การตอบสนองของพลวัตรากฝอยและดัชนีสีทรงพุ่มในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

RESPONSES OF FINE ROOT DYNAMIC AND CANOPY COLOR INDEXIN IN SECONDARY DRY DIPTEROCARP FOREST, RATCHABURI PROVINCE

มัชฉิมา คำแก้ว

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

การตอบสนองของพลวัตรากฝอยและดัชนีสีทรงพุ่มในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

มัชฌิมา คำแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

RESPONSES OF FINE ROOT DYNAMIC AND CANOPY COLOR INDEXIN IN SECONDARY DRY DIPTEROCARP FOREST, RATCHABURI PROVINCE

MUTCHIMA KUMKEAW

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Environmental Technology & Resources Management)

Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การตอบสนองของพลวัตรากฝอยและดัชนีสีทรงพุ่มในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

ของ

มัชฌิมา คำแก้ว

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ชิดไธสง)

..... ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.มนตรี แสนวังสี)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศุภิกา วานิชชัง)

ชื่อเรื่อง	การตอบสนองของพลวัตรากฝอยและดัชนีสีทรงพุ่มในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี
ผู้วิจัย	มัชฌิมา คำแก้ว
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. มนตรี แสนวังสี

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการสรีรวิทยาของต้นไม้เนื่องจากต้นไม้จำเป็นที่จะต้องปรับตัวเพื่อมีชีวิตรอดภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ ด้วยเหตุนี้ การศึกษาการปรับตัวของระบบนิเวศป่าเต็งรังที่เกิดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญในการอธิบายการตอบสนองของระบบนิเวศป่าไม้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณและพลวัตของรากฝอยที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของป่าไม้และศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการควบคุมการตอบสนองของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี โดยการเก็บตัวอย่างรากฝอยด้วยเทคนิค soil core และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Image J ขณะที่ภาพถ่ายชั้นเรือนยอดเก็บข้อมูลด้วยกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่บนหอคอยวัดก๊าซที่ระดับความสูง 10 เมตรและวิเคราะห์ด้วยด้วยโปรแกรม Image J ผลการศึกษาพบว่า ความยาวของรากฝอยที่มีชีวิต (life root) มีค่าสูงสุดช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2564 เท่ากับ 306.05 m m^{-2} และต่ำสุดเดือนกันยายน พ.ศ.2564 เท่ากับ 56.30 m m^{-2} และความยาวของรากฝอยที่ไม่มีชีวิต (alife root) มีค่าสูงสุดช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2565 เท่ากับ 362.64 m m^{-2} และต่ำสุดช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2565 เท่ากับ 172.47 m m^{-2} โดยความยาวรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิตในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากฝอยที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ดัชนีพืชพรรณมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 31.24±14.49 .โดยมีค่าสูงสุด เท่ากับ 81.61 ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และมีค่าต่ำสุด เท่ากับ -6.18 ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 โดยมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ ต้นไม้มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงและมีความชื้นในดินต่ำ ส่งผลให้รากฝอยมีการยืดและแผ่ขยายเพื่อหาน้ำและอาหารตลอดจนการผลัดใบของต้นไม้เพื่อลดการคายน้ำของต้นไม้ในป่าเต็งรัง ด้วยเหตุนี้ การตอบสนองของรากฝอยและดัชนีพืชพรรณเป็นรูปแบบการตอบสนองของการปรับตัวที่สำคัญของต้นไม้ในป่าเต็งรัง เมื่อสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาลหรือหากมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้

คำสำคัญ : ชีพลักษณ์, ดัชนีพืชพรรณ, พลวัตรากฝอย, กล้องโทรศัพท์มือถือ

Title	RESPONSES OF FINE ROOT DYNAMIC AND CANOPY COLOR INDEXIN IN SECONDARY DRY DIPTEROCARP FOREST, RATCHABURI PROVINCE
Author	MUTCHIMA KUMKEAW
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Phongthep Hanpattanakit
Co Advisor	Montri Sanwangsri

Global climate change affects the growth and physiological processes of trees because trees need to adapt to survive under unsuitable conditions. For this reason, studying the adaptation of dry dipterocarp forest (DDF) to the effects of climate change is important in order to explain forest ecosystem responses. The purpose of this research was to study the changes in green excess index (GEI) and fine root dynamics in response to forest seasonal changes and to study the relationship of environmental factors affecting the control of tree responses in the secondary DDF in Ratchaburi Province. The method used was collecting capillary root samples from the soil core and the root length was analyzed using the Image J program. The data from the photographs of the forest canopy were collected using a mobile phone camera on the tower at a height of 10 m and analyzed using the Image J program. The study found that the length of the life root was the highest in October 2021 to 306.05 m m^{-2} and the lowest in September 2021 to 56.30 m m^{-2} and the length of the life of a root was highest in March 2022 at 362.64 m m^{-2} and lowest in May 2022 was 172.47 m m^{-2} by length. The values of life and alife of fine roots were higher in the dry season than the rainy season. By analyzing the relationship between the length of all roots and the air and soil temperature was significantly positive ($p < 0.05$). Moreover, the mean GEI was 31.24±14.49 while the highest was 81.61 in April 2021 and the lowest was -6.18. In February 2020, it was related to air temperature and significantly negative soil temperature ($p < 0.05$). The trees responded to climate change, especially during the dry season with high average temperatures and low soil moisture. It affects the fine root, stretching and spreading for water and food, as well as the defoliation of the tree. For this reason, fine root responses and vegetation indices are important adaptive response patterns for trees in dry dipterocarp forests when the climate changes in each season or if there is future climate change.

Keyword : Phenology, Digital Phone Camera, Green Excess Index, Fine Root Dynamic

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนสนับสนุนจากสำนักการวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ.2564-2565 ภายใต้ โครงการวิจัยการศึกษาการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและลักษณะทางชีพลักษณ์โดยใช้ดัชนีสีทรงพุ่มของพืชพรรณ ในระบบนิเวศป่าไม้ที่ละติจูดต่างกันตั้งแต่ทางใต้ของประเทศจีนถึงภูมิภาคอินโดจีนและทุนสนับสนุนการศึกษาผู้มีสมรรถนะสูงเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปี พ.ศ. 2562 ตลอดจนการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย ณ ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายชั้นเรือนยอดจากกล้องโทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์เก็บตัวอย่างรากฝอยจาก คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดจนได้รับได้รับคำแนะนำการปรับปรุงแก้ไขข้อพกพร่องด้วยความทุ่มเทอย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและอาจารย์ ดร.มนตรี แสนวังสี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ชิดไธสง ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ ประธานกรรมการสอบ และอาจารย์ ดร.ศุภิกา วานิชชัง กรรมการสอบ

ผู้วิจัยขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณแด่บิดามารดา คณาจารย์คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่สนับสนุนการศึกษา และเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยเกิดความมุ่งมั่นในการก้าวข้ามผ่านอุปสรรคในการเรียนและการทำทำวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยในครั้งนี้จะมีประโยชน์ต่อในเชิงวิชาการ ด้านการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลและเป็นองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการศึกษาการตอบสนองของพลวัตรากฝอยและดัชนีสีทรงพุ่มในป่าเต็งรังทุติยภูมิของประเทศไทย และการใช้เทคโนโลยีการถ่ายภาพเรือนยอดป่าด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือเพื่อศึกษาสรีรวิทยาและการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของป่าไม้ รวมถึงการนำข้อมูลนี้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางนโยบายการฟื้นฟูและอนุรักษ์ป่าไม้ในประเทศไทยและลดผลกระทบและป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคต

มัชฌิมา คำแก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 5

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ 6

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย 8

1.6 สมมติฐานของการวิจัย 10

1.7 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ 10

บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 11

2.2 วัฏจักรคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้ 14

2.3 โครงสร้าง บทบาท และหน้าที่ของระบบนิเวศป่าเต็งรัง 16

2.4 การศึกษาโครงสร้างชั้นเรือนยอดด้วยรูปถ่ายจากกล้องดิจิตอล 20

2.5 การศึกษาพลวัติของรากฝอย 23

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 26

3.1 พื้นที่ศึกษา 26
3.2 การเก็บข้อมูลราก 28
3.2.1 การเก็บข้อมูลรากด้วยวิธี Mini Rhizotron Technique 28
3.2.2 การเก็บข้อมูลรากด้วยวิธี Soil core 29
3.3 การถ่ายภาพจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ 31
3.4 การเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม จากสถานีจุลอุตุนิยมวิทยาจังหวัดราชบุรี 34
3.4.1 อุณภูมิอากาศ (Air temperature) 34
3.4.2 อุณหภูมิดิน (Soil temperature) 34
3.4.3 ความชื้นในดิน (Soil water content) 34
3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ 35
บทที่ 4 ผลการวิจัย 36
4.1 ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมด้านภูมิอากาศ 36
4.2 ผลภาพถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ 37
4.2.1 ภาพถ่ายรายวันเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอด 37
4.2.2 ค่าดัชนีสี RGB Colour index (สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน) 38
4.2.3 ค่าดัชนี Green Excess Index: GEI 40
4.3 ผลข้อมูลพลวัตรากฝอย Root dynamic 41
4.3.1 พลวัตรากฝอย (Fine root dynamic) ด้วยเทคนิค Soil core 41
4.3.2 พลวัตรากฝอย (Fine root dynamic) ด้วยเทคนิค Root window 46
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย 47
5.1 อภิปรายผลการวิจัย 47
5.1.1 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index: GEI) ... 47

5.1.2 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ควบคุม Fine root dynamic 50

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ GEI และ Fine root dynamic 54

5.2 สรุปผลการวิจัย 57

บรรณานุกรม 60

ประวัติผู้เขียน 68

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การแบ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะทางชีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอดป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ.2563 ถึง ปี พ.ศ.2565..... 38

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย 9
ภาพประกอบ 2 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 13
ภาพประกอบ 3 การหมุนเวียนคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ 16
ภาพประกอบ 4 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าไม้ระหว่างปี พ.ศ.2563 และปี พ.ศ. 2564 18
ภาพประกอบ 5 ภาพถ่ายโดยใช้กล้องดิจิตอลในพื้นที่ป่าครอบคลุมสหรัฐอเมริกาและแคนาดา .. 23
ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างวิธีการประเมินรากฝอยและพลวัติของรากฝอย วิธี ingrowth bag (A) วิธี sequential coring (B) วิธีการใช้น้ำแรงดันสูง (C) 25
ภาพประกอบ 7 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 27
ภาพประกอบ 8 พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 27
ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการสแกนรากด้วยวิธีการ Minirhizotron 28
ภาพประกอบ 10 ภาพที่ได้จากการสแกนรากด้วยวิธีการ Minirhizotron 29
ภาพประกอบ 11 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างรากด้วยวิธีการ Soil Core 30
ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักและอบรากฝอย 30
ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนการสแกนรากฝอย 31
ภาพประกอบ 14 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล 32
ภาพประกอบ 15 แผนผังการคัดเลือกข้อมูลและการทำคุณภาพข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลด้วยเทคนิคการกรองด้วยสภาพอากาศ (Weather filtering: WFI) 33
ภาพประกอบ 16 การวิเคราะห์ภาพและการเลือกพื้นที่ที่สนใจศึกษา Region of Interest (ROI) 33
ภาพประกอบ 17 ภาพอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อม (a) เครื่อง Thermocouple probes วัดอุณภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน (b) เครื่อง Water content reflectometers วัดความชื้นในดิน และ (c) เครื่อง Data logger รุ่น CR1000 ใช้บันทึกข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม 35
ภาพประกอบ 18 ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม ปี พ.ศ. 2563 ถึง ปี พ.ศ.2565 36

ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงอัตราส่วนดัชนีสี (RGB Colour index) ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ.2563 ถึง ปี พ.ศ.2565 40
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงอัตราส่วนดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ.2563 ถึง ปี พ.ศ.2565 41
ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงข้อมูลน้ำหนักของรากฝอยที่มีชีวิต (A) และมวลชีวภาพของรากฝอยที่ไม่มีชีวิต (B)ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2565 43
ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงข้อมูลความยาวรากฝอยที่มีชีวิต (A) และความยาวรากฝอยที่ไม่มีชีวิต (B) ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี 45
ภาพประกอบ 23 การศึกษาการเจริญเติบโตของรากฝอยด้วยวิธี Root windows ที่ความลึกของดิน 0.15, 0.75, 1.50 และ 2.5 m ณ สถานีวิจัยจังหวัดราชบุรี ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2565 46
ภาพประกอบ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และอุณหภูมิอากาศ 47
ภาพประกอบ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และอุณหภูมิดิน 48
ภาพประกอบ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และความชื้นในดิน 49
ภาพประกอบ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของรากฝอยและอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน 51
ภาพประกอบ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากฝอยและอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน 52
ภาพประกอบ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ และมวลชีวภาพของรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต 55
ภาพประกอบ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ และความยาวของรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต 56
ภาพประกอบ 31 กราฟความสัมพันธ์รหว่างค่าดัชนี (Green Excess Index : GEI) และ Fine root dynamic 56

ภาพประกอบ 32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี (Green Excess Index : GEI) และ Fine root dynamic 57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ(Climate Change) และภาวะโลกร้อน (Global Warming) ทวีความรุนแรงและสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินในหลายพื้นที่บนโลก เช่น การเกิดคลื่นความร้อน การเกิดภัยแล้ง การเกิดน้ำท่วมฉับพลัน การเกิดฝนทิ้งช่วงเป็นระยะเวลานานและไม่ตกตามฤดูกาล เป็นต้น โดยนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลมาจากการปฏิวัติทางด้านอุตสาหกรรมและกิจกรรมของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดการสะสมก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญในพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC_S) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC_S) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC_S) คุณสมบัติพิเศษของก๊าซกลุ่มนี้คือสามารถดูดกลืนและคายรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดได้ดีมาก โดยปกติแล้วก๊าซเรือนกระจกจะทำหน้าที่ห่อหุ้มโลกไว้เพื่อกักเก็บรังสีความร้อนไว้เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้อยู่ในระดับคงที่ ดังนั้น เมื่อมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้พื้นผิวโลกคายรังสีอินฟราเรดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ก๊าซเหล่านี้จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเอาไว้ ต่อจากนั้นมันก็จะคายความร้อนสะสมอยู่บริเวณพื้นผิวโลกและชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้นทำให้โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น ซึ่งเป็นตัวเร่งที่ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจกและภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าอุณหภูมิอากาศโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น 4°C และ มากกว่า 5°C เมื่อเทียบจากปีฐานในช่วง ค.ศ.1971-2000[1] นอกจากนี้ ปริมาณน้ำฝนตามฤดูกาลจะมีแนวโน้มลดลง ร้อยละ 20-40 ขณะที่เกิดสภาพความแห้งแล้งที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว[2] เหตุการณ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นร่วมกัน มีความรุนแรงและความถี่บ่อยครั้งขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าไม้และการบริการ โดยในพื้นที่ป่าเขตอบอุ่นพบว่า สภาพอากาศที่อบอุ่นขึ้นส่งผลต่อการผลิใบ[3] อีกทั้งความเกิดล่าช้าในการเจริญเติบโตของต้นไม้จนถึงความแก่และการร่วงหล่นของใบไม้ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลเพาะปลูก[4, 5]

ป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เนื่องจากป่าไม้เป็นแหล่งผลิตออกซิเจนสู่ธรรมชาติ โดยต้นไม้มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ในชั้นบรรยากาศโลก เนื่องจากต้นไม้มีความสามารถในการดูดซับ

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากชั้นบรรยากาศของโลก โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Photosynthesis) จากการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับและเปลี่ยนเป็นพลังงานทางเคมี โดยมีการใช้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ ใช้แสงเป็นแหล่งพลังงานและเปลี่ยนรูปจนได้ผลลัพธ์เป็นก๊าซออกซิเจนสู่ธรรมชาติ อีกทั้งสะสมคาร์บอนไดออกไซด์มาไว้ในรูปของมวลชีวภาพ ทั้งในส่วนเหนือพื้นดิน (บริเวณลำต้น กิ่งและใบ) และส่วนใต้ดิน (บริเวณราก) ดังนั้น ต้นไม้มีความสำคัญในการช่วยบรรเทาภาวะโลกร้อนผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่อย่างไรก็ตาม ป่าไม้ถูกทำลาย โดยเฉพาะป่าในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีการตัดไม้ทำลายป่าในแถบทวีปเอเชียสูงถึง 2 ล้านเฮกตาร์ในปี ค.ศ.1980 และ 3.9 ล้านเฮกตาร์ระหว่างปี ค.ศ.1981–1990 [6] สอดคล้องกับพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทย ในระยะเวลา 45 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2504 ถึง พ.ศ.2549 ป่าไม้ในประเทศไทยมีพื้นที่ลดลงอย่างมาก กล่าวคือ จากพื้นที่ร้อยละ 53.33 ลดเหลือเพียงร้อยละ 30.92 [7] และป่าถูกทำลายมากที่สุดในช่วงปี พ.ศ.2519 – 2521 โดยเฉพาะปี พ.ศ.2521 ป่าไม้ของประเทศถูกทำลายในอัตราเกินกว่า 6 เปอร์เซ็นต์[8] การลดลงของพื้นที่ป่าส่วนมากมีผลมาจากการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยี เป็นผลให้มีความต้องการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่ามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าในอดีต ประเทศในแถบเอเชียหลายประเทศ มีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อการทำสัมปทาน เช่น ประเทศฟิลิปปินส์เคยมีป่าที่อุดมสมบูรณ์ก่อนปี พ.ศ.2500 แต่เมื่อรัฐบายมีนโยบายสัมปทานป่าไม้เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมรมไม้อัด (Plywood) ซึ่งต้องใช้ไม้ซุงเพื่อป้อนอุตสาหกรรมชนิดนี้ คนไร้ที่ทำกินได้บุกรุกเข้าไปในป่าที่ผ่านการทำไม้ไปแล้ว ถางป่าที่เหลืออยู่ ส่งผลให้ฟิลิปปินส์กลายเป็นประเทศที่มีอัตราการทำลายป่าสูงที่สุด ระหว่างปี พ.ศ.2503-2513[9] ต่อมารัฐบาลได้ดำเนินโครงการบำรุงรักษาป่าไม้ โดยได้รับการช่วยเหลือจากประเทศเยอรมัน แต่ก็ช้าเกินไปที่จะฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรมซึ่งมีอยู่ทั่วประเทศ ปัจจุบันประเทศฟิลิปปินส์เป็นประเทศที่อยู่ในกลุ่ม 11 ประเทศที่มีป่าน้อยที่สุดในบรรดา 89 ประเทศที่อยู่ในเขตร้อนของโลก โดยมีพื้นที่ป่าไม้เหลือเพียง 18.3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นในปี พ.ศ.2542 [10] ซึ่งประเทศไทยได้มีนโยบายยกเลิกการทำสัมปทานทำไม้ (Logging ban) ในต้นปี พ.ศ.2532 เพื่อลดการตัดไม้ทำลายป่าภายในประเทศ และอีกมาตรการที่สำคัญคือการฟื้นฟูป่าไม้ในพื้นที่เสื่อมโทรม โดยโครงสร้างของป่าทุติยภูมิ มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเจริญเติบโตของต้นไม้ไปจากเดิม โดยเฉพาะระบบรากของต้นไม้ เนื่องจากเมื่อตัดต้นไม้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์แล้ว ส่วนของรากยังคงอยู่ใต้พื้นดิน และเมื่อต้นไม้มีการเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ย่อมส่งผลให้สัดส่วนของมวลชีวภาพใต้พื้นดินมีปริมาณใกล้เคียงหรือสูงกว่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน[11] โดยเฉพาะอย่างยิ่งรากฝอย (Fine root) มีลักษณะเป็นรากที่มีขนาดเล็ก โดยมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า

หรือเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ในการหาอาหารและแร่ธาตุในดินละดูดซึมน้ำในดินเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ ซึ่งรากฝอยมีความสำคัญอย่างมากในการหมุนเวียนคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ เนื่องจากรากฝอยนั้นมีช่วงชีวิตที่สั้น มีอัตราการเกิดรากฝอย การยืดขยายหรือการเสื่อมสภาพหรือตายไปของรากฝอย โดยการเปลี่ยนแปลงของรากฝอยจะเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต กล่าวคือจะมีการเกิดรากขึ้นใหม่มาทดแทนรากเดิมที่เสื่อมสภาพหรือถูกทำลายตามธรรมชาติ การเกิดขึ้นใหม่ของรากฝอยหรือการเสื่อมสภาพของรากฝอยนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการหมุนเวียนแร่ธาตุอาหารในดินและการตรึงคาร์บอนในดิน ในรูปของอินทรียวัตถุ โดยการตอบสนองของรากฝอยทั้งการเจริญเติบโต การพักตัว และการตาย มีความสัมพันธ์กับปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ จากการศึกษาพลวัตของรากฝอยในป่าผสมแคลิฟอร์เนีย พบว่า พลวัตของรากฝอยมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดิน โดยเฉพาะในดินที่มีอุณหภูมิที่สูงได้มากกว่าในดินที่มีอุณหภูมิดินต่ำ[12] ขณะที่ความชื้นในดินมีผลต่อกิจกรรมของรากฝอย เนื่องจากการเปรียบเทียบพื้นที่ป่าที่มีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดและพื้นที่ปิด แสดงให้เห็นถึงการที่ต้นไม้บดบังน้ำฝนและรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมา พบว่า รากที่อยู่ในพื้นที่เปิดมักจะมีอัตราการยืดตัวที่มากกว่ารากที่อยู่ในพื้นที่ปิด[13] นอกจากนี้การตอบสนองของต้นไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่พบเห็นจากสายตาในป่าเต็งรังคือการตอบสนองของใบไม้ในชั้นเรือนยอดหรือสามารถเรียกว่า ลักษณะทางชีพลักษณ์ของต้นไม้ เป็นลำดับการพัฒนาการของพืชที่เกิดขึ้นเป็นประจำตลอดทั้งปี เนื่องจากสภาะแวดล้อมมีความสำคัญต่อการทำงานของต้นไม้และการให้บริการของระบบนิเวศ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ดังนั้นลักษณะทางชีพลักษณ์จึงถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการประเมินผลการตอบสนองของต้นไม้และกระทบและต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวฟิสิกส์และชีวเคมีในระบบภูมิอากาศ [5, 14] อีกทั้งการศึกษาลักษณะทางชีพลักษณ์ของต้นไม้ไม่เพียงแต่สะท้อนถึงสภาพแวดล้อมของแต่ละภูมิภาคและระยะเวลาในแต่ละฤดูกาลเท่านั้น แต่ยังสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศจากในอดีตจนถึงปัจจุบันได้ ทั้งนี้ การศึกษาชีพลักษณ์ของต้นไม้แบบดั้งเดิมจะมีวิธีการเก็บข้อมูลที่ซับซ้อน มีราคาสูง จำเป็นต้องใช้เวลาและแรงงานในการบันทึกข้อมูลเป็นจำนวนมาก แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการนำเอาเทคโนโลยีการถ่ายภาพระยะใกล้ด้วยการใช้กล้องดิจิตอลมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะชีพลักษณ์ในระบบนิเวศป่าไม้ ด้วยวิธีการการเก็บข้อมูลในระยะยาว โดยทำการถ่ายภาพซ้ำ ๆ ในพื้นที่เดิม จากนั้นจะนำภาพถ่ายที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีสี RGB (สีแดง สีเขียว และสีฟ้า) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงลักษณะชีพลักษณ์ของต้นไม้ พร้อมทั้งมีการ

