่า k อยู่ในช่วง 0.08-0.15 ต่อเดือน เฉลี่ยเท่ากับ 0.12 ต่อเดือน มีอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล อยู่ในช่วง 0.30-3.17 ton dry matter/ha/month เฉลี่ยเท่ากับ 1.97 ton dry matter/ha/month และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ในช่วง 0.50-5.22 tonCO₂/ha/month เฉลี่ยเท่ากับ 3.25 tonCO₂/ha/month ดังตาราง 19 ขณะที่ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีค่า k อยู่ในช่วง 0.10-0.22 ต่อเดือน เฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ต่อเดือน มีอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล อยู่ในช่วง 0.54-3.35 ton dry matter/ha/month เฉลี่ยเท่ากับ 2.12 ton dry matter/ha/month และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ในช่วง 0.91-5.63 tonCO₂/ha/month เฉลี่ยเท่ากับ 3.57 tonCO₂/ha/month ดังตาราง 20 ทั้งนี้ ป่าเต็งรังปฐมภูมิมีค่า k ต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิด้วย แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจาก ถ้าค่า k ยิ่งมากแสดงถึงอัตราการย่อยสลายที่เร็วมากขึ้น และอัตราการย่อยสลายที่รวดเร็วจะส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่บรรยากาศที่รวดเร็วเช่นกัน⁽⁶⁾

จากผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของอภิญญา อาคมานุวัตร⁽³⁵⁾ ศึกษาอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่ามีค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 0.213 ต่อเดือน โดยที่อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มมากขึ้น ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการย่อยสลายเท่ากับ 5.30 tonCO₂/ha/yr การศึกษาของประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสวรรณ และคณะ⁽⁴⁵⁾ พบว่า ป่าเต็งรังจังหวัดขอนแก่น มีปริมาณการย่อยสลายเศษซากพืชเฉลี่ยเท่ากับ 2.72 ton/ha ซึ่งการย่อยสลายของเศษซากชีวมวลจะสูงขึ้นเมื่อดินมีความชื้นสูง และอุณหภูมิลดลง ในช่วงฤดูฝน และการศึกษาของวสันต์ จันทร์แดง⁽⁴⁶⁾ พบว่า เมื่ออัตราการย่อยสลายของเศษซากพืชมากขึ้น จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายของเศษซากพืชมากขึ้นตามไปด้วย



ภาพประกอบ 34 ปริมาณเศษซากชีวมวลที่ลดลงจากการย่อยสลาย ในป่าเต็งรังปทุมภูมิ
จังหวัดนครราชสีมา (PDDF) และป่าเต็งรังห้วยภูมิจังหวัดราชบุรี (SDDF)

ตาราง 19 ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังปทุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา

ปี พ.ศ.	เดือน	ป่าเต็งรังปทุมภูมิ		
		ค่า k	อัตราการย่อยสลาย (ton dry matter/ha/month)	การปลดปล่อย CO ₂ (tonCO ₂ /ha/month)
2562	มีนาคม	0.08 (±0.04)	0.30 (±0.14)	0.50 (±0.23)
	เมษายน	0.10 (±0.02)	0.70 (±0.15)	1.15 (±0.24)
	พฤษภาคม	0.08 (±0.02)	0.83 (±0.20)	1.38 (±0.34)
	มิถุนายน	0.14 (±0.05)	1.68 (±0.48)	2.76 (±0.79)
	กรกฎาคม	0.15 (±0.06)	2.02 (±0.49)	3.33 (±0.80)
	สิงหาคม	0.13 (±0.04)	2.14 (±0.39)	3.53 (±0.64)
	กันยายน	0.12 (±0.02)	2.28 (±0.30)	3.75 (±0.50)
	ตุลาคม	0.12 (±0.02)	2.40 (±0.31)	3.96 (±0.50)
	พฤศจิกายน	0.12 (±0.02)	2.68 (±0.23)	4.42 (±0.39)
2563	ธันวาคม	0.12 (±0.02)	2.84 (±0.26)	4.67 (±0.42)
	มกราคม	0.10 (±0.05)	2.60 (±0.79)	4.28 (±1.31)
	กุมภาพันธ์	0.14 (±0.03)	3.17 (±0.39)	5.22 (±0.64)
ค่าเฉลี่ย		0.12 (±0.02)	1.97 (±0.91)	3.25 (±1.50)

ตาราง 20 ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล ในป่าเต็งรังห้วยดุม จังหวัดราชบุรี

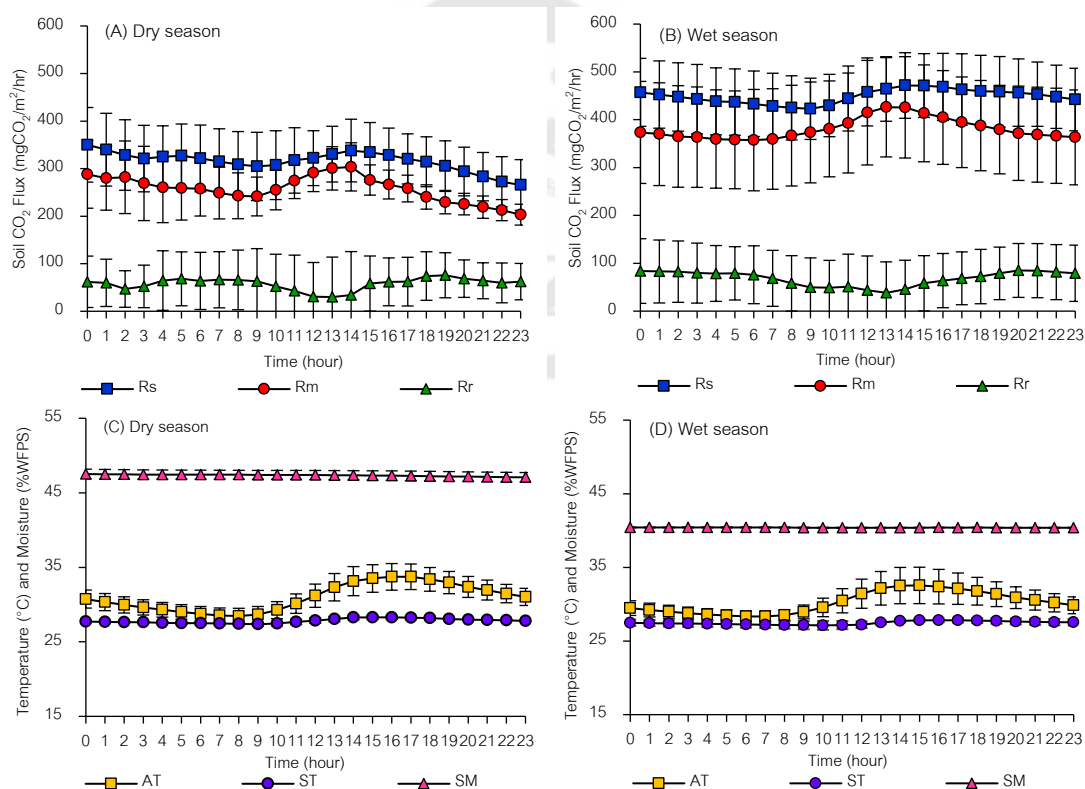
ปี พ.ศ.	เดือน	ป่าเต็งรังห้วยดุม		
		ค่า k	อัตราการย่อยสลาย (ton dry matter/ha/yr)	การปลดปล่อย CO ₂ (tonCO ₂ /ha/yr)
2562	มีนาคม	0.20 (±0.19)	0.54 (±0.60)	0.91 (±1.02)
	เมษายน	0.10 (±0.10)	0.58 (±0.63)	0.97 (±1.05)
	พฤษภาคม	0.10 (±0.06)	1.04 (±0.50)	1.75 (±0.85)
	มิถุนายน	0.10 (±0.07)	1.18 (±0.72)	1.99 (±1.21)
	กรกฎาคม	0.12 (±0.08)	1.64 (±0.91)	2.75 (±1.53)
	สิงหาคม	0.13 (±0.11)	1.92 (±1.05)	3.22 (±1.77)
	กันยายน	0.20 (±0.13)	2.34 (±1.07)	3.94 (±1.80)
	ตุลาคม	0.22 (±0.08)	3.21 (±0.42)	5.40 (±0.70)
	พฤศจิกายน	0.20 (±0.04)	3.09 (±0.36)	5.19 (±0.61)
	ธันวาคม	0.20 (±0.05)	3.26 (±0.30)	5.48 (±0.51)
2563	มกราคม	0.20 (±0.04)	3.34 (±0.28)	5.61 (±0.47)
	กุมภาพันธ์	0.20 (±0.07)	3.35 (±0.47)	5.63 (±0.80)
ค่าเฉลี่ย		0.16 (±0.04)	2.12 (±1.11)	3.57 (±1.87)

4.4.2 การปลดปล่อยคาร์บอนจากการหายใจผิวดิน

4.4.2.1 การเปลี่ยนแปลงรายรอบวัน

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายรอบวันจากการหายใจผิวดิน ในป่าเต็งรังห้วยดุม จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังห้วยดุม จังหวัดราชบุรี ทำการเปรียบเทียบ ระหว่างช่วงฤดูแล้ง เดือนมีนาคม พ.ศ.2562 และฤดูฝน เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2562 จากค่าเฉลี่ย 5 วันต่อเนื่องกัน พบว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือ CO₂ flux จากการหายใจผิวดิน (R_s) การหายใจของจุลินทรีย์ (R_m) และการหายใจของรากพืช (R_r) รายรอบวัน มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดินอย่างชัดเจน ในขณะที่ความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ในรอบวัน ดังภาพประกอบ 35 และ 36 โดยในป่าเต็งรังห้วยดุม ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน CO₂ flux จาก R_s และ R_m จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าจนถึงช่วงบ่าย และค่อย ๆ

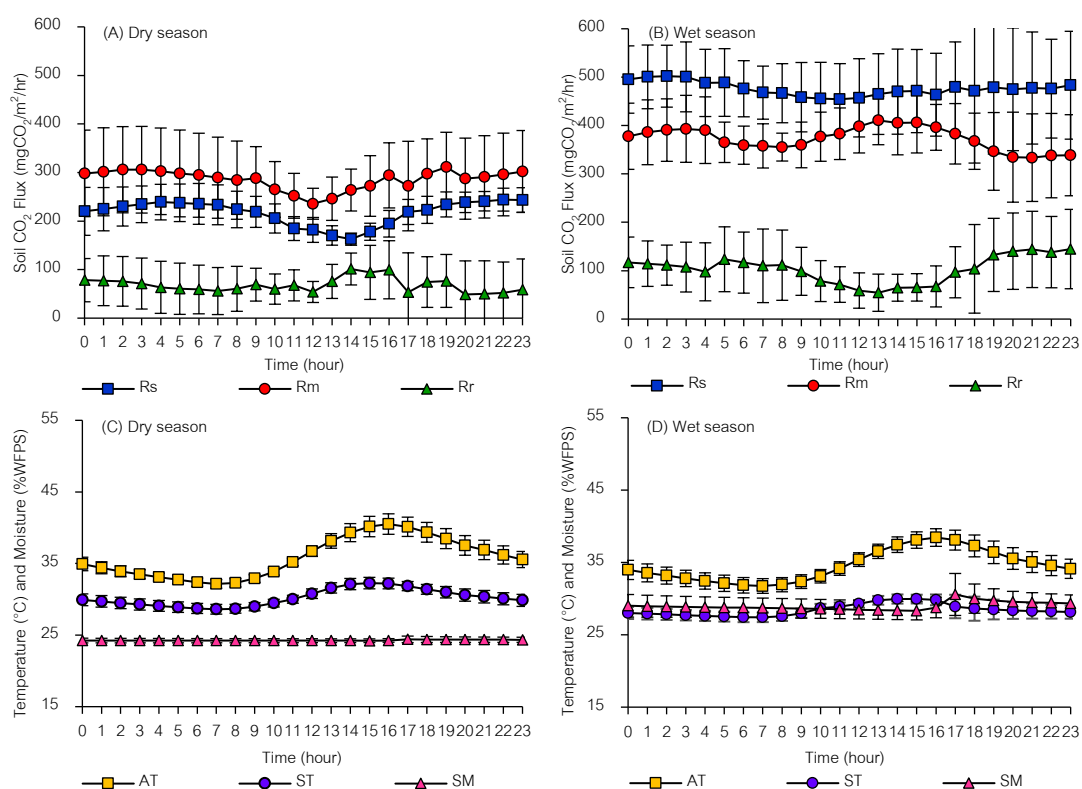
ลดลงในช่วงเย็นจนถึงช่วงกลางคืน ส่วน CO_2 flux จาก R_s จะค่อย ๆ ลดลงในช่วงเช้า เป็นต้นไป และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเย็นจนถึงช่วงกลางคืน ดังภาพประกอบ 35(A-B) โดยในช่วงฤดูแล้ง มีค่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r อยู่ในช่วง 265.49-350.03, 203.15-303.62 และ 29.88-75.71 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 315.57, 257.66 และ 57.90 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 35(A) และในช่วงฤดูฝนมีค่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r อยู่ในช่วง 422.93-471.65, 357.45-426.15 และ 38.25-85.01 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 449.04, 380.81 และ 68.23 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 35(B)



ภาพประกอบ 35 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน (R_s) การหายใจของจุลินทรีย์ (R_m) การหายใจของรากพืช (R_r) กับอุณหภูมิอากาศ (AT) อุณหภูมิดิน (ST) และความชื้นในดิน (SM) เฉลี่ยรอบวัน ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา

ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าจนถึงบ่าย และค่อย ๆ ลดลงในช่วงเย็นจนถึงช่วงกลางคืน ยกเว้น CO_2 flux จาก R_r ช่วงฤดูฝน ที่จะค่อย ๆ ลดลงในช่วงเช้าจนถึงบ่าย และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเย็นจนถึงช่วงกลางคืน

ดังภาพประกอบ 36(A-B) โดยในช่วงฤดูแล้งมีค่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r อยู่ในช่วง 162.64-244.11, 235.64-310.87 และ 48.82-101.24 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 217.36, 285.55 และ 68.18 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 36(A) และช่วงฤดูฝน CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r มีค่าอยู่ในช่วง 454.35-501.98, 333.61-410.52 และ 54.45-144.70 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 457.98, 373.06 และ 102.92 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 36(B)



ภาพประกอบ 36 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน (R_s) การหายใจของจุลินทรีย์ (R_m) การหายใจของรากพืช (R_r) กับอุณหภูมิอากาศ (AT) อุณหภูมิดิน (ST) และความชื้นในดิน (SM) เฉลี่ยรอบวัน ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