เก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ ยกตัวอย่างเช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ปริมาณแสงแดดและความเร็วลมในพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ในการศึกษาความความสัมพันธ์และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงลักษณะชีพลักษณ์ของต้นไม้และปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะชีพลักษณ์ของต้นไม้ในระยะยาว จากการศึกษาที่ผ่านมา[5] เกี่ยวกับการเปรียบเทียบค่าดัชนีสีจากการบันทึกภาพถ่ายลักษณะสีทรงพุ่มของต้นบีช (*Fagus crenata* Blume.) ในป่าเบญจพรรณทางภาคตะวันออกของประเทศญี่ปุ่น พบว่า ค่าดัชนีสีเป็นตัวบ่งชี้ที่น่าเชื่อถือสำหรับการประเมินช่วงการเจริญเติบโตของต้นไม้ โดยค่าดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) จะคงที่ช่วงฤดูร้อนและเพิ่มขึ้นอย่างมากในฤดูใบไม้ร่วง ค่าดัชนีสีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงกลางฤดูร้อน แต่ลดลงอีกครั้งในช่วงฤดูใบไม้ร่วง ทั้งนี้ ค่าดัชนีสีแดงและน้ำเงินจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มเข้าสู่ช่วงการแตกใบอ่อน (leaf-flushing) ในขณะที่ค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี แต่จะค่อย ๆ ลดลงในช่วงฤดูใบไม้ร่วง แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของค่าดัชนีสี RGB สอดคล้องกับค่าดัชนีพืชพรรณ Green Excess Index (GEI) ที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงฤดูใบไม้ผลิ และลดลงในช่วงฤดูไม้ร่วง ส่วนค่าดัชนีพืชพรรณในช่วงคลื่นสีแดง Red Excess Index (REI) ลดลงในช่วงการแตกใบอ่อน ด้วยเหตุนี้การศึกษาด้วยวิธีการถ่ายภาพซ้ำจะทำให้สามารถทราบถึงการตอบสนองของต้นไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในระบบนิเวศป่าไม้ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การใช้กล้องดิจิทัลเป็นเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้ (Near-Surface Remote Sensing Technique) สามารถนำมาประยุกต์กับการวิจัยระบบนิเวศ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานการสะท้อนของสีบนชั้นเรือนยอดของต้นไม้ ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในระบบนิเวศ เช่น การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางสรีรวิทยาและชีพลักษณ์ของพืชที่นำไปใช้ในการศึกษาสมดุลหรือการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 และไอน้ำระหว่างบรรยากาศและระบบนิเวศป่าไม้ คุณสมบัติของพืชที่ตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกต่าง ๆ เหล่านี้ ประกอบด้วย ปริมาณชีวมวล ชนิดพันธุ์ ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ความสูงของชั้นเรือนยอด การไหลของน้ำ พลวัตของรากฝอย และลักษณะทางสรีรวิทยาของใบ ตัวอย่างการศึกษาวิจัยพื้นที่ป่า Black Spruce Forest ในอลาสก้า [15] ที่มีสรีรวิทยาชั้นเรือนยอดแบบเปิดและป่า Evergreen Coniferous Forest ในญี่ปุ่นที่มีสรีรวิทยาชั้นเรือนยอดแบบปิด พบว่า ค่าผลผลิตขั้นปฐมภูมิ Gross Primary Production (GPP) และค่าแสงที่พืชในการสังเคราะห์แสง Photosynthetically Active Radiation (PAR) ขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นในแต่ละวัน เนื่องจากพืชมีความเข้มข้นและปริมาณของแสงที่ใช้ในการ

สังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีค่า GPP และ ค่าPAR เพิ่มสูงขึ้นโดยค่า GPP สูงสุดในช่วงป่าผลิใบและต่ำสุดช่วงป่าผลัดใบ โดยจากการศึกษาสีของต้นไม้ในประเทศญี่ปุ่นเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวแดงในช่วงฤดูหนาวเนื่องจากมีการสะสมของเม็ดสีแซนโทฟิล ทำให้ค่า GPP ลดต่ำลง แต่ใน อลาสก้าช่วงฤดูหนาวจะถูกปกคลุมด้วยหิมะในช่วงฤดูหนาวไม่มีใบไม้ และค่า GPP จะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงที่เริ่มมีการผลิใบ บ่งบอกถึงลักษณะของป่าและสีของใบไม้ที่ต่างกัน ส่งผลต่อค่า GPP สูงสุดและต่ำสุดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของพลวัตรากฝอยต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพืชพันธุ์ (GEI) บนชั้นเรือนยอดจากการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการควบคุมการตอบสนองของพลวัตรากฝอยและค่าดัชนีพืชพันธุ์ในป่าเต็งรังทุติยภูมิยังมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้น การศึกษาวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพันธุ์ในแต่ละฤดูกาลกับความสัมพันธ์ระหว่างพลวัตรากฝอยโดยใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการควบคุมการตอบสนองของต้นไม้ในแต่ละฤดูกาลในระบบนิเวศป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีสีพืชพรรณและพลวัตของรากฝอยที่ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพลวัตของรากฝอยและค่าดัชนีพืชพรรณบนชั้นเรือนยอดจากการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายจากกล้องโทรศัพท์มือถือ

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการควบคุมการตอบสนองของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พื้นที่ทำการศึกษาคือ ป่าเต็งรังทุติยภูมิ ตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี จังหวัดราชบุรี ในงานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของพลวัตรากฝอยและดัชนีสีทรงพุ่มในป่าเต็งรังทุติยภูมิที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยทำการศึกษาดัชนีสีทรงพุ่มและติดตามการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของทางชีพลักษณ์ของป่า ด้วยเทคนิค near-surface remote sensing จากการติดตั้งกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อถ่ายภาพชั้นเรือนยอดซ้ำทุก ๆ ชั่วโมง และวิเคราะห์ค่าดัชนีสี RGB โดยใช้

โปรแกรมสำเร็จรูป Image J ส่วนของการศึกษาการตอบสนองของพลวัตรากฝอยประเมินจากการเก็บข้อมูลในสองรูปแบบ ได้แก่ วิธีสแกนรากด้วยเทคนิค Mini Rhizotron จากหลุม เก็บข้อมูลรากทุก ๆ เดือน ที่ระดับความลึกของดิน 0.15, 0.75, 1.5 และ 2.5 เมตร จำนวน 2 หลุม และการเก็บข้อมูลรากด้วยวิธี Soil core โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง 20 จุด รอบพื้นที่ศึกษาทุก ๆ เดือน ที่ระดับความลึกของดิน 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 ซม จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความยาวและขนาดรากในแต่ละเดือน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Image J นอกจากนี้ทำการเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษา เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของต้นไม้ใต้พื้นดิน (ส่วนราก) และเหนือพื้นดิน (ส่วนใบและเรือนยอด) ต่อการตอบสนองของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศ รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ โดยระยะเวลาการเก็บข้อมูลภาคสนาม 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2563 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2565

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

พลวัตรากฝอย (Fine Root Dynamic) รากฝอยคือ รากพืชที่มีขนาดเล็ก และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 mm มีช่วงชีวิตสั้น มีอัตราการยืดขยายและการเจริญเติบโตของรากรวมทั้งการเสื่อมสภาพและการตายของรากฝอยนั้นถือเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต กล่าวคือ มีการสร้างรากฝอยขึ้นมาใหม่ทดแทนรากฝอยเดิมที่เสื่อมสภาพลง หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะตามธรรมชาติ การเกิดขึ้นใหม่และการเสื่อมสภาพลงของรากฝอยนั้นเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญในกระบวนการหมุนเวียนแร่ธาตุอาหารในดินของพืชและเกิดการตรึงคาร์บอนในดิน ในรูปแบบอินทรีย์วัตถุ เนื่องจากรากฝอยนั้นมีช่วงชีวิตในการเจริญเติบโตที่สั้น เมื่อเกิดเสื่อมสภาพลงหรือมีการตายของรากขึ้น ต้นไม้ก็จะสามารถสร้างรากฝอยใหม่มาทดแทนรากฝอยที่เสื่อมสภาพไปแล้วเสมอ โดยการเจริญเติบโตแบบพลวัตของรากฝอยจะมีลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วในการตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้สามารถใช้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลในรอบปีมาใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของรากฝอย เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะที่ชัดเจนของรากฝอย หรืออาจจะใช้ร่วมกับลักษณะเฉพาะของพื้นที่ โดยใช้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันในการศึกษาพลวัตของรากฝอย[16]

เทคนิค Mini Rhizotron เป็นเทคนิคหรือวิธีการใช้สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของรากของพืชโดยตรง ด้วยการใช้อุปกรณ์บันทึกภาพ เช่น กล้องบันทึกภาพขนาดเล็กหรือเครื่องสแกน เพื่อใช้ในการบันทึกภาพผ่านช่องที่ถูกทำการขุดหรือใช้ท่อที่มีลักษณะโปร่งใสมอง

ทะลุผ่านได้อย่างชัดเจน โดยถูกฝังไว้ในดินในแนวทำมุม 45 องศากับต้นไม้บริเวณเขตรากพืช ซึ่งวิธีการนี้มีความแตกต่างกับวิธีการ Rhizotron ที่ใช้วิธีการขุดและฝังอุปกรณ์ที่โปร่งใสลงไปในดินเพื่อให้สามารถมองเห็นชั้นดินและรากผ่านอุปกรณ์โปร่งใสได้อย่างชัดเจนซึ่งวิธี Mini Rhizotron จะทำลายหน้าดินและชั้นดินน้อยกว่าวิธีการ Rhizotron

เทคนิค Soil core เป็นเทคนิคหรือวิธีการใช้สำหรับการเก็บข้อมูลตัวอย่างดินและรากพืชด้วยการใช้อุปกรณ์โลหะทรงกระบอก เจาะลงไปในแนวดิ่ง โดยการศึกษามวลชีวภาพและความยาวของรากฝอย ทำการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ทุกๆ เดือน ที่ระดับความลึกของดิน 4 ระดับ ได้แก่ระยะระหว่าง 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm

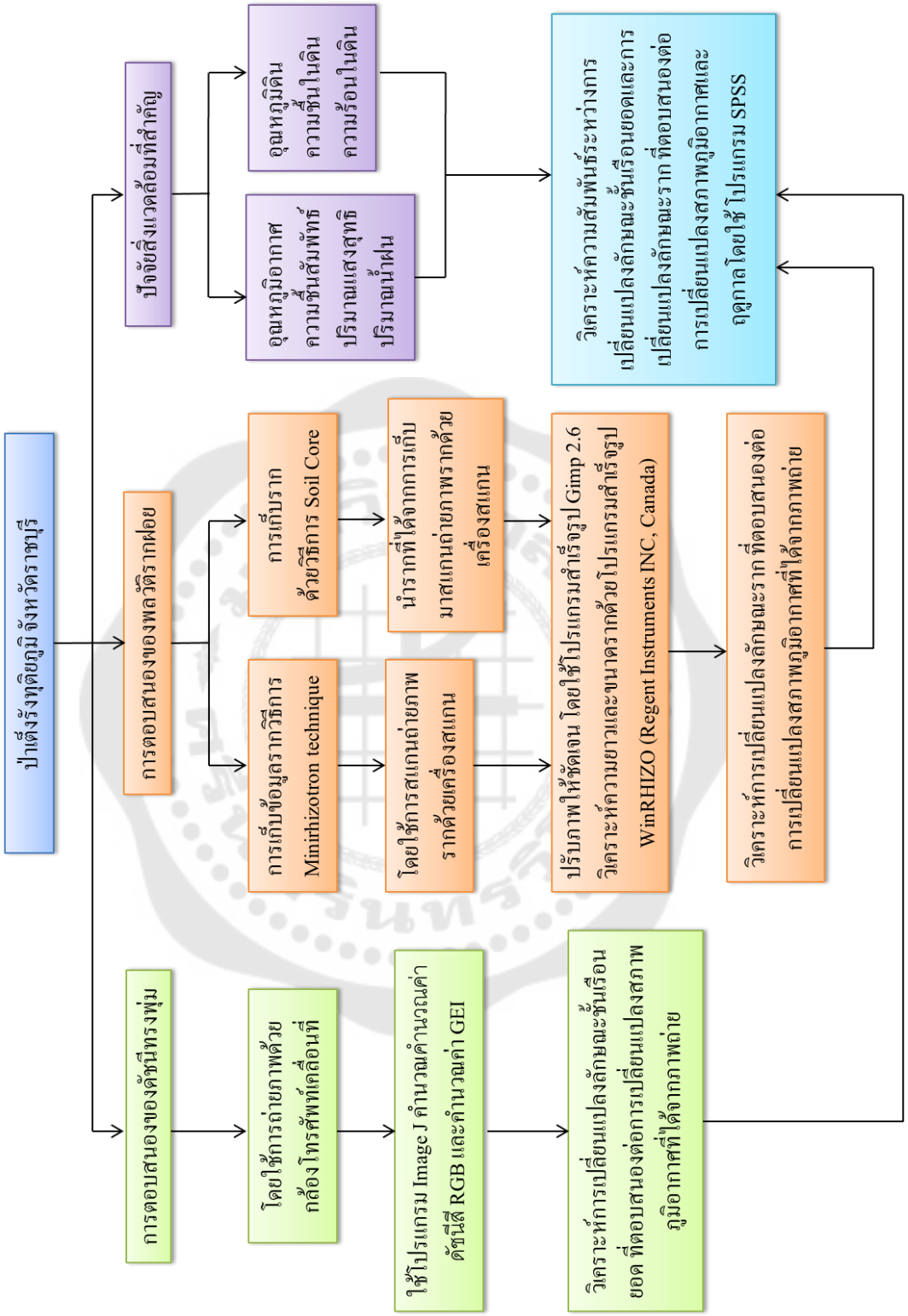
ชีพลักษณ์ (phenology) คือการศึกษาข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างภูมิอากาศและปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่เกี่ยวข้องกับเวลา โดยใช้ในการติดตาม ตรวจสอบการเจริญเติบโต การผลิดอก รวมถึงการออกผลของพันธุ์พืช ต้องศึกษาตามรายละเอียดของแต่ละสังคมพืช เช่น ชีพลักษณ์ของพืชแต่ละชนิดซึ่งอาจเน้นลงไปถึงการออกผล ออกดอก ผลสุก และร่วงหล่นในรอบปี โดยการบรรยายชีพลักษณ์นิยมแสดงกันในรูปของผังชีพลักษณ์ [17] ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำการเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณ์ป่าเต็งรัง มาใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของต้นไม้เมื่ออยู่ในช่วงเปลี่ยนฤดูกาลและในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง

ป่าเต็งรัง (Dry Dipterocarp Forest) จะมีลักษณะเป็นป่าโปร่ง ป่าประเภทนี้จะมีต้นไม้ผลัดใบขนาดเล็กและขนาดกลางขึ้นอยู่ห่าง ๆ กัน มีการกระจัดกระจายไปทั่วผืนป่า ไม่ค่อยหนาแน่นและไม่ทึบ พื้นป่ามีหญ้าปกคลุมและไผ่แคระจำพวกไผ่) ไผ่โจด (*Vietnamosasa ciliate* (A. Camus) T. Q. Nguyen) เพ็ก (*Vietnamosasa pusilla* (A. Chev. & A. Camus) T. Q. Nguyen ขึ้นอยู่ทั่วไป มีลูกไม้เยอะและค่อนข้างหนาแน่น พื้นที่เป็นที่ราบมีดินทรายและดินเหนียวปนเล็กน้อย โดยทั่วไปจะมีไฟป่าเกิดขึ้นทุกปี ต้นไม้มักจะมีขนาดสูงและใหญ่ขึ้นเป็นกลุ่มๆ คล้ายป่าเบญจพรรณ ยกตัวอย่างเช่น ป่าเต็งรังบนที่ราบทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางแห่ง มักจะพบว่าเป็นกลุ่มไม้ส่วนใหญ่มีลักษณะสมบูรณ์ ประกอบไปด้วย เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.) ยางกราด (*Dipterocarpus intricatus* Dyer) และพลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) ป่าเต็งรังที่ค่อนข้างแคระแกร็น พบบนภูเขาภาคเหนือที่มีดินตื้นตามไหล่เขาและสันเขา บริเวณที่แห้งแล้งมากที่สุดจะสามารถพบรัง ขึ้นเกือบเป็นกลุ่มเดียวกันล้วน ๆ ส่วนเต็งจะขึ้นปะปนกับพรรณไม้ ทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว ส่วนไม้กลุ่มไม้ เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) รัง (*Shorea siamensis* Miq) และไม้ยาง (*Dipterocarpus* spp.) ที่ผลัด

ใบ พบเฉพาะในพื้นที่ป่าเต็งรังเท่านั้น และไม้ในชั้นเรือนยอดจะประกอบด้วยพรรณไม้กลุ่มนี้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ส่วนยางกราดพบเฉพาะในป่าเต็งรังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ[18]

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัย (Conceptual framework) ดังภาพประกอบที่ 1 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของพลวัตรากฝอยและดัชนีสีทรงพุ่มที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระบบนิเวศป่าเต็งรังทุติยภูมิ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี จังหวัดราชบุรี ประกอบด้วย ขั้นตอนการศึกษาดัชนีสีทรงพุ่มของต้นไม้ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ โดยใช้เทคนิค Near-surface remote sensing จากการถ่ายภาพซ้ำทุก 1 ชั่วโมง ด้วยกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ติดตั้งบนเสาตรวจวัดที่ระดับความสูง 10 m จากพื้นดิน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของลักษณะชั้นเรือนยอดในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จากนั้นนำภาพถ่ายรายวันไปคำนวณค่าดัชนีสีจากตัวเลขดิจิตอลของแถบสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของต้นไม้ การผลัดใบ ความกว้างใบและการขยายตัวของใบในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน และขั้นตอนการศึกษาการเจริญเติบโตของรากฝอยของต้นไม้ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ด้วยเทคนิค Mini Rhizotron และ Soil Core ทุกเดือน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ขนาดและความยาวของรากฝอยด้วยโปรแกรม Image J และชั่งน้ำหนักรากฝอยที่อบแห้งเรียบร้อยแล้ว รวมทั้งเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษาเพื่อนำข้อมูลทั้งหมดไปหาความสัมพันธ์กันด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ หรือโปรแกรม SPSS เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของดัชนีสีทรงพุ่ม และลักษณะการเจริญเติบโตของรากที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลและสภาพภูมิอากาศ



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย

1.6 สมมติฐานของการวิจัย

ถ้าดัชนีสีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) จากภาพถ่ายชั้นเรือนยอดและพลวัตของรากฝอยมีความสัมพันธ์กับปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณน้ำฝน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางด้านปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีสีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) ความยาวรากฝอยและมวลชีวภาพรากฝอยในป่าเต็งรังทุติยภูมิ

1.7 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ

1.7.1. สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และระยะเวลาเกี่ยวกับลักษณะเรือนยอดและรากที่มีการตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันตลอดระยะเวลา 3 ปี

1.7.2. องค์ความรู้และข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการศึกษาการตอบสนองของรากฝอยและดัชนีเรือนยอดจากการวิเคราะห์ค่าดัชนีสีจากภาพถ่ายระยะใกล้ด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือและสามารถใช้เป็นข้อมูลในการเชื่อมโยงกับชีพลักษณ์และการเจริญเติบโตของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าไม้

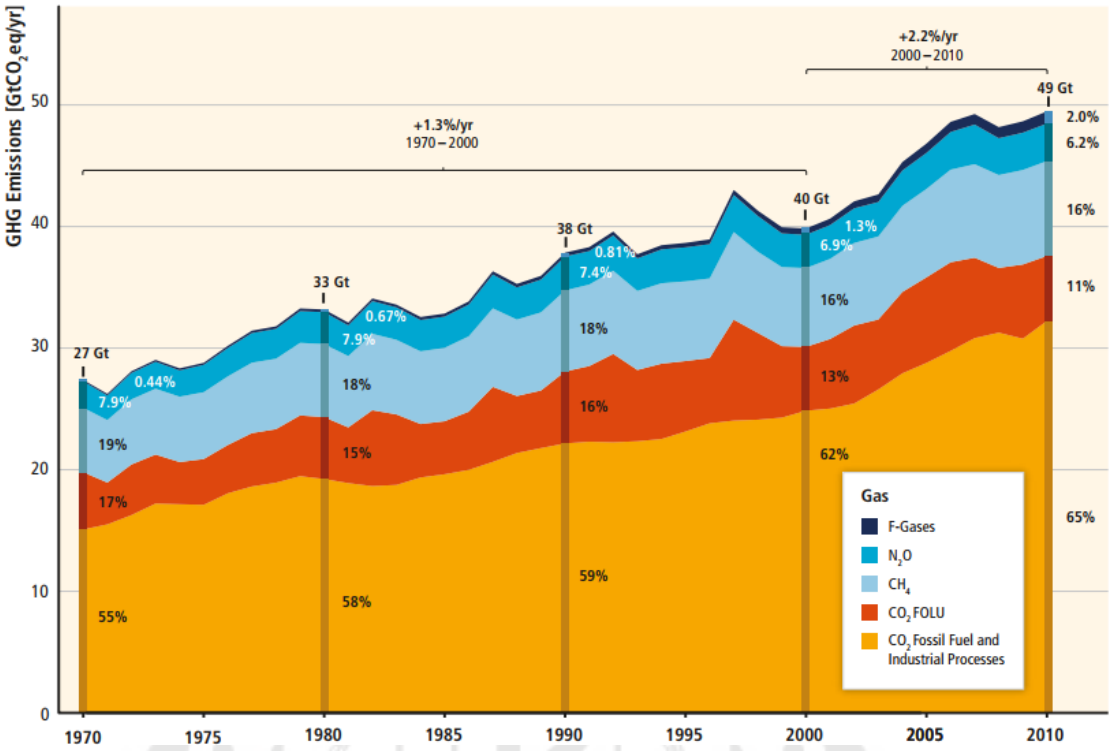
1.7.3. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาใช้เป็นแนวทางในการจัดการอนุรักษ์พื้นที่ป่าและหาแนวทางลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคต

บทที่ 2
การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) คือ การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยอากาศ หรือลักษณะของอากาศ รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอากาศ ในระยะยาวหลายสิบปีหรือหลายร้อยปี[19] ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ต่างไปจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติ หรือมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างฉับพลันในทางวิกฤติ คือมีสภาพภูมิอากาศสุดขั้วมากขึ้นหรือน้อยลง[19, 20] มีสาเหตุมาจากปัจจัยทางธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าการกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศอย่างรวดเร็ว ทั้งทางตรงและทางอ้อม ในภาคส่วนต่าง ๆ เช่น ภาคพลังงาน ภาคอุตสาหกรรม และภาคการเกษตร เป็นต้น ส่วนสาเหตุที่มาจากธรรมชาตินั้นมีเพียงเล็กน้อย[21] สืบเนื่องมาจากช่วงหลังจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี ค.ศ.1750 เป็นต้นมา มีการนำพลังงานฟอสซิล (fossil fuel) เช่น ถ่านหิน และน้ำมัน มาใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานในภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น[22] ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญมี 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6)[23] โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่มีปริมาณการปลดปล่อยสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 76 เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์และกระบวนการทางอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 65 และเกิดจากป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดินคิดเป็นร้อยละ 11[24] ทั้งนี้ ปริมาณความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นจาก 50 ppm ในช่วงก่อนปี ค.ศ.1750 เป็น 356 ppm ในปี ค.ศ.2001 และคาดว่าจะเพิ่มเป็น 2 เท่า (700 ppm) ภายในปี ค.ศ.2100[25] สอดคล้องกับรายงานทางวิทยาศาสตร์และงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการตรวจสอบและวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วโลก โดยดัชนีประจำปีของก๊าซเรือนกระจก (AGGI) พบว่า ในปี ค.ศ.2019 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ มีปริมาณความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นถึง 500 ppm[26, 27] อัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.84 ppm/yr ในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา โดยปี ค.ศ.1980 มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ประมาณ 1.6 ppm/yr ถัดมาอีก 10 ปี ในปี ค.ศ.1990 มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 ppm/yr และเพิ่มขึ้นเป็น 2.4 ppm/yr ในช่วงปี ค.ศ.2009 ถึงปี ค.ศ.

2019[27] ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศโลกมากเป็นลำดับที่ 2 รองลงมาคือก๊าซมีเทน (CH_4) คิดเป็นร้อยละ 16[24] ก๊าซมีเทนเกิดจากย่อยสลายของเสียต่าง ๆ เช่น การกำจัดขยะด้วยวิธีการฝังกลบ สามารถคงอยู่ในชั้นบรรยากาศโลกได้ราว 12 ปี ซึ่งถือว่ามีอายุสั้น แต่มีคุณสมบัติในการกักเก็บความร้อนได้สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 28 เท่า ตามค่าแนะนำ IPCC Fifth Assessment (AR5) ก๊าซมีเทนมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ปี ค.ศ.1983 ถึงปี ค.ศ.2006 และกลับมาเพิ่มขึ้นในปี ค.ศ.2007 และเพิ่มสูงขึ้นถึงในปี ค.ศ.2014 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.3±2.2 ppb[27] ลำดับถัดมาคือก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นก๊าซที่มีปริมาณการปลดปล่อยคิดเป็นร้อยละ 6.2 มีประสิทธิภาพในการสร้างภาวะเรือนกระจกได้ดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 265 เท่า ตามค่าแนะนำIPCC Fifth Assessment (AR5) และมีอายุเกินหนึ่งศตวรรษในชั้นบรรยากาศโลก โดยมีแหล่งกำเนิดจากแบคทีเรียต่าง ๆ การย่อยสลายของอินทรียวัตถุ ในภาคอุตสาหกรรม ภาคพลังงาน ภาคเกษตรกรรมและปศุสัตว์ รวมถึงการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและเชื้อเพลิงต่าง ๆ ซึ่งมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับก๊าซ CO_2 โดยมีค่าเฉลี่ยในปี ค.ศ.2019 อยู่ที่ 10.4±0.6 ppb[27] และก๊าซเรือนกระจกที่มีการปลดปล่อยน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 2.0 คือ F-gases ได้แก่ ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ดังภาพประกอบ 2 ทั้งนี้ ปัญหาระดับความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในชั้นบรรยากาศของโลก ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและเกิดเป็นปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ในปัจจุบัน



ภาพประกอบ 2 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

หมายเหตุ: FOLU คือส่วนของป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน และ F–gases คือ ก๊าซไฮโดรฟลูออ-โรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6)

ที่มา: IPCC [24]

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกระหว่างปี ค.ศ.1960 ถึงปี ค.ศ. 2000 เพิ่มสูงขึ้น 0.6˚C[22] และจากรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกได้เพิ่มสูงขึ้น 1.09˚C ในปี ค.ศ.2011-2020 เทียบจากปีฐาน ค.ศ.1850 ถึงปี ค.ศ.1900 โดยอุณหภูมิเหนือพื้นผิวดิน (1.59°C) มากกว่าเหนือพื้นผิวมหาสมุทร (0.88°C) และมีความเป็นไปได้อย่างน้อยมากกว่า 50% ที่ภาวะโลกร้อนจะสูงถึงหรือเกิน 1.5°C ในระยะเวลาอันใกล้ (ปี ค.ศ.2021 ถึงปี ค.ศ.2040)แม้กระทั่งในสถานการณ์ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำมาก [28] นอกจากนี้ยังพบว่า ประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2508 ถึงปี พ.ศ.2508 ถึงปี พ.ศ.2549 อุณหภูมิ

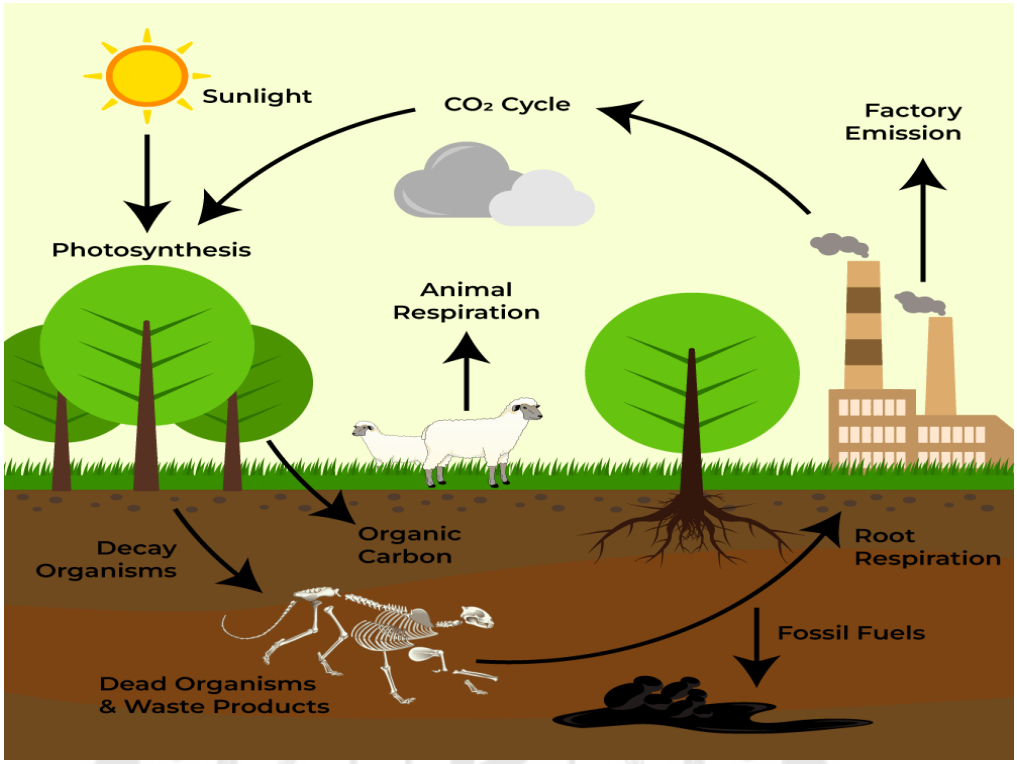
บริเวณประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดได้เพิ่มขึ้น 0.57, 0.81 และ 0.89°C ตามลำดับ ปริมาณฝนรวมรายปีมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ[21]

ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และอุณหภูมิโลกที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลกระทบทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ การขาดแคลนหยาดน้ำฟ้าทำให้เกิดสภาวะที่ร้อนและแห้งแล้งขึ้น ฤดูแล้งยาวนานยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ผลผลิตทางการเกษตรลดลง ภาวการณ์ขาดแคลนอาหารในหลายทวีป โดยเฉพาะผลกระทบที่สำคัญโดยตรงต่อการดำรงชีพของมนุษย์ คือ การเปลี่ยนแปลงในห่วงโซ่อาหารและระบบนิเวศวิทยา การเพิ่มขึ้นหรือสั้นลงของฤดูกาล และฤดูเพาะปลูกเปลี่ยนแปลงไป[19, 29] โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย ซึ่งการทำเกษตรกรรมถือเป็นรายได้หลักของประชาชน พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย ถั่วเหลือง ยางพารา จะส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อความมั่นคงด้านอาหาร (Food Security) และส่งผลต่อรายได้ของเกษตรกร ผลกระทบด้านสังคมและสุขภาพ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อการสาธารณสุข เนื่องจากการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากภัยพิบัติ ผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพมนุษย์ เช่น การเกิดโรคระบาดที่มีความรุนแรงมากขึ้น โรคเกี่ยวกับการประกอบอาชีพ ภาวะเครียด การเกิดโรคติดต่อและโรคอุบัติใหม่ต่าง ๆ ซึ่งหากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้น จะส่งผลกระทบมากขึ้นต่อผลิตภาพแรงงานและคุณภาพชีวิตประชากร[30] รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม ที่มีการปนเปื้อนมลพิษ ระบบนิเวศป่าไม้เสื่อมโทรมลง ระบบนิเวศชายฝั่งเสื่อมโทรม ปะการังเกิดความเสียหายจากการฟอกขาว ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ต่อสถานที่เที่ยวทางธรรมชาติ ส่งผลทำให้ประเทศขาดรายได้จากการท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติตามมา

2.2 วัฏจักรคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้

วัฏจักรคาร์บอน (Carbon Cycle) คือการหมุนเวียนธาตุและสารประกอบคาร์บอน ในสถานะต่าง ๆ ระหว่าง ดิน แหล่งน้ำ ชั้นบรรยากาศ และสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังหมายถึง การแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างแหล่งกักเก็บและปลดปล่อยผ่านกระบวนการทางเคมี ที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและการเปลี่ยนแปลงของโลก เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก[31] โดยวัฏจักรคาร์บอนในระบบนิเวศป่า

ไม้มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ทั้งในด้านการปลดปล่อยและการกักเก็บ เนื่องจากป่าไม้มีกลไกสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากชั้นบรรยากาศ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ของต้นไม้ โดยมีการใช้น้ำและแสงเป็นแหล่งพลังงาน ในการเปลี่ยนรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อนำมากักเก็บและสร้างอาหาร อินทรีย์สาร และอินทรีย์คาร์บอนไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ราก และใบ เป็นการเพิ่มผลผลิตมวลชีวภาพ หรือชีวมวลในรูปของมวลชีวภาพทั้งในส่วนเหนือพื้นดิน (Aboveground Biomass) และใต้ดิน (Belowground Biomass)[32, 33] และเป็นพลังงานสำหรับใช้ในกิจกรรมของพืช เช่น ระบบการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ การหายใจ การเจริญเติบโต เป็นต้น ซึ่งจากกระบวนการนี้จะได้ผลผลิตเป็นก๊าซออกซิเจนที่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตใช้สำหรับหายใจกลับสู่ชั้นบรรยากาศ ในขณะเดียวกันป่าไม้ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการหายใจ การตาย กระบวนการย่อยซากพืชและซากสัตว์ของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งเศษซากพืชและสัตว์เหล่านี้จะกลับเข้าสู่วัฏจักรคาร์บอนในรูปของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินจะถูกปลดปล่อยกลับคืนสู่บรรยากาศโดยปฏิกิริยาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของดิน (Soil Respiration)[33] ดังภาพประกอบ 3 นอกจากนี้ ในป่าบางประเภท เช่น ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ ไฟป่านับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศเช่นกัน ทั้งนี้มวลชีวภาพของพืชจะมีธาตุคาร์บอนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง โดยป่าไม้มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของป่าทั้งโลกคิดเป็น 861±66 Pg C หรือคิดเป็น 120 Pg C/yr[34] แบ่งเป็นการกักเก็บในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน 42% ในดิน 44% ในไม้ตาย 8% และเศษซากชีวมวล 5% เมื่อคิดตามประเภทของป่าพบว่า ป่าเขตร้อนสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ถึง 55% รองลงมาคือ ป่าสน 32% ป่าเขตอบอุ่น 14%[35]



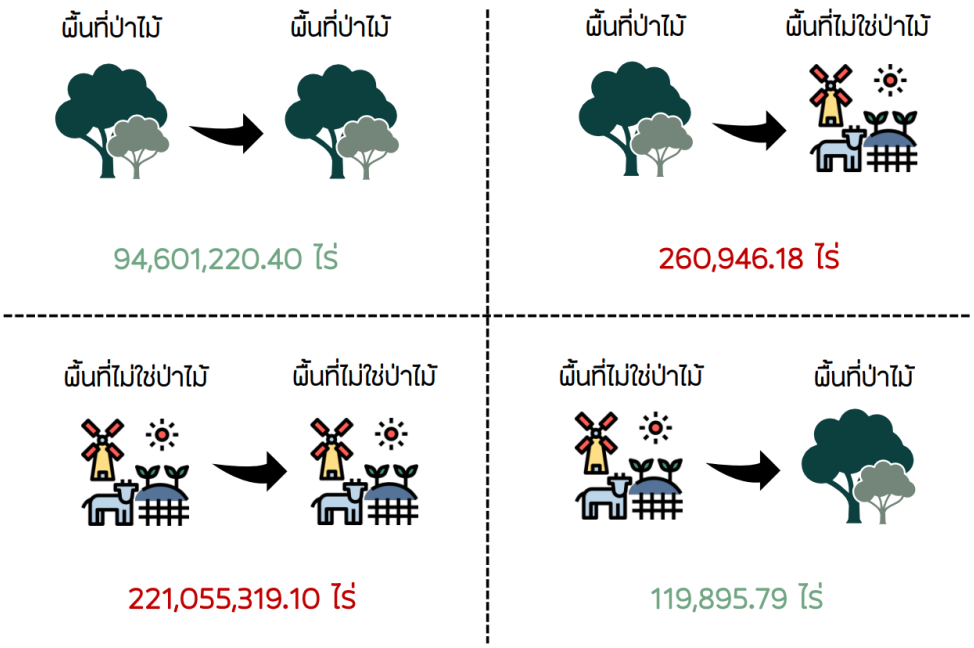
ภาพประกอบ 3 การหมุนเวียนคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้

ที่มา: Sharma [36]

2.3 โครงสร้าง บทบาท และหน้าที่ของระบบนิเวศป่าเต็งรัง

ป่าไม้มีความสำคัญและถือเป็นแหล่งทรัพยากร แหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งต้นน้ำลำธาร แหล่งของอินทรีย์สารและแร่ธาตุ รวมถึงแหล่งวัตถุดิบที่มีคุณค่าต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ พืชพรรณ และสัตว์ป่านานาชนิด ปัจจุบันป่าไม้มีความเสื่อมโทรมลงมาก ป่าส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ฟื้นตัวขึ้นใหม่จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรทำให้เกิดการบุกรุกป่าเป็นจำนวนมาก มีการตัดไม้ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจออกไปใช้งาน รวมทั้งผลกระทบจากไฟป่าที่เกิดขึ้นรุนแรงเกินกว่าที่ป่าจะฟื้นตัวได้ทัน จากป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์มากก็เหลือน้อย การทำลายป่าไม้หรือการทำให้ป่าไม้มีความเสื่อมโทรมจึงส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่และสภาวะการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต การฟื้นฟูป่าไม้ให้กลับคืนสู่สภาพเดิมก็เป็นไปได้ยาก ส่งผลให้ป่าไม้กลายสภาพจากป่าปฐมภูมิเป็นป่าทุติยภูมิ[37] ข้อมูลจากมูลนิธิสืบนาคะเสถียรพบว่า ปี พ.ศ.2563 โลกมีพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด 25,375 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 23 ของพื้นที่ทั้งหมดทั่วโลก โดยแบ่งเป็นป่าไม้เขตร้อน (Tropical Zone) ร้อยละ 45 รองลงมาคือ พื้นที่ป่าไม้เขตหนาว (Boreal

Zone) ร้อยละ 27 ป่าไม้เขตอบอุ่น (Temperate Zone) ร้อยละ 16 และป่าไม้เขตกึ่งร้อน (Subtropical Zone) ร้อยละ 11[38] สำหรับพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทย ในปี พ.ศ.2564 มีทั้งหมด 102,212,434.37 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 31.59 ของพื้นที่ประเทศทั้งหมด ซึ่งพื้นที่ป่าไม้ลดลงจากปี พ.ศ.2563 ร้อยละ 0.05% (141,050.39 ไร่) แต่เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าไม้ระหว่างปี พ.ศ.2563 และปี พ.ศ.2564 โดยแบ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง พื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าไม้ พื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าไม้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และพื้นที่ทีไม่ใช่ป่าไม้เปลี่ยนแปลงมาเป็นพื้นที่ป่าไม้ พบว่า 94,601,220.40 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 29.24 ของพื้นที่ประเทศทั้งหมด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในรอบปีที่ผ่านมา ทั้งนี้มีพื้นที่ 119,895.79 ไร่ ที่ถูกเปลี่ยนจากการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ กลับมาเป็นพื้นที่ป่าไม้ รวมถึงพื้นที่ป่าไม้ที่มีการฟื้นคืนสภาพตามธรรมชาติ[39] ดังภาพประกอบ 4 อย่างไรก็ตามป่าไม้ในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ ป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) เป็นป่าไม้ที่มีพันธุ์ไม้ส่วนใหญ่ไม่ทิ้งใบ เนื่องจากป่าอยู่ในเขตที่มีความชื้นในอากาศและฝนตกชุกมากตลอดปี ป่าไม้ในประเภทนี้ เช่น ป่าดงดิบเมืองร้อน ป่าสนเขา ป่าพรุ และป่าชายหาด และอีกประเภทคือ ป่าผลัดใบ (Deciduous forest) เป็นป่าไม้ที่มีพันธุ์ไม้ส่วนใหญ่ทิ้งใบทั้งต้น เนื่องจากอยู่ในเขตที่มีความชื้นและปริมาณฝนตกน้อย พื้นที่แห้งแล้ง ป่าไม้ในประเภทนี้ เช่น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าทุ่งหรือป่าหญ้า ซึ่งป่าไม้ส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นป่าเขตร้อนประเภทป่าผลัดใบคิดเป็นร้อยละ 55 ของพื้นที่ป่าทั้งหมดที่มีพื้นที่ประมาณ 14,500,00 ha (แฮกตาร์) โดยแบ่งเป็นป่าเบญจพรรณร้อยละ 34 และป่าเต็งรังร้อยละ 21[20, 32, 40, 41]



ภาพประกอบ 4 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าไม้ระหว่างปี พ.ศ.2563 และปี พ.ศ. 2564

ที่มา: มูลนิธิสืบนาคะเสถียร [39]

ป่าเต็งรัง (Deciduous dipterocarp forest หรือ Dry dipterocarp forest) ที่พบร้อยละ 21 ของพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด เป็นป่าที่มีความสำคัญยิ่งต่อประเทศไทย มีพื้นที่ครอบคลุมกว่าร้อยละ 80 ของพื้นที่ป่าทั้งหมดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในภาคเหนือและกระจายลงมาถึงภาคกลาง ซึ่งลักษณะสำคัญของป่าเต็งรังคือ มีช่วงแห้งแล้งจัดยาวนานเกินสี่เดือนต่อปี ประกอบกับปริมาณน้ำฝนที่ตกน้อยคือ 900-1,200 mm/yr เท่านั้น ปัจจัยสำคัญที่สุดที่กำหนดการคงอยู่ของป่าเต็งรัง คือ ไฟป่า ซึ่งมักเกิดขึ้นระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม เนื่องจากไฟเป็นตัวจัดการโครงสร้างป่าและคัดเลือกพันธุ์ไม้ สามารถพบได้ในพื้นที่ป่าที่มีระดับความสูงไม่เกิน 1,000 เมตรลงมา พรรณไม้เจริญเติบโตได้ดีในดินตื้นที่มีลักษณะค่อนข้างแห้งแล้ง เป็นดินทรายหรือดินลูกรัง ข้อมูลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ความหนาแน่นของต้นไม้ในป่าเต็งรัง เท่ากับ 1,488 tree/ha[42]

ลักษณะโครงสร้างป่าเต็งรังสมบูรณ์โดยทั่วไปมีเรือนยอด 3 ชั้นเรือนยอด ไม่รวมชั้นปกคลุมผิวดิน ประกอบด้วย เรือนยอดชั้นบน มีความสูงประมาณ 20-35 m ไม้เด่นในชั้นนี้ประกอบไปด้วย พลวง (*Dipterocarpus tuberculstus* Roxb.) เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) ประดู่

ป่า (*Pterocapus macrocarpus* Kurz.) แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub. var. *Kerrii* (Craib & Hutch) I.C. Nielsen) และหว้า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) เป็นต้น เรือนยอดในชั้นนี้มีช่องว่างกระจัดกระจายทำให้แสงส่องถึงพื้นป่าได้ เรือนยอดชั้นรอง มีความสูงไม่เกิน 20 m เป็นไม้ขนาดกลางขึ้นแทรกอยู่ในช่องว่างของเรือนยอดชั้นบน ชนิดไม้เด่นคือ มะม่วงหัวแมงวัน (*Buchanania Lanzan* Spreng.) กระท่อมหมู (*Mitragyna rotundifolia* (Roxb.) ติ้ว (*Cratoxylum formosum* (Jack) Dyer) และกระโดน (*Careya sphaerica* Roxb.) เป็นต้น และเรือนยอดชั้นไม้พุ่มส่วนใหญ่มีความสูงไม่เกิน 7 m เป็นไม้ขนาดเล็กโดยธรรมชาติแต่บางชนิดเป็นไม้ขนาดกลางที่มาอยู่ร่วมในสังคมนี้มักแคระแกน ได้แก่ แสลงใจ (*Strychnos nux-vomica* L.) เหมือดโลด (*Aporosa villosa* (Lindl.) Baill.) กรมเขา (*Aporasa nigricans* Hook.f.) และปลงเหลี่ยม (*Cycas siamensis* Miq.) เป็นต้น ไม้ชั้นนี้จะขึ้นอยู่ห่าง ๆ ภายใต้เรือดยอดไม้ใหญ่ นอกจากนี้ยังมีไม้พื้นล่าง ประกอบไปด้วยไม้ที่มีลักษณะเหมาะสมกับสภาพที่แห้งแล้งและมีไฟป่าบ่อยครั้ง ได้แก่ ไผ่เพ็ก (*Vietnamosasa pusilla* (Chevalier& A.Camus) Nguyen) ส้มกั้ง (*Premna herbacea* Roxb.) และไก่อู้ (*Decaschistia parviflora* Kurz.) ขึ้นผสมกับหญ้าและพืชล้มลุกอื่นอีกหลายชนิด นอกจากนี้ ลักษณะโครงสร้างป่าเต็งรังแคระ เป็นสังคมป่าเต็งรังที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างเลวมาก ๆ โดยทั่วไปแบ่งเรือนยอดออกเป็น 2 ชั้นเรือนยอด ไม่รวมชั้นปกคลุมผิวดิน เรือนยอดชั้นบนสูงไม่เกิน 15 m ประกอบไปด้วยไม้ที่มีลักษณะคดงอ แสดงถึงความแคระแกรนเด่นชัด เรือนยอดชั้นรองมีความสูงไม่เกิน 7 m เรือนยอดชั้นบนและชั้นรองแยกความแตกต่างได้ค่อนข้างยาก องค์ประกอบของชนิดไม้ในป่าชนิดนี้ส่วนใหญ่เหมือนกับป่าเต็งรังสมบูรณ์ เว้นแต่ในชั้นเรือนยอดจะเตี้ยกว่ามาก ไม้เด่นมีความแปรผันมากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม พื้นป่าส่วนใหญ่ค่อนข้างโล่งเตียนจะพบวงศ์ขิงข่า (*Zingiberaceae*) ขึ้นผสมกับไม้ล้มลุกและหญ้าที่ปรากฏในป่าเต็งรังสมบูรณ์

โดยจากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ป่าเต็งรังเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ คิดเป็นร้อยละ 49 ของน้ำหนักแห้ง และมีการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 91 ton C/ha แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินเท่ากับ 62 ton C/ha และการกักเก็บคาร์บอนใต้พื้นดินเท่ากับ 29 ton C/ha ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินมากกว่าใต้พื้นดิน [43] ทั้งนี้ จากการศึกษาของที่ วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์ [32] ศึกษาเปรียบเทียบการกักเก็บคาร์บอนระหว่างป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า ป่าเต็งรังปฐมภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 80.37 ton C/ha แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดิน เท่ากับ 74.04 และ 6.31 ton C/ha ตามลำดับ และการกักเก็บ

คาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลเท่ากับ 0.02 ton C/ha ในขณะที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มีการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 78.49 ton C/ha แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน เท่ากับ 66.59 และ 11.53 ton C/ha ตามลำดับ และการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิตเศษซากชีวมวลเท่ากับ 0.37 ton C/ha โดยป่าเต็งรังปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน โดยมีผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (Net Ecosystem Production: NEP) เท่ากับ 3.29 และ 14.15 ton C/ha/yr หรือคิดเป็น 12.06 และ 51.88 ton CO_2/ha/yr ตามลำดับ[32] ซึ่งในปัจจุบันพื้นที่ป่าเต็งรังในประเทศไทยลดน้อยลงกว่าในอดีตมาก เนื่องจากมีความต้องการ ใช้ประโยชน์จากป่ามากขึ้น ทั้งประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม ประกอบกับป่าชนิดนี้เมื่อถูกทำลาย แล้วจะกลับฟื้นคืนเป็นป่าดังเดิมได้ยากการปลูกขึ้นใหม่ก็ทำได้ยากยิ่งกว่าจึงทำให้ป่าเต็งรังที่เป็นป่าปฐมภูมิลดลงอย่างรวดเร็วหรือเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นป่าเต็งรังทุติยภูมิ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพื่อทำการอนุรักษ์และฟื้นฟูสภาพป่าเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านการใช้ประโยชน์ป่าไม้ การเปลี่ยนแปลงที่ดินและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2.4 การศึกษาโครงสร้างชั้นเรือนยอดด้วยรูปถ่ายจากกล้องดิจิตอล