เมื่อเปรียบเทียบค่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน จะเห็นได้ว่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r ในช่วงฤดูแล้งต่ำกว่าช่วงฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินช่วงฤดูแล้งค่อนข้างสูงกว่าช่วงฤดูฝน และความชื้นในดินช่วงฤดูแล้งค่อนข้างต่ำกว่าฤดูฝน โดยจากการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน

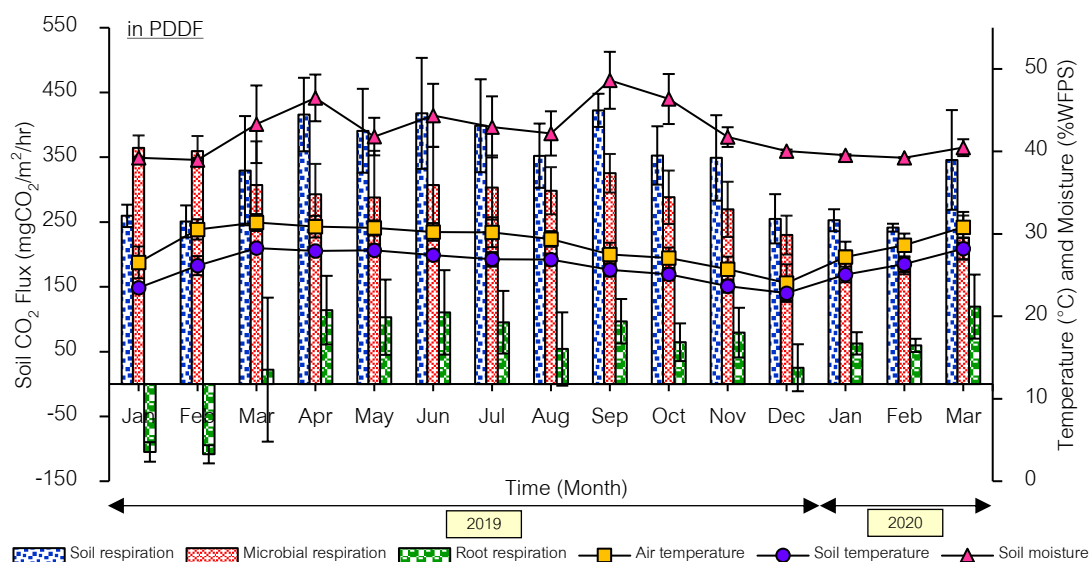
และความชื้นในดินรายรอบวัน พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ช่วงฤดูแล้ง อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิ ดิน และความชื้นในดิน มีค่าอยู่ในช่วง $28.46-33.73^{\circ}\text{C}$, $27.36-28.30^{\circ}\text{C}$ และ $47.08-47.52$ %WFPS ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.98°C , 27.81°C และ 47.34 %WFPS ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 35(C) และช่วงฤดูฝน อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน มีค่า อยู่ในช่วง $28.33-32.55^{\circ}\text{C}$, $27.12-27.81^{\circ}\text{C}$ และ $40.39-40.43$ %WFPS ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 30.23°C , 27.46°C และ 40.41 %WFPS ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 35(D) ขณะที่ป่า เต็งรังทุติยภูมิ ช่วงฤดูแล้ง อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน มีค่าอยู่ในช่วง $32.14-40.51^{\circ}\text{C}$, $28.61-32.26^{\circ}\text{C}$ และ $24.21-24.40$ %WFPS ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.85°C , 30.20°C และ 24.26 %WFPS ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 36(C) และช่วงฤดูฝน อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน มีค่าอยู่ในช่วง $31.75-38.44^{\circ}\text{C}$, $27.41-29.94^{\circ}\text{C}$ และ $28.31-30.58$ %WFPS ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.59°C , 28.43°C และ 28.99 %WFPS ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 36(D)

ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ พัลลภ อินทะนิล⁽⁹⁾ ที่ประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินในป่าเต็งรังภาคเหนือ ประเทศไทย พบว่า การเปลี่ยนแปลง R_s รายรอบวัน จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าและค่อย ๆ ลดลงในช่วงเย็นกลางคืน และการศึกษาของพงษ์เทพ หาญพัฒนานากิจ⁽⁷³⁾ ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลง ของการหายใจผิวดินในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า R_s , R_m และ R_r จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ในช่วงเช้าจนถึงบ่าย และค่อย ๆ ลดลงในช่วงเย็นจนถึงช่วงกลางคืน โดย R_s , R_m และ R_r รายรอบ วัน ในช่วงฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้ง ซึ่งช่วงฤดูแล้ง R_s , R_m และ R_r รายรอบวัน มีค่าอยู่ในช่วง $245.35-283.51$, $118.69-155.16$ และ $113.15-133.54$ $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ ส่วนช่วงฤดูฝน มีค่า อยู่ในช่วง $415.49-491.41$, $304.58-370.30$ และ $147.76-196.78$ $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ

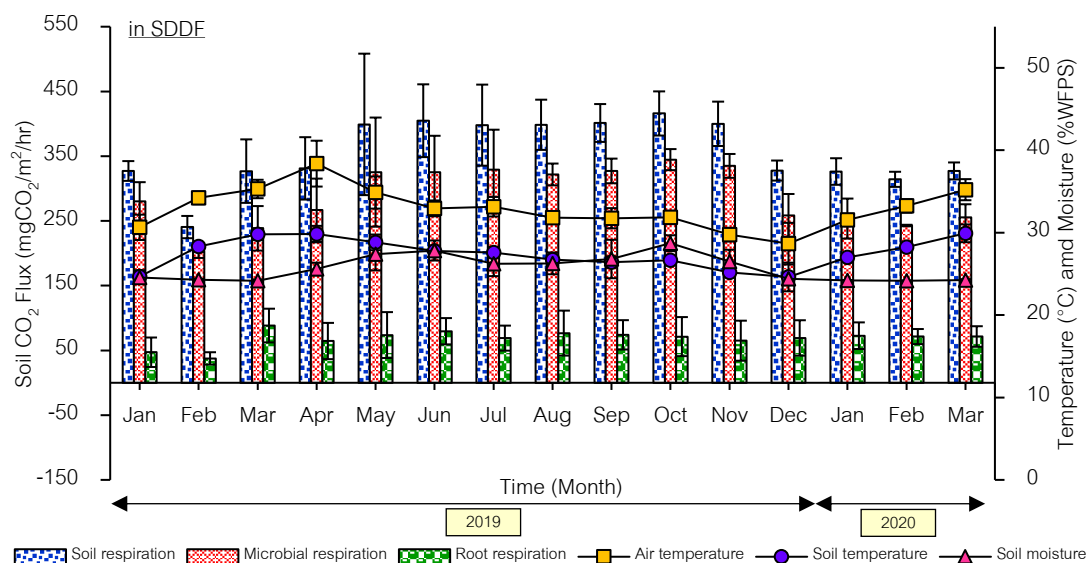
4.4.2.2 การเปลี่ยนแปลงรายเดือน

การประเมิน CO_2 flux จากการหายใจผิวดิน (R_s) การหายใจของจุลินทรีย์ (R_m) และการหายใจของรากพืช (R_r) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี รายเดือน ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ดังภาพประกอบ 37 และ 38 โดยการเปลี่ยนแปลงรายเดือนสามารถแบ่งเป็นการเปลี่ยนแปลง ในช่วงฤดูแล้ง (เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2562 กับเดือนธันวาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ.2563) และฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2562) โดยแบ่งตาม ความชื้นในดินและปริมาณน้ำฝน พบว่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r รายเดือน มีการ

เปลี่ยนแปลงตามความชื้นในดิน โดยการเปลี่ยนแปลงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงต้นฤดูฝน และมีค่าสูงจนถึงปลายฤดูฝน และจะค่อย ๆ ลดลงช่วงปลายฤดูฝนจนถึงปลายฤดูแล้ง ซึ่งในป่าเต็งรัง ปฐมภูมิ มี CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r รายเดือน อยู่ในช่วง 241.36-422.50, 181.67-364.38 และ -108.43-119.52 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 335.69, 282.14 และ 52.94 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ และมีอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน รายเดือน อยู่ในช่วง 24.03-31.38°C, 22.82-28.27°C และ 38.96-48.62 %WFPS ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 28.72°C, 26.12°C และ 42.35 %WFPS ดังภาพประกอบ 37 ขณะที่ป่าเต็งรัง ทุตติภูมิ มี CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r รายเดือน อยู่ในช่วง 240.47-415.97, 202.84-344.67 และ 37.63-88.39 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 355.91, 287.13 และ 68.78 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ และมีอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน รายเดือน อยู่ในช่วง 28.67-38.38°C, 24.62-29.92°C และ 24.16-28.72 %WFPS ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 32.69°C, 27.44°C และ 25.69 %WFPS ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 38 เมื่อเปรียบเทียบ CO_2 flux รายเดือน ระหว่างป่าทั้งสองแห่ง พบว่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r รายเดือนในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุตติภูมิ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 37 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช กับอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดินเฉลี่ยรายเดือน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDFF) จังหวัดนครราชสีมา



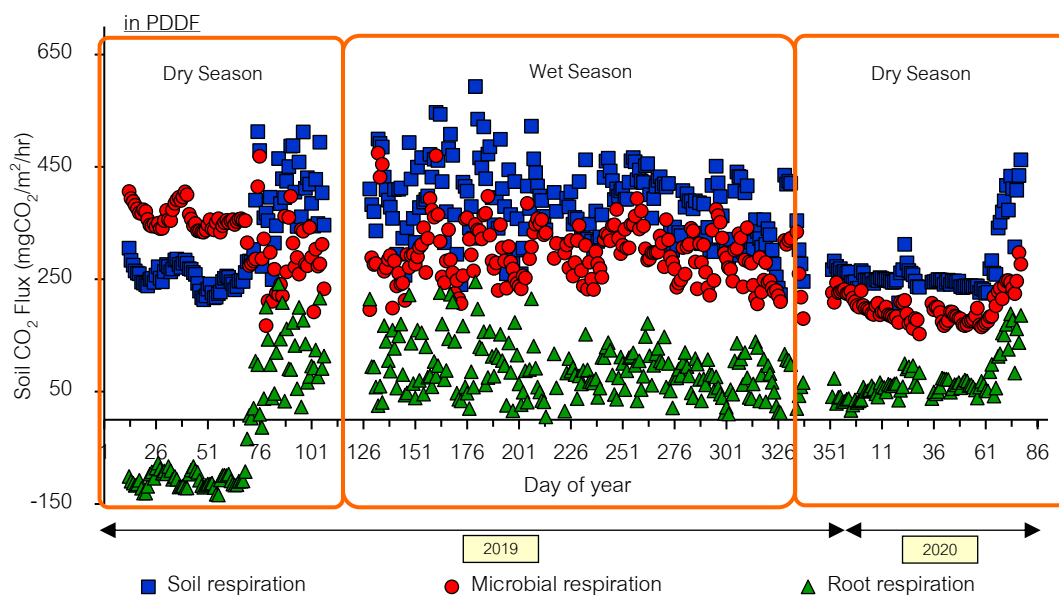
ภาพประกอบ 38 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช กับอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดินเฉลี่ยรายเดือน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

นอกจากนี้ยังพบว่า ในระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก R_s , R_m และ R_r สะสมเท่ากับ 3.14, 2.36 และ 0.78 kgCO_2/m^2 หรือเท่ากับ 0.86, 0.64 และ 0.21 kgC/m^2 ตามลำดับ ขณะที่ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก R_s , R_m และ R_r สะสมเท่ากับ 3.80, 3.07 และ 0.73 kgCO_2/m^2 หรือเท่ากับ 1.04, 0.84 และ 0.20 kgC/m^2 ตามลำดับ ทั้งนี้ CO_2 flux จาก R_r ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2562 มีค่าติดลบ เนื่องจากการย่อยสลายรากในช่วงแรกจากการใช้เทคนิค root trenching เพื่อแยกการหายใจของรากพืชออกจากการหายใจของจุลินทรีย์ และติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินจากการย่อยสลายรากพืชที่ตายจากการขุดดินและใส่แผ่นยับยั้งการเจริญเติบโตของรากทั้งภายในและภายนอกในพื้นที่ศึกษาทำให้การหายใจของจุลินทรีย์ช่วงแรกเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ ส่งผลให้ CO_2 flux จาก R_m เพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการคำนวณ CO_2 flux จาก R_r ค่าจึงติดลบจากการศึกษาของพงษ์เทพ หาญพัฒน์ นากิจ⁽¹⁰²⁾ พบว่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r รายเดือน ในช่วงฤดูแล้งมีค่าต่ำกว่าช่วงฤดูฝน โดยในช่วงฤดูแล้ง CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r มีค่าอยู่ในช่วง 192.3-265.0, 120.5-172.3 และ 89.8-92.7 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ และช่วง

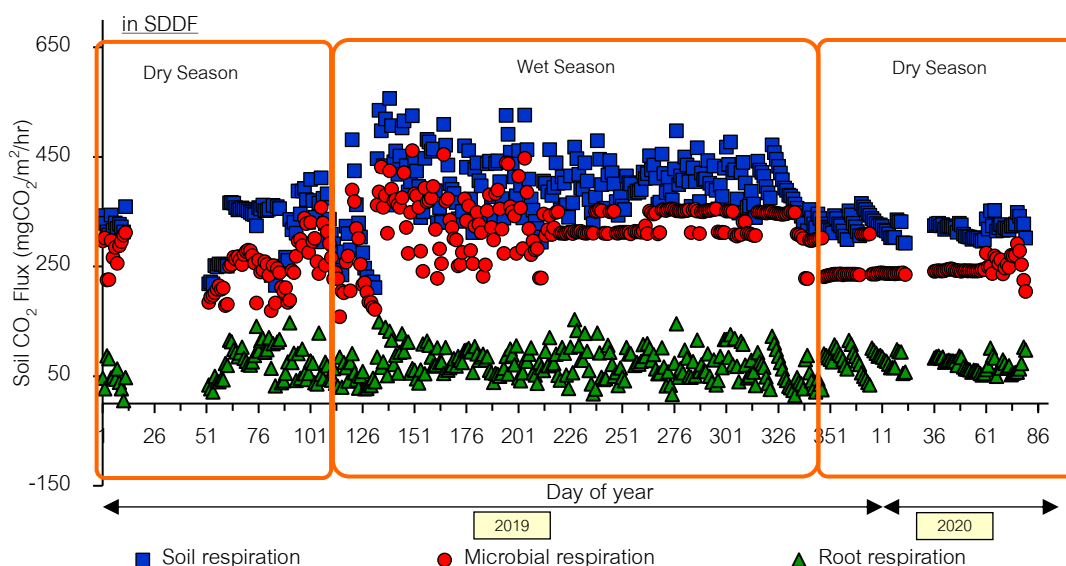
ฤดูฝนมีค่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r อยู่ในช่วง 396.2-599.9, 237.4-349.7 และ 97.3-250.2 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ โดย CO_2 flux จะมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับอุณหภูมิดินและความชื้นในดิน