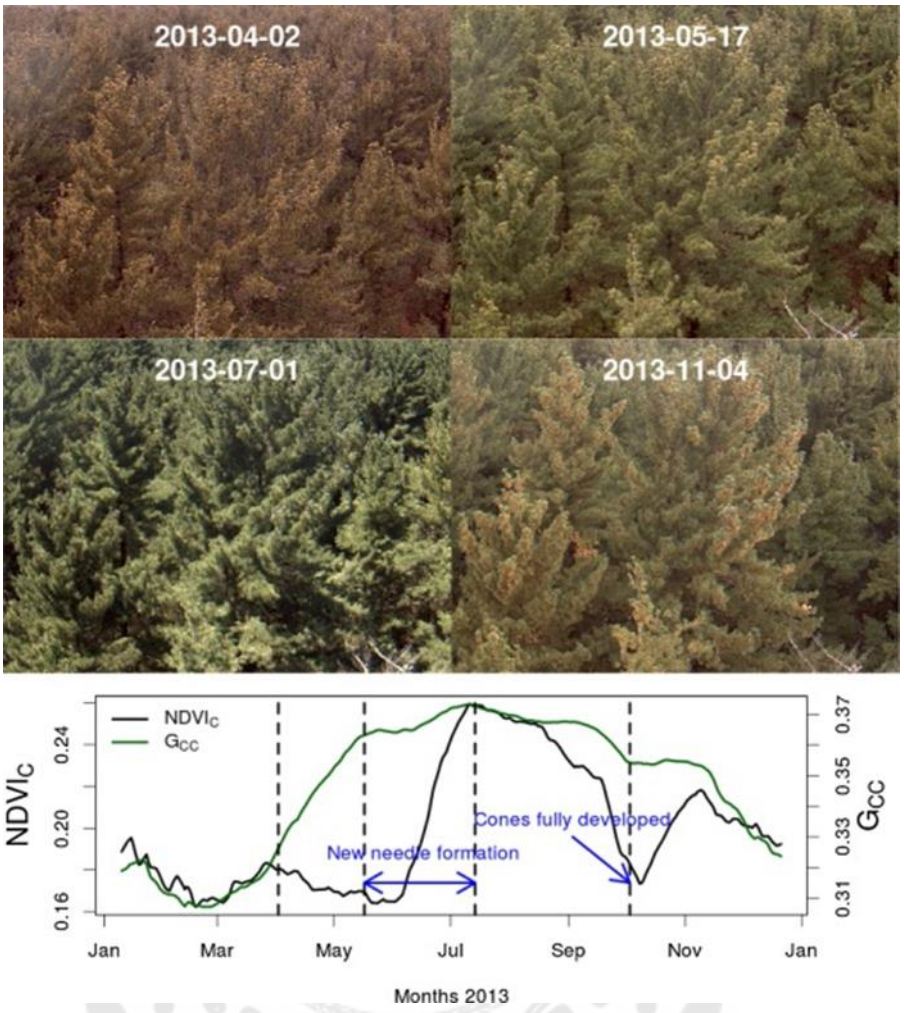
การศึกษาชีพลักษณ์ในระบบนิเวศป่าไม้ เริ่มต้นจาก การศึกษาจากการสำรวจระยะไกลด้วยเครื่องมือวัด โดยไม่มีการสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการตรวจวัดโดยตรง กระทำการสำรวจโดยให้เครื่องวัดอยู่ห่างจากสิ่งที่ต้องการตรวจวัด อาจติดตั้งเครื่องวัด เช่น กล้องถ่ายภาพ ไว้บนที่สูง บนบอลลูน บนเครื่องบิน ยานอวกาศหรือดาวเทียม เป็นต้น แล้วอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ หรือสะท้อนมาจากสิ่งที่ต้องการสำรวจเป็นสื่อในการวัด มีประโยชน์สำหรับการศึกษาที่ต้องการศึกษาพื้นที่ที่มีความละเอียดและความคมชัดของภาพน้อย ใช้ศึกษาในการดูภาพรวมหรือพื้นที่กว้าง จากการศึกษาการประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกลหรือ Remote sensing นำมาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าและการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ร่วมกับการเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง ระหว่างปี พ.ศ.2549 และ พ.ศ. 2556 โดยพบว่าสามารถให้ข้อมูลในระดับความละเอียดน้อยใช้ในการศึกษาพื้นที่กว้าง ไม่เหมาะต่อการศึกษาในระยะใกล้ที่ต้องใช้ความละเอียดสูง และยังมีข้อจำจัดในด้านการเข้าถึงข้อมูลพื้นที่การความมั่นคงของประเทศทางการทหารหรือพื้นที่หวงห้าม การรับข้อมูลจึงต้องใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูงในการดำเนินการ อีกทั้งการเพิ่มการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างป่าไม้ รวมถึงความซับซ้อนและความหนาแน่นของต้นไม้ในป่าดงดิบที่สามารถสกัดกั้นแสงแดดที่จะส่องลงสู่พื้นดิน ผลกระทบของการศึกษาโครงสร้างเรือนยอดโดยมีการสกัดกั้นของ

แสง ซึ่งทำให้ไม่สามารถวัดแสงได้โดยตรง จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองโครงสร้างพื้นผิวทรงพุ่มของการทดลองความหลากหลายของต้นไม้โดยการถ่ายภาพ และรวมภาพถ่ายเป็นแบบจำลองระดับความสูงแบบดิจิทัลด้วยเครื่องมือ photogrammetry เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของความหลากหลายของต้นไม้และความหลากหลายของฟังก์ชั่นต่อความซับซ้อนของป่า[44]

ในปัจจุบันเริ่มมีการใช้การศึกษาด้วยการสำรวจระยะใกล้ โดยใช้การศึกษาโดยการถ่ายภาพซ้ำด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ยกตัวอย่างเช่น กล้อง Pheno Cam กล้องดิจิตอลและกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่มาใช้ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายระยะใกล้ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศป่า การติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีพลักษณ์ในระยะยาวโดยใช้กล้องดิจิตอลถ่ายรูปในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ (Time-lapse) ในระดับรายรอบวันหรือแต่ละช่วงเวลาของวันสามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ การถ่ายรูปดิจิตอลแบบซ้ำ ๆ มีข้อได้เปรียบเหนือการใช้การตรวจวัดระยะไกลคือ สามารถบันทึกข้อมูลที่มีความละเอียดและสม่ำเสมอกว่าการติดตามบนพื้นดิน ดังนั้นกล้องดิจิตอลที่สามารถถ่ายรูปแสง (Digital visible light camera) สามารถให้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนเชิงพื้นที่และมีค่าใช้จ่ายต่ำ พร้อมกับความละเอียดในระดับพื้นที่ได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้ กล้องถ่ายรูปดิจิตอลจึงกลายเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นแสง (Multispectral sensor) ที่ใช้ได้ง่ายโดยเทคนิคนี้สามารถปรับปรุงความละเอียดทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาโดยมีการใช้แรงงานค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ ยังขจัดข้อจำกัดด้านการปกคลุมของเมฆจากการถ่ายภาพระยะไกลได้ และยังมีความสม่ำเสมอ ความต่อเนื่อง และมีความแม่นยำในการตรวจวัดบนภาคพื้นอีกด้วย การตรวจวัดลักษณะทางชีพลักษณ์ด้วยกล้องถ่ายรูปนั้นช่วยให้สามารถติดตามพืชบนบกได้โดยตรงจากแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลากหลายทั่วโลก เช่น การศึกษาโดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องดิจิตอลระยะยาวอย่างต่อเนื่องจากการตรวจสอบด้วยคลื่นรังสีที่ติดตั้งบนเสารับสัญญาณ (Tower) ในพื้นที่ป่าไม้เนื้อแข็งทางตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบตัวชี้วัดชีพลักษณ์ของดัชนีพื้นที่ผิวใบ (LAI) ดัชนีพื้นที่พืช (PAI) และวันที่ช่วงการเปลี่ยนภาพที่เกี่ยวข้อง (เช่น ระยะเวลาของการเริ่มขยายตัวของใบและการหยุดใบไม้ร่วง) ข้อมูลจาก Bartlett Experimental Forest โดยใช้การภาพถ่ายดิจิตอลแบบซ้ำ (DRP) ที่เก็บรวบรวมโดยใช้วิธีการสองวิธีที่แตกต่างกันประกอบด้วย Canopy cover” และ“Pheno Cam พร้อมกับการวัดรังสีแบบสังเคราะห์แสง (PAR) รวมทั้งวัด พื้นที่ใบ (LAI) ผลการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตของพืชจากการวัดพื้นที่ใบ (LAI) ลดลง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณ์โดยวัดจากสีที่คำนวณจากภาพถ่าย Pheno Cam ดัชนีสีเขียว (GCC) ลดลง และดัชนีสีแดง (RCC) จะเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูใบไม้ร่วง[45] สอดคล้องกับ

การศึกษาดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) โดยใช้กล้องดิจิตอลในพื้นที่ป่าครอบคลุมสหรัฐอเมริกาและแคนาดา โดยค่าดัชนีพืชพรรณและดัชนีสีเขียว (GCC) จะเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูใบไม้ผลิและลดลงในช่วงฤดูใบไม้ร่วง ดังแสดงในภาพประกอบ 6 [46]

อีกทั้งสามารถประเมินความสมดุลของคาร์บอน น้ำ และพลังงานในป่าได้ ยกตัวอย่าง เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลในป่า black spruce forest ใน Alaska ที่มีสรีระวิทยาชั้นเรือนยอดแบบเปิด และป่า Evergreen Coniferous Forest ในญี่ปุ่นที่มีสรีระวิทยาชั้นเรือนยอดแบบปิด พบว่า ค่า Gross primary production (GPP) และ Photosynthetically Active Radiation (PAR) จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นในแต่ละวัน โดยค่า GPP สูงสุดของป่าจะมีความแตกต่างกัน โดยสีของต้นไม้ในประเทศญี่ปุ่นเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวแดงในช่วงฤดูหนาว เนื่องจากมีการสะสมของเม็ดสีแซนโทฟิล แต่ในอลาสก้าช่วงฤดูหนาวจะถูกปกคลุมด้วยหิมะ ในช่วงฤดูหนาวไม่มีใบไม้ บ่งบอกถึงลักษณะป่าและสีของใบไม้ที่ต่างกัน ส่งผลต่อค่า GPP สูงสุดและต่ำสุดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (Nagai et al., 2013) ทั้งนี้ สีของรูปถ่ายจะบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของการหมุนเวียนคาร์บอน เช่น การศึกษาลักษณะสีของใบบนชั้นเรือนยอดของป่า evergreen coniferous ของประเทศญี่ปุ่น กับการเก็บกักคาร์บอน พบว่า ช่วงสีใบของเรือนยอดเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นเขียวเหลืองในฤดูหนาวช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม และเปลี่ยนสีจากสีเขียวสีเหลืองไปจนถึงสีเขียวขาวในช่วงต้นฤดูร้อนปลายเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม โดยลักษณะโครงสร้างของป่าและช่วงฤดูกาลที่มีความแตกต่างกัน จะส่งผลต่อค่า GPP มีค่าสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเวลาแตกต่างกัน[47]



ภาพประกอบ 5 ภาพถ่ายโดยใช้กล้องดิจิตอลในพื้นที่ป่าครอบคลุมสหรัฐอเมริกาและแคนาดา

ที่มา : Filippa, Cremonese [48]

2.5 การศึกษาพลวัติของรากฝอย

รากฝอย (Fine Root) เป็นรากขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 mm มีบทบาทสำคัญในการหาอาหาร การลำเลียงและดูดซึมน้ำ แร่ธาตุ และสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ การตรึงลำต้นเหนือพื้นดิน กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช มีความสำคัญในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการหมุนเวียนคาร์บอนและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยด้านภูมิอากาศในระบบนิเวศป่าไม้[49] เนื่องจากรากฝอยมีช่วงชีวิตสั้น มีอัตราการเกิดรากใหม่หรือการตายของรากฝอยเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต กล่าวคือ มีการสร้างราก

ขึ้นใหม่ทดแทนรากเดิมที่เสื่อมสภาพ หรือถูกทำลายตามธรรมชาติ การเกิดหรือการเสื่อมสภาพของรากนั้นเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน และการตรึงคาร์บอนในดินในรูปของอินทรียวัตถุ[32, 50, 51] โดยการประเมินพลวัติของรากฝอย (Root Dynamics) ที่ผ่านมามีการนำเทคนิคจากนักสรีรวิทยาพืช ซึ่งศึกษาทั้งทางตรงและทางอ้อมมาใช้ในการศึกษา สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1) การใช้น้ำแรงดันสูง (High Water Pressure Technique) มีการขุดและใช้แรงดันน้ำฉีดรากทั้งต้นของพืช โดยมีหัวฉีดสองประเภท ประเภทหนึ่งคือหัวฉีดแรงดันสูงแบบแคบใช้เพื่อกำจัดดินจำนวนมากที่อยู่รอบ ๆ ส่วนอีกประเภทหคือสเปรย์เป็นวงกว้างเพื่อกำจัดดินที่เหลือออกจากรากขนาดเล็กกว่า และนำรากของพืชทั้งต้นมาถ่ายรูป เพื่อประเมินปริมาณราก ซึ่งวิธีนี้จะได้ระบบรากทั้งระบบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง > 2 mm[52, 53]

2) การขุดด้วยลมแรงดันสูง (Air Jet Pressure: Supersonic Compressed Air) ในการสำรวจรากจะทำการใช้ลมแรงดันสูงเป่าดินที่อยู่ในพื้นที่ที่กำหนดออก โดยที่อีกฝั่งเป็นกระบอกช่วยดูดดินออกให้เหลือแต่รากพืช[54]

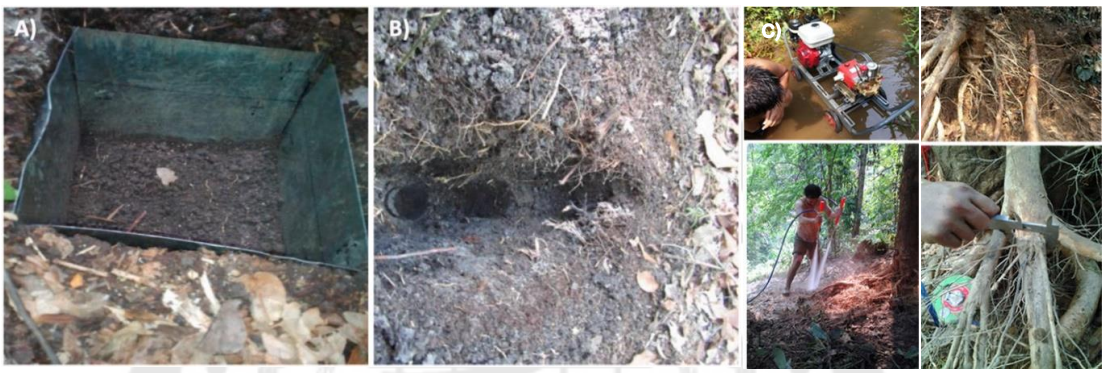
3) วิธี sequential soil coring เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษามวลชีวภาพของรากฝอย ซึ่งจะทำการขุดเก็บตัวอย่างรากโดยใช้ soil core เป็นระยะ ๆ ตามความลึกที่กำหนด เช่น ทุกหนึ่งเดือน หรือสองเดือน เป็นต้น[55] วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของรากฝอยทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต และสามารถประเมินการผลผลิต (production) การตาย (mortality) และการหมุนเวียน (turnover) ของรากฝอยได้[56]

4) วิธี ingrowth core เป็นการศึกษามวลชีวภาพโดยใช้ตาข่ายทรงกระบอกบรรจุดินซึ่งปราศจากรากปะปน หรือที่เรียกว่า ingrowth core ไปฝังในพื้นที่ศึกษา จากนั้นก็ขุดเก็บ ingrowth core ที่ฝังเป็นระยะ ๆ เพื่อศึกษามวลชีวภาพของรากฝอยที่เจริญเติบโตเข้าไปภายใน ตาข่ายทรงกระบอกในแต่ละครั้ง วิธีนี้มีจุดอ่อนคือ ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินที่ใส่ลงในตาข่ายทรงกระบอกอาจแตกต่างกับดินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตเข้าไปภายใน ingrowth core ของราก[55]

5) วิธี minirhizotrons เป็นการศึกษาโดยนำท่อโปร่งใสไปฝังไว้ในพื้นที่ศึกษาแล้วใช้กล้องที่มีขนาดเล็กสอดลงไปภายในท่อ เพื่อถ่ายภาพรากที่ระดับความลึกต่าง ๆ เป็นระยะ โดยข้อมูลที่ได้จากภาพถ่าย เช่น ความยาวหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของราก จะนำมาสร้างความสัมพันธ์และแปลงเป็นค่ามวลชีวภาพของรากฝอย วิธีนี้จะทำให้ได้ข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ อีกทั้งยังเหมาะกับการศึกษาพลวัตของรากฝอยและผลกระทบของสภาวะสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโต

ของราก[55] สามารถเก็บข้อมูลได้โดยไม่ทำลายชั้นผิวหน้าดิน ใช้เวลาในการดำเนินการน้อย และสามารถเก็บข้อมูลภาพถ่ายรากซ้ำในระยะยาวได้ แต่มีข้อจำกัดในค่าใช้จ่ายที่จะต้องลงทุนสูงหากทำเป็นแบบถาวรในพื้นที่

นอกจากนี้ยังมี วิธี Framed Monolith วิธีการวัดโดยการใช้น้ำ (Soil Moisture Depletion) วิธีใช้ Radioactive Isotope วิธี Allometry วิธี Trench Profile และวิธี ingrowth bag เป็นต้น[52] ตัวอย่างประเมินรากฝอยดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างวิธีการประเมินรากฝอยและพลวัติของรากฝอย วิธี ingrowth bag (A) วิธี sequential coring (B) วิธีการใช้น้ำแรงดันสูง (C)

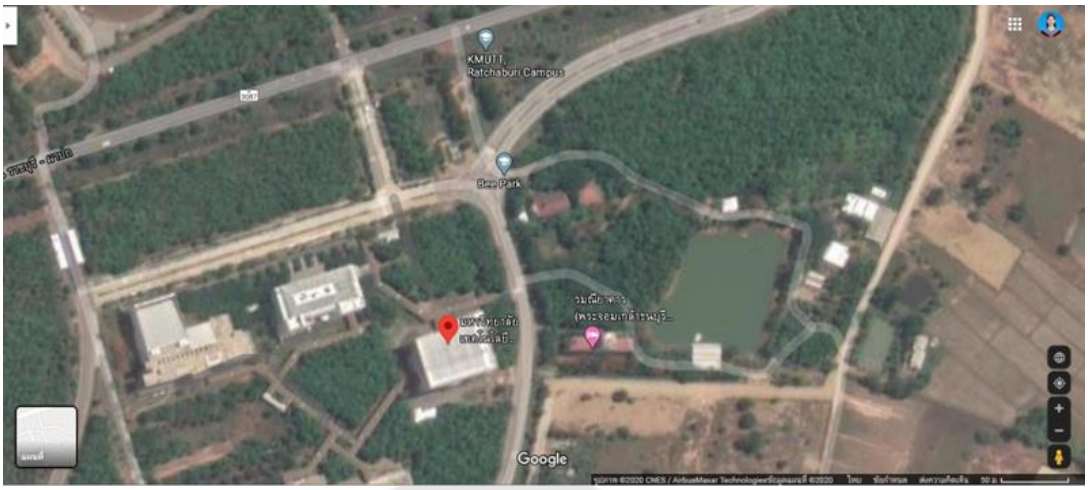
ที่มา: Akejit, Mairaing [52], Sarai, Jong [56], White, George [57]

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของรากฝอยที่ผ่านมา โดยใช้วิธี Soil cores ในการเก็บตัวอย่างรากฝอยเพื่อประเมินมวลชีวภาพของรากฝอย ตัวอย่างดินถูกนำมาจากชั้นซากพืชโดยใช้กระบอกดิน Soil core จากระดับ 0-10 cm, 10-20 cm และ 20-30 cm ในการวิเคราะห์รากฝอยต้นสนสก็อต มีผลผลิตเหนือพื้นดินที่สูงกว่าต้นเบิร์ชและต้นสนนอร์เวย์ สิ่งนี้สะท้อนให้เห็นถึงรากฝอยขนาดใหญ่จะมีผลผลิตชีวมวลที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น ผลผลิตชีวมวลประจำปีที่ระดับ 0-10 cm พบว่า ผลผลิตชีมวลของต้นสนสก็อต ต้นเบิร์ช และต้นสนนอร์เวย์ เท่ากับ 284, 78 และ73 gm^{-2} ตามลำดับ สรุปได้ว่ารากฝอยที่มีความหนาจะมีอายุที่ยืนยาว รากฝอยส่วนใหญ่มีขนาดบางกว่า 0.5 มิลลิเมตร ด้วยอัตราหมุนเวียน (KM) 0.4 yr^{-1} [58]

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษาอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศต่อความยาวและมวลชีวภาพของรากฝอย ทำการศึกษาวิจัย ณ พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ตั้งอยู่ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี พื้นที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศไทย (ละติจูด: 13° 35' 13.3" N, ลองติจูด: 99° 30' 3.9" E ที่ระดับความสูง 110 m เหนือระดับน้ำทะเล มีพื้นที่ป่ารวมทั้งหมด 187.2 ha และได้รับการอนุรักษ์ในปี พ.ศ.2548 เนื่องจากในอดีตมีการตัดต้นไม้เพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นถ่าน ส่งผลต่อต้นไม้ส่วนใหญ่จำเป็นที่จะต้องได้รับการฟื้นฟู ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2554-2558 ในพื้นที่ป่าเต็งรังจังหวัดราชบุรีมีพันธุ์ไม้เด่นประกอบด้วย เต็ง (*Shorea obtusa*) รัง (*Shorea siamensis*) พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) และยางกราด (*Dipterocarpus intricatus*) ต้นไม้ในป่ามีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 10 m ในพื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,029 มิลลิเมตร โดยในช่วงเดือนเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน จะมีปริมาณฝนตกเฉลี่ยมากที่สุด โดยมีอุณหภูมิอากาศรายปีเฉลี่ยเท่ากับ 28.46 °C ในขณะที่จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 34.18 °C และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 22.82 °C ลักษณะดินในพื้นที่เป็นดินชุดดินจอมบึง โดยมีลักษณะองค์ประกอบเป็นดินทรายปนดินร่วน จากการวัดที่ระดับความลึกดิน 100 cm จากผิวดิน พบองค์ประกอบของดินเป็นดินทรายสูงมากกว่าร้อยละ 70 มีดินเหนียวและดินทรายแป้งปะปนเล็กน้อย มีความหนาแน่นดินรวมอยู่ในช่วง 1.3-1.4 $g.cm^{-3}$ ดินจะมีความเป็นกรด และมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.8-5.1 และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3-0.5 [59]



ภาพประกอบ 7 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี

ภาพประกอบ 8 พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี

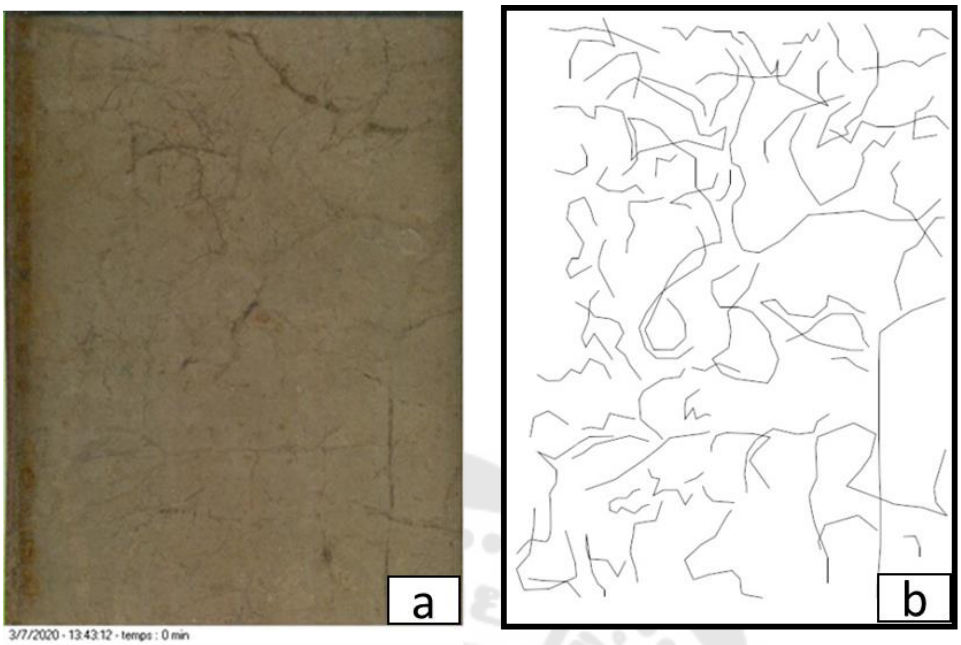
3.2 การเก็บข้อมูลราก

3.2.1 การเก็บข้อมูลรากด้วยวิธี Mini Rhizotron Technique

การศึกษาเจริญเติบโตของรากพืชด้วยใช้วิธี Mini Rhizotron Technique โดยเทคนิคนี้เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ เนื่องจากสามารถศึกษารากได้ในระยะยาวและมีข้อดีคือไม่ทำลายส่วนต่างๆ ของระบบรากพืช โดยสามารถศึกษาการเจริญเติบโตของรากพืช การแผ่กระจายของราก ความหนาแน่นและน้ำหนักของรากฝอยต่อพื้นที่ โดยจะใช้แผ่นกระจกใสมีความโปร่งใสเห็นได้ชัดเจน มีขนาดกว้าง 40 cm สูง 50 cm หนา 1 cm ฝังในดินบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างในทุกการทดลองให้แนวดิ่งทำมุมกับต้นไม้ 45 องศา โดยทำการศึกษาทั้งหมด 4 ระดับความลึก ได้แก่ 0.15, 0.75, 1.5 และ 2.5 เมตรจากระดับพื้นดิน รวมทั้งสิ้น 2 หลุม ดังภาพประกอบ 9

จากนั้นทำการต่อเครื่องสแกนภาพถ่ายรากเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการลงโปรแกรม Meaght โดยการศึกษาในครั้งนี้จะใช้เครื่องสแกน ยี่ห้อ Epson รุ่น Epson Perfection V39 และทำการสแกนรูปภาพการเจริญเติบโตของรากฝอยจนครบ 4 ระดับความลึก เป็นประจำทุกเดือน จากนั้นทำการเก็บภาพโดยการนำภาพถ่ายที่ได้มาวิเคราะห์ความยาวและขนาดรากในแต่ละสัปดาห์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Gimp versions .210 ในการวาดเส้นรากที่มีการเจริญเติบโตและรากที่ตายแล้ว ที่ได้จากภาพที่ทำบันทึกภาพถ่ายรากในแต่ละเดือน รวมทั้งสิ้น 24 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2563 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ.2565 ภาพที่ได้จะแสดงให้เห็นในภาพประกอบ 10(b) จากนั้นปรับขนาดสีให้ชัดเจนเพื่อนำมาวิเคราะห์ความยาวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป WinRHIZO (Regent Instruments INC, Canada)

ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการสแกนรากด้วยวิธีการ Minirhizotron



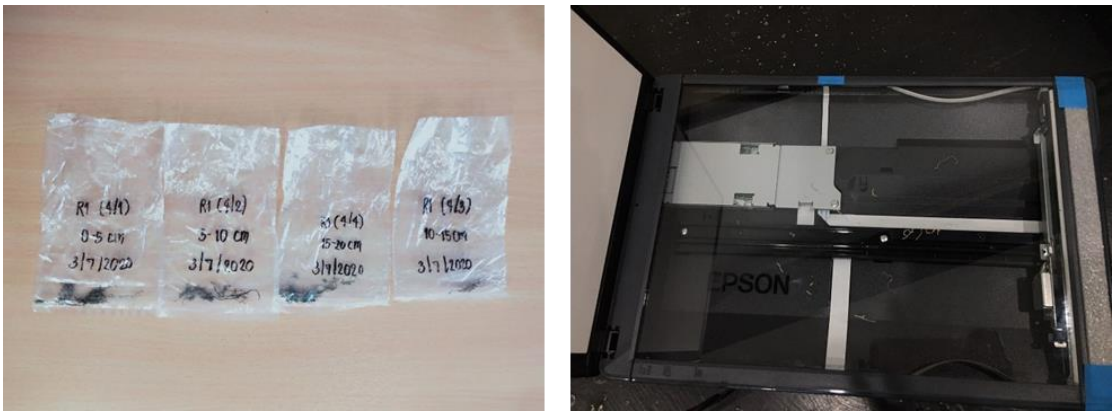
ภาพประกอบ 10 ภาพที่ได้จากการสแกนรากด้วยวิธีการ Minirhizotron

3.2.2 **การเก็บข้อมูลรากด้วยวิธี** Soil core

ความยาวรากฝอยและมวลชีวภาพรากฝอยถูกเก็บด้วยวิธี soil core ความถี่ 1 ครั้งต่อเดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2563-เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2565 ด้วยวิธีการสุ่มทั้งสิ้น 20 จุด ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ที่ระดับความลึก 4 ระดับ 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm (ภาพประกอบ 11) จากนั้นทำการแยกรากฝอย (ขนาด $\leq$2 mm) ทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต จากการสังเกตสีของรากด้วยสายตา โดยรากฝอยมีชีวิตจะมีความชุ่มชื้นและมีสีอ่อน ในขณะที่รากฝอยไม่มีชีวิตจะไม่มีความชุ่มชื่น แตกหักง่าย และมีสีเข้ม แล้วนำตัวอย่างรากฝอยล้างน้ำให้สะอาดอย่างระมัดระวังจากนั้นนำรากฝอยมาอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง (ภาพประกอบ12) แล้วทำการสแกนภาพของรากฝอยโดยเครื่องสแกนและปรับขนาด สี ให้ชัดเจนโดยใช้โปรแกรม Paint นำรูปภาพที่ทำการปรับความคมชัดชัดเรียบร้อยร้อยไปวาดในโปรแกรม Gimp versions 2.10 จากนั้นนำภาพสแกนรากที่ได้ไปวิเคราะห์ความยาวราก ตามลำดับชั้นความลึกดิน และวิเคราะห์ความยาวของรากฝอย โดยโปรแกรม Image J ด้วยชุดคำสั่งโปรแกรมสำเร็จรูป WinRHIZO (Regent Instruments INC, Canada) (Kumkeaw et al., 2022) ดังภาพประกอบ 13

ภาพประกอบ 11 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างรากด้วยวิธีการ Soil Core

ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักและอบรากฝอย



ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนการสแกนรากฝอย

3.3 การถ่ายภาพจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่

การติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพดิจิตอล ณ พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี โดยติดตั้งโทรศัพท์มือถือรุ่น Honor7 Dua-AL00 ระบบปฏิบัติการ Androind Oreo version 8.1 EMUI 8.0 หน่วยประมวลผล Mediatek MT6739, Quad-core 1.5 GHz Cortex-A53 ความละเอียดกล้อง 1280H x 960P ระบบจับโฟกัส PDAF รูรับแสง f/2.2 โดยติดตั้งกล้องถ่ายภาพในตู้กันฝน (Ricoh Caplio R4) บนเสาสูงที่ความสูงเหนือระดับชั้นเรือนยอดประมาณ 5 m ทำมุม 20° กับชั้นเรือนยอด และถ่ายภาพอัตโนมัติด้วยแอพพลิเคชั่นสำหรับการถ่ายภาพ (Camera FV-5 Pro) ทุก ๆ 1 ชั่วโมง (บันทึกภาพในรูปแบบ JPEG ที่ความละเอียด 3120 x 4208 pixels) สำหรับการคัดเลือกภาพที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าสี จะคัดเลือกภาพที่ดีที่สุด (ภาพต้องไม่ได้ผลกระทบจากเงา หยดน้ำ หรือหมอก) ในช่วงเวลา10.00 – 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบเชิงมุมของการสะท้อนแสงของชั้นเรือนยอด (ภาพประกอบ 14)

จากนั้นวิเคราะห์ค่าความเข้มของแสง (Digital number: DN) ด้วยโปรแกรม Image J และนำค่า Digital number ไปคำนวณดัชนีสี ทั้ง 3 สี ได้แก่ สีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) สีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) และสีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) ดังสมการ (1)–(3) และคำนวณดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index: GEX) สมการ (4) จากนั้นนำค่าดัชนีสีเข้าสู่กระบวนการทำคุณภาพข้อมูล (Quality control) ด้วยเทคนิคการกรองด้วยสภาพอากาศ (Weather filtering: WFI) จากสมการ (5) (ภาพประกอบ 15) แล้วคัดเลือกภาพตามช่วงเวลาที่มีค่า WFI ห่างจาก 0 มากที่สุด (เนื่องจากเมื่อภาพมีสภาพแวดล้อมท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) อัตราส่วนค่าดัชนีสีน้ำเงินจะมีค่าสูงกว่าค่าดัชนีสีแดง ขณะที่เมื่อ

สภาพแวดล้อมอยู่ภายใต้สภาวะมีหมอก หรือเมฆครึ้ม ความแตกต่างของค่าดัชนีจะมีค่าต่ำ) มา 1 ภาพ เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลของวันนั้น ภาพจะถูกวิเคราะห์ตามลำดับวันที่ / เวลา ใช้พื้นที่ที่สนใจ (ROI) (ภาพประกอบ 16) (a และ d) คือกล้องถ่ายเรือนยอดและพื้นดิน (b และ c) คือภาพที่ได้จากกล้อง (e และ f) คือภาพที่ได้จากกล้อง d โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้เป็นรูปของเลขดิจิตอลจากช่วงคลื่น RGB

$$RCC = RDN / (RDN + GDN + BDN) \quad (1)$$

$$GCC = GDN / (RDN + GDN+ BDN) \quad (2)$$

$$BCC = BDN / (RDN + GDN + BDN) \quad (3)$$

$$GEI = 2GDN – (RDN + BDN) \quad (4)$$

$$WFI = (BCC – RCC) / (BCC + RCC) \quad (5)$$

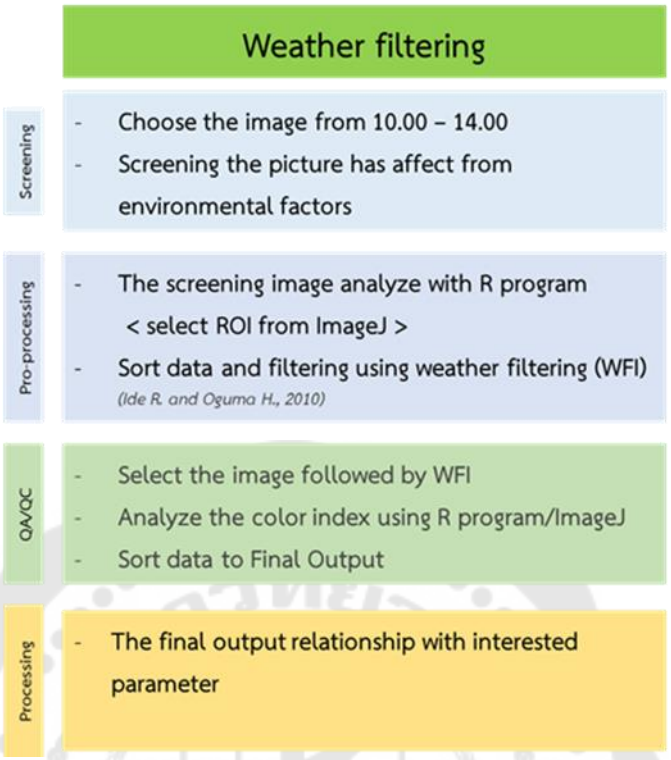
เมื่อ RDN คือ ช่วงคลื่นสีแดง

GDN คือ ช่วงคลื่นสีเขียว

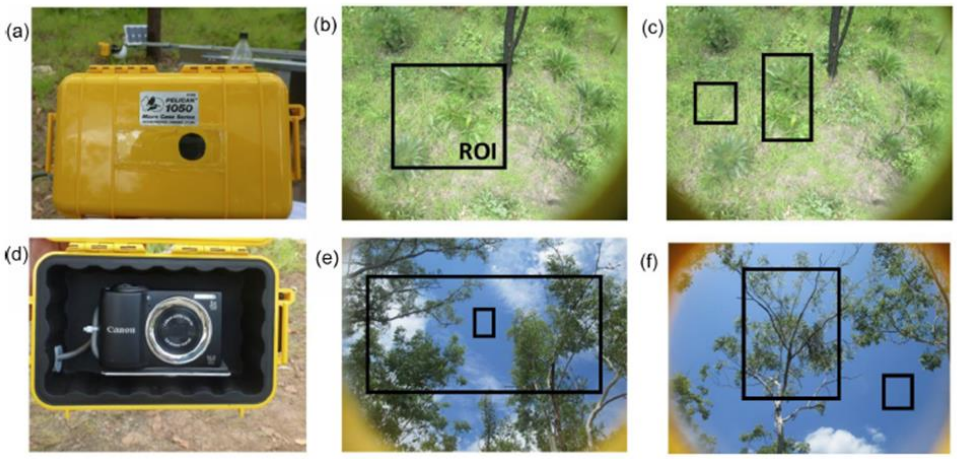
BDN คือ ช่วงคลื่นสีฟ้า

GEX คือช่วงคลื่นสีเขียวส่วนเกิน

ภาพประกอบ 14 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล



ภาพประกอบ 15 แผนผังการคัดเลือกข้อมูลและการทำคุณภาพข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลด้วยเทคนิคการกรองด้วยสภาพอากาศ (Weather filtering: WFI)



ภาพประกอบ 16 การวิเคราะห์ภาพและการเลือกพื้นที่ที่สนใจศึกษา Region of Interest (ROI)

ที่มา: Ahrends, Etzold [60]

3.4 การเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม จากสถานีจุลอุตุนิยมวิทยาจังหวัดราชบุรี

3.4.1 อุณภูมิอากาศ (Air temperature)

อุณหภูมิของอากาศ (Air temperature) เป็นพารามิเตอร์สภาพอากาศที่วัดได้บ่อยที่สุด ทำให้ทราบถึงระดับความเย็นและความร้อนในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุณหภูมิอากาศสามารถอธิบายพลังงานจลน์หรือพลังงานของการเคลื่อนที่ของก๊าซที่ประกอบกันเป็นอากาศ เมื่อโมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่เร็วขึ้น อุณหภูมิของอากาศก็จะเพิ่มขึ้น อีกทั้งในการเจริญเติบโตของพืชจะหยุดชะงัก ก็ต่อเมื่อพืชนั้นได้รับอุณหภูมิอากาศที่สูงหรือต่ำเกินไป พืชนั้นจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วก็ต่อเมื่อพืชนั้นได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสม ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การเก็บข้อมูลด้วยเครื่อง Thermocouple probes (TCAV, Campbell Scientific, Inc., USA)

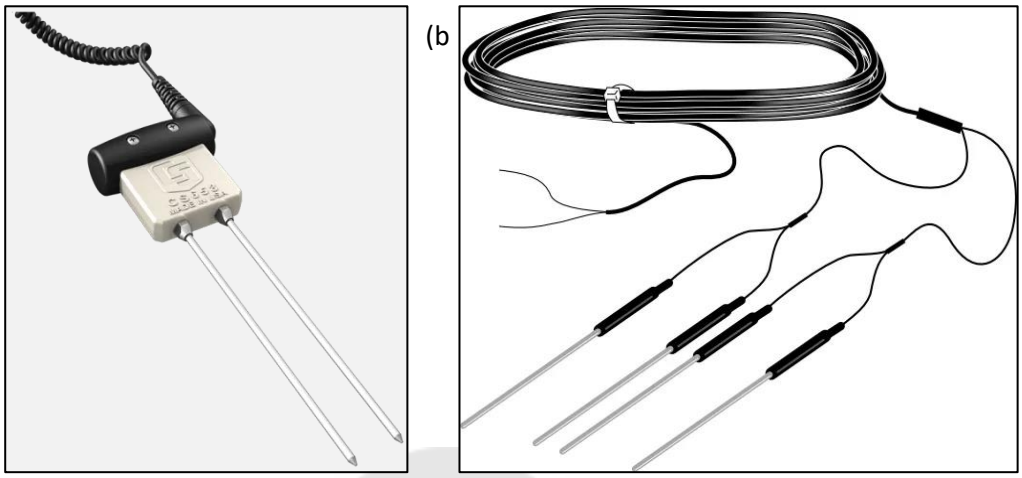
3.4.2 อุณหภูมิดิน (Soil temperature)

อุณหภูมิดิน (Soil temperature) มีอิทธิผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของราก การดูดซึมน้ำและแร่ธาตุอาหารต่างๆ ภายในดิน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในดินจะขึ้นอยู่กับรังสีของพระอาทิตย์ โดยที่อุณหภูมิภายในดินนั้นต้องเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด การปรับระดับอุณหภูมิในดินให้เหมาะสมนั้นเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีและแข็งแรงต่อการเพาะปลูก ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การเก็บข้อมูลด้วยเครื่อง Thermocouple probes (TCAV, Campbell Scientific, Inc., USA)

3.4.3 ความชื้นในดิน (Soil water content)

ความชื้นในดิน (Soil water content) ปริมาณความชื้นในดินส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าปริมาณน้ำในดินน้อยเกินไป จะทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชและลดคุณภาพของผลผลิตของพืช ในขณะที่น้ำมีปริมาณที่มากเกินไป มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการชะล้างดินและล้างปุ๋ยและแร่ธาตุอาหารในดิน เพื่อรักษาคุณภาพของดิน หากจะทำการเกษตรจะต้องทำการหมุนเวียนดินด้วยการปลูกพืชหมุนเวียนและใช้ปุ๋ยเคมีในการเติมสารอาหารที่พืชสูญเสียไป แต่ยังต้องติดตามและควบคุมความชื้นของดิน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การเก็บข้อมูลด้วยเครื่อง Water content reflectometers (CS615, Campbell Scientific, Inc) ตรวจวัดความชื้นในดิน ซึ่งในการตรวจวัดอุณหภูมิดินและความชื้นในดินจะทำการตรวจวัดที่ระดับความลึก 5 cm โดยข้อมูลจะถูกบันทึกใน Data logger รุ่น CR1000 (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA)

(a (b



(c

ภาพประกอบ 17 ภาพอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อม (a) เครื่อง Thermocouple probes วัดอุณภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน (b) เครื่อง Water content reflectometers วัดความชื้นในดิน และ (c) เครื่อง Data logger รุ่น CR1000 ใช้บันทึกข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม

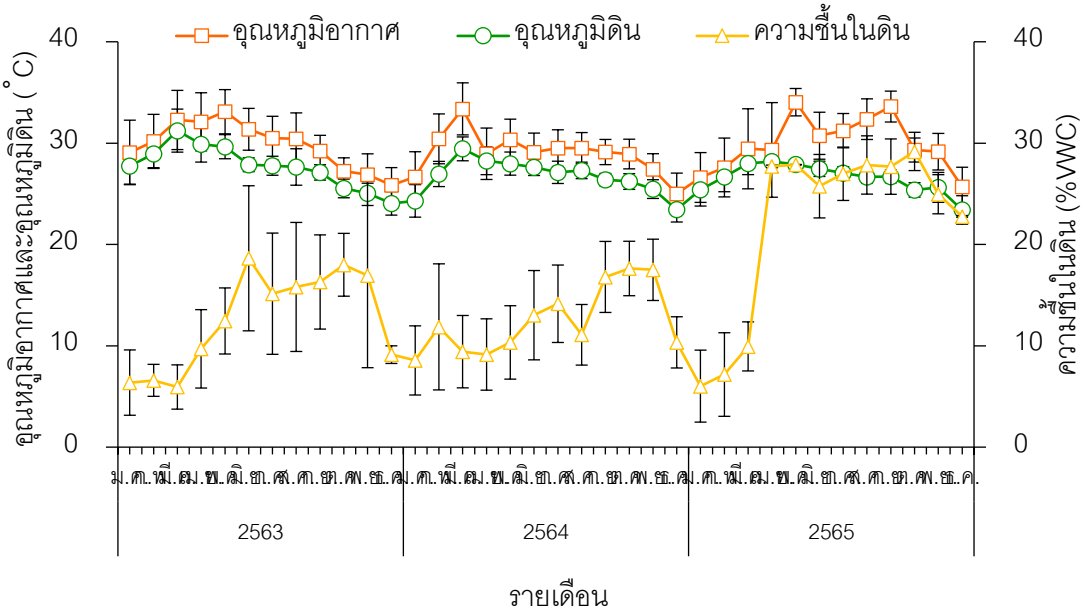
3.5 **สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์**

การศึกษาพลวัติของรากฝอยและดัชนีสีทรงพุ่มของต้นไม้ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จะหาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของรากฝอยและการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ของป่าได้ โดยใช้การคำนวณค่าดัชนีสี RGB จากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่รวมทั้งปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ประกอบไปด้วย อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Pearson's correlation โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS statistics for windows, version 17 (IBM Corp., Armonk, N.Y. USA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมด้านภูมิอากาศ

จากการเก็บข้อมูลปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมประกอบไปด้วย ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2565 ผลจากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศรายปี มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 28.62±1.89 °C โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ.2564 (ช่วงฤดูแล้ง) เท่ากับ 33.38±1.62 °C และต่ำสุดเฉลี่ยในเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 (ช่วงฤดูแล้ง) เท่ากับ 25.01±1.17 °C ขณะที่ข้อมูลอุณหภูมิดินมีอุณหภูมิดินเฉลี่ย ที่ระดับความลึก 5 cm เท่ากับ 26.58±1.54 °C โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ.2564 (ช่วงฤดูแล้ง) เท่ากับ 29.43±0.77 °C และต่ำสุดเฉลี่ยในเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 (ช่วงฤดูแล้ง) เท่ากับ 23.44±1.03 °C และข้อมูลความชื้นในดิน ที่ระดับความลึก 5 cm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.18±4.93 %VWC มีค่าสูงสุดในเดือนเดือนมีนาคม พ.ศ.2564 (ช่วงฤดูแล้ง) เท่ากับ 27.70±0.13 %VWC และต่ำสุดในเดือนมกราคม พ.ศ.2565 (ช่วงฤดูแล้ง) เท่ากับ 6.02±3.55 %VWC (ภาพประกอบ 18)



ภาพประกอบ 18 ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม ปี พ.ศ. 2563 ถึง ปี พ.ศ.2565

4.2 ผลภาพถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่

4.2.1 ภาพถ่ายรายวันเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอด

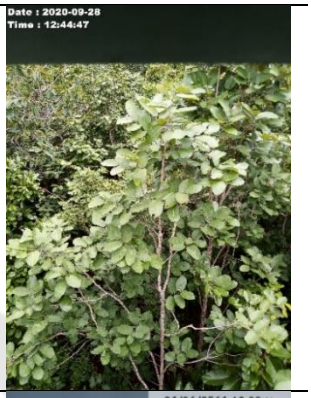
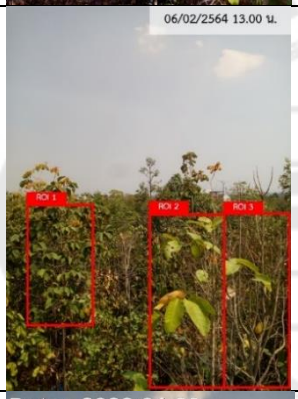
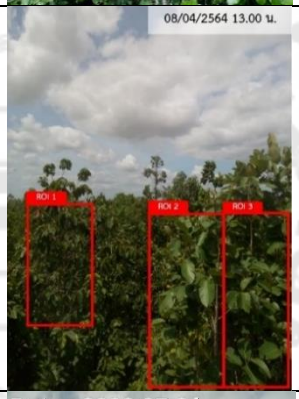
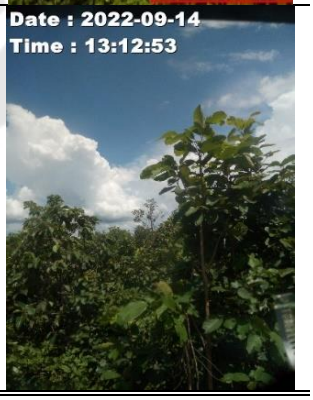
จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอดโดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2565 โดยคัดเลือกตำแหน่งของภาพที่สนใจ (Region of interest; ROI) ว่าแต่ละพื้นที่ศึกษามีลักษณะการตอบสนองของชั้นเรือนยอดและเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณ์ที่แตกต่างกันการแบ่งช่วงฤดูกาลตามสภาพภูมิอากาศของระบบนิเวศป่าในพื้นที่ศึกษาเป็นฤดูแล้งและฤดูฝน โดยฤดูแล้งเริ่มตั้งแต่ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน (Dry season) และฤดูฝน (Wet season) เริ่มตั้งแต่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม[61] นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการแบ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะทางชีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอดเพื่อให้เห็นการตอบสนองของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนี้

1) ช่วงทิ้งใบ (Defoliation) ของป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี (DFR site) เริ่มตั้งแต่เข้าสู่ฤดูแล้งที่ไม่มีฝนติดต่อกันมากกว่า 4 วัน หรือปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยน้อยกว่า 5 mm ภายใน 14 วัน[62] ปริมาณน้ำในดิน (Soil water content: SWC) น้อยกว่า 10 %VWC[63] จนถึงช่วงที่ GEI มีค่าต่ำที่สุด (GEImin) โดยในระยะนี้ RCC จะมีค่าสูงกว่า GCC ไปจนถึง RCCmax จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงและเข้าสู่ช่วงผลิใบ

2) ช่วงผลิใบ (Leaf expansion) เริ่มตั้งแต่ค่า GEI เริ่มสูงขึ้นจาก GEImin กระทั่งสิ้นสุดเมื่อ GEImax โดยในช่วงเริ่มต้นจะพบว่า RCC จะยังคงสูงกว่า GCC ทว่าเมื่อสิ้นสุดช่วงดังกล่าวจะพบว่าค่า GCC ของป่าเต็งรังจังหวัดราชบุรี มีค่าสูงกว่า RCC