4.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาล

การเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาลของ CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r ในป่าเต็งรัง ปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี สามารถแบ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน โดย CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงต้นฤดูฝน และมีค่าสูงจนถึงปลายฤดูฝน จนค่อย ๆ ลดลงจากช่วงปลายฤดูฝน จนกระทั่งปลายฤดูแล้ง ยกเว้น CO_2 flux จาก R_r ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ ดังภาพประกอบ 39 และ 40 ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ช่วงฤดูแล้ง มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 41 ของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจาก R_s โดยมี CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 288.01, 267.90 และ 74.69 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ และในช่วงฤดูฝนมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 59 ของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจาก R_s มี CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 383.48, 297.85 และ 85.59 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 39 ขณะที่ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ช่วงฤดูแล้ง มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 36 ของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจาก R_s มีค่า CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 322.11, 252.28 และ 69.83 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ และในช่วงฤดูฝนมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 64 ของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจาก R_s มี CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 402.51, 329.76 และ 72.75 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 40



ภาพประกอบ 39 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช เฉลี่ยรายวัน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563



ภาพประกอบ 40 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ การหายใจของรากพืช เฉลี่ยรายวัน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563

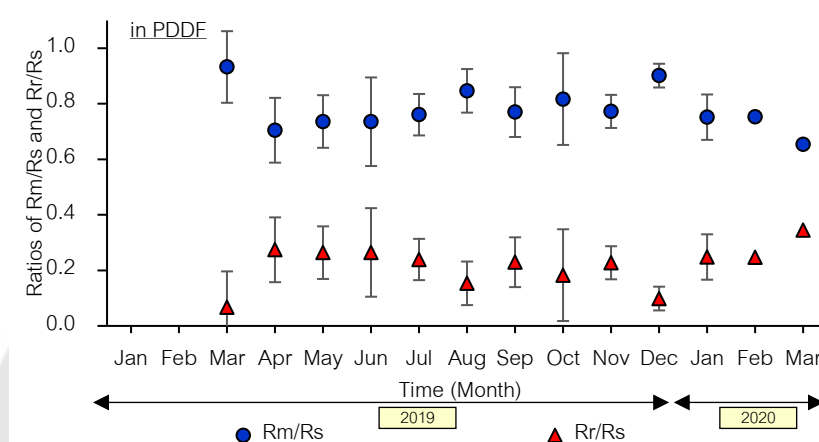
เมื่อเปรียบเทียบ CO_2 flux ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r ช่วงฤดูแล้งต่ำกว่าฤดูฝน และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนในป่าเต็งรังหุติยภูมิ CO_2 flux จาก R_s , R_m และ R_r ช่วงฤดูแล้งต่ำกว่าฤดูฝน และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ยกเว้น CO_2 flux จาก R_r ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิจัยดังกล่าวข้างต้นสอดคล้องกับการศึกษาของ พงษ์เทพ หาญพัฒนานิกจ⁽⁷³⁾ ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการหายใจผิวดินในป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า CO_2 flux จาก R_s และ R_m จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงต้นฤดูฝน และมีค่าสูงจนถึงปลายฤดูฝน และจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงปลายฤดูแล้ง ส่วน CO_2 flux จาก R_r มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสองฤดูกาล โดยช่วงฤดูแล้ง มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 37 ของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด

4.4.2.4 สัดส่วนของการหายใจผิวดิน

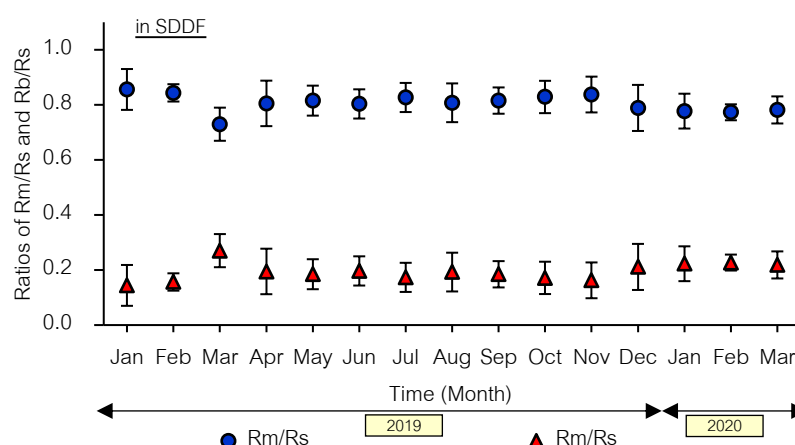
ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของการหายใจของจุลินทรีย์ต่อการหายใจผิวดิน (R_m/R_s) และการหายใจของรากพืชต่อการหายใจผิวดิน (R_r/R_s) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่าเท่ากับ 0.78 และเท่ากับ 0.22 ตามลำดับ โดยสัดส่วนของ R_m/R_s มีค่าสูงสุดเดือนมีนาคม พ.ศ.2562 มีค่าต่ำสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 และสัดส่วนของ R_r/R_s มีค่าสูงสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 มีค่าต่ำสุดเดือนมีนาคม พ.ศ.2562 ดังภาพประกอบ 41 ขณะที่ป่าเต็งรังหุติยภูมิ มีค่าเฉลี่ยสัดส่วน R_m/R_s และ R_r/R_s เท่ากับ 0.80 และเท่ากับ 0.20 ตามลำดับ โดยสัดส่วนของ R_m/R_s มีค่าสูงสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2562 มีค่าต่ำสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 และสัดส่วนของ R_r/R_s มีค่าสูงสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 มีค่าต่ำสุดเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ดังภาพประกอบ 42 แสดงให้เห็นว่าการหายใจผิวดินในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี มีการหายใจของจุลินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก ที่คอยขับเคลื่อนการเปลี่ยนการหายใจผิวดินรวม องค์ประกอบรองลงมาคือ การหายใจของรากพืช และแต่ละเดือนสัดส่วน R_m/R_s จะมีค่าสูงกว่าสัดส่วนของ R_r/R_s เสมอ อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ที่กระตุ้นให้จุลินทรีย์ทำกิจกรรมมากขึ้น ขณะเดียวกันความชื้นที่สูงขึ้น ประกอบกับแสงแดดน้อยจะไปจำกัดการทำกิจกรรมการเจริญเติบโต และการแลกเปลี่ยนก๊าซของรากพืช ส่งผลให้ R_m/R_s มีค่าสูง และ R_r/R_s มีค่าต่ำ⁽⁹⁾

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาของ พัลลภ อินทะนิล⁽⁹⁾ ในพื้นที่ป่าเต็งรัง จังหวัดพะเยา พบว่ามีความคล้ายคลึงกัน โดยการหายใจผิวดิน มาจากการหายใจของจุลินทรีย์ มากกว่าการหายใจของรากพืช และสัดส่วนของ R_m/R_s สูงกว่า R_r/R_s เสมอ ซึ่งค่าเฉลี่ยสัดส่วนของ

R_m/R_s และ R_r/R_s มีค่าเท่ากับร้อยละ 62 และ 38 ตามลำดับ และสอดคล้องกับการศึกษาในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี ที่พบว่า ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของ R_m/R_s และ R_r/R_s มีค่าเท่ากับร้อยละ 66 และ 34 ตามลำดับ⁽⁷³⁾ ในทางตรงข้าม ระบบนิเวศ หรือพื้นที่ศึกษาอื่น ๆ มีความแตกต่างกัน โดยสัดส่วนของ R_r/R_s มีค่าสูงกว่า R_m/R_s เช่น ในพื้นที่เพาะปลูกข้าวฟ่าง มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนของ R_r/R_s เท่ากับร้อยละ 67 ทั้งนี้ความแตกต่างของสัดส่วน R_m/R_s และ R_r/R_s ในแต่ละระบบนิเวศขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ ชนิดของป่า อายุของต้นไม้ในป่า และชนิดพันธุ์พืช เป็นต้น

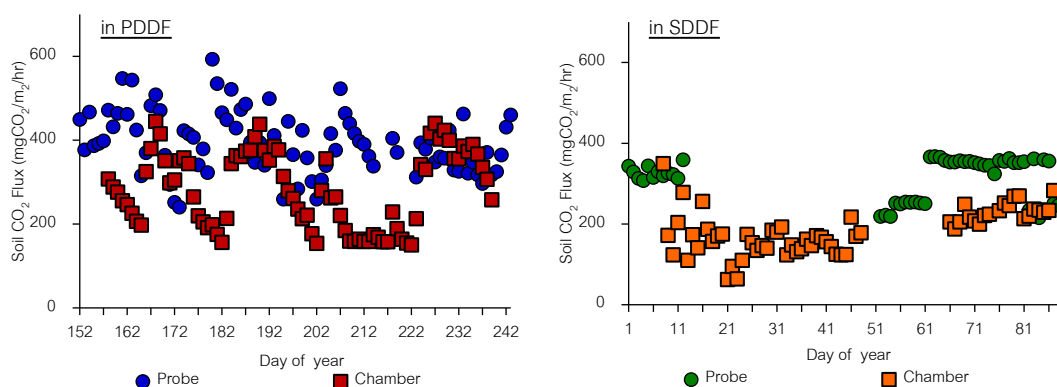


ภาพประกอบ 41 อัตราส่วนระหว่างการหายใจของจุลินทรีย์ต่อการหายใจผิวดิน (R_m/R_s) และการหายใจของรากพืชต่อการหายใจผิวดิน (R_r/R_s) ในป่าเต็งรังปทุมภูมิ (PDDE) จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 42 อัตราส่วนระหว่างการหายใจของจุลินทรีย์ต่อการหายใจผิวดิน (R_m/R_s) และการหายใจของรากพืชต่อการหายใจผิวดิน (R_r/R_s) ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน ในช่วงระยะเวลา 3 เดือน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2562 และในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2562 โดยใช้ carbon dioxide probe วิธี soil gradient และเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีกล่องวัดก๊าซระบบปิดอัตโนมัติ (automatic closed chambers method) จากการเปรียบเทียบ CO_2 flux จากเครื่องมือทั้งสองชนิด พบว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ จากการใช้ carbon dioxide probe ในการตรวจวัด มีค่าสูงกว่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน จากการใช้ automatic closed chambers method ในการตรวจวัด อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 43



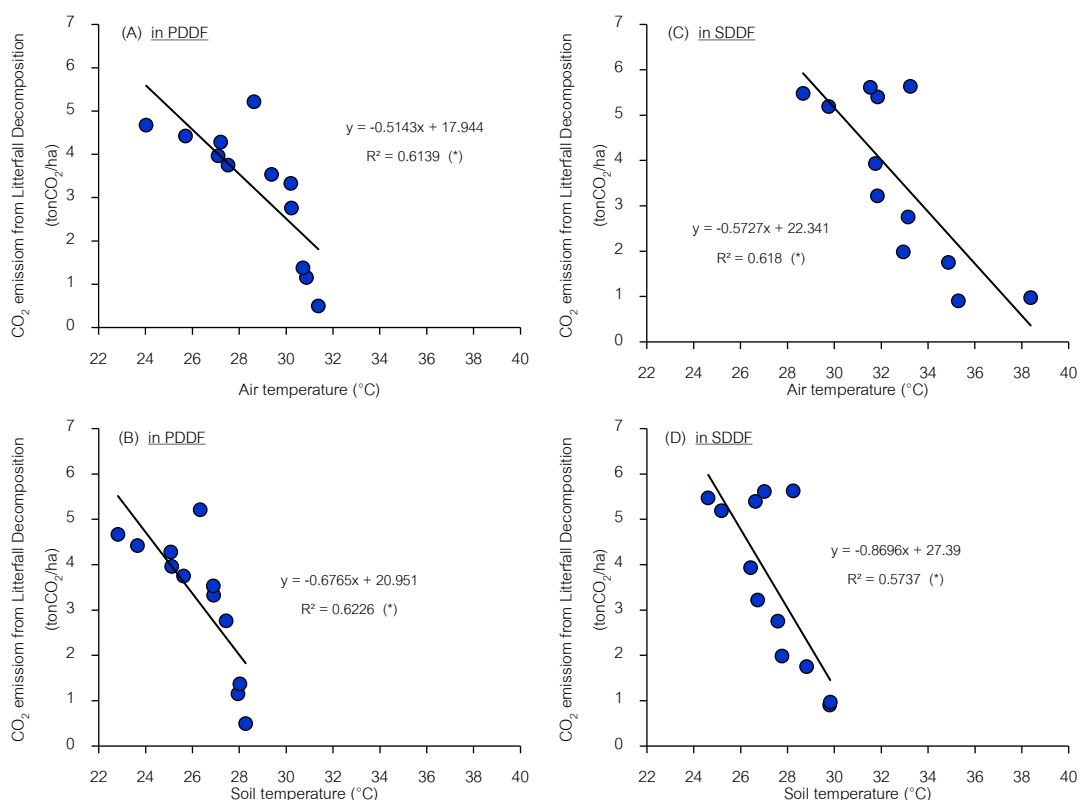
ภาพประกอบ 43 การเปรียบเทียบข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน โดยใช้ carbon dioxide probe และ automatic closed chambers method

4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

4.4.3.1 อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และจากการหายใจผิวดิน ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน พบว่า ในป่าเต็งรังทั้งสองแห่ง การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศ ภาพประกอบ 44(A และ C) และอุณหภูมิดิน ภาพประกอบ 44(B และ D) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินสูงขึ้น (ความชื้นในดินลดลง) ทำให้การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวลจะลดต่ำลง และเมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินลดต่ำลง

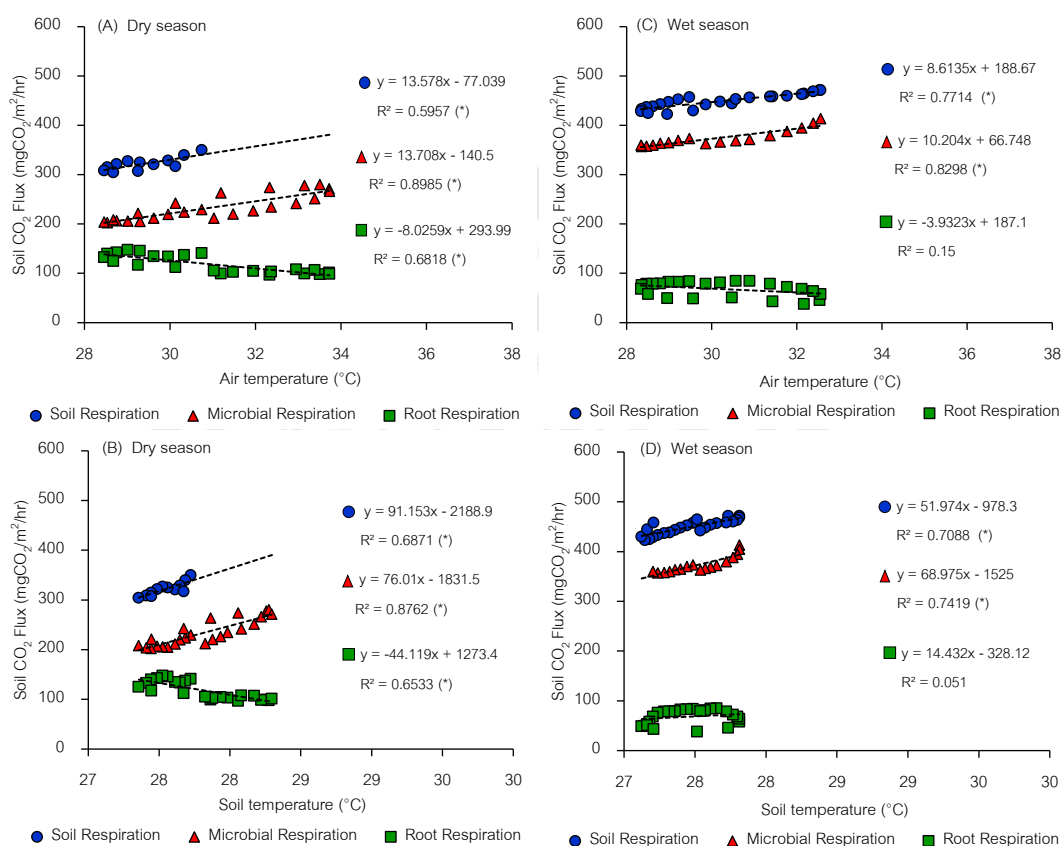
(ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น) ทำให้การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวลเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของวสันต์ จันทร์แดง⁽⁴⁶⁾ พบว่า เมื่ออัตราการย่อยสลายของเศษซากพืชมากขึ้น จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายของเศษซากพืชมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอัตราการย่อยสลายของเศษซากชีวมวลจะสูงขึ้นเมื่อดินมีความชื้นสูง และอุณหภูมิลดลง ในช่วงฤดูฝน⁽⁴⁵⁾ ดังนั้นเมื่อดินมีความชื้นสูง และอุณหภูมิลดลง การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายของเศษซากพืชจะมากขึ้นด้วย



ภาพประกอบ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล กับอุณหภูมิอากาศ (A และ C) และอุณหภูมิดิน (B และ D) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDE) จังหวัดราชบุรี

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ flux) จากการหายใจผิวดิน (R_s) การหายใจของจุลินทรีย์ (R_m) และการหายใจของรากพืช (R_p) กับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน CO₂ flux รายรอบวัน จาก R_s และ R_m มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน

อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขณะที่ CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ยกเว้น ในช่วงฤดูฝนที่ CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s ไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ดังภาพประกอบ 45(A-D)

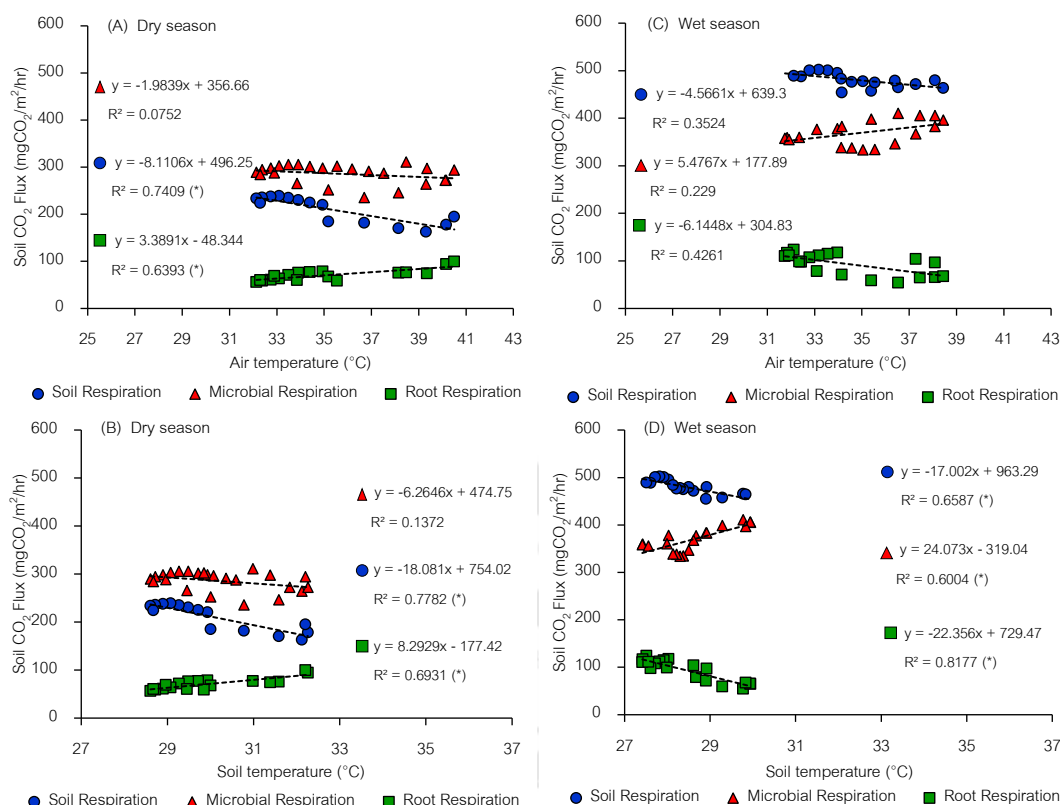


ภาพประกอบ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของรากพืช รายรอบวัน กับอุณหภูมิอากาศ (A และ C) และอุณหภูมิดิน (B และ D) ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา

ส่วนป่าเต็งรังทุติยภูมิ ช่วงฤดูแล้ง CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และ CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 46(A-B) สำหรับช่วงฤดูฝน CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s และ R_r มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขณะที่ CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_m

มีความสัมพันธ์เชิงบวก กับอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 46(D) โดยหากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินทั้งหมด มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน เมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินเพิ่มสูงขึ้น การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินทั้งหมดจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่หากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินทั้งหมด มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน เมื่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินเพิ่มสูงขึ้น การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินทั้งหมดจะลดต่ำลง

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของเจิง และคณะ⁽⁷⁰⁾ ที่ทำการศึกษาบริเวณป่าทุติยภูมิระบบนิเวศภูเขาสูง ในประเทศจีน พบว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับอุณหภูมิของดิน และการศึกษาของศิริพร วิริยะตั้งสกุล และคณะ⁽⁶⁶⁾ พบว่า การเปลี่ยนแปลงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน นอกจากนี้การศึกษาของพงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ⁽⁵⁷⁾ พบว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลักที่ขับเคลื่อน CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s คืออุณหภูมิดินและความชื้นในดิน แต่ CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s สอดคล้องกับอุณหภูมิดินมากกว่าความชื้นในดิน

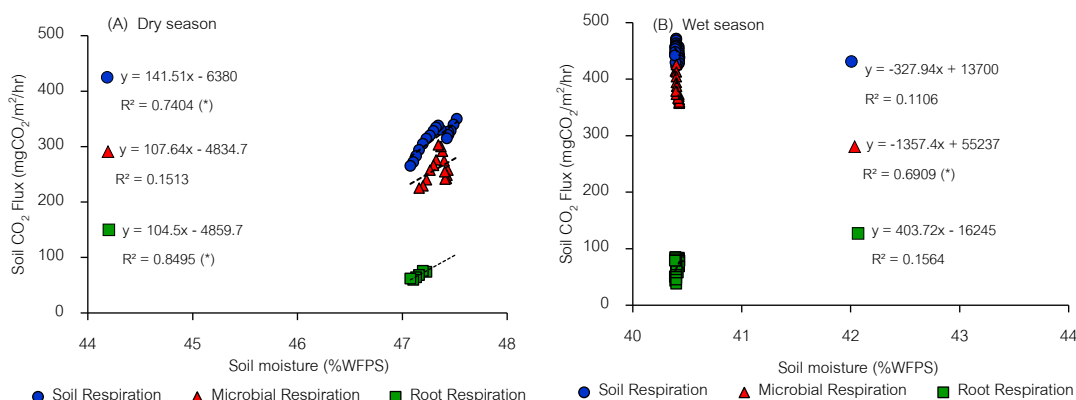


ภาพประกอบ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของพืช รายรอบวัน กับอุณหภูมิอากาศ (A และ C) และอุณหภูมิดิน (B และ D) ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

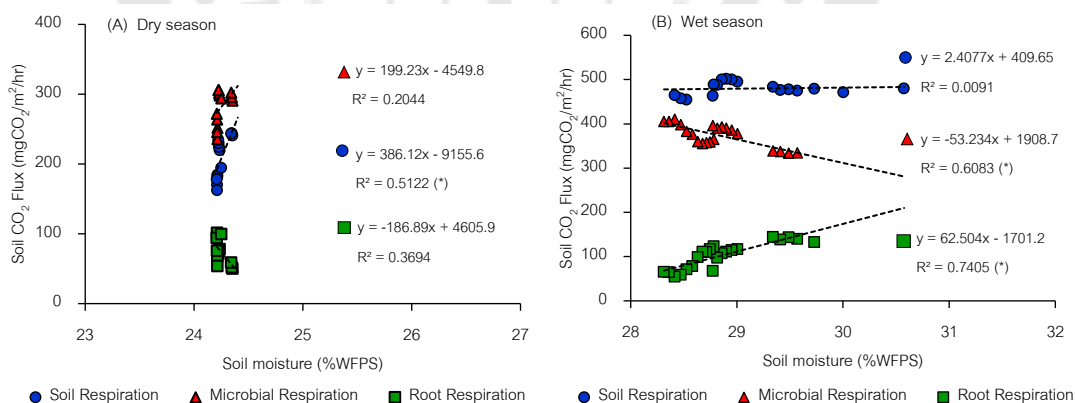
4.4.3.2 ความชื้นในดิน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ flux จาก R_s, R_m และ R_r กับความชื้นในดิน พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ช่วงฤดูแล้ง CO₂ flux รายรอบวัน จาก R_s และ R_r มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 47(A) และช่วงฤดูฝน CO₂ flux รายรอบวัน จาก R_m มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 47(B) สำหรับในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ช่วงฤดูแล้ง CO₂ flux รายรอบวัน จาก R_s มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 48(A) และช่วงฤดูฝน CO₂ flux รายรอบวัน จาก R_m มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และ CO₂ flux รายรอบวัน จาก R_r มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 48(B) ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับการศึกษาของพงษ์เทพ หาญพัฒนาภิจ⁽⁵⁷⁾ พบว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลักที่ขับเคลื่อน

CO₂ flux รายรอบวัน จาก R_s คืออุณหภูมิดินและความชื้นในดิน แต่ทั้งนี้ CO₂ flux รายรอบวัน จาก R_s สอดคล้องกับอุณหภูมิดินมากกว่าความชื้นในดิน



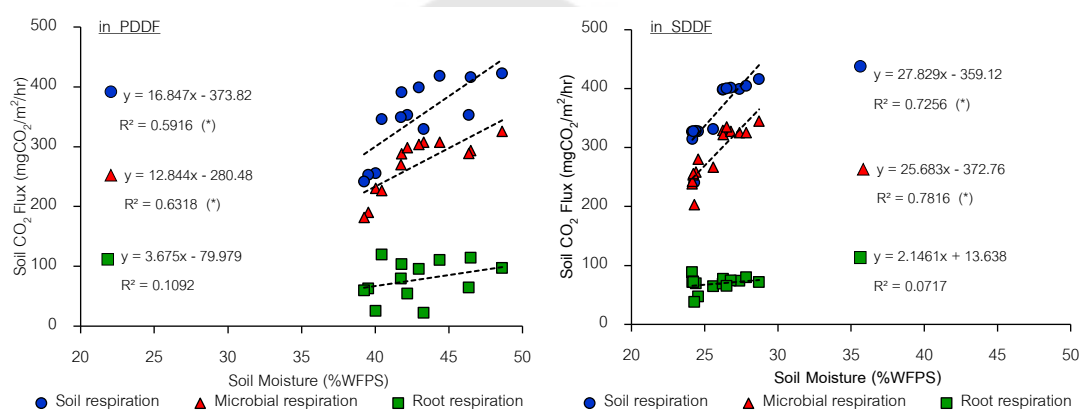
ภาพประกอบ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของพืช รายรอบวัน กับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของพืช รายรอบวัน กับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ flux รายเดือนและระหว่างฤดูกาล จาก R_s, R_m และ R_r กับความชื้นในดิน พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ และป่าเต็งรังทุติยภูมิ CO₂ flux รายเดือนและระหว่างฤดูกาล จาก R_s และ R_m มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินอย่างมี

นัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาพประกอบ 49 เมื่อความชื้นในดินเพิ่มสูงขึ้น CO_2 flux จาก R_s และ R_m จะเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความชื้นในดินลดต่ำลง CO_2 flux จาก R_s และ R_m จะลดต่ำลงด้วย ขณะที่ R_r ไม่มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ⁽⁶⁹⁾ ลี⁽¹⁰³⁾ และไซจิ⁽¹⁰⁴⁾ พบว่าการหายใจผิวดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดิน เนื่องจากความชื้นในดินมีผลโดยตรงต่อกระบวนการทางกายภาพของจุลินทรีย์ และรากพืช จำนวนจุลินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์ การแพร่กระจายของสารอาหารและก๊าซออกซิเจน เมื่อดินมีสภาพเปียกสลับแห้งจะทำให้การหายใจผิวดินสูงขึ้น⁽¹⁰⁵⁾



ภาพประกอบ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน การหายใจของจุลินทรีย์ และการหายใจของพืช รายเดือนและระหว่างฤดูกาลกับความชื้นในดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ (PDDF) จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ (SDDF) จังหวัดราชบุรี

4.5 ผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ

4.5.1 ผลผลิตคาร์บอนสุทธิ

การประเมินผลการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอน และผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า ป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนรวม เท่ากับ 80.37 tonC/ha แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุด รองลงมาคือในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน และในผลผลิตเศษซากชีวมวลมีค่าเท่ากับ 74.04, 6.31 และ 0.02 tonC/ha ตามลำดับ โดยการกักเก็บคาร์บอนรวมในป่าเต็งรังปฐมภูมิมากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ซึ่งมีค่าการกักเก็บคาร์บอนรวม เท่ากับ 78.49 tonC/ha แบ่งเป็น

การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุด รองลงมาคือในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน และในผลผลิตเศษซากชีวมวล มีค่าเท่ากับ 66.59, 11.53 และ 0.37 tonC/ha ดังตาราง 21

เมื่อประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (net primary production: NPP) ของป่าทั้งสองแห่ง พบว่า ป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ เท่ากับ 9.46 tonC/ha/yr แบ่งเป็นส่วนของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุด เท่ากับ 6.64 tonC/ha/yr รองลงมาคือผลผลิตเศษซากชีวมวล 2.40 tonC/ha/yr และมวลชีวภาพใต้พื้นดิน เท่ากับ 0.42 tonC/ha/yr มีการปลดปล่อยคาร์บอนจาก R_s เท่ากับ 8.16 tonC/ha/yr แบ่งเป็นการปลดปล่อยคาร์บอนจาก R_m เท่ากับ 6.17 tonC/ha/yr และจาก R_r เท่ากับ 1.99 tonC/ha/yr ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ เท่ากับ 22.20 tonC/ha/yr แบ่งเป็นส่วนของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุด เท่ากับ 15.20 tonC/ha/yr รองลงมาผลผลิตเศษซากชีวมวล 4.79 tonC/ha/yr และมวลชีวภาพใต้พื้นดิน เท่ากับ 2.21 tonC/ha/yr มีการปลดปล่อยคาร์บอนจาก R_s เท่ากับ 9.95 tonC/ha/yr แบ่งเป็นการปลดปล่อยคาร์บอนจาก R_m เท่ากับ 8.05 tonC/ha/yr และ R_r เท่ากับ 1.90 tonC/ha/yr และการประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production: NEP) ของป่าทั้งสองแห่ง พบว่า ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ เท่ากับ 3.29 และ 14.15 tonC/ha/yr หรือคิดเป็น 12.06 และ 51.88 tonCO₂/ha/yr ตามลำดับ โดยผลผลิตคาร์บอนสุทธิในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ดังตาราง 21

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ต้นไม้มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อีกทั้งในแปลงทดลองป่าเต็งรังปฐมภูมิ ต้นไม้ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (DBH) น้อยกว่า 10 cm (32 ต้น) บ่งชี้ว่าป่าปฐมภูมิแห่งนี้ยังมีกระบวนการทดแทนที่ เนื่องจากต้นไม้ส่วนใหญ่ยังมีขนาดเส้นรอบวงเล็ก⁽⁹⁶⁾ ต้นไม้ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ส่งผลให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมีค่าสูง เป็นสัดส่วนที่มากที่สุดที่ทำให้การกักเก็บคาร์บอนรวมในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีค่ามากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ อีกทั้งการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ และในผลผลิตเศษซากชีวมวลของป่าทั้งสองแห่งมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญหลายประการ เช่น อายุ ชนิดพันธุ์ไม้ ลักษณะทางพันธุกรรม สภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิประเทศ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิพบว่า ป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีผลผลิตปฐมภูมิสุทธิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ เนื่องจากป่าเต็งรังทุติยภูมิมีพื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นของต้นไม้มากกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ เมื่อคำนวณการกักเก็บคาร์บอนต่อพื้นที่ และต่อหน่วยเวลาจึงส่งผลให้สัดส่วนของมวลชีวภาพและการกักเก็บ

คาร์บอนในป่าเต็งรังทุติยภูมิสูงกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ อีกทั้ง ป่าเต็งรังปฐมภูมิมีอัตราการสะสมคาร์บอน หรือมีปริมาณมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นน้อยกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ จึงส่งผลให้ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (NPP) และผลผลิตคาร์บอนสุทธิ (NEP) ของป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ สอดคล้องกับการศึกษาของสาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และคณะ⁽⁶⁵⁾ ที่ทำการศึกษาวงจักรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง พบว่า ป่าดิบแล้งสะแกราชมีอัตราการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศสูงกว่าป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง โดยในป่าทั้งสองแห่ง มีผลผลิตคาร์บอนสุทธิ เท่ากับ 5.66 และ 0.73 $\text{tonCO}_2/\text{ha/yr}$ หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 1.54 และ 0.20 tonC/ha/yr ตามลำดับ โดยป่าเบญจพรรณ มีปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียง 3.59 tonC/ha/yr ขณะที่ป่าดิบแล้งสะแกราช มีปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมดเพิ่มขึ้น 22.98 tonC/ha/yr และสอดคล้องกับการการศึกษาของสำเร็จ ปานอุทัย และคณะ⁽²¹⁾ ป่าดิบแล้งสะแกราช ป่าเต็งรังสะแกราช และป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง มีศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 20.35, 17.75 และ 16.65 $\text{tonCO}_2/\text{ha/yr}$ หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 5.55, 4.84 และ 4.54 tonC/ha/yr ส่วนสวนป่าไม้สักทองผาภูมิ อายุระหว่าง 13-15 ปี และ 26-28 ปี มีศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 16.72 และ 4.40 $\text{tonCO}_2/\text{ha/yr}$ หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 4.56 และ 1.2 tonC/ha/yr สวนป่าไม้ยูคาลิปตัส อายุระหว่าง 5-7 ปี และ 13-15 ปี มีศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 15.88 และ 20.20 $\text{tonCO}_2/\text{ha/yr}$ หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 4.33 และ 5.51 tonC/ha/yr และสวนป่าไม้กระถินเทพา อายุระหว่าง 5-7 ปี มีศักยภาพในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 56.36 $\text{tonCO}_2/\text{ha/yr}$ หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 15.37 tonC/ha/yr

ตาราง 21 การกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอน และผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ
จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

การกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอน	ป่าเต็งรังปฐุมภูมิ	ป่าเต็งรังทุติยภูมิ
การกักเก็บคาร์บอนรวม (tonC/ha)	80.37	78.49
มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (tonC/ha)	74.04	66.59
มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (tonC/ha)	6.31	11.53
ผลผลิตเศษซากชีวมวล (tonC/ha)	0.02	0.37
ผลผลิตปฐุมภูมิสุทธิ: NPP (tonC/ha/yr)	9.46	22.20
มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (tonC/ha/yr)	6.64	15.20
มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (tonC/ha/yr)	0.42	2.21
ผลผลิตเศษซากชีวมวล (tonC/ha/yr)	2.40	4.79
การหายใจผิวดิน: R_s (tonC/ha/yr)	8.16	9.95
การหายใจของจุลินทรีย์: R_m (tonC/ha/yr)	6.17	8.05
การหายใจของรากพืช: R_r (tonC/ha/yr)	1.99	1.90
ผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ: NEP (tonC/ha/yr)	3.29	14.15

4.5.2 การเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (NEP) ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างผลผลิตปฐุมภูมิสุทธิ (NPP) และการหายใจของจุลินทรีย์ (R_m) พบว่า ป่าทั้งสองแห่งจัดเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sinks) เนื่องจากมีค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิมากกว่าศูนย์ และมีการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าการปลดปล่อยคาร์บอน โดยที่ป่าเต็งรังปฐุมภูมิมีค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.29 และ 14.15 tonC/ha/yr ตามลำดับ ดังตาราง 21 ทั้งนี้ผลผลิตคาร์บอนสุทธิมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ อายุของป่า และชนิดและโครงสร้างของระบบนิเวศป่าไม้ งานวิจัยของ ซีโยชิ โยเนดะ และคณะ⁽¹⁰⁶⁾ พบว่า ป่าไม้ตามธรรมชาติที่มีความสมบูรณ์ เจริญเติบโตเต็มจะมีค่า NEP เท่ากับศูนย์ ส่วนป่าไม้ที่อยู่ในช่วงกำลังเจริญเติบโต หรือกำลังฟื้นฟูจากการถูกรบกวนจะมีค่า NEP มากกว่าศูนย์ และป่าไม้ที่เสื่อมโทรม หรือถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์จะมีค่า NEP น้อยกว่าศูนย์ โดย NEP ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามอายุของป่าไม้ จนกระทั่งต้นไม้เจริญเติบโตเต็มที่ เมื่อป่าไม้ถูกรบกวน NEP จะค่อย ๆ ลดลง (น้อยกว่าศูนย์) จากนั้นป่าไม้มีการฟื้นฟู ต้นไม้มีการเจริญเติบโตอีกครั้ง หลังจากรบกวน 17-38 ปีผ่านไป NEP ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้ง ตามอายุของต้นไม้ในป่าที่มีการฟื้นฟู สอดคล้องกับ

การศึกษาในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลองของสาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และคณะ⁽⁶⁵⁾ การศึกษาในป่าดิบแล้งสะแกราช ป่าเต็งรังสะแกราช และป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง สวนป่าไม้สักทองผาภูมิ อายุระหว่าง 13-15 และ 26-28 ปี สวนป่าไม้ยูคาลิปตัสอายุระหว่าง 5-7 และ 13-15 ปี และสวนป่าไม้กระถินเทพาอายุระหว่าง 5-7 ปี ของสำเริงปานอุทัย และคณะ⁽²¹⁾ การศึกษาในป่าผลัดใบเขตอบอุ่นในประเทศไทย⁽¹⁰⁷⁾ และป่าเขตร้อนในอเมริกาใต้⁽¹⁰⁸⁾ เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนระหว่างป่าทั้งสองแห่ง โดยอาศัยค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ พบว่า ป่าเต็งรังห้วยตึงนิตย์ จังหวัดราชบุรี จัดเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่มีศักยภาพมากกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา แต่อย่างไรก็ตาม ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพของพืชและคาร์บอนในดินของป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่าสูงกว่าป่าเต็งรังห้วยตึงนิตย์ เนื่องจากป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ ป่าเต็งรังปฐมภูมิจึงถือเป็นแหล่งกักเก็บและสะสมคาร์บอนทางธรรมชาติที่สำคัญในระบบนิเวศป่าไม้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยการศึกษาตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ สามารถสรุปผลการวิจัย โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
2. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การประเมินและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ (Net Ecosystem Production: NEP) ทั้งการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน ตลอดจนการศึกษาปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ของประเทศไทย ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ผลการประเมินและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ทั้งการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอน พบว่า

ป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 80.37 tonC/ha แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มวลชีวภาพใต้พื้นดิน และผลผลิตเศษซากชีวมวล เท่ากับ 74.04, 6.31 และ 0.02 tonC/ha ตามลำดับ ขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 78.49 tonC/ha แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มวลชีวภาพใต้พื้นดิน และผลผลิตเศษซากชีวมวล เท่ากับ 66.59, 11.53 และ 0.37 tonC/ha ตามลำดับ โดยป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ แต่ป่าเต็งรังปฐมภูมิมีค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (NEP) น้อยกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีค่าเท่ากับ 3.29 และ 14.15 tonC/ha/yr เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตและความหนาแน่นของต้นไม้ต่ำ โดยป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (NPP) เท่ากับ 9.46 tonC/ha/yr แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มวลชีวภาพใต้พื้นดิน และผลผลิตเศษซากชีวมวล เท่ากับ 6.64, 0.42 และ 2.40 tonC/ha/yr มีการปลดปล่อยคาร์บอนจากการหายใจผิวดิน (R_s), การหายใจของจุลินทรีย์ (R_m) และ การหายใจของราก (R_r) เท่ากับ 8.16,

6.17 และ 1.99 tonC/ha/yr ตามลำดับ ขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มี NPP เท่ากับ 22.20 tonC/ha/yr แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มวลชีวภาพใต้พื้นดิน และผลผลิตเศษซากชีวมวล เท่ากับ 15.20, 2.21 และ 4.79 tonC/ha/yr ตามลำดับ มีการปลดปล่อยคาร์บอนจาก R_s , R_m และ R_r เท่ากับ 9.95, 8.05 และ 1.90 tonC/ha/yr ตามลำดับ ทั้งนี้ ป่าเต็งรังทุติยภูมิมีศักยภาพเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนสุทธิมากกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการตัดไม้ แต่อย่างไรก็ตาม ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพของพืชและคาร์บอนในดินของป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่าสูงกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ เนื่องจากป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ ป่าเต็งรังปฐมภูมิจึงถือเป็นแหล่งกักเก็บและสะสมคาร์บอนทางธรรมชาติที่สำคัญในระบบนิเวศป่าไม้

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการประเมินและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ทั้งการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอน รวมถึงปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 74.04 tonC/ha ส่วนป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 66.59 tonC/ha โดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิสูงกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ เนื่องจากในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ต้นไม้มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (DBH) เฉลี่ยมากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อีกทั้งในแปลงป่าเต็งรังปฐมภูมิ ต้นไม้ส่วนใหญ่มีขนาด DBH น้อยกว่า 10 cm (32 ต้น) ต้นไม้ขนาด DBH มากกว่า 10 cm จำนวน 16 ต้น และมีต้นไม้ขนาด DBH มากกว่า 30 cm จำนวน 4 ต้น บ่งชี้ว่าป่าปฐมภูมิแห่งนี้ยังมีกระบวนการทดแทนที่ เนื่องจากต้นไม้ส่วนใหญ่มีขนาด DBH เล็ก ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่⁽⁹⁶⁾ ส่งผลให้ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในป่าเต็งรังปฐมภูมิสูงกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ขณะที่การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.31 tonC/ha ส่วนป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.53 tonC/ha โดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดิน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากป่าเต็งรังทุติยภูมิ ต้นไม้อยู่ในช่วงกำลังเจริญเติบโต อีกทั้ง มีพื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นของต้นไม้ รวมทั้งจำนวนต้นไม้ในแปลงป่าเต็งรังทุติยภูมิมากกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ เมื่อคำนวณ

การกักเก็บคาร์บอนต่อพื้นที่ จึงส่งผลให้สัดส่วนของมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินในป่าเต็งรังทุติยภูมิสูงกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ นอกจากนี้ การกักเก็บคาร์บอนรวมในดินที่ระดับ 0-20 cm ของป่าเต็งรังปฐมภูมิมีค่าสูงกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการกักเก็บคาร์บอนสะสมในดินป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 15.91 ± 0.75 tonC/ha และ 5.67 ± 0.75 tonC/ha ตามลำดับ เนื่องจากป่าเต็งรังปฐมภูมิมีการสะสมของอินทรีย์วัตถุจากเศษซากชีวมวลที่ทับถมกันมาเป็นระยะเวลานานและมีการรบกวนจากทางธรรมชาติและมนุษย์น้อยกว่า ส่งผลให้การคงอยู่ของคาร์บอนในดินมีค่าสูงกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิอย่างชัดเจน

การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยด้วยวิธี soil core ที่ระดับความลึกของดิน 4 ระดับ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมในมวลชีวภาพของรากฝอยเท่ากับ 0.964 tonC/ha/yr ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมในมวลชีวภาพของรากฝอยเท่ากับ 1.253 tonC/ha/yr การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยในป่าทั้งสองแห่งลดลงเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น และในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ เนื่องจากดินชั้นบนมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนไนโตรเจน แร่ธาตุอื่น ๆ น้ำ และอากาศที่พืชต้องการสูงกว่าดินชั้นล่าง รวมถึงดินชั้นบนมีความหนาแน่นของดินต่ำกว่าดินชั้นล่าง ส่งผลให้ดินชั้นบนเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตรากฝอย และพบว่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอยสอดคล้องกับความชื้นในดินอย่างชัดเจน โดยช่วงที่ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น การกักเก็บคาร์บอนรวมรายเดือนจะลดลง และช่วงที่ความชื้นในดินลดลง การกักเก็บคาร์บอนรวมรายเดือนจะเพิ่มขึ้น และการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 2.40 tonC/ha/yr ส่วนในป่าเต็งรังทุติยภูมิมีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 4.79 tonC/ha/yr โดยการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ เนื่องจากในป่าเต็งรังปฐมภูมิมีความหนาแน่นของต้นไม้ในป่าน้อยกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ

ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของรากฝอย ที่ระดับความลึกของดิน 0-5 และ 5-10 cm ของป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และที่ระดับความลึกของดิน 15-20 cm มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวล ส่วนอื่น ๆ ของป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ

($p < 0.05$) และของป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

สำหรับการปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการหายใจผิวดิน ทั้งการหายใจของจุลินทรีย์และรากพืชในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซากชีวมวลของป่าทั้งสองแห่ง มีค่าเพิ่มขึ้นในทุก ๆ เดือน โดยป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีค่า k เฉลี่ยเท่ากับ 0.12 ต่อเดือน และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เฉลี่ยเท่ากับ 3.25 $\text{tonCO}_2/\text{ha/month}$ ขณะที่ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีค่า k เฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ต่อเดือน และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เฉลี่ยเท่ากับ 3.57 $\text{tonCO}_2/\text{ha/month}$ ทั้งนี้ ป่าเต็งรังปฐมภูมิมีค่า k ต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อัตราการย่อยสลายเศษซากชีวมวล และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ด้วย เนื่องจาก ถ้าค่า k ยิ่งมากแสดงถึงอัตราการย่อยสลายที่เร็วมากขึ้น และอัตราการย่อยสลายที่รวดเร็วจะส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่บรรยากาศที่รวดเร็วเช่นกัน⁽⁶⁾

การปลดปล่อยคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน แบ่งเป็น รายรอบวัน รายเดือน และระหว่างฤดูกาล โดยการเปลี่ยนแปลงรายรอบวันในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ช่วงฤดูแล้งและช่วงฤดูฝน ค่า CO_2 flux จาก R_s เฉลี่ยเท่ากับ 315.57 และ 449.04 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ ช่วงฤดูแล้งและช่วงฤดูฝน ค่า CO_2 flux จาก R_s เฉลี่ยเท่ากับ 217.36 และ 457.98 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ตามลำดับ โดย CO_2 flux จาก R_s ในป่าทั้งสองแห่ง ช่วงฤดูแล้งต่ำกว่าช่วงฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินช่วงฤดูแล้งสูงกว่าช่วงฤดูฝน และความชื้นในดินช่วงฤดูแล้งต่ำกว่าช่วงฤดูฝน การเปลี่ยนแปลงรายเดือน มีการเปลี่ยนแปลงตามความชื้นในดิน โดยในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มี CO_2 flux จาก R_s รายเดือน เฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 335.69 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ และในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มี CO_2 flux จาก R_s รายเดือน เฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 355.91 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$ ซึ่ง CO_2 flux จาก R_s รายเดือนในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ในระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก R_s สะสมเท่ากับ 3.14 kgCO_2/m^2 หรือเท่ากับ 0.86 kgC/m^2 ขณะที่ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก R_s สะสมเท่ากับ 3.80 kgCO_2/m^2 หรือเท่ากับ 1.04 kgC/m^2 และการเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูกาล ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ ช่วงฤดูแล้ง มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 41 และ 36 ของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ทั้งหมดจาก R_s และในช่วงฤดูฝนมี มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 59 และ 64 ของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจาก R_s ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบ CO_2 flux จาก R_s ช่วงฤดูแล้งและช่วงฤดูฝน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ พบว่า CO_2 flux จาก R_s ช่วงฤดูแล้งต่ำกว่าช่วงฤดูฝน และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในส่วนต่าง ๆ กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม พบว่า การปลดปล่อยคาร์บอนจากการย่อยสลายเศษซาก ชีวมวลในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าเต็งรังทั้งสองแห่ง มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม พบว่า การเปลี่ยนแปลงรายรอบวัน ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ ช่วงฤดูแล้ง CO_2 flux จาก R_s มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และช่วงฤดูฝน CO_2 flux จาก R_s มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขณะที่ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ช่วงฤดูแล้ง CO_2 flux จาก R_s มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และช่วงฤดูฝน CO_2 flux จาก R_s มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลักที่ขับเคลื่อน CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s คือ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน แต่ทั้งนี้ CO_2 flux รายรอบวัน จาก R_s สอดคล้องกับอุณหภูมิดินมากกว่าความชื้นในดิน ส่วน CO_2 flux รายเดือนและระหว่างฤดูกาล จาก R_s ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ และป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากประเมินการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอน และผลผลิตคาร์บอนสุทธิ (NEP) ในระบบนิเวศป่าไม้ทั้งสองแห่ง พบว่า การกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งหมดในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ เท่ากับ 80.37 และ 78.49 $tonC/ha$ ตามลำดับ โดยการกักเก็บคาร์บอนรวมในป่าเต็งรังปฐมภูมิมากกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ทั้งนี้ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีปริมาณผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (NPP) และการหายใจผิวดิน เท่ากับ 9.46 และ 8.16 $tonC/ha/yr$ และในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีปริมาณ NPP และการหายใจผิวดิน เท่ากับ 22.20 และ 9.95 $tonC/ha/yr$ เมื่อประเมินการผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ พบว่า ป่าทั้งสองแห่งจัดเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sinks) เนื่องจากมีค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิมากกว่าศูนย์ และมีการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าการปลดปล่อยคาร์บอน โดยที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิมีค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.29 และ 14.15 $tonC/ha/yr$ ตามลำดับ เนื่องจากป่าเต็งรังทุติยภูมิมี

พื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นของต้นไม้มากกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ เมื่อคำนวณการกักเก็บคาร์บอนต่อหน่วยพื้นที่ และต่อหน่วยเวลา ส่งผลให้สัดส่วนของการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังทุติยภูมิสูงกว่าป่าเต็งรังปฐมภูมิ รวมถึงป่าเต็งรังปฐมภูมิมีอัตราการสะสมคาร์บอน หรือปริมาณมวลชีวภาพเพิ่มพูนขึ้นน้อยกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ จึงส่งผลให้ NPP และ NEP ในป่าเต็งรังปฐมภูมิต่ำกว่าป่าเต็งรังทุติยภูมิ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยไปใช้

การประเมินและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ทั้งการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมินี้ สามารถใช้เป็นองค์ความรู้และข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนของประเทศ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการเชื่อมโยงการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในป่ากับข้อมูลทางเอเชีย สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนนโยบายการอนุรักษ์พื้นที่ป่าเพื่อเป็นพื้นที่สีเขียว และเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของประเทศไทยและทั่วโลก และเพิ่มกลุ่มเป้าหมายให้เกิดจิตสำนึกและเห็นคุณค่าในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ ในการลดผลกระทบและป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคต

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากการศึกษา ประเมินและเปรียบเทียบผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ทั้งการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ พบว่าในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ การหายใจผิวดิน และการหายใจของจุลินทรีย์ ช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2562 ที่ทำการตรวจวัดและประเมินได้มีค่าค่อนข้างสูง (Overestimate) เนื่องจากในช่วงเดือนนี้ได้เริ่มมีการใช้เทคนิค root extraction เพื่อแยกการหายใจของรากพืชออกจากการหายใจของจุลินทรีย์ และติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในดินมีกิจกรรมการย่อยสลายรากพืชที่ตายแล้ว และยังคงเหลืออยู่ในพื้นที่ศึกษาเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ ส่งผลให้ CO_2 flux จาก R_m เพิ่มขึ้น เมื่อทำการคำนวณ CO_2 flux จาก R_c ค่าจึงติดลบ รวมทั้งการศึกษาในลักษณะนี้ ควรมีการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบในระยะยาว เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของรากพืชในดินของพื้นที่ที่ทำ trenching และทราบถึงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ที่ชัดเจนมากขึ้น ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

บรรณานุกรม

1. จงรัก วัชรินทร์รัตน์. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก กับการพัฒนาและการใช้ประโยชน์ไม้ยืนต้น. วารสารแก่นเกษตร. 2554; 39(ฉบับพิเศษ 2): 27-30.
2. รัตนสุตา ชลธาตุ. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และแนวทางการแก้ไขปัญหา. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2558; 18: 416-31.
3. อำนาจ ชิดไธสง. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information) เล่ม 1 สภาพภูมิอากาศในอดีต. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2553.
4. IPCC. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report. Newyork2014.
5. WMO. WMO Provisional Statement on the State of the Global Climate 2017. Geneva, Switzerland2017.
6. พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ. การทบทวนวิธีการศึกษาผลผลิตและการย่อยสลายเศษซากชีวมวลในวัฏจักรคาร์บอนต่อการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเขตเส้นศูนย์สูตร. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 2557; 6: 134-46.
7. Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R. A large and persistent carbon sink in the world's forest. Science. 2011; 333: 988-93.
8. มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. สถานการณ์ป่าไม้ประเทศไทย 2559-2560. [อินเทอร์เน็ต] 2560; จาก <https://www.seub.or.th/document/>,
9. พัลลภ อินทะนิล. การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินในป่าเต็งรังภาคเหนือ ประเทศไทย [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)]. พะเยา: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพะเยา; 2560.
10. พชร อุปมัย. สมการแอลโลเมตรีสำหรับการตรวจติดตามมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นโกงกางใบใหญ่ที่ปลูกร่วมกับหัวเชื้อราอัดเม็ด [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ชีววิทยาประยุกต์)]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2559.
11. เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์, ศศิธร พ่วงปาน, พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์. ความสัมพันธ์เชิงแอลโลเม

ตรีสำหรับประมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือดินและใต้ดินของกล้าไม้วงศ์ยาง. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย. 2555; 4 (ฉบับพิเศษ): 37-46.

12. Nadelhoffer KJ, Reich JW. Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. *Ecology*. 1992; 73: 1139-47.

13. Shibata H., T. Hiura, Y. Tanaka, K. Takagi, T. Koike. Carbon cycling and budget in a forested basin of southwestern Hokkaido northern Japan. *Ecological Research*. 2005; 20: 325-31.

14. ธีรลักษณ์ เจริญพรภักดี. การสร้างรากฝอยในป่าชายเลนรุ่นสอง จังหวัดตราด [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (พฤกษศาสตร์)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2557.

15. พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. ผลผลิตและการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2538.

16. นิพิท ศรีสุวรรณ. โครงสร้างผลผลิตจากการร่วงหล่นของซากพืชและการผุสลายของใบไม้ในป่าไม้ฝาดดอกขาว ทะเลสาบสงขลา [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (การจัดการสิ่งแวดล้อม)]. สงขลา: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2542.

17. Mason C.F. *Decomposition*. London: Edward Arnold; 1967.

18. นรารัตน์ พัฒนสิงห์. ผลผลิตชีวมวล ปริมาณการร่วงหล่นและการสลายตัวของซากพืชในป่าชายเลนชุมชนบ้านเปร็ด จังหวัดตราด [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีวนวัฒน)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2555.

19. Anderson J.M., Swift M.J. *Decomposition in tropical forest*. Sutton, SL, Whitmore, TC, Chadwick, AC (Eds), Tropical Rain Forest Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1983; 2: 287-309.

20. Yiqi I, Xohui Z. *Soil Respiration and the Environment*. Academic Press; 2006.

21. สำเริง ปานอุทัย, สิริรัตน์ จันทรมหเสถียร, ชิงชัย วิริยะบัญชา, ภาณุมาศ ลาตปาละ, ธิดิ วิสารัตน์, สาทิศ ดิลกสัมพันธ์, et al. ศักยภาพของป่าอนุรักษ์และป่าเศรษฐกิจในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. การประชุมทางวิชาการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 2; กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2552. p. 377-83.

22. วิเชียร สุมนต์กุล, ชิงชัย วิริยะบัญชา. การศึกษาผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ ของส่วนป่าไม้สัก และสวนป่าไม้โตเร็วบางชนิดเพื่อการอนุรักษ์อย่างยั่งยืน. สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช 2550.

23. คณะกรรมาธิการแม่น้ำโขง. อภิธานศัพท์และคำนิยามเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการปรับตัว. 2556; จาก <http://www.mrcmekong.org/assets/Publications/glossaries/Glossary-of-Terms-n-Definitions-on-CCA-Thai-16072013.pdf>

24. ส่วนสิ่งแวดล้อมป่าไม้. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเรดด์พลัส. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช; 2555.

25. ธนาคารพัฒนาเอเซีย. เศรษฐศาสตร์ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ : ภาพรวมของภูมิภาค. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานผู้แทนประจำประเทศไทย ธนาคารพัฒนาเอเซีย; 2552.

26. กิตติมา ศิวาทิตยกุล. ศึกษาการสะสมคาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ปลูกหญ้าแฝกบางพันธุ์ กรณีศึกษา : จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. งานวิจัยเพื่อขอดำรงตำแหน่ง (นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ). กรุงเทพมหานคร 2554.

27. Encyclopedia Britannica I. Carbon cycle. [Internet] 2008; จาก <https://www.britannica.com/science/carbon-cycle>

28. สมชัย เบญจชัย. ต้นไม้ ป่าไม้กับการกักเก็บคาร์บอน. [อินเทอร์เน็ต] 2558; จาก <https://www.citizenthaipbs.net/node/4965>

29. National Oceanic, Atmospheric Administration. Carbon Cycle Science. [Internet] 2017; จาก <https://www.esrl.noaa.gov/research/themes/carbon/>

30. อัสมน ลิ้มสกุล, สุนทร งดงาม, นันทิธีรา ศรีบุรินทร์, ภาฤทธิดา สุวรรณ, รัชนิกร ไพศาล. การพัฒนาวิธีการประเมินการกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนของต้นไม้และป่านิเวศ ภายใต้โครงการพัฒนาเครื่องมือ/วิธีการประเมินกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน. ปทุมธานี 2561.

31. Whittaker RH, Woodwell GH. Measurement of Net Primary Production of Forest. Paris: UNESCO; 1971.

32. สาทิศ ดิลกสัมพันธ์. การกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้กับภาวะโลกร้อน. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 2550; 22(3): 40-9.

33. นวลปราง นวลอุไร. การเปรียบเทียบค่าดัชนี พื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าไม้จากการสำรวจด้านป่าไม้ และการรับรู้จากระยะไกล

บริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สัตววิทยา)]. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2548.

34. สรญา จำปานิล, นันทนา คัชเสนี. การประเมินการกักเก็บคาร์บอน ผลผลิตและการย่อยสลายของเศษซากพืชในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ; 16-17 สิงหาคม 2547; กรุงเทพมหานคร: : กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช; 2547.

35. อภิญา อาคมานุวัตร. การประเมินการสะสมและอัตราการย่อยสลายชีวมวลในป่าเต็งรัง ทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี [วิทยานิพนธ์ วท.บ. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2560.

36. Vogt K, Vogt D, Bloomfield J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil*. 1998; 200: 71-89.

37. Jackson RB, Mooney HA, Schulze ED. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1997; 94: 7362-6.

38. Moreno-Chacón M, Lusk C. Vertical distribution of fine root biomass of emergent *Nothofagus dombeyi* and its canopy associates in a Chilean temperate rainforest. *Forest Ecology and Management* 2004; 199(2).

39. Burke MK, Raynal DJ. Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil* 1994; 162: 135-46.

40. Moroni MT, Worledge D, Beadle CL. Root distribution of *Eucalyptus nitens* and globulus in irrigated and droughted soil. *Forest Ecology and Management*. 2003; 177: 399-407.

41. Kira T, Ogawa, Yoda, H. K., Ogino K. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. VI. Dry matter production with spacial reference to the Khao Chong rain forest. *Nature and Life in Southeast Asia*. 1967; 5: 149-74.

42. Bray JR, Gorham E. Litter production in forest of the world. *Adv Eco*. 1964; 2: 101-57.

43. ประพันธ์ สัมพันธ์พานิช, มณฑล จำเริญพฤษ. ลักษณะโครงสร้าง ปริมาณการร่วงหล่น และอัตราการย่อยสลายของซากพืชในระบบวนเกษตรแบบสวนบ้าน บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี [วิทยานิพนธ์ คณะวนศาสตร์ (ศูนย์วิจัยป่าไม้)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2537.
44. ธิติ วิสารัตน์, ชลธิดา เชิญขุนทด. ผลผลิตของซากพืชปีที่ 2 ในป่าดิบแล้งสะแกราช. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2540. กรุงเทพมหานคร 2540.
45. ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสวรรณ, สาทิศ ดิลกสัมพันธ์, ดุริยะ สถาพร, เจตน์ รัตนแก้ว. การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บางชนิดที่ปลูก ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร. 2549: สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2562, จาก http://frc.forest.ku.ac.th/frcdatabase/bulletin/ws_document/R195301.pdf
46. วสันต์ จันทร์แดง. การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรัง และสวนป่ายูคาลิปตัส บริเวณสวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีวนวัฒน์)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2553.
47. สราวุธ บุญยะเวชชีวิน, ธนิตย์ หนูยิ้ม. ผลผลิตซากพืช และปริมาณธาตุอาหารในซากพืชของป่าพรุโต๊ะแดง จังหวัดนราธิวาส. รายงานวนศาสตร์วิจัย. 2539; 5: 37-47.
48. Tsutsumi T, Yoda K, Sahunlu P, Dhanmanonda P, Prachaiyo B. Forest: burning and dregeneration. A report of a cooperative research between Thai-Japanese University.1983.
49. ศิริวัฒน์ เผ่าวงศา. การร่วงหล่นและปริมาณธาตุอาหารของซากพืชในป่าเต็งรัง [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2519.
50. Aksonkoe S, Khemnark C, editors. Nutrient cycling in mangrove forest in Thailand. Asian Symposium on Mangrove Environment Research and Management; 1984; Kuala Lumpur: University of Malaya.
51. Waring RH, Schlesinger WH. Forest Ecosystems: Concept and Management. Orlando, Florida: Academic Press, Inc.; 1985.
52. Frankenberger WT, Abdelmagid HM. Kinetics parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporates into soil. Plant and Soil. 1985; 87: 257-71.
53. ภาณุมาศ ลาดपालะ. ผลผลิตซากพืชของป่าเบญจพรรณ สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง. ใน รวม

ผลงานวิจัยการศึกษาวงจรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่า และพันธุ์พืช 2549.

54. Taylor BR, Parkinson D, Parsons WFJ. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: A microcosm test. *Ecology*. 1989; 70(1): 97-104.

55. Landsberg JJ, Gower ST. *Applications of Physiological Ecology to Forest Management*. New York: Academic Press; 1997.

56. สำเริง ปานอุทัย, สิทธิรัตน์ จันทรมหาเสถียร, สาทิศ ดิลกสัมพันธ์. การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของป่าดิบแล้งสะแกราช และป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ “ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต”; 4-5 สิงหาคม 2548; กรุงเทพมหานคร 2548. p. 345-50.

57. Hanpattanakit P, Monique YL, Andrew MSM, Limtong P. Multiple timescale variations and controls of soil respiration in a tropical dry dipterocarp forest, western Thailand. *Plant and Soil*. 2015; 390: 167-81.

58. วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์. ปัจจัยการควบคุมการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดิน ในป่าเต็งรังห้วยดุม จังหวัดราชบุรี [ปริญญานิพนธ์ วท.บ. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2560.

59. Bulsathaporn A, Suekhum D, Hanpattanakit P, Sanwangsri M. Soil CO₂ emissions measured by closed chamber and soil gradient methods in dry dipterocarp forest and sweet sorghum plots. *Science Asia* 2018; 44: 1-10.

60. Tang X. Soil respiration and net ecosystem production in relation to intensive management in Moso bamboo forests. *Catena*. 2016; 137: 219-28.

61. Wang C. Soil respiration in six temperate forests in China. *Global Change Biology*. 2006; 12(11): 2103-14.

62. Yuste JC, Nagy M, Janssens IA, Carrara A. Soil respiration in a mixed temperate forest and its contribution to total ecosystem respiration. *Tree Physiology* 2004; 25: 609–19.

63. Chang S-C, Tseng K-H, Hsia Y-J, Wang C-P, Wu J-T. Soil respiration in a subtropical montane cloud forest in Taiwan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2008;

148: 788-98.

64. Hashimoto S, Tanaka N, Suzuki M, Inoue A. Soil respiration and soil CO₂ concentration in a tropical forest, Thailand. *Journal of Forest Research*. 2004; 9: 75–9.
65. ศาพิศ ดิลกสัมพันธ, ธิติ วิสารัตน์, สำเริง ปานอุทัย, ภาณุมาศ ลาดปลาชะ, สิทธิรัตน์ จันทรมหเสถียร, ศุภรัตน์ สำราญ. วัฏจักรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ “ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต”; 4-5 สิงหาคม 2548; กรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร 2548. p. 77-94.
66. Wiriyaatangsakul S, Chidthaisong A, Tripetchkul S, Limtong P. Effects of Moisture and Temperature on Respiration in Tropical Forest and Agricultural Soils. *Kasetsart*. 2006; 40: 395-409.
67. Dorji K. The effect of soil water content and temperature on tropical soil respiration [Master Thesis, M.Sc.]. Nakhonratchasima: Suranaree University of Technology; 2010.
68. สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2548.
69. Hanpattanakit P, Panuthai S, Chidthaisong A. Temperature and Moisture Controls of Soil Respiration in a Dry Dipterocarp Forest Ratchaburi Province. *Kasetsart Journal-Natural Science*. 2009; 43: 650–61.
70. Zeng X, Zhang W, Shen H, Cao J. Soil respiration response in different vegetation types at Mount Taihang, China. *Catena*. 2014; 116: 78–85.
71. Jiang L, Shi F, Li B, Luo Y. Separating rhizosphere respiration from total soil respiration in two larch plantations in northeastern China. *Tree Physiology*. 2005; 25: 1187–95.
72. Borken W, Jun Xu Y, Brumme R, Lamersdorf N. A Climate Change Scenario for Carbon Dioxide and Dissolved Organic Carbon Fluxes from a Temperate Forest Soil. *Soil Science Society of America*. 1999; 63(6): 1848-55.
73. Hanpattanakit P. Temporal Variations of Soil Respiration in A Dry Dipterocarp Forest. [Dissertation Ph.D. (Environmental Technology)]. Bangkok: The Joint Graduate School of Energy and Environment at King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2013.

74. Kowalenko C, Ivarson KC, Cameron R. Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 1978; 10(5): 417-23.
75. โอบาส วงศ์ทางประเสริฐ. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน: กรณีศึกษาพื้นที่เพาะปลูกข้าวในจังหวัดฉะเชิงเทรา และชลบุรี [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)]. ชลบุรี: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา; 2558.
76. Tan KH. Soil sampling, preparation, and analysis, Measurement of field capacity water. Marcel Dekker. 1996: 67–8.
77. พงศ์เทพ สุวรรณวารี, พัฒนา สมนิยาม, วารินทร์ บุญเยี่ยม, ศราวี อรุณ. การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน และความหลากหลายของกิ่งกือ และไส้เดือน ในพื้นที่ปลูกพันธุ์กรรมพืช อพ.สธ. เชื้อนน้ำพุ จังหวัดสกลนคร. รายงานการวิจัย. 2555.
78. กรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน; 2547.
79. Sainju UM. Soil total carbon and nitrogen and crop yields after eight years of tillage, crop rotation, and cultural practice. *Heliyon*. 2017; 3(12).
80. อรรถธรณ์ คุนเจริญ นาวายุทธ. ป่าเขตร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โครงการจัดพิมพ์คบไฟ; 2545.
81. นิวัติ เรืองพานิช. ป่าและการป่าไม้ในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2556.
82. สมศักดิ์ ศรีสันติสุข. สังคมไทยแนวทางวิจัยและพัฒนา. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2525.
83. สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช. สภาพทั่วไปของสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช. [อินเทอร์เน็ต] 2561; จาก <https://www.tistr.or.th/sakaerat/>
84. วรพันธ์ สนกันหา, สมชัย อนุสนธิพรเพิ่ม, ศุภิมา ธนะจิตต์, เฉิบ เขียววันมณ, ทักษิณ อาชวาคม. ลักษณะดินภายใต้ป่าต่างชนิดบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช. *แก่นเกษตร*. 2555; 40: 7-18.
85. ปณิดา กาจันะ. การเปรียบเทียบสังคมพืชและลักษณะเชิงหน้าที่ของพืชบางประการ ในพื้นที่ป่าธรรมชาติและป่าทดแทนบริเวณป่าเต็งรัง สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัด

- นครราชสีมา. วาสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย. 2561; 2(2): 11-7.
86. สำนักงานสถิติจังหวัดราชบุรี. สถิติอุตุนิยมวิทยา. [อินเทอร์เน็ต] 2560; จาก <http://ratburi.nso.go.th/>
87. Phianchroen M, Duandphakdee O, VChanchae P, Longkonthean T, Sawatdee R, Sawatpon P, et al. Instruction of plant in dry dipterocarp forest at king Mongkut's university of technology thonburi at Ratchaburi campus. King Mongkut's university of technology thonburi, Thailand. 2008.
88. ดวงแก้ว พันธุ์นิตย. ประวัติจังหวัดราชบุรี. [อินเทอร์เน็ต] 2561; จาก <https://sites.google.com/site/52011011428inetg17/prawati-swn-taw>
89. Ogawa H, Yoda K, Ogino K, Kira T. Comparative ecological study on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. Nature and Life in Southeast Asia. 1965; 4: 49-80.
90. Hanpattanakit P, Chidthaisong A, Sanwangsri M, Lichaikul N. Improving Allometric Equations to Estimate Biomass and Carbon in Secondary Dry Dipterocarp Forest. Singapore SG Mar 03-04. 2016; 18(3): 208-2011.
91. Tang J, Baldocchi DD, Qi Y, Xu L. Assessing soil CO₂ efflux using continuous measurements of CO₂ profiles in soils with small solid-state sensors. Agricultural and Forest Meteorology. 2003; 118: 207–20.
92. Xiaobing L., Yunxiao Bai, Wanyu Wen, Hong Wang, Ruihua Li, Guoqing Li, et al. Effects of grassland degradation and precipitation on carbon storage distributions in a semi-arid temperate grassland of inner Mongolia Acta Oecologica. 2017; 85: 44-52.
93. วันรพี สุวรรณประภา. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินและคาร์บอนอินทรีย์กับเมื่อดินเสถียรน้ำในดินป่าไม้ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2557.
94. กรรณิการ์ ถูกขุนทด, ปิ่นหทัย เขียวเจริญ, พณปัส เกิดแสง. การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี [ปริญญานิพนธ์ วท.บ. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร)]. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2561.
95. Kang MN, Benjamin LT, Helene CM-L, Stuart JD, Markku L, Nik Faizu bNH, et al.

Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Singapore. *Forest Ecology and Management*. 2013; 296: 81-9.

96. ชิงชัย วิริยะบัญชา. คู่มือการประมาณมวลชีวภาพของหมูไม้. กรุงเทพมหานคร: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช; 2546.

97. พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา, พัทธิธรา เพชรทองเกลี้ยง, ชุตานา คุณสุข. การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ยืนต้น ในพื้นที่ปกปักษ์รักษากรมมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*. 2561; 12(3): 190-200.

98. นาฏสุตา ภูมิจำนงค์. ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในราก และคาร์บอนในดินของสวนป่าไม้สัก. *Environmental and natural Resources*. 2550; 5(1-2): 109-21.

99. Antonio M, R. Kasten D, Mattia T, Elisabetta O, Gabriella SS, Donato C. Seasonality of fine root dynamics and activity of root and shoot vascular cambium in a *Quercus ilex* L. forest (Italy). *Forest Ecology and Management*. 2019; 431: 26-34.

100. สรณยา จำปานิล. การเปรียบเทียบผลผลิตและการย่อยสลายของเศษซากพืช เพื่อประเมินการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สัตววิทยา ภาควิชาชีววิทยา)]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2547.

101. Yuan ZY, Chen H. Fine Root Biomass, Production, Turnover Rates, and Nutrient Contents in Boreal Forest Ecosystems in Relation to Species, Climate, Fertility, and Stand Age: Literature Review and Meta-Analysis. *Plant Sciences*. 2010; 29: 204-21.

102. Hanpattanakit P. In situ measurement of CO₂ emission from root and soil respiration in dry dipterocarp forest. [Dissertation M.S. (Environmental Technology)]. Bangkok: The Joint Graduate School of Energy and Environmental at King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2008.

103. Lee M, Kakine L, Nakatsubo T. Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest. *Plant and Soil*. 2003; 255: 311-8.

104. Shoji H, et al. Soil respiration and Soil CO₂ concentration in a tropical forest, Thailand. *Journal of Forest Research*. 2004; 9: 75-9.

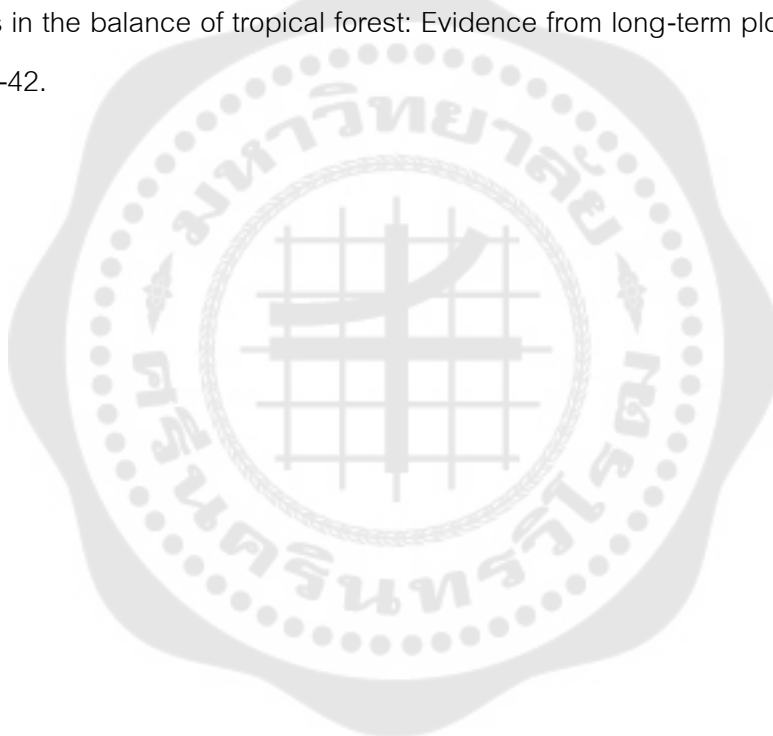
105. Broken W, et al. A Climate Change Scenario for Carbon Dioxide and Dissolved Organic Carbon Fluxes from a Temperate Forest Soil. *Soil Science Society of America*.

1999; 63(6): 1848-55.

106. Tsuyoshi Y, Hiromi M, Yoshihiko U-T, Kaoru N, Tamotsu S, Yoshiko K, et al. 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. *Tropic*. 2016; 25(1): 1-12.

107. Kudeyarov VN, Nurganova IN. Carbon dioxide emissions and net primary production of Russian terrestrial. *Biol Fertil Soils*. 1998; 27: 246-50.

108. Phillips OL, Malh Y, Higuchi N, Laurance WF, Nunez V, Vasquez RM, et al. Changes in the balance of tropical forest: Evidence from long-term plots. *Sciencd*. 1998; 282: 439-42.





ภาคผนวก

ประมวลภาพการดำเนินงานวิจัย



ภาพประกอบ 50 พื้นที่ศึกษาในป่าเต็งรังปฐมภูมิ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช
จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 51 พื้นที่ศึกษาในป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วิทยาเขตราชบุรี จังหวัดราชบุรี



ภาพประกอบ 52 การวางแปลงในพื้นที่ศึกษา



ภาพประกอบ 53 การชุดรื้อรอบ ๆ พื้นที่ศึกษา เพื่อแยกรากและเป็นแนวป้องกันการรุกของรากพืช
หรือเรียกว่า วิธี trenching ในพื้นที่ป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 54 การวางแผนยิปซัม และกลบหลุม trenching



ภาพประกอบ 55 การตรวจวัดความสูงและเส้นรอบวงของต้นไม้ เพื่อประมาณค่ามวลชีวภาพของ
ต้นไม้ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและหุติยภูมิ



ภาพประกอบ 56 การเก็บตัวอย่างดิน และตัวอย่างรากฝอยเพื่อประเมินมวลชีวภาพของรากฝอย
ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ



ภาพประกอบ 57 การติดตั้งอุปกรณ์ การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างผลผลิตเศษซาก
ชีวมวล ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิและทุติยภูมิ



ภาพประกอบ 58 การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างการย่อยสลายเศษซากชีวมวล
ในป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิ



ภาพประกอบ 59 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide probe รุ่น GMP343) ในป่าเต็งรังปฐุมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา



ภาพประกอบ 60 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในดิน



ภาพประกอบ 61 ตัวอย่างดินและ pH meter สำหรับการตรวจวัดความหนาแน่นรวม และค่าความเป็นกรด-ด่าง



ภาพประกอบ 62 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจน ด้วยเครื่อง CHN analyzer รุ่น 628

ข้อมูลเพิ่มเติม

ตาราง 22 ค่าสัดส่วนคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyzer ในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	คาร์บอน (%)	ไฮโดรเจน (%)	ไนโตรเจน (%)
สารมาตรฐาน	1	0.2016	41.01	5.38	9.54
สารมาตรฐาน	2	0.2008	40.96	5.57	9.56
สารมาตรฐาน	3	0.2006	41.00	5.57	9.57
ดิน ปฐุมภูมิ 0-5 cm	1	0.2000	1.53	0.57	0.14
ดิน ปฐุมภูมิ 0-5 cm	2	0.2014	1.58	0.47	0.12
ดิน ปฐุมภูมิ 5-10 cm	1	0.2004	1.30	0.45	0.12
ดิน ปฐุมภูมิ 5-10 cm	2	0.2023	1.36	0.45	0.11
ดิน ปฐุมภูมิ 10-15 cm	1	0.2026	1.40	0.46	0.10
ดิน ปฐุมภูมิ 10-15 cm	2	0.2012	1.28	0.46	0.10
ดิน ปฐุมภูมิ 15-20 cm	1	0.2008	1.11	0.44	0.10
ดิน ปฐุมภูมิ 15-20 cm	2	0.2029	1.23	0.47	0.10
ดิน ทุติยภูมิ 0-5 cm	1	0.2007	0.37	0.21	0.04
ดิน ทุติยภูมิ 0-5 cm	2	0.2020	0.39	0.19	0.05
ดิน ทุติยภูมิ 5-10 cm	1	0.2007	0.26	0.19	0.03
ดิน ทุติยภูมิ 5-10 cm	2	0.2010	0.28	0.19	0.03
ดิน ทุติยภูมิ 10-15 cm	1	0.2012	0.24	0.18	0.03
ดิน ทุติยภูมิ 10-15 cm	2	0.2000	0.24	0.19	0.03
ดิน ทุติยภูมิ 16-20 cm	1	0.2015	0.20	0.18	0.03
ดิน ทุติยภูมิ 16-20 cm	2	0.2023	0.21	0.18	0.02

ตาราง 23 ค่าสัดส่วนคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyzer ในส่วนต่าง ๆ ของพืช

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	คาร์บอน (%)	ไฮโดรเจน (%)	ไนโตรเจน (%)
สารมาตรฐาน	4	0.20	40.86	5.42	11.72
สารมาตรฐาน	5	0.20	40.96	5.39	11.70
สารมาตรฐาน	6	0.20	41.15	5.42	11.68
ใบ ปฐมภูมิ	1	0.1012	45.62	6.18	0.86
ใบ ปฐมภูมิ	2	0.1008	45.76	6.39	0.86
กิ่ง ปฐมภูมิ	1	0.1011	43.30	6.11	0.33
กิ่ง ปฐมภูมิ	2	0.1011	43.45	6.12	0.31
รากฝอย ปฐมภูมิ	1	0.0501	31.77	4.83	1.07
รากฝอย ปฐมภูมิ	2	0.0507	31.37	4.60	1.06
อื่นๆ ปฐมภูมิ	1	0.20	45.64	6.12	1.43
อื่นๆ ปฐมภูมิ	2	0.20	45.90	6.16	1.43
ใบ ทุตติยภูมิ	1	0.1009	46.07	6.14	0.56
ใบ ทุตติยภูมิ	2	0.1008	45.47	6.09	0.58
กิ่ง ทุตติยภูมิ	1	0.1009	44.35	5.89	0.54
กิ่ง ทุตติยภูมิ	2	0.1014	44.77	5.92	0.55
รากฝอย ทุตติยภูมิ	1	0.1010	37.81	4.54	0.60
รากฝอย ทุตติยภูมิ	2	0.1013	40.23	4.92	0.65
อื่นๆ ทุตติยภูมิ	1	0.20	47.12	6.01	1.08
อื่นๆ ทุตติยภูมิ	2	0.20	47.57	6.06	1.08

ตาราง 24 น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน เพื่อดำหนดความหนาแน่นรวม ในป่าเต็งรังปทุมภูมิ

ระดับความลึกของดิน แปลงและหลุม		น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน (g)			
		0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm
1	1	72.96	50.62	54.93	61.98
	2	73.04	100.83	64.26	81.32
	3	40.80	43.46	46.04	56.37
	4	40.53	60.70	58.25	70.94
	5	54.38	75.09	106.26	102.88
2	1	41.27	50.43	41.56	47.61
	2	88.05	63.59	53.50	61.25
	3	46.94	42.40	47.31	50.33
	4	41.43	48.82	85.96	68.89
	5	44.52	52.63	69.64	54.83
3	1	43.66	50.84	31.60	63.10
	2	44.61	30.43	41.96	48.70
	3	52.11	26.00	40.94	47.68
	4	58.37	66.01	55.50	58.18
	5	46.60	78.98	69.91	56.83
4	1	46.66	65.78	75.21	72.62
	2	41.28	51.84	40.44	35.82
	3	57.45	57.76	75.53	72.07
	4	86.23	73.75	66.08	54.87
	5	62.27	58.45	57.06	77.25

ตาราง 25 น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน เพื่อดำหนดความหนาแน่นรวม ในป่าเต็งรังอุทยาน

ระดับความลึกของดิน แปลงและหลุม		น้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน (g)			
		0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm
1	1	85.55	81.65	77.05	94.93
	2	82.29	69.44	90.13	104.60
	3	63.44	67.28	79.68	101.58
	4	95.44	78.10	67.55	116.73
	5	87.68	80.73	86.17	91.66
2	1	109.24	65.83	139.75	111.65
	2	134.08	93.04	149.06	78.27
	3	90.75	59.64	73.13	94.15
	4	103.67	95.94	73.22	120.35
	5	82.19	69.39	74.10	86.79
3	1	104.43	95.01	78.31	118.09
	2	86.84	104.32	116.30	100.91
	3	142.06	138.02	103.50	116.64
	4	99.71	102.10	130.35	131.11
	5	125.48	100.74	93.24	123.11
4	1	104.75	109.51	117.52	83.62
	2	108.83	87.80	134.27	104.01
	3	127.83	123.85	134.60	132.35
	4	108.18	128.39	119.03	139.03
	5	114.02	121.92	90.90	156.76

ตาราง 26 ชื่อพันธุ์ไม้ที่พบในแปลงทดลอง ป่าเต็งรังปฐมภูมิ

ชื่อพื้นเมือง	จำนวน ต้น	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์
เต็ง	1	<i>Shorea obtusa</i> Wall.	DIPTEROCARPACEAE
รัง	1	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	DIPTEROCARPACEAE
ยางกราด	2	<i>Dipterocarpus intricatus</i> Dyer	DIPTEROCARPACEAE
แดง	5	<i>Xylia xylocarpa</i> Taub. var. <i>Kerrii</i> Nielsen	FABACEAE
กางขี้มอด	3	<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.	FABACEAE
ประดู่ป่า	4	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	FABACEAE
หมักม่อ	21	<i>Rothmannia wittii</i> (Craib) Bremek.	RUBIACEAE
ยมหิน	6	<i>Chukrasia tabularis</i> A. Juss.	MELIACEAE
กาสามปึก	3	<i>Vitex peduncularis</i> Wall. ex Schauer	LAMIACEAE
คำพอก (คำรอก)	2	<i>Ellipanthus tomentosus</i> Kuze var. <i>tomentosus</i>	CONNARACEAE
มะกอกเกลื่อน	1	<i>Canarium subulatum</i> Guill.	BURSERACEAE
ตัวแดง	1	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack.) Dyer subsp. <i>Pruniflorum</i> Gogel.	CLUSIACEAE
คำมอกหลวง	1	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	RUBIACEAE
พลับพลา (มะก้อม)	1	<i>Microcos paniculata</i> Linn.	TILIACEAE

ตาราง 27 ชื่อพันธุ์ไม้ที่พบในแปลงทดลอง ป่าเต็งรังทุติยภูมิ

ชื่อพื้นเมือง	จำนวน ต้น	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์
เหียง	10	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.	DIPTEROCARPACEAE
เต็ง	7	<i>Shorea obtusa</i> Wall.	DIPTEROCARPACEAE
รัง	9	<i>Shorea siamensis</i> Miq.	DIPTEROCARPACEAE
พะยอม	9	<i>Shorea roxburghii</i> G.Don	DIPTEROCARPACEAE
มะค่าแต้	11	<i>Sindora siamensis</i> Teijsm.ex Miq.	CAESALPINIACEAE
เปล้าใหญ่	2	<i>Croton oblongifolius</i> Roxb.	EUPHORBIACEAE

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์
วัน เดือน ปี เกิด	24 พฤษภาคม 2538
สถานที่เกิด	จังหวัดนครนายก
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2560 ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 1) สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	419/373 หมู่บ้านสยามนิเวศน์ หมู่ที่ 10 ตำบลในคลองบางปลากด อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ 10290
ผลงานตีพิมพ์	Wittanan Tammadid, Phuvasa Chanonmuang, Jumlong Plagsanoi, Supika Vanitchang, Amnat Chidthaisong and Phongthep Hanpattanakit. (2020). Partitioning of Soil Respiration in Primary Dry Dipterocarp Forest at Nakhon Ratchasima Province, Thailand. Oral presentation in 9th International Conference on Environmental Engineering, Science and Management, May 27-29, 2020, The Heritage Chiang Rai, Thailand. วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์ บัณฑิตา สังขะไชย ศุภิกา วานิชชัง ภูวษา ชานนท์เมือง จำลอง แผลกสรระน้อย อำนาจ ชิดไธสง พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ. (2020). การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการ หายใจผิวดิน ในระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่า เต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี. การนำเสนอผลงานวิจัยด้วยวาจา ในการ ประชุมวิชาการระดับชาติ “มศว วิจัย” ครั้งที่ 13 วันที่ 25-26 มีนาคม 2563 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. Phongthep Hanpattanakit, Wittanan Tammadid, and Amnat Chidthaisong. (2019). Contribution of microbial and root respiration to soil respiration in dry dipterocarp forest, Thailand. Oral presentation in International Symposium on Fundamental and

Applied Sciences (ISFAS2019). January 22-24, 2019 at Hokkaido, Japan.

Wittanan Tammadid, Amnat Chidthaisong, and Phongthep Hanpattanakit. (2018). Controlling Factors of Soil Respiration in Secondary Dry Dipterocarp Forest, Western Thailand. Poster Presentation, The 5th Thaiflux Meeting Series 2018, 4 May 2018, University of Phayao, Thailand.