3) ช่วงเจริญเติบโต (Growing season) เริ่มตั้งแต่ค่า GEI ลดลงจาก GEImax ของฤดูฝน โดยในช่วงเริ่มต้นจะพบว่า RCC มีค่าต่ำกว่า GCC และ RCC จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดช่วงจะพบว่า RCC สูงกว่า GCC ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 การแบ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะทางชีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอดป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ.2563 ถึง ปี พ.ศ.2565

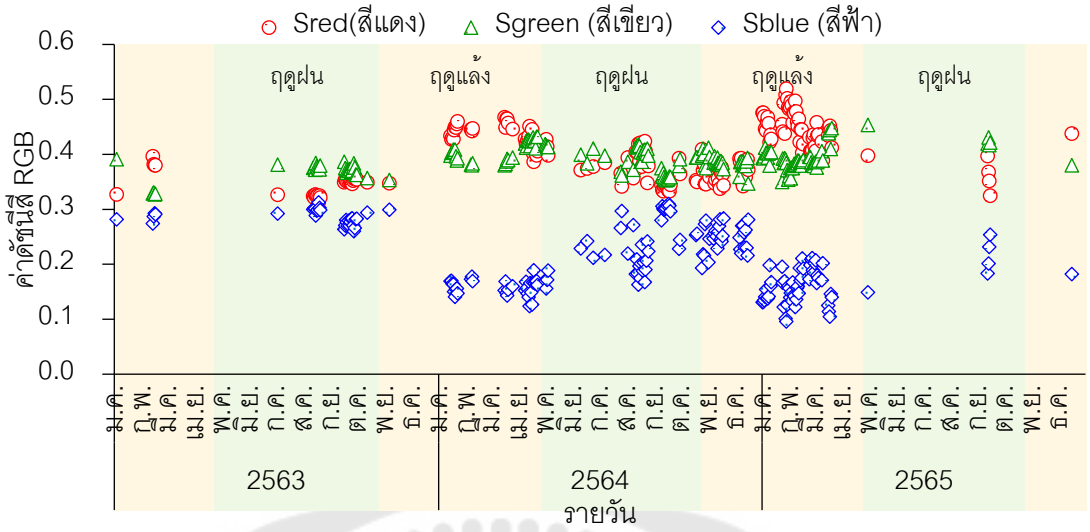
ปี	Defoliation	Leaf expansion	Growing season
พ.ศ.2563			
พ.ศ.2564			
พ.ศ.2565			

4.2.2 ค่าดัชนีสี RGB Colour index (สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน)

จากการศึกษาค่าดัชนีสี RGB Colour index ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2565 พบว่าค่าดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.40±0.05 โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.52 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2565 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.31 ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ส่วนค่าดัชนีสีเขียว (Green

Chromatic Coordinate: GCC) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.40±0.02 โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.45 ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2565 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.33 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 รวมถึงค่าดัชนีสีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.21±0.06 โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.31 ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.10 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2565

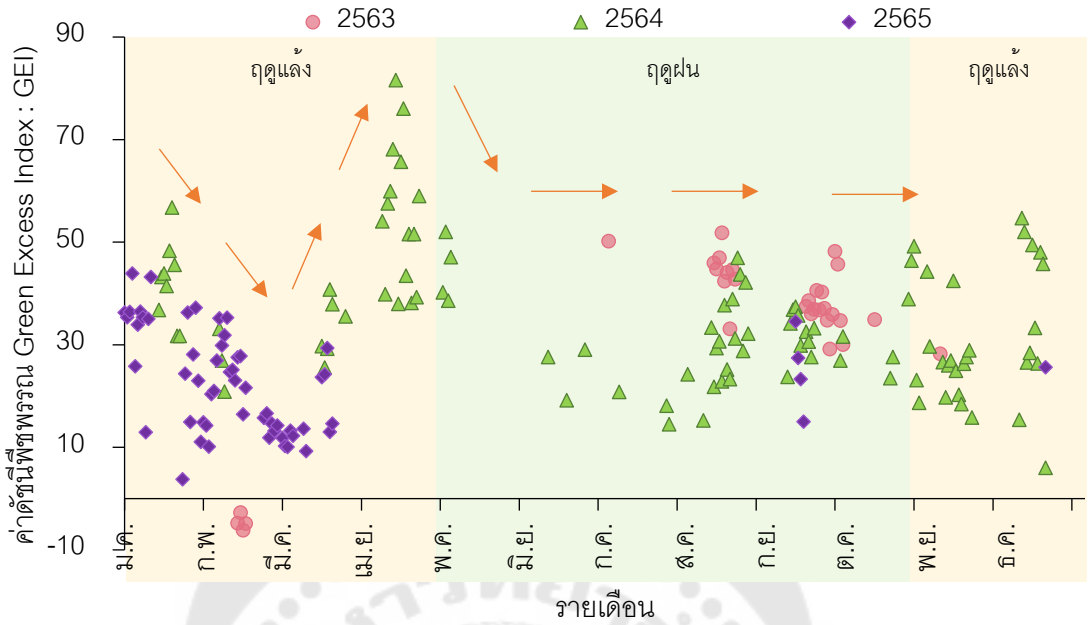
ทั้งนี้ เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของค่าดัชนีสี RGB Colour index โดยแบ่งออกเป็นช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) มีค่าเฉลี่ยดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) ในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.43±1.63 มีค่าสูงสุดที่ 5.04 ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2564 และมีค่าต่ำสุดที่ 0.32 ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.36±0.01 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.42 ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ.2564 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.32 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2563 โดยค่าดัชนีสีแดงจะมีค่าในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง ถัดมาค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) ในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.70±1.09 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 4.17 ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.32 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.40±0.02 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.45 ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ.2565 และมีค่าต่ำสุดที่ 0.35 ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2563 โดยค่าดัชนีสีเขียวในช่วงฤดูฝนมีค่ามากกว่าในช่วงฤดูแล้ง และในส่วนของค่าดัชนีสีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) ในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.41±0.07 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.71 ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.28 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2563 ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.23±0.05 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.30 ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 และมีค่าต่ำสุดที่ 0.14 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2565 โดยค่าดัชนีสีน้ำเงินจะมีค่าในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงอัตราส่วนดัชนีสี (RGB Colour index) ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ.2563 ถึง ปี พ.ศ.2565

4.2.3 ค่าดัชนี Green Excess Index: GEI

จากการศึกษาค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2565 พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.24±14.49 .ในขณะที่มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 81.61 ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ -6.18 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ทั้งนี้ เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของค่าดัชนีดัชนีพืชพรรณ Green Excess Index : GEI โดยแบ่งออกเป็นช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) พบว่า ในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณอยู่ที่ 29.07±16.97 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 68.47 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2563 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ -4.63 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ในขณะที่ฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณอยู่ที่ 34.44±11.50 โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 54.92 ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ.2564 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 17.82 ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 โดยค่าดัชนีพืชพรรณในช่วงฤดูฝนจะสูงกว่าในช่วงฤดูแล้ง ดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงอัตราส่วนดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ.2563 ถึง ปี พ.ศ.2565

4.3 ผลข้อมูลพลวัตรากฝอย Root dynamic

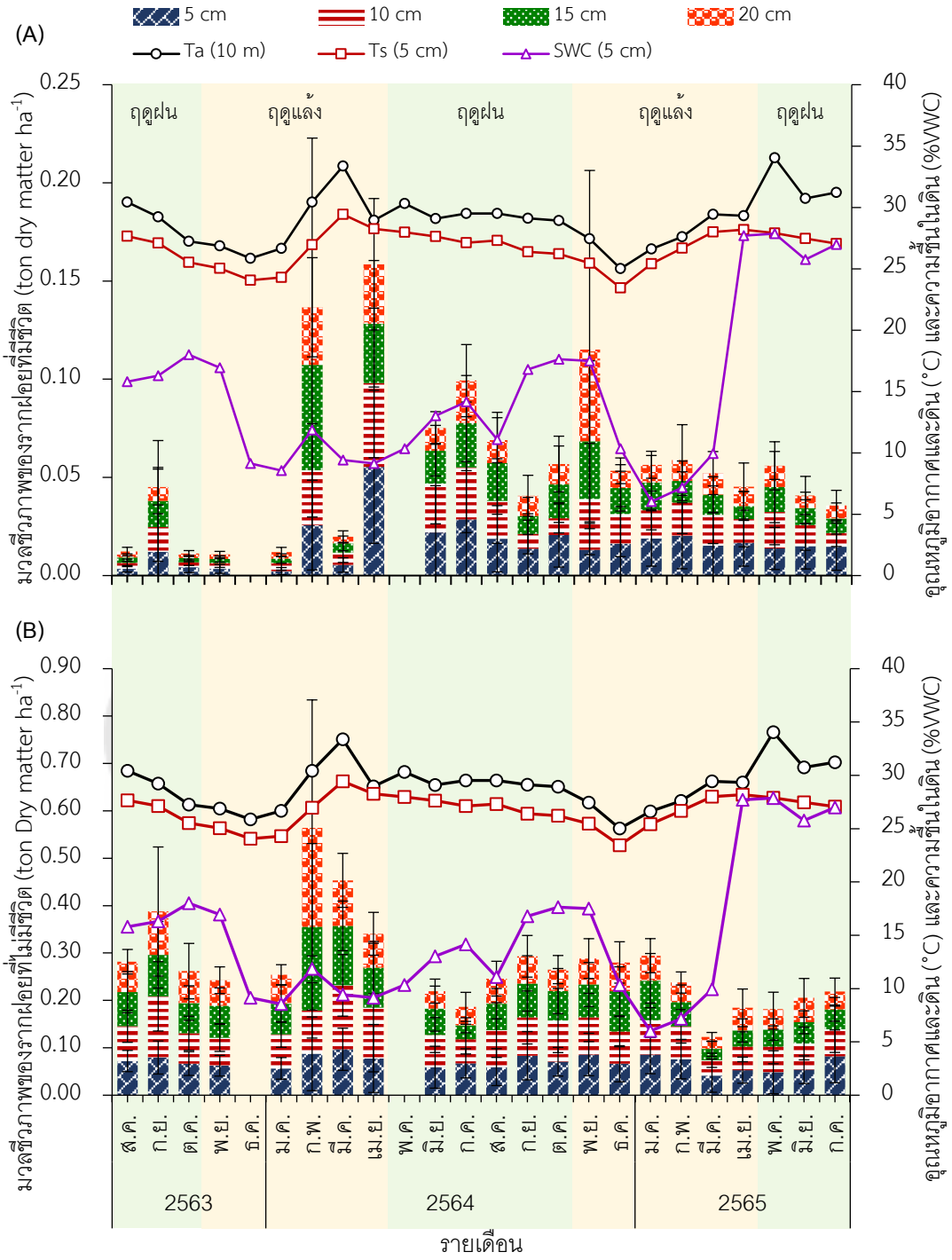
4.3.1 พลวัตรากฝอย (Fine root dynamic) ด้วยเทคนิค Soil core

4.3.1.1 มวลชีวภาพของรากฝอย

มวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิต (Life root) มีค่าสูงสุดเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 มีค่าเท่ากับ 0.159 ton dry matter ha-1 และต่ำสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2563 มีค่าเท่ากับ 0.011 ton dry matter ha^{-1} โดยมวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิตเฉลี่ยระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2565 จากการแบ่งตามระดับตามลึกดิน 4 ระดับ ประกอบด้วย 5, 10, 15 และ 20 cm มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 0.016±0.011, 0.015±0.010, 0.014±0.012 และ 0.012±0.011 ton dry matter ha^{-1} ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.057±0.040 ton dry matter ha^{-1} ทั้งนี้ เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของมวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิต พบว่า ช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) มวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.065±0.050 และ 0.049±0.026 ton dry matter ha^{-1} ตามลำดับ โดยมวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิตในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ดังภาพประกอบ 21(A)

มวลชีวภาพของรากฝอยที่ไม่มีชีวิต (Alife root) สูงสุดเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 มีค่าเท่ากับ 0.564 ton dry matter ha^{-1} และต่ำสุดในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2565 มีค่า

เท่ากับ 0.123 ton dry matter ha^{-1} โดยมวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิตเฉลี่ยระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2565 จากการแบ่งตามระดับตามลึกดิน 4 ระดับ ประกอบด้วย 5, 10, 15 และ 20 cm มีค่าเท่ากับ 0.070±0.014, 0.074±0.025, 0.068±0.034 และ 0.062±0.037 ton dry matter ha^{-1} ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.273±0.097 ton dry matter ha^{-1} เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของมวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิต พบว่า ช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) มวลชีวภาพของรากฝอยที่ไม่มีชีวิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.297±0.122 และ 0.250±0.059 ton dry matter ha^{-1} ตามลำดับ โดยมวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิตในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ดังภาพประกอบ 21(B)

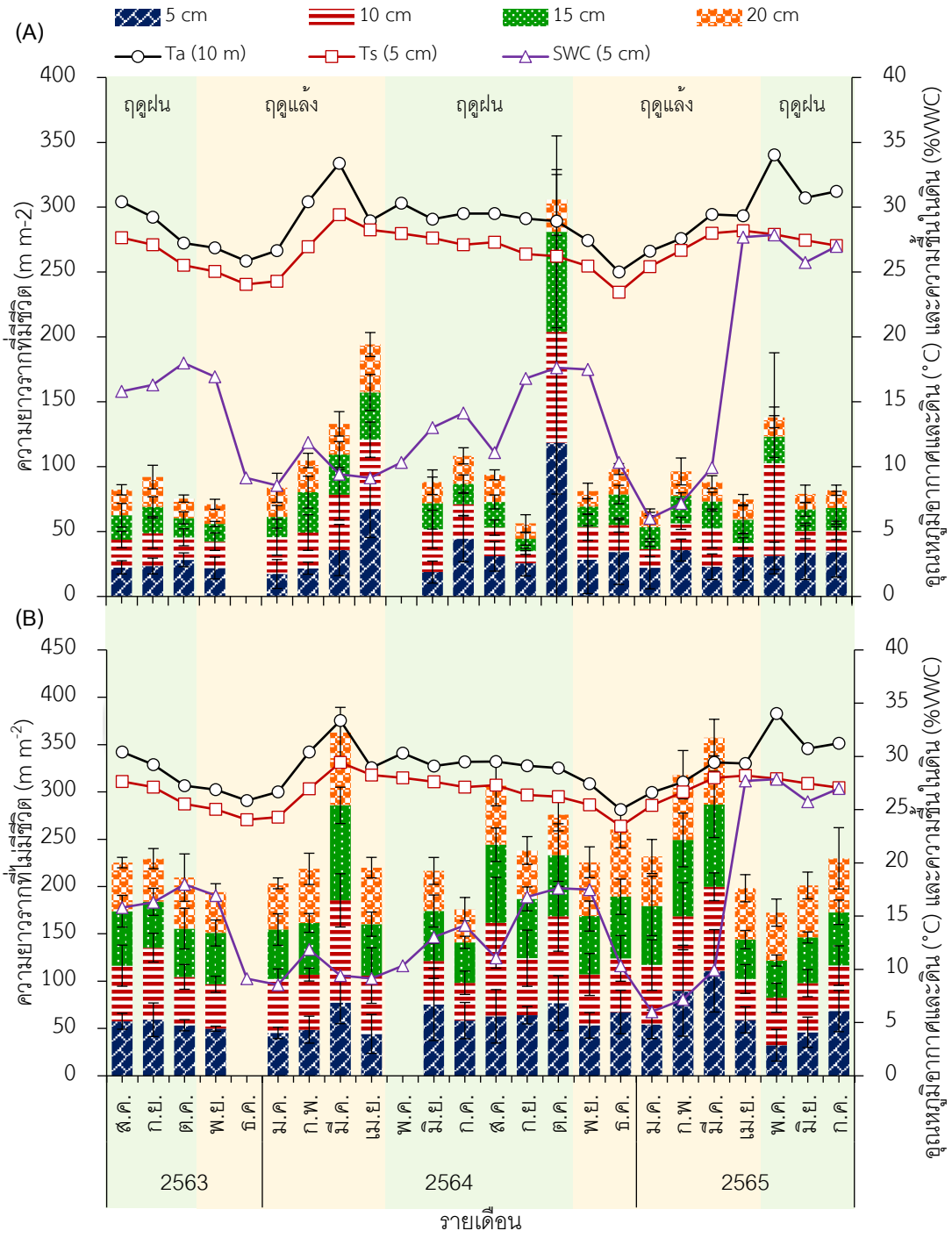


ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงข้อมูลน้ำหนักของรากฝอยที่มีชีวิต (A) และมวลชีวภาพของรากฝอยที่ไม่มีชีวิต (B)ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2565

4.3.1.1 ความยาวของรากฝอย

ความยาวของรากฝอยที่มีชีวิต (Life root) มีค่าสูงสุดช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 เท่ากับ 306.05 m m^{-2} และต่ำสุดเดือนกันยายน พ.ศ.2564 เท่ากับ 56.30 m m^{-2} โดยความยาวของรากฝอยที่มีชีวิตเฉลี่ยระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2565 จากการแบ่งตามระดับตามลึกดิน 4 ระดับ ประกอบด้วย 5, 10, 15 และ 20 cm มีค่าเท่ากับ 34.08±22.78, 30.25±19.42, 23.06±14.23 และ 19.19±5.93 m m^{-2} ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 106.58±55.99m m^{-2} เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของความยาวของรากฝอยที่มีชีวิตในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.22±36.58 และ 115.58±74.89 m m^{-2} โดยความยาวของรากฝอยที่มีชีวิตในช่วงฤดูแล้งมีค่าต่ำกว่าช่วงฤดูฝน ดังภาพประกอบ 22(A)

ความยาวของรากฝอยที่ไม่มีชีวิต (alife root) มีค่าสูงสุดช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2565 เท่ากับ 362.64 m m^{-2} และต่ำสุดช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2565 เท่ากับ 172.47 m m^{-2} โดยความยาวของรากฝอยที่มีชีวิตเฉลี่ยระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 จากการแบ่งตามระดับตามลึกดิน 4 ระดับ ประกอบด้วย 5, 10, 15 และ 20 cm มีค่าเท่ากับ 62.05±17.63, 64.42±19.41, 60.78±15.97 และ 54.77±10.98 m m^{-2} ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 242.02±55.15 m m^{-2} เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของความยาวของรากฝอยที่ไม่มีชีวิต พบว่า ช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ความยาวของรากฝอยที่ไม่มีชีวิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 253.67±62.94 และ 227.79±43.09 m m^{-2} ตามลำดับ โดยความยาวของรากฝอยที่ไม่มีชีวิตในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ดังภาพประกอบ 22(B)

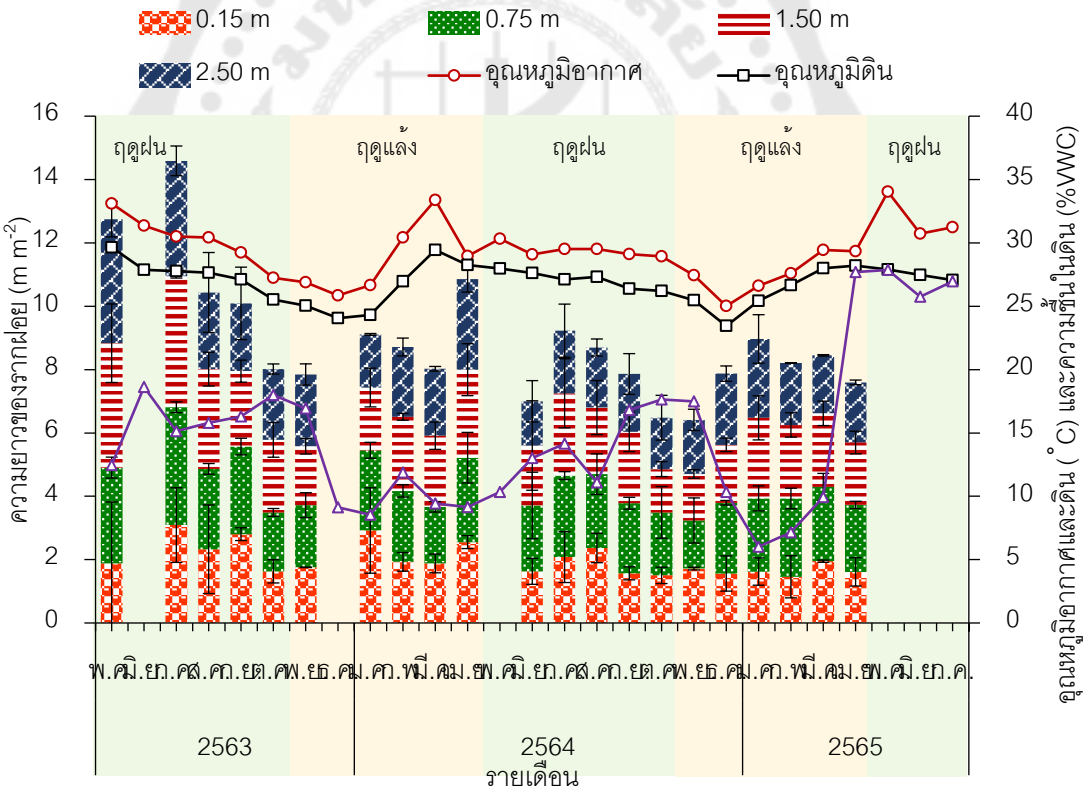


ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงข้อมูลความยาวรากฝอยที่มีชีวิต (A) และความยาวรากฝอยที่ไม่มีชีวิต (B) ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี

4.3.2 พลวัตรากฝอย (Fine root dynamic) ด้วยเทคนิค Root window

4.3.2.1 ความยาวรากฝอย

การศึกษาการเจริญเติบโตของรากฝอยด้วยวิธี Root windows ณ พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า ความยาวของรากพืชในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ที่ระดับความลึกของดิน 0.15, 0.75, 1.5 และ 2.5 m มีค่าเฉลี่ยช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2565 มีค่าเท่ากับ 1.99±0.49, 2.35±0.47, 2.37±0.69 และ 2.21±0.62 m m^{-2} ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดอยู่ที่ 8.91±1.97 m m^{-2} โดยความยาวรากสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2563 มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดอยู่ที่ 14.59±1.97 m m^{-2}.และความยาวรากต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2564 มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดอยู่ที่ 6.41±1.97 m m^{-2} ดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 การศึกษาการเจริญเติบโตของรากฝอยด้วยวิธี Root windows ที่ความลึกของดิน 0.15, 0.75, 1.50 และ 2.5 m ณ สถานีวิจัยจังหวัดราชบุรี ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2565

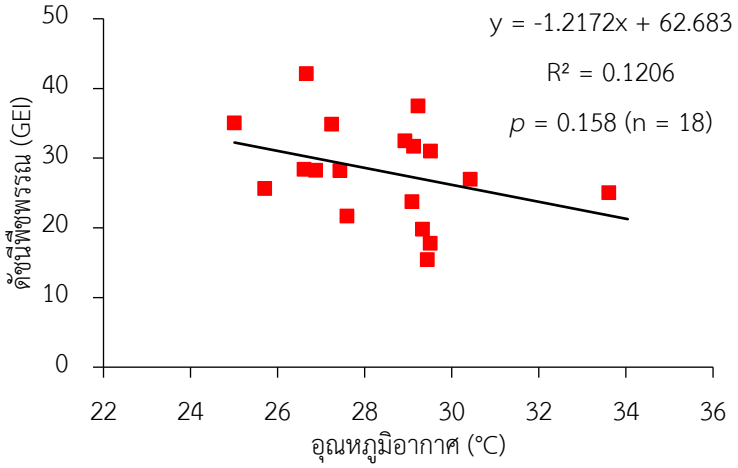
บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

5.1.1 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index: GEI)

5.1.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index: GEI) และอุณหภูมิอากาศ

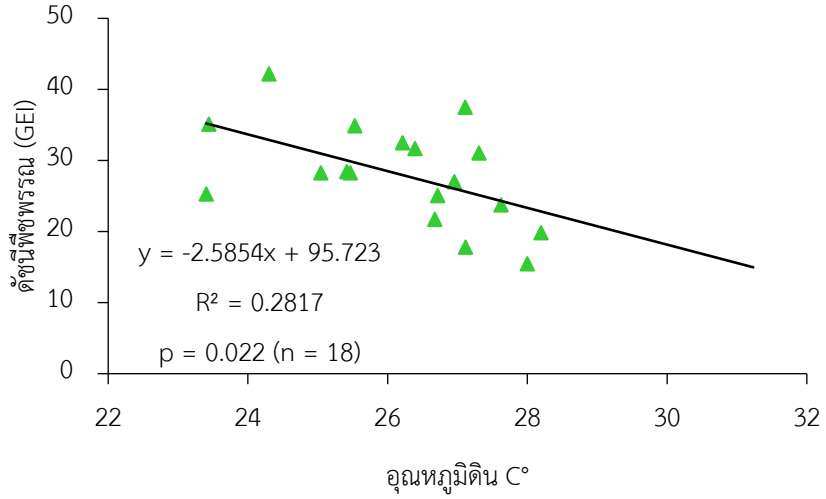
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และอุณหภูมิอากาศ พบว่า พบว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 28.62±1.89 °C มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ.2564 เท่ากับ 33.38±1.62 °C และต่ำสุดเฉลี่ยในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 เท่ากับ 25.01±1.17 °C โดยที่ค่า R^2 ของดัชนีพืชพรรณมีค่าเท่ากับ 0.12 โดยค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอุณหภูมิอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Zhai, Boquete [64] จากการศึกษาการตอบสนองทางทางสรีรวิทยาของใบต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ต่อความแปรปรวนของภูมิอากาศ ในเมืองจิ่งหง มณฑลยูนนาน ในภาคตะวันตกเฉียงใต้ของจีน พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีใบไม้ของต้นยางพารา เนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลงจะส่งผลต่อการผลิใบและการแตกหน่อที่ช้าและใช้เวลานานกว่าปกติ ดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และอุณหภูมิอากาศ

5.1.1.2 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ** (Green Excess Index: GEI) **และอุณหภูมิดิน**

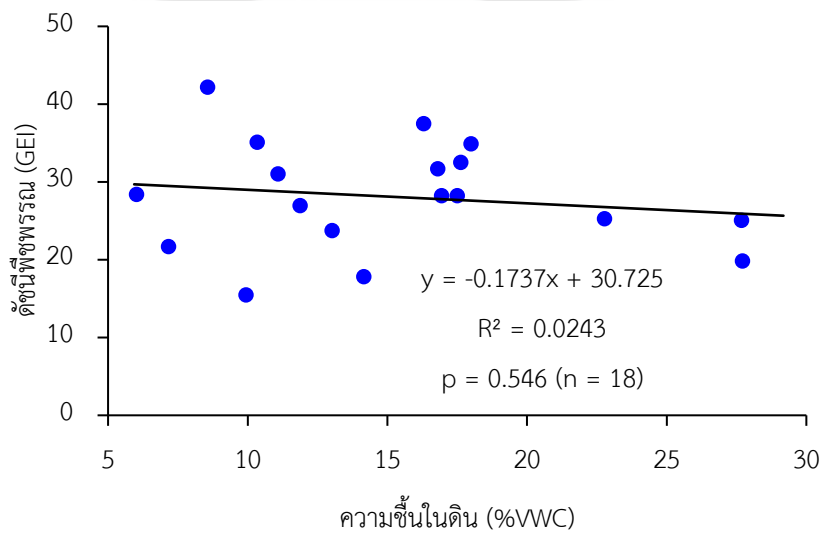
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และอุณหภูมิดิน พบว่า อุณหภูมิดินเฉลี่ย ที่ระดับความลึก 5 cm เท่ากับ 26.58±1.54 °C โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม พ.ศ.2564 เท่ากับ 29.43±0.77 °C และต่ำสุดเฉลี่ยในเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 เท่ากับ 23.44±1.03 °C โดยที่ดัชนีพืชพรรณมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.28 และ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดินในเชิงลบกับอุณหภูมิดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องการการศึกษาที่ผ่านของ Tanaka, Sasaki [65] ในการศึกษาการประเมินการใช้ดัชนีที่ใช้กล้องในการจำแนกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเรือนยอดที่สัมพันธ์กับผลผลิตเบื้องต้นขั้นต้นในป่าผลัดใบและป่าดิบเขาในประเทศญี่ปุ่น โดยทำการศึกษาเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของต้นไม้จากการคำนวณค่าดัชนีสีที่ได้จากการถ่ายภาพซ้ำจากกล้องดิจิตอล ซึ่งคำนวณจากตัวเลขดิจิทัลของแถบสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB_DN) นั้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในการผลิตขั้นต้นขั้นต้น (GPP) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ในช่วงฤดูหนาวพืชจะมีการผลัดใบที่ช้ากว่าในช่วงฤดูแล้ง ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และอุณหภูมิดิน

5.1.1.3 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ** (Green Excess Index: GEI) **และความชื้นในดิน**

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และความชื้นในดินดิน พบว่า ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2565 พบว่า ความชื้นในดินเฉลี่ย ที่ระดับความลึก 5 cm เท่ากับ13.18±4.93 %VWC มีค่าสูงสุดในเดือนเดือนมีนาคม พ.ศ.2564 เท่ากับ 27.70±0.13 %VWC และต่ำสุดในเดือนมกราคม พ.ศ.2565 เท่ากับ 6.02± 3.55 %VWC โดยที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.02 จากการศึกษาพบว่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และความชื้นในดิน

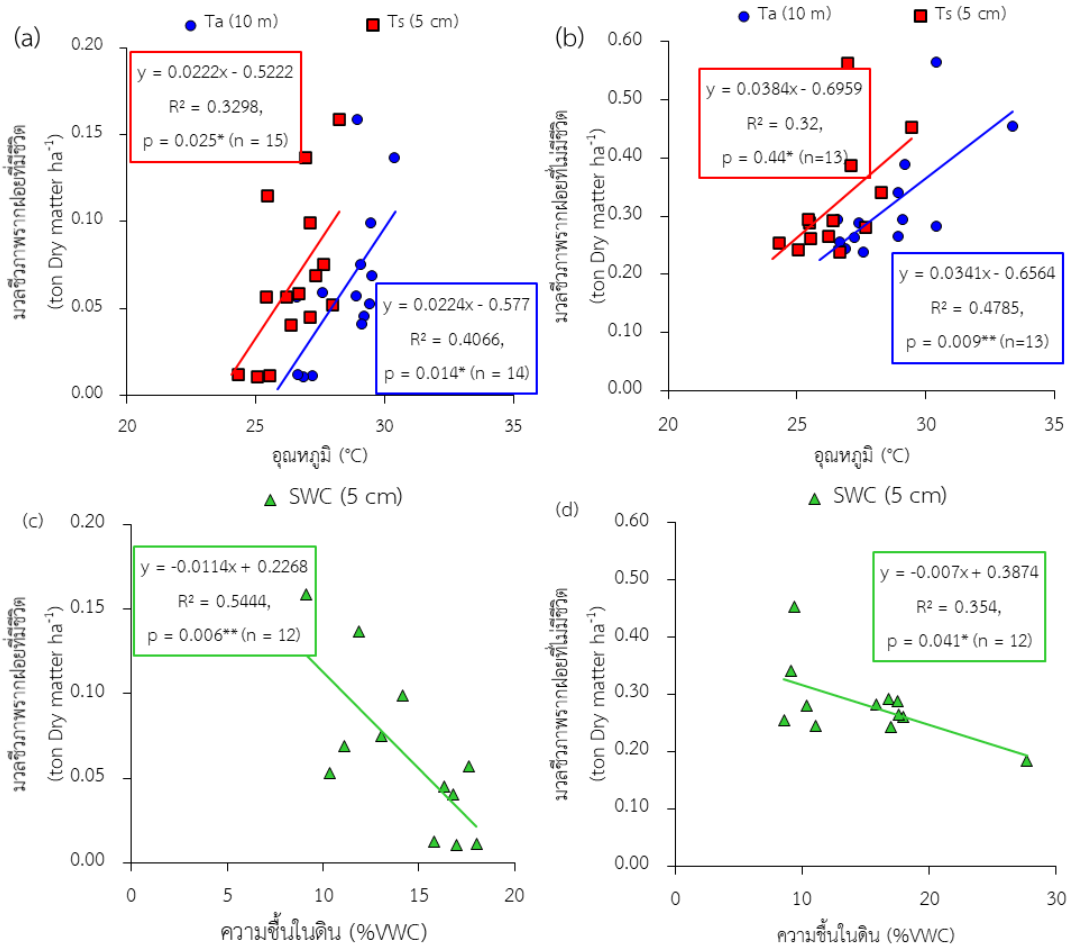
ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและปัจจัยสิ่งแวดล้อมประกอบไปด้วย อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมดินและความชื้นในดิน พบว่า ดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก อุณหภูมิอากาศส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะชีพลักษณ์ของป่าไม้ โดยสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมอุทยานแห่งชาติจังหวัดเพชรบุรี พบว่าชีพลักษณ์ของพรรณไม้แต่ละชนิดในป่ารป่าเบญจพรรณในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติไทยประจัน จังหวัดราชบุรี มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของ

ภูมิอากาศ โดยส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กันในระดับสูงถึงช่วงร้อยละ 56 – 75 และพบว่าสภาพภูมิอากาศ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้ช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีผลต่อการร่วงของใบ และการออกดอกของพรรณไม้มากที่สุด คือ ช่วงที่อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 27.95 - 29.79 °C ช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีผลต่อการติดผลของพรรณไม้มากที่สุด คือ ช่วงที่อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 26.10 – 27.94 °C และจากผลการศึกษา พบว่า อิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์ ที่มีผลต่อชีพลักษณ์ของไม้ยืนต้น[66]

5.1.2 **ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ควบคุม** Fine root dynamic

5.1.2.1 **ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของรากฝอยและอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน**

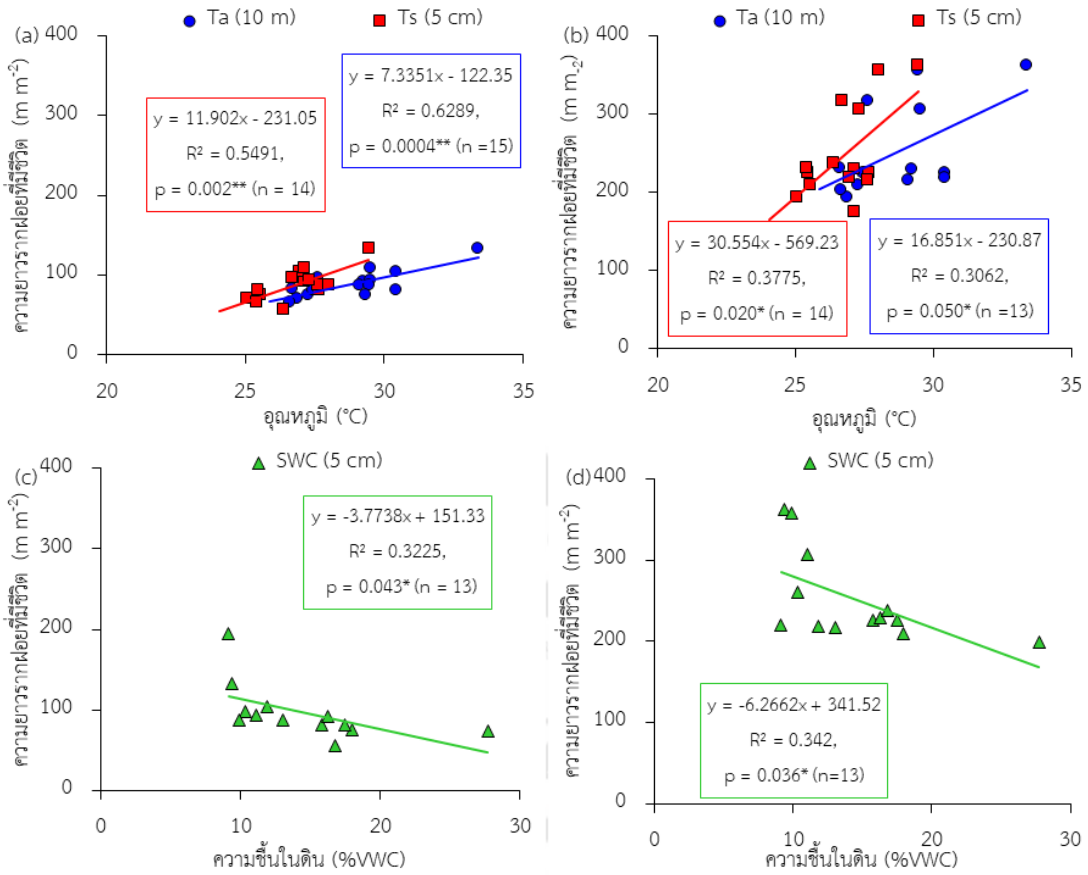
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรากฝอยกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม พบว่า มวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดินในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ มวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของรากฝอยและอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน และความชื้นในดิน

5.1.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากฝอยและอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรากฝอยที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดินในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังภาพประกอบ 28(a-b) ความยาวของของรากฝอยที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังภาพประกอบ 28(c-d)



ภาพประกอบ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากฝอยและอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน

จากการศึกษาความผันแปรตามฤดูกาลต่อการยืดและมวลชีวภาพของรากฝอยในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่าจากการแบ่งตามระดับตามลึกดิน 4 ระดับ ประกอบด้วย 5, 10, 15 และ 20 cm ตามลำดับ มวลชีวภาพของรากฝอยทั้งรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต มีมวลชีวภาพสูงสุดในดินที่ระดับความลึก 0-5 cm และมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกและจะมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในดินที่ระดับความลึก 15-20 cm รวมทั้งความยาวของรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิตมีความยาวรากสูงสุดในดินที่ระดับความลึก 0-5 cm และมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกและจะมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในดินที่ระดับความลึก 15-20 cm เนื่องจากดินชั้นบน (5 cm) มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน แร่ธาตุอื่น ๆ น้ำ และอากาศที่พืชต้องการสูงกว่าดินชั้นล่าง ส่งผลให้ดินชั้นบนเหมาะสมกับการเจริญเติบโตและยืดขยายของรากฝอยที่มีหน้าที่หลักในการหาแร่ธาตุ สารอาหาร น้ำ และอากาศ เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช[67] จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของ

รากฝอยในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า รากฝอยมีอัตราการยืดขยายได้ดีในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) ทั้งรากฝอยที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต โดยมีค่าความยาวรากฝอยอยู่ที่ 99.22±36.58 และ253.67±62.94 m m^{-2} และมีมวลชีวภาพรากฝอยอยู่ที่ 0.065±0.050 และ 0.297±0.122 ton dry matter ha^{-1} ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากฤดูแล้ง มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินที่สูง มีค่าความชื้นในดินต่ำ ทำให้พืชมีการกระตุ้นในการเจริญเติบโตเพื่อหาอาหาร แร่ธาตุและน้ำในดิน ซึ่งแตกต่างจากในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินที่ต่ำ มีค่าความชื้นในดินสูง ซึ่งเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชโดยมีค่าความยาวรากฝอยอยู่ที่ 115.58±74.89 และ227.79±43.09 m m^{-2} และมีมวลชีวภาพรากฝอยอยู่ที่ 0.049±0.026 และ 0.250±0.059 ton dry matter ha^{-1} ตามลำดับ สอดคล้องกับข้อมูลอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิจังหวัดราชบุรีมีเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคมและต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคมและความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 cm.เฉลี่ยสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคมและต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างรากฝอยกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม พบว่า มวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต รวมทั้งความยาวรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดินในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ มวลชีวภาพและความยาวของรากฝอยที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน เนื่องจาก ซึ่งพืชตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงและสภาวะจำกัดของปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดิน โดยการตอบสนองของรากฝอยจะมีการยืดและแผ่ขยายเพื่อหาน้ำและอาหารในช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญโตของต้นไม้ในป่าเต็งรัง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bumrungbood, Hanpattanakit [68] พบว่า โดยทั่วไปรากฝอยมีชีวิตจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินเฉลี่ยสูง ปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินเฉลี่ยน้อย เนื่องจากพืชจำเป็นที่จะต้องหาน้ำและแร่ธาตุอาหารเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช ในช่วงที่สภาพอากาศแห้งแล้งรากพืชจะมีการยืดขยายเป็นบริเวณกว้างมากกว่าช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินเฉลี่ยสูงหรือช่วงฤดูฝน เป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ Rabbil, Päivi [69] พบว่าในพื้นที่ป่าประเทศฟินแลนด์รากฝอยมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ จากการวัดค่ามวลชีวภาพของรากฝอยที่ระดับความลึกดิน 10-60 cm มวลชีวภาพของรากฝอยจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นกว่าปกติ 1.7°C ดังนั้นผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาการ

แปรผันของรากฝอย เนื่องจากรากฝอยมีการแปรผันอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องจากรายฝอยมีหน้าที่ในการปรับตัวเพื่อหาแร่ธาตุอาหารและน้ำที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในภาวะที่ไม่เหมาะสม อีกทั้งรากฝอยมีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ ในชีวมวลของรากฝอยใต้พื้นผิวดิน การย่อยสลายและกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเชิงลึกในมิติต่างๆของการตอบสนองของรากฝอยต่อไปในอนาคต

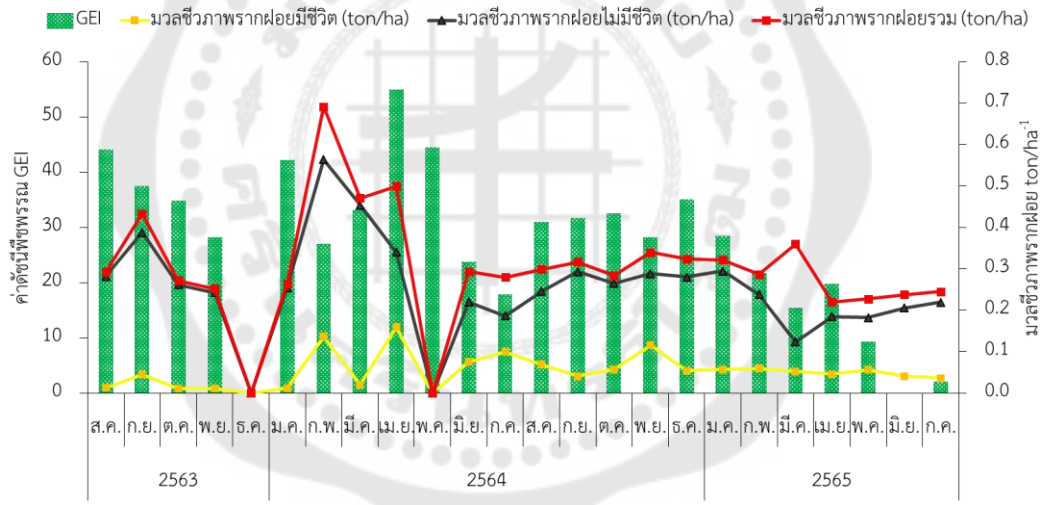
การศึกษาอิทธิพลของความแปรผันของสภาพภูมิอากาศตามฤดูกาลระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนต่อการยืดขยายและมวลชีวภาพของรากฝอยในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2565 ประกอบด้วย ความยาวรากฝอยมีชีวิต และไม่มีชีวิต มวลชีวภาพมีชีวิตและไม่มีชีวิต พลวัตของรากฝอยนั้นมีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทั้งอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดิน ทั้งนี้ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน เช่น ในช่วงฤดูแล้ง ความชื้นในดินน้อยแต่อุณหภูมิสูง แต่ในช่วงฤดูฝน ความชื้นในดินมากแต่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์การตอบสนองของรากฝอย ทำการวิเคราะห์แยกตามปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น การตอบสนองของรากฝอยมีชีวิต มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดิน ร้อยละ 33 ความชื้นในดิน มีความสัมพันธ์ ร้อยละ53 ทั้งนี้ เมื่อนำ 2 ปัจจัยมาดูความสัมพันธ์รวม เท่ากับ ร้อยละ 86 ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิดินและความชื้นในดินเป็นปัจจัยหลักในการกระตุ้นหรือยับยั้งการเจริญเตาบโตของราก และมีปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการตอบสนองของราก ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้หาสัมพันธ์ โดยใช้ Pearson correlation ผลการวิเคราะห์พบว่า มวลชีวภาพของรากฝอยที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดินในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น การตอบสนองของรากฝอยในป่าเต็งรังจะถูกกระตุ้นหรือควบคุมจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล หากในอนาคตสภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงจากปกติ ก็จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการหมุนเวียนคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้

5.1.3 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ** GEI **และ** Fine root dynamic

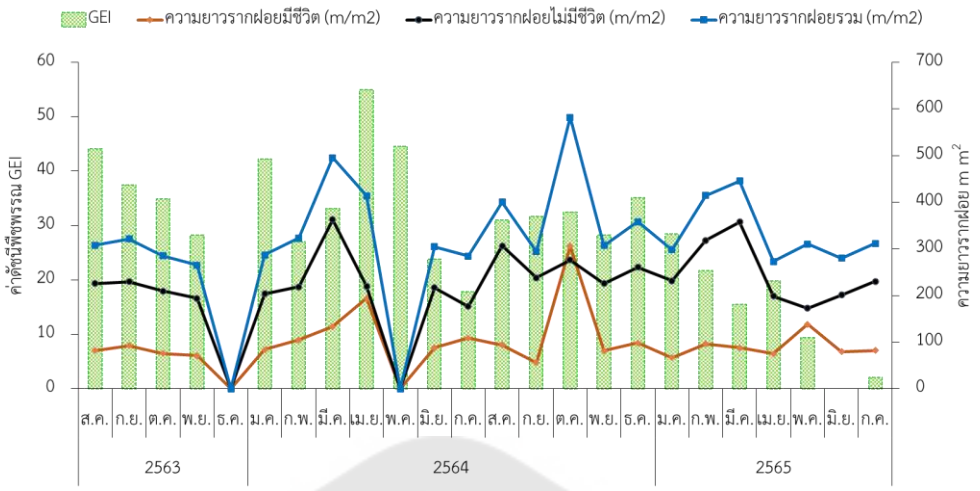
5.1.3.1 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ** (Green Excess Index : GEI) **และ** Fine root dynamic **ด้วยเทคนิค** Soil core

ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และ Fine root dynamic ด้วยเทคนิค Soil core ประกอบไปด้วย มวลชีวภาพของรากฝอยและความยาวรากฝอยทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต พบว่า ดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมวลชีวภาพรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต (ภาพประกอบ 29) รวมทั้งความยาวรากฝอยทั้งมีชีวิตและ

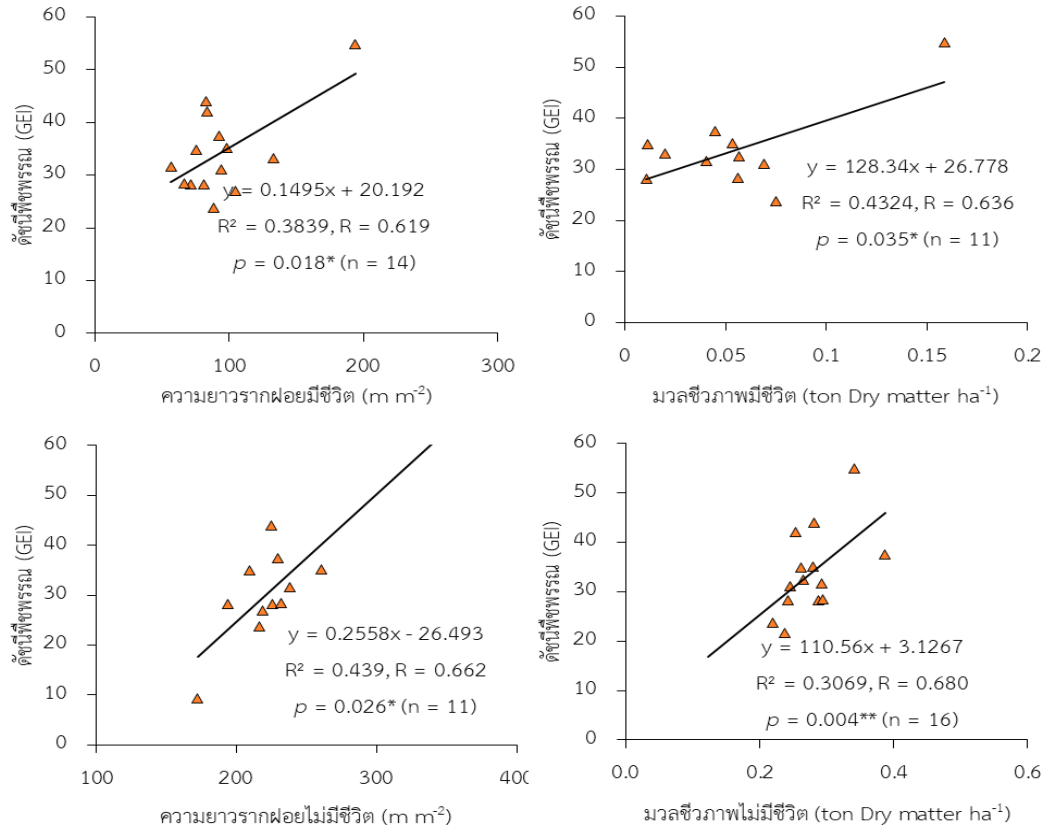
ไม่มีชีวิตในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ภาพประกอบ 30) โดยที่ดัชนีพืชพรรณและมวลชีวภาพของรากฝอยมีช่วงที่เพิ่มสูงขึ้นและช่วงที่ค่าลดลงในช่วงเดียวกัน เนื่องจากพืชจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น ความชื้นในดินลดน้อยลง ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยลดลง ส่งผลต่อดัชนีพืชพรรณจะมีค่าลดลงจนถึงต่ำที่สุดเนื่องจากพืชมีการเปลี่ยนแปลงสีของใบจากสีเขียวไปเป็นสีเขียวเหลืองและมีผลัดใบ ในส่วนของรากฝอยจะมีความความยาวของรากมีชีวิตที่สูงขึ้นเนื่องจากพืชจำเป็นที่จะต้องหาน้ำและแร่ธาตุอาหารในภาวะที่จำกัดและแห้งแล้ง ในขณะที่มวลชีวิตภาพของรากฝอยจะลดน้อยลงในช่วงฤดูแล้งเนื่องจากรากพืชขาดน้ำและพืชจะมีการปรับตัวให้รากฝอยมีชีวิตบางลงและมีความยาวเพิ่มมากขึ้น เพื่อความสามารถในการหาน้ำและแร่ธาตุอาหารในดินในช่วงฤดูแล้ง ดังภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ และมวลชีวภาพของรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต



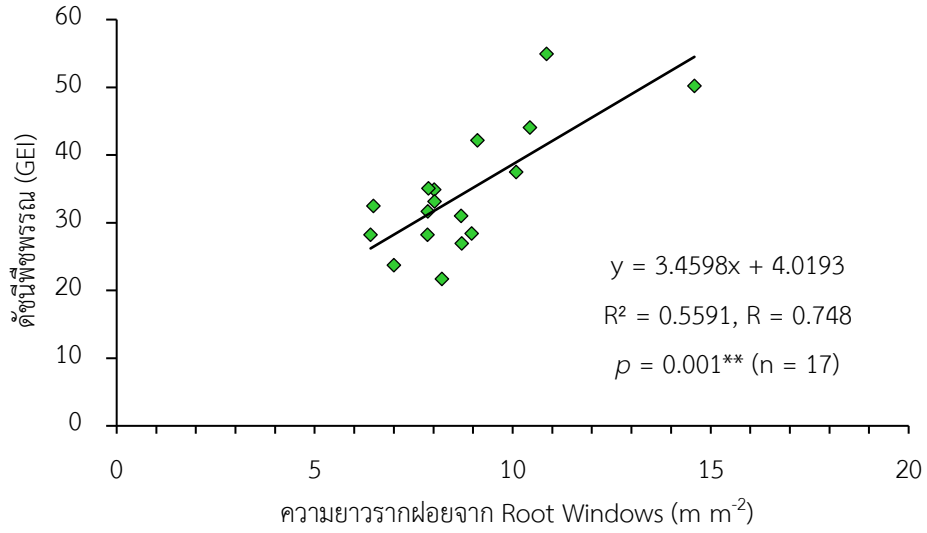
ภาพประกอบ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ และความยาวของรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต



ภาพประกอบ 31 กราฟความสัมพันธ์รหว่างค่าดัชนี (Green Excess Index : GEI) และ Fine root dynamic

5.1.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี (Green Excess Index: GEI) และ Fine root dynamic ด้วยเทคนิค Root window

ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index : GEI) และความยาวรากฝอยด้วยเทคนิค Root window พบว่า พบว่า ดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมวลชีวภาพรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต รวมทั้งความยาวรากฝอยทั้งมีชีวิตและไม่มีชีวิตในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 กราฟความสัมพันธ์รหว่างค่าดัชนี (Green Excess Index : GEI) และ Fine root dynamic

5.2 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางเลือกในการประเมินการปล่อย/ดูดซับคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ คณะผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้มาประยุกต์ใช้ โดยใช้โทรศัพท์มือถือในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางชีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอด โดยใช้ค่าดัชนีสีเขียว (Green chromatic coordination; GCC) และค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index; GEI) เป็นตัวบ่งชี้ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลพลวัตรากฝอย (Fine root dynamic) ด้วยการใช้เทคนิค Soil core ประกอบไปด้วย มวลชีวภาพของรากฝอยและความยาวรากฝอยทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและพลวัตรากฝอยพบว่า ดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมวล

ชีวภาพรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต รวมทั้งความยาวรากฝอยทั้งมีชีวิตและไม่มีชีวิตในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า พืชจำเป็นที่จะต้องมีการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยจากผลการทดลองข้างต้นชี้ให้เห็นว่า เทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้สำหรับใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะชีพลักษณ์และสรีรวิทยาในระบบนิเวศป่าไม้นั้นมีความเป็นไปได้เนื่องจากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพลวัตรากฝอย เนื่องจากรากฝอยเป็นรากที่มีขนาดเล็ก โดยมีการสร้างรากขึ้นใหม่ทดแทนรากเดิมที่เสื่อมสภาพ หรือถูกทำลายตามธรรมชาติ การเกิดหรือการเสื่อมสภาพของรากนั้นเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินและการตรึงคาร์บอนในดินในรูปของอินทรียวัตถุและมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมเพื่อให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้ภาวะที่ไม่เหมาะสมของพืช สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Zhou, Yiping Zhang [70] โดยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ ที่ได้จากการถ่ายภาพรายวันด้วยกล้องดิจิตอลและผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (Gross Primary Production : GPP) โดยพบว่า ในฤดูแล้งค่าดัชนีพืชพรรณ(Green excess index; GEI) และค่าผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (Gross Primary Production : GPP) ลดลง ค่าค่าดัชนีสีเขียว (Green chromatic coordination; GCC) ลดลงและค่าดัชนีสีแดง (Red chromatic coordination; RCC) เพิ่มขึ้นในฤดูแล้งและมีการผลัดใบของป่า ในขณะที่ช่วงฤดูฝน ค่าดัชนีพืชพรรณ ดัชนีสีเขียวและค่า GPP เพิ่มสูงขึ้นและค่าดัชนีสีแดงลดน้อยลงกว่าช่วงฤดูแล้ง โดยในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี พบว่า ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบไปด้วย อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินและความชื้นในดินมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณและความยาวรากฝอยและมวลชีวภาพรากฝอยทั้งรากฝอยมีชีวิตและไม่มีชีวิต ในช่วงฤดูฝน (ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) ค่าดัชนีพืชพรรณ ค่าดัชนีสีเขียวและมวลชีวภาพของรากฝอยจะเพิ่มสูงขึ้น โดยสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า จากลักษณะของป่าที่มีความชุ่มชื้นและใบไม้จะมีสีเขียวเข้ม ในขณะที่ในช่วงฤดูแล้ง มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นส่งผลต่อค่าดัชนีพืชพรรณ ค่าดัชนีสีเขียวจะลดลง ค่าดัชนีสีแดงจะเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งความยาวรากฝอยมีชีวิตจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสภาวะแห้งแล้งรากพืชจำเป็นที่จะต้องมีการยืดขยายเพื่อหาน้ำและแร่ธาตุอาหารมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ในขณะที่ดัชนีสีแดงจะเพิ่มสูงขึ้น โดยสามารถสังเกตได้จากการที่ป่าไม้เริ่มมีการผลัดใบ มีการร่วงล่นของใบเป็นจำนวณมากและใบไม้จะเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนและเพิ่มระดับความเข้มสีของใบไปเป็นสีน้ำตาล นอกจากนี้ พลวัตของรากในป่าเต็งรังทุติยภูมิ แสดงให้เห็นว่า รากฝอยที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือน โดยพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของรากฝอย จะเจริญเติบโตสูงในช่วงฤดูแล้ง ทั้งนี้ เนื่องจากต้นไม้มีการปรับตัว โดยมีการเร่งการเจริญเติบโตของ

รากฝอยในช่วงฤดูแล้งเพื่อหาอาหารและน้ำ ให้สามารถทนต่อสภาวะแห้งแล้งในช่วงฤดูแล้ง ทั้งนี้ ในปี พ.ศ.2558 เกิดปรากฏการณ์แอลนิโญ่ หรือภาวะคลาดแคลนน้ำเนื่องจากปริมาณน้ำฝนตกน้อยกว่าปกติ ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตของรากฝอยที่ระดับความลึกมาก มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ การตอบสนองของดัชนีสีทรงพุ่มและรากฝอยในป่าเต็งรังจะถูกกระตุ้นหรือควบคุมจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล หากในอนาคตสภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงจากปกติ ก็จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการหมุนเวียนคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้และการเจริญเติบโตของรากฝอยในป่าเต็งรังทุติยภูมิของประเทศไทย

บรรณานุกรม

1. Kim WS, Lieth JH. Simulation of year-round plant growth and nutrient uptake in rosa hybrida over flowering cycles. Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2012;53:193–203. July 1, 2012.

2. Pratiwi IE, Septiarini DF. Analisis penerapan psak – 102 murabahah (studi kasus pada ksu bmt rahmat syariah kediri). Akrual. 2014;6(1):17-32. October 2014.

3. Kröel-Dulay G, Ransijn J, Schmidt IK, Beier C, Angelis PD, Dato Gd, et al. Increased sensitivity to climate change in disturbed ecosystems. Nature Communications. 2015;6:6682. March 24, 2015.

4. Dragoni D, Rahman AF. Trends in fall phenology across the deciduous forests of the eastern USA. Agricultural and Forest Meteorology. 2012;157:96.

5. Dragoni D, Rahman AF. Trends in fall phenology across the deciduous forests of the eastern USA. Agricultural and Forest Meteorology. 2012;159:96-105. May 15, 2012.

6. Brown S. Tropical forests and the global carbon cycle: The need for sustainable land-use patterns. Agriculture, Ecosystems & Environment. 1993;Volume 46(1-4):31-44.

7. มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. รายงานสถานการณ์ป่าไม้ไทย ประจำปี 2562 – 2563. 2563.

8. TDRI. The state of environment in thailand: A decade of changes. Bangkok: Thailand Development Research Institute; 2000.

9. FAO. Nation's global forest resources assessment and the state of the world's forests. 2005 2566 [20 เมษายน]. https://www.fao.org/home/en/

10. สมศักดิ์ สุขวงศ์. การจัดการป่าชุมชน : เพื่อคนและเพื่อป่า. 336. 1. กรุงเทพฯ: ทวีวัฒน์การพิมพ์; 2550.

11. 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.

12. Kaoru Kitajima LP. Tissue-level leaf toughness, but not lamina thickness, predicts sapling leaf lifespan and shade tolerance of tropical tree species. NIH NLM 2010;186(3):708-21.

13. B. C. Scharenbroch JGB. Impacts of forest gaps on soil properties and processes in old growth northern hardwood-hemlock forests. Plant Soil. 2007;294(1):219-33.

14. Kim W, Lieth J. Simulation of year-round plant growth and nutrient uptake in rosa hybrida over flowering cycles. Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2012;53(3):193-203.

15. Iio A, Kakubari Y, Mizunaga H. A three-dimensional light transfer model based on the vertical point-quadrant method and monte-carlo simulation in a fagus crenata forest canopy on mount naeba in japan. Agricultural and Forest Meteorology. 2011;151(4):461-79. April 15, 2011.

16. Wang D, Olatunji OA, Xiao J. Thinning increased fine root production, biomass, turnover rate and understory vegetation yield in a chinese fir plantation. Forest Ecology and Management. 2019;440:92-100. May 15, 2019.

17. ธรรมนูญ เต็มไชย, ทรงธรรม สุขขสว่าง, พันธุ์ทิพา ใจแก้ว. สารสนเทศภูมิศาสตร์กลุ่มป่าแก่งกระจาน = gis database of kaeng krachan forest complex. พิมพ์ครั้งที่ 1.. เพชรบุรี : ศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมอุทยานแห่งชาติ จังหวัดเพชรบุรี; 2560.

18. ธวัชชัย สันติสุข. ป่าของประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2.. กรุงเทพฯ : กรมอุทธยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช; 2550.

19. รัตนสุดา ชลธาตุ. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และแนวทางการแก้ไขปัญหา. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2558;18:416-31.

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

21. อำนาจ ชิดไธสง. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (thailand climate change information) เล่ม 1 สภาพภูมิอากาศในอดีต. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2553.

22. พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. โลกทั้งใบ ใครว่าร้อน. 1. กรุงเทพฯ : กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์

พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน; 2553.

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

24. IPCC. Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Press CU, บรรณาธิการ. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA; 2014.

25. Ritson DM. Gearing up for ipcc-2001. Climatic Change. 2000;45:471-88. June 2000.

26. Bruhwiler L, Basu S, Butler JH, Chatterjee A, Dlugokencky E, Kenney MA, และคณะ. Observations of greenhouse gases as climate indicator. Climatic Change. 2021;165(12). March 8, 2021.

27. Nisbet EG, Manning MR, Dlugokencky EJ, Fisher RE, Lowry D, Michel SE, และคณะ. Very strong atmospheric methane growth in the 4 years 2014-2017: Implications for the paris agreement. Global Biogeochemical Cycles. 2019;33(3):318-42. February 5, 2019.

28. IPCC. Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group i to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, และคณะ., บรรณาธิการ. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,: Cambridge University Press; 2021.

29. IPCC. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. 1. McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS, บรรณาธิการ. United States of America: The Press Syndicate of the University of Cambridge, The Pitt Building, Trumpington Street, Cambridge, United Kingdom; 2001.

30. Khunwishit S, Rammanee Y. Climate-related disaster impacts, risk perception and adaptation of farmer households in songkhla lake basin. Political Science and Public Administration Journal. 2018;9(1; January-June):81-111.

31. คัดคณัฐ ชื่นวงศ์อรุณ. วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) คืออะไร. National Geographic; 2020

2023 [16 กรกฎาคม 2566]. https://ngthai.com/science/31560/carbon-cycle/

32. วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์. การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิ ในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย [ปริญญานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2563.

33. สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ธิติ วิสารัตน์, สำเริง ปานอุทัย, ภาณุมาศ ลาดปาละ, สิริรัตน์ จันทร์มหเสถียร, ศุภรัตน์ สำราญ. วัฏจักรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ “ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต”; 4-5 สิงหาคม 2548; กรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร; 2548. 77-94.

34. Yiqi L, Zhou X. Soil respiration and the environment. 1. Burlington, USA: Academic Press; 2006.

35. Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, และคณะ. A large and persistent carbon sink in the world's forests. SCIENCE. 2011;333(6045):988-93. July 14, 2011.

36. Sharma P. Carbon cycle. 2023 2023 [July 16]. https://www.geeksforgeeks.org/carbon-cycle/

37. สำนักหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. ป่าเต็งรังแม่น้ำภาชี. 1. สมราน สุดดี, บรรณาธิการ. กรุงเทพฯ: สำนักหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช; 2552. 224.

38. มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. สถานการณ์ป่าไม้ 2563. 2563 2023 [17 กรกฎาคม]. https://www.seub.or.th/wild-status-2020-2021/

39. มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. สถานการณ์ป่าไม้ 2564. นนทบุรี; 2564 2566 [17 กรกฎาคม]. https://www.seub.or.th/wild-status-2021-2022/

40. 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.

41. พัลลภ อินทะนิล. การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินในป่าเต็ง

รังภาคเหนือ ประเทศไทย [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)]. พะเยา: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพะเยา; 2560.

42. ดอกรัก มารอด, อุทิศ กุฏอินทร์. นิเวศวิทยาป่าไม้ (forest ecology). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์ กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้; 2552. 540.

43. สาพิศ ดิลกสัมพันธ์. การกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้กับภาวะโลกร้อน. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 2550;22(3):40-9.

44. Rissanen K, Martin-Guay M-O, Riopel-Bouvier A-S, Paquette A. Light interception in experimental forests affected by tree diversity and structural complexity of dominant canopy. Agricultural and forest meteorology. 2019;278.

45. Toda M, Richardson AD. Estimation of plant area index and phenological transition dates from digital repeat photography and radiometric approaches in a hardwood forest in the northeastern united states. Agricultural and Forest Meteorology. 2018;249:457-66. February 15, 2018.

46. Filippa G, Cremonese E, Migliavacca M, Galvagno M, Sonnentag O, Humphreys E, และคณะ. Ndvi derived from near-infrared-enabled digital cameras: Applicability across different plant functional types. Agricultural and forest meteorology. 2018;249(C):275-85.

47. Nagai S, Nakai T, Saitoh TM, Busey RC, Kobayashi H, Suzuki R, และคณะ. Seasonal changes in camera-based indices from an open canopy black spruce forest in alaska, and comparison with indices from a closed canopy evergreen coniferous forest in japan. Polar Science. 2013;7(2):125-35. June 2013.

48. Filippa G, Cremonese E, Migliavacca M, Galvagno M, Sonnentag O, Humphreys E, และคณะ. Ndvi derived from near-infrared-enabled digital cameras: Applicability across different plant functional types. Agricultural and Forest Meteorology. 2018;249:275-85. February 15, 2018.

49. Atkinson JA, Pound MP, Bennett MJ, Wells DM. Uncovering the hidden half of plants using new advances in root phenotyping. Current opinion in biotechnology. 2019;55:1-8. February 2019.

50. Nadelhoffer KJ, Raich JW. Fine root production estimates and belowground carbon

allocation in forest ecosystems. Ecology. 1992;73(4):1139–47.

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

52. Akejit M, Mairaing W, Kulsuwan B, Pansatan M. Root distribution in landslide area, mae phong-mae phun watershed, uttaradit province. Naresuan University Engineering Journal. 2018;13(2):156-62. July-December 2018.

53. Watson A, Marden M, Rowan D. Tree species perfomance and slope stability. Vegetation and slopes: Stabilisation, protection and ecology, . Thomas Telford Press; 1995.

54. . Supersonic air jets preserve tree roots in underground pipeline installation. Paper presented at the Proceedings of the Fifth Symposium on Oak Woodlands: Oaks in California's Changing Landscape; 2002; Pacific Southwest Research Station, Forest Service,.

55. 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. Plsnt and Soil. 1998;200:71-89.

56. Sarai S-S, Jong BHD, Esperanza H-L, Jorge M-V, Danilo M-R, Aryal DR. Fine root biomass stocks but not the production and turnover rates vary with the age of tropical successional forests in southern mexico. Rhizosphere. 2022;21(100474):1-13.

57. White PJ, George TS, Gregory PJ, Bengough AG, Hallett PD, McKenzie BM. Matching roots to their environment. Annals of Botany. 2019;112(2):207-22. July 1, 2013.

58. Ahrens B, Hansson K, Solly EF, Schrumpf M. Reconcilable differences: A joint calibration of fine-root turnover times with radiocarbon and minirhizotrons. New Phytologist. 2014;204(4):932-42. September 7, 2014.

59. หาญพัฒนากิจ พ. การทบทวนวิธีการศึกษาผลผลิตและการย่อยสลายเศษซากชีวมวล ในวัฏจักรคาร์บอนต่อการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเขต เส้นศูนย์สูตร the review of litterfall production and decomposition method in carbon cycle and effect to co2

emission in tropical forest. Journal of Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology). 2015.

60. Ahrends HE, Etzold S, Kutsch WL, Stoeckli R, Bruegger R, Jeanneret F, และคณะ. Tree phenology and carbon dioxide fluxes: Use of digital photography for process-based interpretation at the ecosystem scale. Climate Research. 2009;39(3):261-74.

61. Tanaka N, Kume T, Yoshifuji N, Tanaka K, Takizawa H, Shiraki K, และคณะ. A review of evapotranspiration estimates from tropical forest in thailand and adjiacent regions. Agricultural and Forest Meteorology. 2008;148(5):807-19.

62. Wolf SC, Goulden ML, Mounger JW, Fan S-M, Bakwin PS, Daube BC, และคณะ. Net exchange of co2 in a mid-latitude forest. Science. 1993;260:1314–7.

63. Sanwangsri M, Hanpattanakit P, Chidthaisong A. Variations of energy fluxes and ecosystem evapotranspiration in a young secondary dry dipterocarp forest in western thailand. Atmosphere. 2017;8(152):1-14.

64. Zhai Z, Boquete JP, Lemaitre B. A genetic framework controlling the differentiation of intestinal stem cells during regeneration in drosophila. PLoS Genet 2017;13(6):e1006854.

65. Tanaka Y, Sasaki N, Ohmiya A. Biosynthesis of plant pigments: Anthocyanins, betalains and carotenoids. The Plant Journal. 2008;54(4):733-49.

66. ศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมอุทยานแห่งชาติจังหวัดเพชรบุรี. รายงานแปลงตัวอย่างถาวรอุทยานแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติไทยประจัน จังหวัดราชบุรี. สำนักอุทยานแห่งชาติ: กรุงเทพฯ2559.

67. ธัญลักษณ์ เจริญพรภักดี. การสร้างรากฝอยในป่าชายเลนรุ่นสอง จังหวัดตราด [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (พฤกษศาสตร์)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย; 2557.

68. Bumrungbood J, Hanpattanakit P, Chidthaisong A, Saeng-Ngam S, Vanitchung S. Efficiency of water management by alternative wetting and drying on rice groeth and production. Srinakharinwirot University (Science and Technology). 2020;12(24).

69. Rabbil B, Päivi M, Petra S, Hannu F, Kari M, Timo P, และคณะ. Fine-root biomass production and its contribution to organic matter accumulation in sedge fens under

changing climate. Science of The Total Environment. 2023;858(2, (1 Feb., 2023)):159683.

70. Zhou R, Yiping Zhang, Song Q, Lin Y, Sha L, Jin Y, และคณะ. Relationship between gross primary production and canopy colour indices from digital camera images in a rubber (*hevea brasiliensis*) plantation, southwest china. Forest ecology and management. 2019;437:222-31. April 1, 2019.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวมัชฌิมา คำแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด	13 มกราคม 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	3 ม.3 ต.แม่คะ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ 50110
ผลงานตีพิมพ์	มัชฌิมา คำแก้ว วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์ บุญศิริ สวัสดิ์ไชย พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์ มนตรี แสนวังสี อำนาจ ชิดไธสง สิรินทรเทพ เต้าประยูรและพงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ (2566). ความผันแปรตามฤดูกาลต่อการยืดขยายและมวลชีวภาพของรากฝอยในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี. การจัดการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 6 วันที่ 14 มิถุนายน 2566 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. Kumkeaw, M., Tammadid, W., Swasdchai, B., Panya, M., Suwannapat, P., Sanwangsri, M., Setsungnern, A., Chidthaisong, A., Towprayoon, S., Song, Q., Sha, L., Zhang, Y., Zhou, W., & Hanpattakit, P. (2022, November 7-9). Seasonality of fine root dynamic and carbon stock in secondary dry dipterocarp forest, Thailand. The 8th International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2022): The Road to Net-Zero: Energy Transition Challenges and Solutions, The KX (Knowledge Exchange) Building, Bangkok, Thailand. มัชฌิมา คำแก้ว วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์ บุญศิริ สวัสดิ์ไชย มานะ ปันยา พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์ มนตรี แสนวังสี อานนท์ เศษสูงเนิน อำนาจ ชิดไธสง สิรินทรเทพ เต้าประยูรและพงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ. (2565). อิทธิพลของสภาพภูมิอากาศต่อการยืดและมวลชีวภาพของรากฝอยในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี. โครงการประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ

ครั้งที่ 12 “บัณฑิตวิจัย สร้างสรรค์ และนวัตกรรม : การขับเคลื่อนสังคมเข้าสู่ยุคปกติใหม่ด้วยองค์ความรู้” วันที่ 23-24 มิถุนายน 2565 มหาวิทยาลัยศิลปากร.

รางวัลที่ได้รับ

CERTIFICATE บทความวิจัยดีเด่นการนำเสนอวิจัย ภาคบรรยาย ประจำห้องนำเสนอการจัดการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 6 (The 6th CRU-National Conference in Science and Technology : NCST 6th 2023) ประจำปีการศึกษา 2565 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม