



รายงานการวิจัย

การศึกษาการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และลักษณะทางชีพลักษณ์
โดยใช้ดัชนีสีทรงพุ่มของพืชพรรณ ในระบบนิเวศป่าไม้ที่ละติจูดต่างกัน
ตั้งแต่ทางใต้ของประเทศจีนถึงภูมิภาคอินโดจีน

Phenological characteristics of different forest ecosystems with
different latitudinal gradients and its responses to climate change in
southwest China- Indo – China peninsula region based on canopy
colour index

รองศาสตราจารย์ ดร.สิรินทรเทพ เต๋าศระยูและคณะ
บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษากการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และลักษณะทางซีฟลักซ์โดยใช้ดัชนีสีทรงพุ่มของพืชพรรณ ในระบบนิเวศป่าไม้ที่ละติจูดต่างกันตั้งแต่ทางใต้ของประเทศจีนถึงภูมิภาคอินโดจีนได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 คณะนักวิจัยไทย ขอขอบคุณคณะที่มวิจัยจาก Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences สาธารณรัฐประชาชนจีน ในความร่วมมือทางวิชาการด้านการถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีด้านการใช้ภาพถ่ายระยะใกล้ (Near-surface remote sensing technique) เพื่อประเมินการดูดซับและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการภายใต้ความร่วมมือไทย-จีนด้านการวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทางเลือกต้นทุนต่ำในการตรวจวัดการดูดซับก๊าซคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 3 ปี โดยรายงานครั้งนี้ครอบคลุมผลการดำเนินงานในระยะ 1 ที่ผ่านมา โดยโครงการนี้ ทำการศึกษาในสถานีวิจัยระบบนิเวศป่าไม้จำนวน 8 สถานี เริ่มตั้งตั้งแต่ละติจูดที่ 29 °N เมือง Gonggashan ประเทศจีน ผ่านละติจูดที่ 13 °N จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย จนถึงละติจูดที่ 2 °N เมือง Pasoh ประเทศมาเลเซีย โดยทั้ง 8 สถานีตั้งอยู่ในแนวลองติจูดที่ 99-101 °E ครอบคลุมภูมิประเทศที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 6,500 เมตร ในเมือง Gonggashan ภายใต้สภาพอากาศหนาวเย็นจนถึงระดับความสูง 75 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ที่เมือง Pasoh ภายใต้สภาพอากาศเขตร้อนชื้น และครอบคลุมระบบนิเวศป่าไม้ตั้งแต่ป่าสนเขต (alpine coniferous forest) จนถึงระบบนิเวศป่าเขตร้อน (tropical rain forest) ซึ่งเป็นครั้งแรกที่รวมเอา ระบบนิเวศป่าที่หลากหลายทั้งเขตหนาวและเขตร้อนมาวิเคราะห์ร่วมกัน โดยอุปกรณ์การศึกษาดูตรวจวัด โครงสร้างชั้นเรือนยอดของป่าไม้ และการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ ได้ถูกติดตั้งบนหอคอยวัดก๊าซทั้ง 8 สถานี เชื่อมโยงกับเทคนิค near-surface remote sensing เพื่อดำเนินการศึกษาลักษณะทางสรีระและชีพ ลักษณะของพืช นอกจากนี้ ยังทำการศึกษาสมดุลคาร์บอนและพลังงาน การเคลื่อนที่ของน้ำภายในต้นไม้ พลวัต ของราก และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยาชั้นเรือนยอดและ ปัจจัยทางภูมิอากาศ โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตปฐมภูมิ (Gross primary production; GPP) และประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water use efficiency; WUE) ในระบบนิเวศป่าไม้ที่แตกต่างกันตามแนวละติจูด โดยในช่วง 12 เดือนแรกของโครงการวิจัยนี้ มุ่งเน้นการติดตั้งกล้องในการตรวจวัดดัชนีโครงสร้างสีของชั้นเรือน ยอด (canopy color index) และตรวจสอบความสอดคล้องของวิธีการวัด canopy color index ในระบบ นิเวศระหว่างสถานี และเทียบผลกับการตรวจวัดการดูดซับคาร์บอนด้วย eddy covariance technique โดย ผลการตรวจวัดเบื้องต้นพบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ (GEI) บนชั้นเรือนยอดของป่าทั้ง 3 พื้นที่ ประกอบด้วย ป่าเต็ง รังปฐมภูมิ จังหวัดพะเยา ป่าเต็งรังหุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี และป่าฝนเขตร้อน ประเทศจีน มีค่าอยู่ในช่วง 27.04-74.99, -6.18-68.47, และ 5.29-62.35 ตามลำดับ โดยพบว่าค่า GEI และค่าดัชนีสีเขียว (GCC) ของทุก พื้นที่ที่มีค่าสูงในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม - ตุลาคม) โดยค่า GCC มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทาง สถิติ ($p < 0.01$) กับค่าผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (GPP) การหายใจของระบบนิเวศ (RECO) และ ผลผลิตของระบบ นิเวศขั้นสุทธิ (NEP) ขณะที่ค่า GEI มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) กับค่า GPP และ NEP ซึ่งเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่า canopy color index นี้ มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นเทคโนโลยี ทางเลือกในการประเมินการดูดซับและการตอบสนองของระบบนิเวศป่าต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ทั้งนี้ เมื่อจบการดำเนินงานทั้ง 3 ปี คาดว่า 1) สามารถปรับปรุงความเข้าใจกลไกการตอบสนองและผลกระทบของ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อระบบนิเวศป่าไม้ 2) ทราบลักษณะการตอบสนองของระบบนิเวศป่าไม้ที่ เฉพาะเจาะจงไล่ตามระดับละติจูด 3) เสนอวิธีการ/เทคโนโลยีทางเลือกจากดัชนีโครงสร้างสีของชั้นเรือนยอด

(canopy color index) สำหรับประเมินการดูดซับและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และ 4) เพิ่มขีดความสามารถของนักวิจัยไทยและการเข้าถึงบริการศูนย์วิจัยขั้นสูงในประเทศจีน

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก, ชีพลักษณะพืชพรรณ, ผลกระทบและการปรับตัว, ดัชนีสีของเรือนยอด, ละติจูดที่ต่างกัน

Abstract

This research project is carried out under Thai-Chinese collaboration on climate change. The main objectives are to investigate the impacts and responses of forest ecosystems to climate change and to develop a low-cost technology (compared to the eddy covariance technique) for carbon exchange measurements. The project duration is 3 years and the current report covers the results of research activities for the 1st year. Forest ecosystem observations were conducted in 8 study sites situated across different latitudes, starting from latitude 29 °N in Gonggashan, Southwest China, through latitude 13 °N in Ratchburi Province, Thailand, to latitude 2 °N in Pasoh, Malaysia. All of these 8 sites are aligned along the longitude 99-101 °E. The altitudes range from 6,500 meter above mean sea level in Gonggashan with cold climate to 75 meter above mean sea level in Pasoh with hot-humid tropical climate. Across these latitudinal gradients, the observations are made in variety of forest ecosystems from alpine coniferous forest to tropical rain forest. This project is therefore unique in that it includes both cold, temperate, subtropical and tropical forest ecosystems within one study. The equipment for investigating forest canopy and CO₂ exchanges were installed successfully on the tower at all these 8 sites. The near-surface remote sensing by using digital camera was also installed to track the changes in forest phenology and some physiological characteristics such as sap flow. Dynamics of fine roots were also studied through the use of soil core and root photography. Dynamics of forest canopy, gas & water exchanges and root dynamics were then analyzed for their relationships with gross primary production (GPP) and water use efficiency (WUE). During the first year, the emphasis was given to setting up of all equipment especially the digital camera for monitoring canopy color index, calibration of equipment, cross-checking of data among the sites, and exploring the relationships between color index and carbon exchange rate obtained from eddy covariance technique. Preliminary results based on three forest ecosystems (Primary dry dipterocarp forest at Phayao, Secondary dry dipterocarp forest at Ratchburi and Xishuangbanna tropical rainforest ecosystem (XSBN), shown that green excess index (GEI) ranged from 27.04 to 74.99, -6.18 to 68.47, and 5.29 to 62.35, respectively. The values of GEI and green chromatic coordinate (GCC) at these sites were highest during the rainy season (May-October). The GCC had statistically significant relationship ($p < 0.01$) with GPP, ecosystem respiration and net ecosystem production (NEP). On the other hand, GEI shows a strong and statistically significant relationship ($p < 0.01$) with GPP and NEP. These results indicate the potential of applying canopy color index to evaluate the uptake of atmospheric CO₂ by forest ecosystems and that it could be applied to investigate the responses of forest

ecosystems to climate change. After 3 years of the project, it is expected that 1) our understanding and mechanisms of the responses of forest to climate change impacts will be improved, 2) characteristics of responses across the latitudinal gradients of the forest ecosystems will be clarified, 3) alternative, low-cost technology to evaluate the exchange of CO₂ above canopy will be proposed, and 4) the capacity of Thai researchers will be enhanced through exchanges and research collaborations between Thailand and China.

Key words: Global climate change; Phenology; Adaptation to climate change; Forest ecosystem and canopy color index, Latitudinal gradient.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
1. บทนำ.....	1
2. วัตถุประสงค์.....	3
3. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
3.1 การศึกษาโครงสร้างชั้นเรือนยอดด้วยภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล.....	4
3.2 การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ และความสัมพันธ์กับปัจจัยทางภูมิอากาศ....	6
3.3 การไหลของน้ำในลำต้น (Sap flow).....	6
3.4 การศึกษาพลวัตของรากฝอย.....	8
4. ระเบียบวิจัย.....	10
4.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย.....	10
4.2 การตรวจวัดเรือนยอดโดยใช้ภาพถ่ายดิจิทัล (Digital image).....	16
4.3 การตรวจวัดการไหลของน้ำในลำต้น.....	17
4.4 การตรวจวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา.....	18
4.5 การเจริญเติบโตของราก.....	22
5. ผลการศึกษาในปีที่ 1.....	23
5.1 รูปแบบของค่าดัชนีสี และดัชนีพืชพรรณ.....	23
5.2 รูปแบบค่าเฉลี่ยรายวันของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ.....	28
5.3 รูปแบบค่าเฉลี่ยรายวันของการไหลของน้ำในลำต้น (Sap flow).....	30
5.4 รูปแบบการเจริญเติบโตของรากพืช.....	32
6. อภิปรายผลและวิจารณ์ผล.....	35
6.1 ศักยภาพในการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้ (Near-surface remote sensing technique).....	35
6.2 ลักษณะการตอบสนองและพลวัตทางสรีระวิทยาชั้นเรือนยอด.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3 การตอบสนองของระบบนิเวศป่า ต่อปัจจัยทางภูมิอากาศ (ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม).....	39
6.4 การสร้างเครือข่ายความร่วมมือด้านงานวิจัย.....	44
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	46
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
7.2 อุปสรรคและข้อเสนอแนะ.....	47
8. แผนงานการดำเนินงานวิจัยและผลลัพธ์ในปีที่ 1 และ 2.....	47
9. ข้อมูลรูปแบบค่าดัชนีสีและดัชนีพืชพรรณของป่าฝนเขตร้อน (Rain forest) ณ สถานีวิจัยสิบสองปันนาของจีน.....	50
บรรณานุกรม.....	51
คณะผู้วิจัย.....	57
ภาคผนวก.....	59

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าการคายน้ำของพืช (Transpiration, T) ของแต่ละระบบนิเวศ.....	8
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยในระบบนิเวศป่าไม้แต่ละชนิด.....	9
ตารางที่ 3 ภาพรวมของระบบนิเวศพื้นที่ศึกษาในการศึกษานี้.....	11
ตารางที่ 4 เครื่องมือและพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดบนหอคอยวัดก๊าซทั้งสองพื้นที่.....	20
ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางซีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอดในป่าเต็งรังในช่วงเวลาต่าง ๆ (พะเยา)	24

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 18 ภาพถ่ายดิจิทัลในช่วงการเจริญเติบโตในช่วงฤดูแล้ง (Dry season)และช่วงฤดูฝน (Wet season).....	26
รูปที่ 19 (a) อัตราส่วนดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) สีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) สีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) ในช่วงฤดูแล้ง (b) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) ในช่วงฤดูแล้ง (c) อัตราส่วนดัชนีสีแดง (RCC) สีเขียว (GCC) สีน้ำเงิน (BCC) ในช่วงฤดูฝน และ (d) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) ในช่วงฤดูฝน	27
รูปที่ 20 (a) อัตราส่วนดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) สีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) สีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) และ (b) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) จากภาพถ่ายดิจิทัลระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563.....	27
รูปที่ 21 รูปแบบของ (a) ผลผลิตขั้นปฐม (Gross primary productivity: GPP) (b) การหายใจของระบบนิเวศ (Ecosystem respiration: RECO) และ (c) ผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ (Net ecosystem productivity: NEP) เดือนเมษายน-ธันวาคม พ.ศ. 2563 ของสถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมัตถุวิทยา จังหวัดพะเยา	28
รูปที่ 22 รูปแบบของ (a) ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (Gross primary productivity: GPP) (b) การหายใจของระบบนิเวศ (Ecosystem respiration: RECO) และ (c) ผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ (Net ecosystem productivity : NEP) เดือนเมษายน-ธันวาคม พ.ศ.2563 ของสถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมัตถุวิทยา จังหวัดราชบุรี	30
รูปที่ 23 รูปแบบการไหลของน้ำในลำต้น (ต้นพลวง <i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb.) ทั้ง 6 ต้น ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมัตถุวิทยา จังหวัดพะเยา ระหว่างเดือนเมษายน 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563.....	31
รูปที่ 24 รูปแบบการไหลของน้ำในลำต้น ต้นเหียง (<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.) 3 ต้น (ST1 – ST3) และต้นเต็ง (<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume) 3 ต้น (TS4 - TS6) ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมัตถุวิทยา จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนเมษายน 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563.....	32
รูปที่ 25 แผนภูมิแท่งแสดงการเจริญเติบโตของรากใน (a) หลุมที่ 1 และ (b) หลุมที่ 2 ที่ระดับความลึก 0.20 0.60 1.40 และ 1.80 m ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมัตถุวิทยา จังหวัดพะเยา ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2563 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 26 การเจริญเติบโตของรากชั้นที่ 1 ที่ระดับ 0.15 เมตร ชั้นที่ 2 ที่ระดับ 0.75 เมตร ชั้นที่ 3 ที่ระดับ 1.5 เมตร และชั้นที่ 4 ที่ระดับ 2.5 เมตร ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2563.....	34
รูปที่ 27 แผนภูมิแท่งแสดงการเจริญเติบโตของรากใน(a) หลุมที่ 1 และ (b) หลุมที่ 2 ที่ระดับความลึก 0.15,0.75, 1.5 และ 2.5 m ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมิวิทยา จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563.....	34
รูปที่ 28 ความยาวของรากฝอยตาย (a) และรากฝอยเป็น (b) ในดิน ที่ความลึก 4 ระดับ ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมิวิทยา จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม 2563.....	35
รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index) กับการกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยคาร์บอน ในช่วงผลิบา-ช่วงเจริญเติบโต (ปลายเดือนเมษายนถึงกลางเดือนกรกฎาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง จังหวัดพะเยา.....	37
รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index) กับการกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยคาร์บอน ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม) พ.ศ.2563 ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี.....	38
รูปที่ 31 เปรียบเทียบรูปแบบค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) ระหว่างสถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมิวิทยา จังหวัดพะเยา (DPT) และจังหวัดราชบุรี (DFR).....	39
รูปที่ 32 รูปแบบของ (a)ปริมาณฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature: Ta) อุณหภูมิดิน (Soil temperature: Ts) ที่ระดับความลึก 5 cm และความชื้นในดิน (Soil water content: SWC) ที่ระดับความลึก 5, 15, 50 cm (b) แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ (Photosynthetically active radiation: PAR) และแรงดึงระเหยไอ (Vapor pressure deficit: VPD) ในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมิวิทยา พะเยา.....	40
รูปที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมิวิทยา พะเยา.....	41
รูปที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) พ.ศ. 2563ในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมิวิทยา พะเยา.....	42
รูปที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี.....	43
รูปที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 37 ความร่วมมือระหว่างประหวางที่มิวิจัยของประเทศไทยและประเทศจีน.....	45
รูปที่ 38 ภาพบรรยากาศการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ ThaiFlux Workshop 2020.....	46
รูปที่ 39 รุรูปแบบของดัชนีสีและดัชนีพีชพรรณของป่าฝนเขตร้อน ณ สถานีวิจัยสิบสองปีนนา สาธารณรัฐประชาชนจีน ระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2563.....	50

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนตั้งแต่ในระดับท้องถิ่นจนถึงระดับโลก จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าอุณหภูมิอากาศโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น 4 - 5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบจากปีฐานในช่วง ค.ศ.1971-2000 (IPCC, 2013) ปริมาณน้ำฝนตามฤดูกาลจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 20-40 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เกิดสภาพความแห้งแล้งมีแนวโน้มความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Rahmat et al., 2014) เหตุการณ์เหล่านี้ จะเกิดขึ้นร่วมกัน และมีสภาพความรุนแรงและความถี่บ่อยครั้งขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้าง ในระบบระบบนิเวศป่าไม้ การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ในเขตอบอุ่นสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นส่งผลกระทบต่อการผลิต (Estiarte and Penuelas, 2015; Fu et al., 2015; Polgar and Primack, 2011; Schröder et al., 2014; Vitasse et al., 2017) เกิดความล่าช้าของการเจริญเติบโต และความแก่ของใบ (Dragoni and Rahman, 2012) ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางซีพลักษณะของป่าไม้ (Crabbe et al., 2016; Fu et al., 2017; Jeong et al., 2011) ทั้งนี้ ลักษณะทางซีพลักษณะของพืชถูกควบคุมโดยอุณหภูมิช่วงแสงและมีความเครียดจากการขาดน้ำ (Estiarte and Penuelas, 2015; Zohner et al., 2016; Zohner and Renner, 2015) ในระบบนิเวศป่าเขตร้อนซึ่งแตกต่างจากในป่าเขตอบอุ่นที่อุณหภูมิผันผวนอย่างมากตลอดระยะเวลารอบปี โดยอุณหภูมิในป่าเขตร้อนจะมีความแปรผันเล็กน้อย และต้นไม้มีปรับตัวให้เจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการตอบสนองของระบบนิเวศป่าไม้ในเขตร้อน จึงมีความแตกต่างกันระหว่างป่าเขตนาน ป่าเขตอบอุ่น และป่าเขตร้อน นอกจากนี้ ผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลต่อป่าเขตร้อนอย่างมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่คาดการณ์ไว้มีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากค่าปกติที่พบในระบบนิเวศป่าเขตร้อน (US DOE, 2012) นอกจากอุณหภูมิ การศึกษาที่ผ่านมายังพบว่า ระยะเวลา ปริมาณน้ำฝน และประสิทธิภาพการใช้น้ำ ยังมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางซีพลักษณะของต้นไม้ (Borchert, 1994; Valdez-Hernández et al., 2010) รวมถึงดัชนีสีเขียวของใบไม้อีกด้วย (Elliott et al., 2006; Rivera et al., 2002; Ryan et al., 2016)

ลักษณะทางซีพลักษณะของต้นไม้ เป็นลำดับการพัฒนาการของพืชที่เกิดขึ้นเป็นประจำตลอดทั้งปี มีความสำคัญต่อการทำงานของพืชและการให้บริการของระบบนิเวศ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ลักษณะทางซีพลักษณะจึงใช้เป็นข้อมูลเพื่อประเมินผลกระทบและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศหรือการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวฟิสิกส์และชีวเคมีในระบบภูมิอากาศ (Lieth, 1974; Chabot and Hicks 1982; Lechowicz, 1984; Kikuzawa, 1989) นอกจากนี้ ลักษณะทางซีพลักษณะของต้นไม้ไม่เพียงแต่สะท้อนถึงสภาพแวดล้อมของแต่ละภูมิภาคและระยะเวลาในแต่ละฤดูกาลเท่านั้น แต่ยังสามารถสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาด้วยเช่นกัน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางซีพลักษณะของพืชที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลระยะยาว และครอบคลุมประเภทของระบบนิเวศป่าไม้ให้ได้มากที่สุด จึงจำเป็นต้องอาศัยเครือข่ายของนักวิจัยในแต่ละระบบนิเวศป่าไม้ และมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันอย่างต่อเนื่อง จึงจะ

สามารถเข้าใจผลกระทบและการตอบสนองของระบบนิเวศต่างๆต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ นอกจากนี้ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางซีฟลักซ์ของต้นไม้ มีวิธีการเก็บข้อมูลที่ซับซ้อน มีราคาสูง จำเป็นต้องใช้เวลาและแรงงานในการบันทึกข้อมูลเป็นจำนวนมาก (Piao et al., 2019) ที่อย่างไรก็ตาม ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีภาพถ่ายดิจิทัลที่มีความละเอียดของภาพสูงขึ้นเรื่อย ๆ เทคโนโลยีการถ่ายภาพมุมสูงแบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องโดยใช้กล้องดิจิทัล สามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีตรวจจับระยะไกลไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle; UAV) เป็นเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลรุ่นที่สามที่พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลทางอากาศแบบดั้งเดิมและ เทคโนโลยีการตรวจจับระยะไกลในอวกาศ ด้วยข้อดีของความเบา ความคล่องตัว การตอบสนองที่รวดเร็ว และมีต้นทุนต่ำ ดังนั้น เทคโนโลยีการตรวจจับระยะไกล UAV จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการศึกษานิเวศวิทยาของป่าไม้ และค่อย ๆ กลายเป็นวิธีใหม่ในการตรวจวัดในระบบนิเวศวิทยาของป่าไม้ ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศของป่าไม้และปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ นอกจากนี้การใช้กล้องดิจิทัลซึ่งเป็นเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้ (Near-surface remote sensing technique) ที่สามารถนำมาประยุกต์กับการวิจัยระบบนิเวศ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานการสะท้อนของสปีบนชั้นเรือนยอดของต้นไม้ (Zhou et al., 2019) ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในระบบนิเวศ ซึ่งมีข้อดีตรงที่มีต้นทุนต่ำ สามารถเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่อง และสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบนิเวศป่าไม้ในที่ห่างไกลอีกด้วย อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยพบว่า ยังไม่มีการทดสอบและประเมินศักยภาพของเทคโนโลยีนี้ในระบบนิเวศป่าเขตร้อนในประเทศไทยแต่อย่างใด

ที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยในประเทศไทย ได้ศึกษาถึงบทบาทและหน้าที่ของระบบนิเวศป่าไม้ โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสมดุลหรือการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO₂ และไอน้ำระหว่างบรรยากาศและระบบนิเวศป่าไม้ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ โดยใช้เทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (Eddy covariance technique) ที่มีความน่าเชื่อถือเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆที่เคยใช้ในอดีต เนื่องจากมีเทคนิคการตรวจวัดที่แม่นยำ มีความต่อเนื่อง ครอบคลุมพื้นที่ที่ใหญ่ในสเกลระบบนิเวศ ทำให้ข้อมูลที่ทำการตรวจวัดได้มีความเป็นตัวแทนของพื้นที่ โดยใช้หลักการวัดความแปรปรวนร่วม (Covariance) ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ flux) และความเร็วมวลในทิศทางแนวตั้ง (Vertical wind speed) ที่มีลักษณะการหมุนวนขึ้นและลง (Eddy) และถือเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและมีผลการตรวจวัดที่น่าเชื่อถือในปัจจุบัน (Burba, 2010) อย่างไรก็ตาม เทคนิคการตรวจวัดนี้ก็มีข้อเสียที่ต้องมีการลงทุนที่สูง (มากกว่า 5-10 ล้านบาทต่อสถานี) และต้องการการบำรุงรักษาที่เข้มข้น ต้องการบุคลากรวิจัยที่มีความรู้ความชำนาญหลากหลายสาขามาร่วมมือกัน จึงจะสามารถนำข้อมูลการตรวจวัดได้มาวิเคราะห์ได้อย่างน่าเชื่อถือ ด้วยความที่มีต้นทุนสูง จึงมีข้อจำกัดในการเพิ่มจำนวนจุดตรวจวัดให้ครอบคลุมพื้นที่ป่าได้อย่างเพียงพอ ทำให้ความรู้ความเข้าใจและการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อระบบนิเวศป่าไม้ของไทย มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยเหตุนี้ การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายหลักคือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะใกล้ร่วมกับการวัดอื่น ๆ (การไหลของคาร์บอนการหมุนเวียนของน้ำ พลังงานการไหลของน้ำและพลวัตของราก) เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของดัชนีของชั้นเรือนยอดเพื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศกับการเปลี่ยนแปลงของชั้นเรือนยอดจากการใช้เทคนิคการสำรวจระยะใกล้ที่ประสบความสำเร็จนี้จะช่วยให้มั่นใจได้ว่ามีเทคโนโลยีทางเลือกต้นทุน

ต่ำและที่มีความน่าเชื่อถือสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของป่าไม้ โดยเฉพาะการตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ ดังต่อไปนี้

(1) ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีของอัตราส่วนสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินของชั้นเรือนยอดป่าและค่าดัชนีของแต่ละสีบนชั้นเรือนยอดในระบบนิเวศป่าไม้ที่แตกต่างกัน

(2) การไล่ระดับสีของชั้นเรือนยอดของระบบนิเวศป่าไม้ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพอากาศและมีกลไกใดบ้างที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีสีบนชั้นเรือนยอดของระบบนิเวศป่าไม้ที่มีความแตกต่างกัน

(3) ดัชนีสีสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ GPP และ WUE ของระบบนิเวศป่าละติจูดที่แตกต่างกันได้หรือไม่และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมใดเป็นปัจจัยควบคุมหลักของชีพลักษณ์ป่าไม้ในละติจูดที่ต่างกัน

ทั้งนี้ โครงการวิจัยนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานความพร้อมของเครือข่ายการตรวจวัดข้อมูลระบบนิเวศป่าไม้ในประเทศไทย จีน และมาเลเซีย เพื่อประมวลผลกระทบบ้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการพัฒนาเทคโนโลยีทางเลือกต้นทุนต่ำในการตรวจวัดการดูดซับก๊าซคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ ครอบคลุมจำนวน 8 สถานี เริ่มตั้งแต่ละติจูดที่ 29 °N เมือง Gonggashan ประเทศจีน ผ่านละติจูดที่ 13 °N จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย จนถึงละติจูดที่ 2 °N เมือง Pasoh ประเทศมาเลเซีย โดยทั้ง 8 สถานีตั้งอยู่ในแนวลองติจูดที่ 99-101 °E ครอบคลุมภูมิประเทศที่ระดับความสูงตั้งแต่ 6,500 เมตร ในเมือง Gonggashan จนถึงระดับความสูง 75 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลที่เมือง Pasoh และครอบคลุมระบบนิเวศป่าไม้ตั้งแต่ป่าสน (alpine coniferous forest) ภายใต้สภาพอากาศหนาวเย็นจนถึงป่าฝนเขตร้อน ภายใต้สภาพอากาศร้อนชื้น เมื่อจบการดำเนินงาน คาดว่า 1) สามารถเพิ่มความเข้าใจและสร้างองค์ความรู้ใหม่ในกลไกการตอบสนองและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อระบบนิเวศป่าไม้ 2) ทราบลักษณะการตอบสนองของระบบนิเวศป่าไม้ที่เฉพาะเจาะจงไล่ตามระดับละติจูด 3) เสนอวิธีการ/เทคโนโลยีทางเลือกจากดัชนีโครงสร้างสีของชั้นเรือนยอด (canopy color index) สำหรับประเมินการดูดซับและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และ 4) เพิ่มขีดความสามารถของนักวิจัยไทยและการเข้าถึงบริการศูนย์วิจัยขั้นสูงในประเทศจีน ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งของข้อเสนอโครงการนี้ คือ เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่สามารถทำได้ในการทำงานวิจัยปกติ แต่ต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างไทยและจีน และเป็นครั้งแรกที่รวมเอาระบบนิเวศป่าไม้ที่หลากหลายทั้งเขตหนาวและเขตร้อนมาวิเคราะห์ร่วมกัน อาศัยความเชี่ยวชาญและการสนับสนุนของโครงสร้างพื้นฐานทางการวิจัยที่พร้อม (ซึ่งจะสนับสนุนโดยฝ่ายจีน) โดยอุปกรณ์การศึกษาตรวจวัดโครงสร้างชั้นเรือนยอดและ (Pheno-phase) ของป่าไม้ จะถูกติดตั้งบนหอคอยวัดก๊าซทั้ง 8 สถานี โดยเชื่อมโยงกับ near-surface remote sensing เพื่อดำเนินการศึกษาทางสรีระและชีพลักษณ์ของพืช นอกจากนี้ ยังทำการศึกษาสมดุลคาร์บอนและพลังงาน การเคลื่อนที่ของน้ำภายในต้นไม้ พลวัตของราก และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา เพื่อตอบโจทย์และความคาดหวังในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางสรีระวิทยาชั้นเรือนยอดและปัจจัยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตปฐมภูมิ (GPP) และประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) และการตอบสนองสรีระวิทยาชั้นเรือนยอดของป่าไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยโครงการนี้ จะดำเนินการผ่านความร่วมมืออย่างใกล้ชิดในการตรวจวัดการหมุนเวียนคาร์บอนและการตอบสนองทางสรีระวิทยาชั้นเรือนยอดของ

พืช การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ในทุกสถานีวิจัย การแลกเปลี่ยนและฝึกอบรม นักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ระหว่างประเทศไทยและประเทศจีน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาและตรวจสอบการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้ (Near-surface remote sensing technique) ในการประเมินการดูดซับและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ที่แตกต่างกันตามความลาดชันของแนวละติจูดตั้งแต่ตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีนจนถึงคาบสมุทรอินโดจีน

2.2 เพื่อระบุลักษณะการตอบสนองและพลวัตทางสรีระวิทยาชั้นเรือนยอดของพืชตามแนวละติจูดจากคาบสมุทรทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีนจนถึงคาบสมุทรอินโดจีน

2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภาวะแห้งแล้งที่ส่งผลกระทบต่อสรีระวิทยาของพืชในป่าแต่ละประเภท

2.4 เพื่อตรวจติดตามการตอบสนองทางสรีระวิทยาของพืชและสร้างเครือข่ายความร่วมมือด้านงานวิจัยตามแนวละติจูดที่ 101 ตั้งแต่ประเทศจีนจนถึงคาบสมุทรอินโดจีน จากการสนับสนุนของนักวิทยาศาสตร์ด้านการจัดการป่าไม้และการศึกษาการตอบสนองของระบบนิเวศป่าไม้ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีนจนถึงเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

3. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

3.1 การศึกษาโครงสร้างชั้นเรือนยอดด้วยภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล

ในปัจจุบัน แม้ว่าภาพถ่ายดาวเทียมจะมีการอนุญาตในการเข้าถึง และมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก อย่างไรก็ตามก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางซีพลักษณ์แบบความถี่สูง (High frequency monitoring) ในแต่ละพื้นที่และแต่ละชนิดพันธุ์ของพืช การขาดประสิทธิภาพในการติดตามการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในระยะสั้น เช่น การผลัดใบ ก็เป็นอีกหนึ่งข้อจำกัดของเทคนิคการตรวจวัดด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางซีพลักษณ์ในระยะยาวโดยใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ (Time-lapse) ในระดับรายรอบวันหรือแต่ละช่วงเวลาของวันสามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ การถ่ายภาพดิจิทัลแบบซ้ำ ๆ มีข้อได้เปรียบเหนือการใช้การตรวจวัดระยะไกลคือสามารถบันทึกข้อมูลที่มีความละเอียดและสม่ำเสมอว่าการติดตามบนพื้นดิน ดังนั้น กล้องดิจิทัลที่สามารถถ่ายภาพแสง (Digital visible light camera) สามารถให้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนเชิงพื้นที่และมีค่าใช้จ่ายต่ำ พร้อมกับความละเอียดในระดับพื้นที่ได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้ กล้องถ่ายภาพดิจิทัลจึงกลายเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นแสง (Multispectral sensor) ที่ใช้ได้ง่าย (Easy-to-use) โดยเทคนิคนี้สามารถปรับปรุงความละเอียดทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาโดยมีการใช้แรงงานค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ยังจัดข้อจำกัดด้านการปกคลุมของเมฆบนภาพถ่ายดาวเทียมได้ และยังมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกันคือความต่อเนื่อง และมีความแม่นยำในการตรวจวัดบนภาคพื้นอีกด้วย การตรวจวัดลักษณะทางซีพลักษณ์ด้วยกล้องถ่ายภาพนั้นช่วยให้สามารถติดตามพืชบนบกได้โดยตรงจากแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลากหลายทั่วโลก โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถเป็นจุดเชื่อมโยงกับการตรวจวัดโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศได้ ซึ่งวิธีการนี้จัดเป็นวิธีการใหม่สำหรับการตรวจวัดระยะไกลแบบใกล้พื้นผิว (Near-surface

remote sensing) เทคโนโลยีภาพถ่ายดิจิทัลนี้มีประสิทธิภาพอย่างมากในการติดตามเหตุการณ์ต่าง ๆ ทางชีพ ลักษณะในระบบนิเวศต่าง ๆ รวมถึงระบบนิเวศป่าไม้ และระบบนิเวศทุ่งหญ้า (Sonntag et al. 2012; Zhao et al. 2012) ขณะนี้ภาพจากกล้องดิจิทัลไม่เพียงแต่ให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับพลวัตของชั้นเรือนยอดพืชเท่านั้น แต่ยังเป็นตัวแทนสำหรับการตรวจสอบแบบจำลองและสมมติฐานทางชีวลักษณะที่แตกต่างกันได้อีกด้วย

โดยปกติแล้วจะทราบตำแหน่งที่แน่นอนของกล้องถ่ายภาพ ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกต่อทั้งความเป็นจริงบนภาคพื้นและการผสมผสานข้อมูลจากสถานีตรวจวัดที่อยู่ใกล้เคียง จึงทำให้เป็นข้อได้เปรียบอย่างมากของการติดตามเหตุการณ์ต่าง ๆ เหนือชั้นเรือนยอดและลักษณะทางชีวลักษณะของพืช ซึ่งภาพถ่ายเหล่านี้สามารถตรวจสอบซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ได้เพื่อที่จะช่วยลดข้อผิดพลาดของผู้ตรวจวัด การประยุกต์ใช้การถ่ายภาพดิจิทัลกับลักษณะทางชีวลักษณะของพืชนี้มีศักยภาพอย่างยิ่งเมื่อประยุกต์เข้ากับการติดตามจากดาวเทียมและภาคพื้นดิน ซึ่งนักวิจัยได้ใช้ดัชนีที่แตกต่างกันจากภาพถ่ายเพื่อทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณในการเปรียบเทียบดัชนีต่าง ๆ ภายใต้สภาวะควบคุม โดยนักวิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้กล้องดิจิทัลในราคาประหยัดพร้อมชุดแผนภูมิสีมาตรฐานเป็นแบบจำลองสำหรับระยะต่าง ๆ พบว่าใบไม้เกิดใหม่จะเป็นสีเขียวอมเหลือง ใบไม้ในระยะเติบโตจะเป็นสีเขียว ใบแก่เต็มที่เป็นสีเขียวเข้ม และใบชราจะเป็นสีเหลือง (Lin et al., 2018) นอกจากนี้กล้องดิจิทัลในสถานีตรวจวัดข้อมูลพลักซ์ (เช่น CO_2 & energy flux) ไม่เพียงแต่ให้สภาพทางสรีรวิทยาของชั้นเรือนยอดของป่าไม้เท่านั้น แต่ยังช่วยส่งเสริมการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแลกเปลี่ยนไอน้ำได้อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้สำหรับการตรวจสอบการพัฒนาของพืชและการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของชั้นเรือนยอด

ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลสามารถให้ประโยชน์ในการตรวจสอบการพัฒนาตามฤดูกาลของความเขียวชอุ่มในระดับพื้นที่เพื่อรับข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการอธิบายของการพัฒนาชั้นเรือนยอดตามฤดูกาล โดยรูปแบบตามฤดูกาลของตัวเลขดิจิทัลสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB Digital number) ที่สกัดได้จากภาพถ่ายดิจิทัลจะไม่เหมือนกันระหว่างสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลช่วงสีแดง-เขียว-น้ำเงิน (RGB color channel) จากภาพถ่ายดิจิทัลนี้สามารถแยกออกมาเป็นตัวเลขดิจิทัล และสรุปภายหลังผ่านดัชนีสีหรือผ่านการแปลงแบบ nonlinear เป็นพิกัดสีหรือช่องว่างสีอื่น ๆ ภาพถ่ายดิจิทัลของชั้นเรือนยอดของต้นไม้ได้รับการวิเคราะห์เพื่อทำความเข้าใจถึงการตอบสนองของลักษณะทางสรีรวิทยาของป่าไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นภาพถ่ายดิจิทัลจึงไม่เพียงแต่ประหยัดต้นทุน แต่ยังเป็นวิธีที่มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ลักษณะทรงพุ่มอีกด้วย ซึ่งเราสามารถรับข้อมูลเป็นรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน หรือรายปีได้ จึงทำให้สามารถวิเคราะห์รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศป่าไม้ได้

ลักษณะทางสรีระและชีวลักษณะของพืชสามารถนำไปใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของพืชที่ตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกต่างๆ ซึ่งลักษณะเหล่านี้ ประกอบด้วย ปริมาณชีวมวล ชนิดพันธุ์ ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ความสูงของชั้นเรือนยอด การไหลของน้ำ และลักษณะทางสรีระวิทยาของใบ เช่น สารประกอบไนโตรเจน คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น ทั้งนี้ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมจากสภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการตอบสนองทางสรีระวิทยาของพืช การใช้ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลจึงเป็นหนึ่งในวิธีที่เหมาะสมในการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของพืชที่มีความละเอียดสูงในแต่ละชนิดพรรณไม้ของระบบนิเวศป่าไม้ต่าง ๆ จาก

การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของพืชจากภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล จะสามารถทำให้เข้าใจถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างป่าไม้ในพื้นที่ที่แตกต่างกันจากปัจจัยของสภาพภูมิอากาศ

ตัวอย่างงานวิจัยในต่างประเทศพบว่า การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลในป่า black spruce forest ใน Alaska ที่มีสรีระวิทยาชั้นเรือนยอดแบบเปิดและป่า evergreen coniferous forest ในญี่ปุ่นที่มีสรีระวิทยาชั้นเรือนยอดแบบปิด พบว่า ค่า Gross primary production (GPP) และ Photosynthetically active radiation (PAR) จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นในแต่ละวัน โดยค่า GPP สูงสุดของป่าจะมีความแตกต่างกัน โดยสีของต้นไม้ในประเทศญี่ปุ่นเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวแดงในช่วงฤดูหนาวเนื่องจากมีการสะสมของเม็ดสีแซนโทฟิล แต่ในอลาสก้าช่วงฤดูหนาวจะถูกปกคลุมด้วยหิมะในช่วงฤดูหนาวไม่มีใบไม้ บ่งบอกถึงของลักษณะป่าและสีของใบไม้ที่ต่างกัน ส่งผลต่อค่า GPP สูงสุดและต่ำสุดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (Nagai et al., 2013) ทั้งนี้ สีของภาพถ่ายจะบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของการหมุนเวียนคาร์บอน เช่น การศึกษาลักษณะสีของใบบนชั้นเรือนยอดของป่า evergreen coniferous ของประเทศญี่ปุ่น กับการเก็บกักคาร์บอน พบว่า ช่วงสีใบของเรือนยอดเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวแดงในฤดูหนาวช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม และเปลี่ยนสีจากสีเขียวสีเหลืองไปจนถึงสีเขียวขาวในช่วงต้นฤดูร้อนปลายเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม สัมพันธ์กับค่า GPP โดยลักษณะโครงสร้างของป่าและช่วงฤดูกาลที่มีความแตกต่างกัน จะส่งผลต่อค่า GPP มีค่าสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเวลาแตกต่างกัน

3.2 การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ และความสัมพัทธ์กับปัจจัยทางภูมิอากาศ

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำในระบบนิเวศต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย โดยจากการศึกษาของ Saigusa et al., (2008) พบว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO₂ จะแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศ โดยพบว่าป่าเขตหนาว (Boreal) จะมีปริมาณแสงที่เป็นปัจจัยควบคุม ในขณะที่ป่าเขตอบอุ่น (Temperate) จะมีอุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยควบคุม ส่วนป่าเขตร้อน (Tropical) พบว่า มีความชื้นในดินเป็นปัจจัยควบคุม อย่างไรก็ตามในสภาพภูมิอากาศเดียวกัน ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO₂ นั้น ขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของป่าด้วย เช่น ในป่าผลัดใบ (Deciduous forest) จะมีช่วงที่ทิ้งใบในช่วงฤดูแล้งจะทำให้การสังเคราะห์แสงโดยรวมลดลง ส่วนป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) จะมีช่วงเวลาที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ตลอดทั้งปี และยังพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของป่าผลัดใบในช่วงเจริญเติบโตจะสูงกว่าป่าไม่ผลัดใบ (Kozlowski and Pallardy, 1997) เนื่องจากลักษณะของใบที่ผลิใหม่ของป่าผลัดใบมีการตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมค่อนข้างรวดเร็ว สำหรับการศึกษาป่าผลัดใบโดยเฉพาะป่าเต็งรังในจังหวัดราชบุรีพบว่า ความชื้นในดิน ปริมาณแสง และอุณหภูมิอากาศ เป็นปัจจัยควบคุมแลกเปลี่ยนก๊าซ CO₂ (มนตรี แสนวังสี และคณะ, 2553)

ทั้งนี้ ผลผลิตสุทธิของป่า (Net ecosystem productivity: NEP) จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของป่าและลักษณะสภาพภูมิอากาศ โดยพบว่าป่าเขตร้อนมีความแปรปรวนสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับและการศึกษาของ Hirata et al., (2008) ที่พบว่าค่าผลผลิตสุทธิในป่าเขตหนาว ป่าเขตอบอุ่น และป่าเขตร้อน เท่ากับ 1.23 ± 0.33 , 2.70 ± 1.57 และ -0.66 ± 3.35 tC.ha⁻¹.yr⁻¹ ตามลำดับ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินก็เป็นปัจจัยที่สำคัญด้วย โดยการศึกษาของ Wolf et al., (2011) ที่เปรียบเทียบระหว่างสอง

พื้นที่ คือ พื้นที่ป่าปลูกและพื้นที่การเกษตรในฤดูฝนและฤดูแล้งพบว่า ค่าผลผลิตสุทธิในพื้นที่ป่าปลูกและพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 4.42 และ -2.61 tC.ha⁻¹.yr⁻¹ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามฤดูกาลพบว่าป่าปลูกจะแนวโน้มของผลผลิตสุทธิที่ลดลงเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง ส่วนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งจะมีการปลดปล่อยที่สูงเนื่องจากชนิดของพืชที่เป็นหญ้าจึงมีการสังเคราะห์แสงที่น้อย

3.3 การไหลของน้ำในลำต้น (Sap flow)

การไหลของน้ำในลำต้น (Sap flow) เป็นกระบวนการใช้น้ำของพืชที่เชื่อมโยงระบบนิเวศโดยตรงที่สามารถอธิบายรูปแบบการสูญเสียน้ำทางปากใบของพืชที่เรียกว่า กระบวนการคายน้ำของพืช (Transpiration) ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของการคายระเหยน้ำทั้งหมด เกิดขึ้นได้เมื่อความดันไอน้ำในอากาศมีน้อยกว่าไอน้ำในเซลล์ของใบไม้ โดยการไหลของน้ำในลำต้นถือเป็นการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารภายในต้นไม้ ซึ่งเป็นขบวนการสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตอีกทั้งยังทำให้ผิวของใบไม้เย็นลง ทั้งนี้ ไอน้ำที่ถูกปล่อยผ่านออกมาทางปากใบจะเปิดเมื่อมีแสงแดดมากกระตุ้น โดยการไหลของน้ำในลำต้นมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ธรรมชาติของพืช (การปรับตัวเพื่อการเจริญเติบโตของพืชเมื่อมีน้ำจำกัด) สภาพอากาศและความชื้นในดิน ถ้าอากาศร้อนและแห้งแล้งพืชจะสามารถปล่อยน้ำออกมาเป็นจำนวนมาก แต่หากความชื้นในดินมีไม่เพียงพอพืชก็จะเหี่ยวเฉา จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการคายน้ำเฉลี่ยทั่วโลกอยู่ที่ร้อยละ 61±15 ของการคายระเหยน้ำ และการคายน้ำของพืชส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 40-70 ของการคายระเหยน้ำทั้งหมดในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำจำกัด (Reynolds et al., 2000; Mitchell et al., 2009; Moran et al., 2009; Zhongmin et al., 2009; Cavanaugh et al., 2011; Staudt et al., 2011) หรือคิดเป็นร้อยละ 31 ของปริมาณน้ำฝน (Schlesinger and Jasechko, 2014) โดยประมาณร้อยละ 95 ของการสูญเสียน้ำในแต่ละวันจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน การศึกษาของ Raz-Yaseef et al. (2012) พบว่าการคายน้ำของพืชในป่ากึ่งเขตร้อนคิดเป็นร้อยละ 49 ของการคายระเหยน้ำ ขณะที่การศึกษาของ Dugas et al. (1996) พบว่าการคายน้ำของพืชในพื้นที่ทะเลทรายอยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึง 70 ในประเทศเม็กซิโก ส่วนในป่าเบญจพรรณประเทศสหรัฐอเมริกาพบการคายน้ำของพืชอยู่ที่ร้อยละ 57 ของการคายระเหยน้ำ (Wilson et al., 2001) จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าค่าการคายน้ำของพืชมีความแตกต่างกันไปตามระบบนิเวศป่าไม้และชนิดของพืชดังตารางที่ 1 และเมื่อทำการเปรียบเทียบการศึกษาข้างต้นพบว่าการคายน้ำของพืช อยู่ภายใต้ปัจจัยความชื้นในดินที่ระดับความลึกที่แตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ไม้ เช่น การศึกษาของ Raz-Yaseef et al. (2012) พบว่าการคายน้ำของพืชในระบบนิเวศป่ากึ่งเขตร้อนพบว่ามีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินที่ระดับ 15 เซนติเมตร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีหลายงานวิจัยแสดงที่แสดงให้เห็นว่า แรงดึงระเหยน้ำ (Vapor pressure deficit: VPD) เป็นตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดที่ในการควบคุมการคายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความชื้นในดินมีน้ำไม่จำกัด (Kelliher et al., 1993; Blanken et al., 1997; Oren et al., 2001) โดยจากการศึกษาของ Liu et al., 2015 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการคายน้ำของพืชกับแรงดึงระเหยน้ำในตอนกลางคืนกับตอนกลางวันแตกต่างกัน โดยการคายน้ำตอนกลางคืนไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับแรงดึงระเหยน้ำ และยังพบว่าเมื่อแรงดึงระเหยน้ำหากมากกว่า 1 กิโลปาสคาลพืชจะเริ่มหยุดการคายน้ำ นอกจากนี้ ยังพบว่าอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณแสงที่พืชใช้สังเคราะห์แสงมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการคายน้ำรายวันในตอน

กลางวัน ในทางกลับกันการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณแสงที่พืชใช้สังเคราะห์แสงไม่มีผลต่อการคายน้ำอย่างมีนัยสำคัญในตอนกลางวัน จึงอาจสรุปจากงานวิจัยข้างต้นได้ว่า อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณแสงที่พืชใช้สังเคราะห์แสงมีอิทธิพลต่อการคายน้ำเฉพาะในตอนกลางวัน แต่แรงดึงระเหยน้ำมีอิทธิพลต่อการคายน้ำโดยเพิ่มแรงดึงของการคายน้ำโดยตรงและเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด (Oren et al., 2001) สำหรับประเทศไทยพบว่าการศึกษาคายน้ำของพืชยังไม่แพร่หลายซึ่ง Tanaka et al. 2003 ได้ศึกษาคายน้ำของพืชที่ป่าดิบเขา ห้วยคอกม้า จ.เชียงใหม่ พบว่าการคายน้ำของพืชมีค่าสูงในช่วงปลายฤดูแล้ง

ตารางที่ 1 ค่าการคายน้ำของพืช (Transpiration, T) ของแต่ละระบบนิเวศ

Ecosystem type	T	Reference
	(% of ET)	
Semiarid forest, Southern Israel	48	Raz-Yaseef et al. (2009)
Mixed forest, Switzerland	74	Paul-Limohes et al. (2020)
Tropical rainforests	70	Schlesinger and Jasechko (2014)
Deserts	51	Schlesinger and Jasechko (2014)
Tropical forests (wet climate)	70	Schlesinger and Jasechko (2014)
Tropical grassland	62	Schlesinger and Jasechko (2014)
Boreal forest	65	Schlesinger and Jasechko (2014)
Temperate deciduous forests	67	Schlesinger and Jasechko (2014)
Intact forested watershed	60	Liu et al. (2015)
Desert shrub	64	Zhao et al. (2018)
Subtropical evergreen mixed forest	72	Zhu et al. (2015)

3.4 การศึกษาพลวัตของรากฝอย

รากฝอย (fine root) เป็นรากขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 mm ทำหน้าที่ในการหาอาหาร ดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ มีความสำคัญกับการหมุนเวียนคาร์บอนและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยด้านภูมิอากาศในระบบนิเวศป่าไม้ เนื่องจากรากฝอยมีช่วงชีวิตสั้น มีอัตราการเกิดรากใหม่หรือการตายไปของรากฝอยเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต กล่าวคือ มีการสร้างรากขึ้นใหม่ทดแทนรากเดิมที่เสื่อมสภาพ หรือถูกทำลายตามธรรมชาติ การเกิดหรือการเสื่อมสภาพของรากนั้นเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน (Nadelhoffer and Reich. 1992) และการตรึงคาร์บอนในดินในรูปของอินทรีย์วัตถุ (Shibata, et al. 2005) จากการศึกษาวิจัยของอภิญญา อาคมานูวัตร (2560) ที่ทำการศึกษามวลชีวภาพของรากฝอยในป่าเต็งรังห้วยดงภูมิจังหวัดราชบุรี ที่ระดับความลึกของดิน 4 ระดับ (0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm) พบว่า มวลชีวภาพของรากฝอยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.76-1.12 kg/m³ โดยที่ระดับความลึก

0-5 cm (ชั้นบนสุด) มีปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยมากที่สุด ซึ่งปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยลดลงเมื่อระดับความลึกของดินเพิ่มขึ้น Jackson et al. (1997) พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยในระบบนิเวศป่าไม้มีความแตกต่างกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13-0.95 kg/m² โดยในทุ่งหญ้าเขตอบอุ่นมีปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยมากที่สุด รองลงมาคือทุ่งหญ้าเขตร้อน ป่าสนเขตอบอุ่น ป่าผลัดใบเขตอบอุ่น ทุ่งดรา ป่าดิบชื้น ป่าผลัดใบเขตร้อน ป่าสน และทะเลทราย ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ซึ่งปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอย และความหนาแน่นของรากฝอยในแต่ละระบบนิเวศป่าไม้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การกระจายของรากพืชในดินส่วนใหญ่ประมาณ ร้อยละ 69 จะอยู่ในดินชั้นบนที่ระยะ 10 cm และลดปริมาณลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้นจนเหลือประมาณ ร้อยละ 29 และที่ระดับความลึก 70-80 cm รากพืชจะเหลืออยู่เพียง ร้อยละ 1 เท่านั้น (Moreno-Chacón and Lusk. 2004) ซึ่งปริมาณรากฝอยคิดเป็น ร้อยละ 10-30 ของมวลชีวภาพทั้งหมดในระบบนิเวศ และคิดเป็นร้อยละ 40-90 ของมวลชีวภาพของรากทั้งหมด (Jackson et al. 1997) และปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยจะลดลงในดินที่มีระดับความลึกมากขึ้น (Burke and Raynal, 1994) อาจเกิดจากอายุของต้นไม้ กล่าวคือ เมื่อต้นไม้มีอายุน้อยรากจะกระจายหนาแน่นในดินชั้นบน แต่เมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้นจะมีความหนาแน่นที่ระดับลึกลงไป ซึ่งสัดส่วนของรากในชั้นผิวดินจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อต้นไม้โตเต็มที่ (พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ, 2538) นอกจากปัจจัยด้านอายุของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าไม้แล้วยังมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิดิน ความชื้นในดิน และปริมาณน้ำฝน จากการศึกษาของ Moroni et al. (2003) พบว่า รากพืชจะมีการกระจาย และความหนาแน่นของรากพืชในพื้นที่แห้งแล้งสูงกว่าในพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้นสูง เนื่องจากในพื้นที่แห้งแล้งพืชจำเป็นต้องหาธาตุอาหารและน้ำเป็นบริเวณกว้างจึงจะเพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้มวลชีวภาพของรากฝอย และความหนาแน่นของรากฝอยจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ ลักษณะทางโครงสร้างของระบบรากพืช ความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน และลักษณะทางโครงสร้างในดิน เนื่องจากการที่มีองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกัน ย่อมมีรูปแบบการเจริญเติบโตของราก และความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารที่สำคัญในดิน เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลชีวภาพ และความหนาแน่นของรากฝอยก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (ัญญลักษณ์ เจริญพรภักดี. 2557)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของรากฝอยในระบบนิเวศป่าไม้แต่ละชนิด

ระบบนิเวศป่าไม้	มวลชีวภาพของรากฝอยทั้งหมด (kg/m ²)	มวลชีวภาพของรากฝอยที่ยังมีชีวิต (kg/m ²)	มวลชีวภาพของรากฝอยตายแล้ว (kg/m ²)
ป่าสน	0.60	0.23	0.37
ทะเลทราย	0.27	0.13	0.14
ป่าสน เขตอบอุ่น	0.82	0.50	0.32
ป่าผลัดใบ เขตอบอุ่น	0.78	0.44	0.34
ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น	1.51	0.95	0.56

ระบบนิเวศป่าไม้	มวลชีวภาพของ รากฝอยทั้งหมด (kg/m ²)	มวลชีวภาพของ รากฝอยที่ยังมีชีวิต (kg/m ²)	มวลชีวภาพของ รากฝอยตายแล้ว (kg/m ²)
ป่าผลัดใบ เขตร้อน	0.57	0.28	0.29
ป่าดิบชื้น	0.57	0.33	0.24
ทุ่งหญ้า เขตร้อน	0.99	0.51	0.48
ทุนดรา	0.96	0.34	0.62

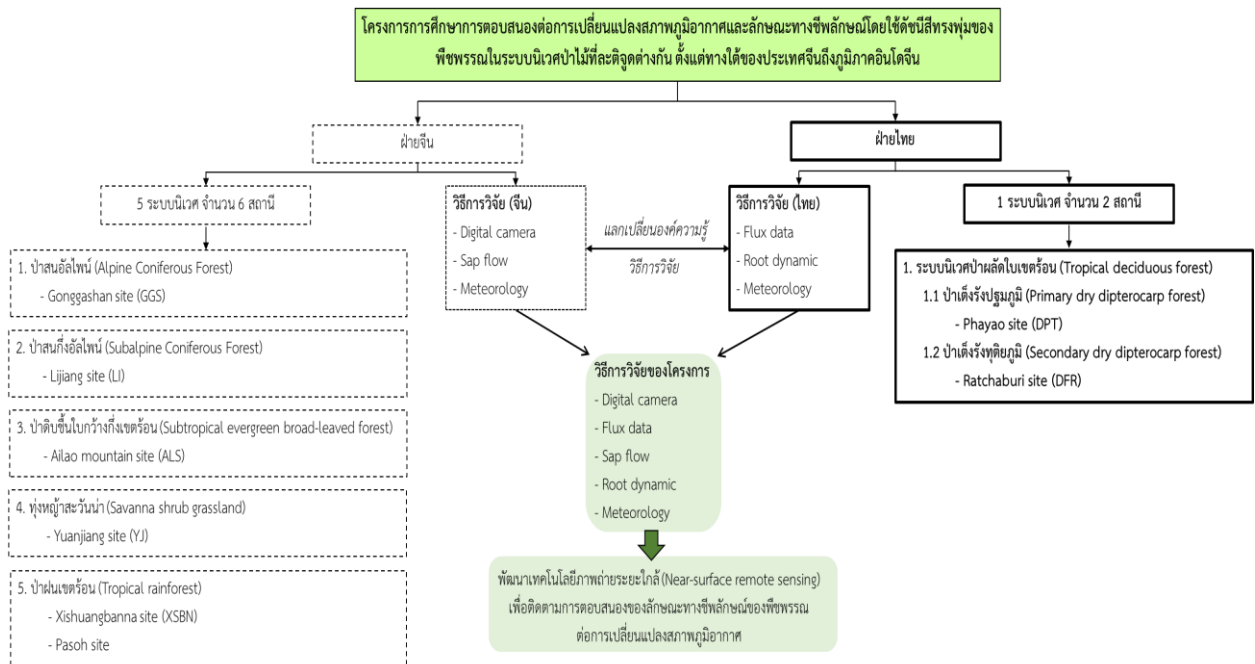
ที่มา: Jackson et al. (1997)

4. ระเบียบวิธีวิจัย

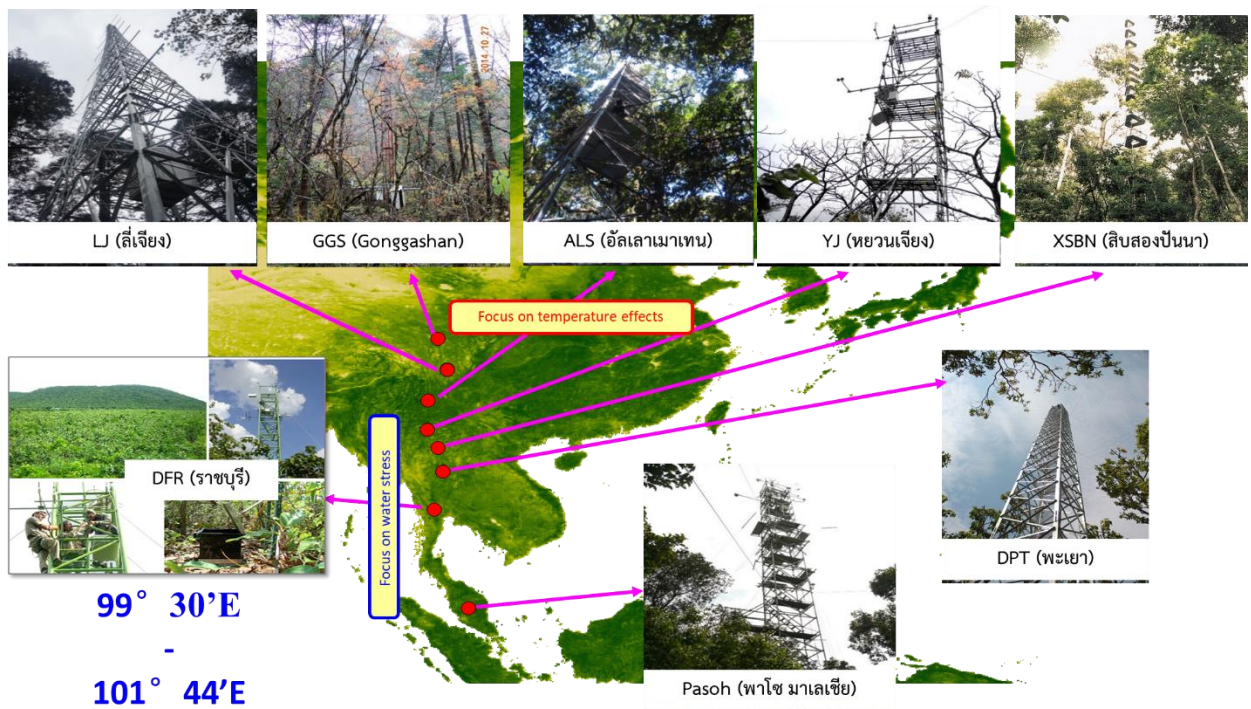
4.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

สำหรับพื้นที่ศึกษาในโครงการ การศึกษาการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและลักษณะทางชีวลักษณะโดยใช้ดัชนีสีทรงพุ่มของพืชพรรณในระบบนิเวศป่าไม้ที่ละติจูดต่างกัน ตั้งแต่ทางใต้ของประเทศจีนถึงภูมิภาคอินโดจีน นั้น ได้ทำการแบ่งหน้าที่การเก็บข้อมูลเป็น 2 ส่วน ทั้งหมด 6 ระบบนิเวศ จำนวน 8 สถานี แบ่งเป็น ฝ่ายจีน 5 ระบบนิเวศ จำนวน 6 สถานี ได้แก่ ป่าสนอัลไพน์ (Alpine coniferous forest) ป่าสนกึ่งอัลไพน์ (Subalpine coniferous forest) ป่าดิบใบกว้างกึ่งเขตร้อน (Subtropical evergreen broad-leaved forest) ทุ่งหญ้าสะวันนา (Savanna shrub grassland) ป่าฝนเขตร้อน (Tropical rainforest) และฝ่ายไทย 1 ระบบนิเวศ จำนวน 2 สถานี ได้แก่ ป่าผลัดใบเขตร้อน (Tropical deciduous forest) ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่แตกต่างกันในแต่ละระบบนิเวศตามระดับละติจูดที่ต่างกัน ดังรูปที่ 2 และข้อมูลภาพรวมแสดงดังตารางที่ 3

โดยสำหรับการศึกษาในฝ่ายไทยนั้น จะเน้นการศึกษาในระบบนิเวศป่าผลัดใบเขตร้อน เป็นระบบนิเวศป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดพะเยา และ ป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี (Primary dry dipterocarp forest และ secondary dry dipterocarp forest) โดยทั้ง 2 พื้นที่ที่มีความแตกต่างกันของลักษณะภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ สมบัติของดิน อายุและความสูงของต้นไม้ โดยลักษณะเด่นของป่าเต็งรังเป็นระบบนิเวศที่มีการหมุนเวียนของธาตุอาหารและการไหลของพลังงานที่ค่อนข้างรวดเร็ว (บุญวงศ์ ไทยอุตสาห์, ลดาวัลย์ พวงจิตร, 2547) นอกจากนี้ป่าเต็งรังยังเป็นระบบนิเวศป่าผลัดใบที่สามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลได้อย่างชัดเจนโดยเฉพาะเมื่อปริมาณฝนและอุณหภูมิที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล



รูปที่ 1 แผนผังการศึกษาของฝ่ายจีน และฝ่ายไทย



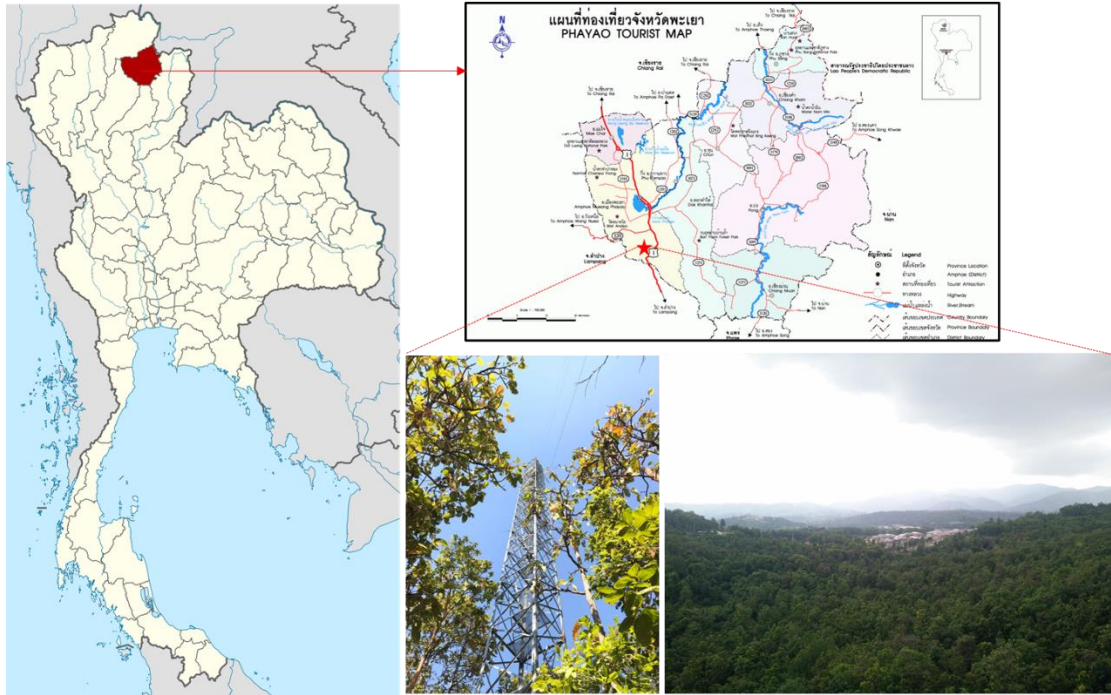
รูปที่ 2 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดทั้ง 8 สถานี ที่ละติจูดที่ต่างกัน

ตารางที่ 3 ภาพรวมของระบบนิเวศพื้นที่ศึกษาในการศึกษานี้

Variables	Research ecosystems							
	YJ	GGG	XSBN	ALS	LJ	DFR	DPT	Pasoh
Ecosystem type	Savanna shrub	Alpine coniferous forest	Tropical rainforest	Subtropical evergreen broad-leaved forest	Subalpine coniferous forest	Secondary dry dipterocarp forest	Primary dry dipterocarp forest	Tropical rainforest
Geographical location	23°28'26" N, 102°10'39" E	29°34'34" N, 101°59'54" E	21°55'39" N, 101°15'55" E	24°32'17" N, 101°01'45" E	27°08'32" N, 100°13'38" E	13° 35' 3.3" N: 99° 30' 3.9" E	19° 02' 14.38" N, 99° 54' 10.96" E	2° 58' 55" N, 102° 18' 47" E
Altitude (m)	550	2948	750	2500	3240	118	512	75-150
MAT (°C)	24.3	4.2	21.4	11.7	7.9	26.5	25.0	25.5
MAP (mm)	734	1942	1415	1728	1095	1125	924	1865
pH of soil	6.2-6.9	<7	4.5-5.5	4.4-4.9	5.6-5.9	5.5	4-5	3.86
Average canopy height (m)	4~6	-	35	25~30	38~42	8	10-20	35-45

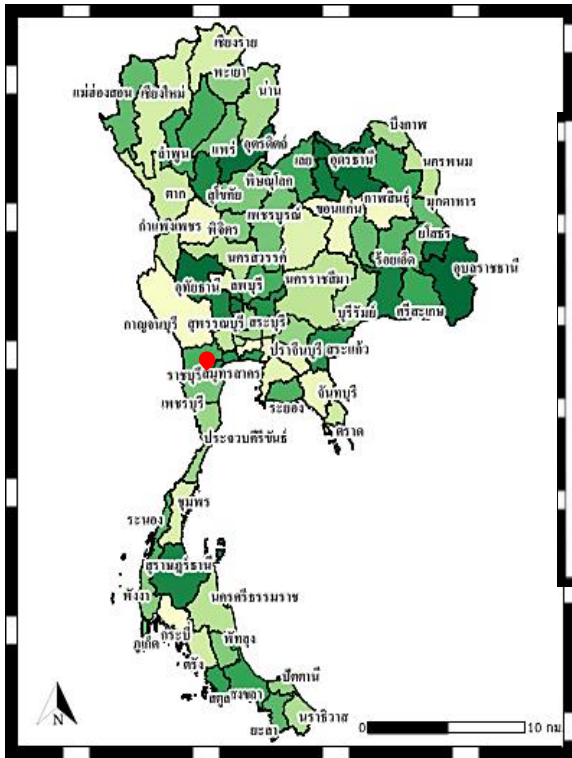
หมายเหตุ: MAT = mean annual temperature, MAP = mean annual precipitation

1) สถานีวิจัยจุลธาตุศูนย์มหาวิทยาลัยพะเยา (Dry Dipterocarp Forest Flux Phayao Site Thailand; DPT site) มีสภาพพื้นที่เป็นป่าเต็งรัง ตั้งอยู่บริเวณป่าไม้ทางด้านทิศเหนือของมหาวิทยาลัยพะเยา (ละติจูด 19°02'14.38" เหนือ, ลองจิจูด: 99°54' 10.96" ตะวันออก) ดังรูปที่ 3 มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 512 m ลักษณะพื้นที่ป่าส่วนใหญ่เป็นป่าเต็งรังโดยมีพันธุ์ไม้เด่นประกอบด้วย พลอง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) เต็ง (*Shorea obtusa* Wall.) รัง (*Shorea siamensis* Miq.) และเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) โดยมีความสูงอยู่ระหว่าง 15-20 m ลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสลับซับซ้อน มีความชันที่ค่อนข้างสูง มีสภาพภูมิอากาศเป็นแบบมรสุมเขตร้อน (Tanaka, et al., 2008) อุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 18.64 – 31.62°C ส่วนอุณหภูมิดินอยู่ระหว่าง 19.07 – 31.86 °C ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 936 mm มีเนื้อดินที่ระดับชั้นบน (0 - 10 cm) เป็นแบบดินร่วนปนทราย (Sandy loam) ขณะที่ดินในระดับลึกลงไปมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam) มีความหนาแน่นรวมของดินอยู่ระหว่าง 1.40 – 1.89 g/cm³ (Intanil et al., 2018)



รูปที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งและสภาพพื้นที่บริเวณสถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดพะเยา

2) ป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี (DFR site) เป็นป่าเต็งรังทุติยภูมิ ตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี อยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศไทย (ละติจูด: $13^{\circ} 35' 13.3''$ N, ลองจิจูด: $99^{\circ} 30' 3.9''$ E ความสูง 110 m เหนือระดับน้ำทะเล) ดังรูปที่ 4 และ 5 พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิมีขนาดเท่ากับ 187.2 ha ป่าได้รับการอนุรักษ์และเก็บรักษาไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 ภายหลังจากมีการตัดต้นไม้ในป่าเพื่อผลิตถ่าน ทำให้ต้นไม้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงการฟื้นฟูในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2554-2558 พื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,028.98 mm โดยเดือนที่มีฝนตกปริมาณมากอยู่ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 28.46°C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 34.18°C และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 22.82°C ดินในพื้นที่เป็นดินในชุดดินจอมบึง มีลักษณะเป็นดินทรายปนดินร่วน ที่ระดับความลึก 100cm จากผิวดิน องค์ประกอบของดินเป็นดินทรายมากกว่าร้อยละ 70 และมีดินทรายแป้งและดินเหนียวปะปนเล็กน้อย ดินมีความเป็นกรด ค่า pH อยู่ในช่วง 4.80-5.10 มีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง $1.3\text{-}1.4\text{g}/\text{cm}^3$ และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3-0.5 (Hanpattanakit et al., 2015)



จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย



ป่าเต็งรังห้วยถุมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วิทยาเขตราชบุรี

รูปที่ 4 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ป่าเต็งรังห้วยถุมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี



รูปที่ 5 พื้นที่ป่าเต็งรังห้วยถุมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดราชบุรี

3) ป่าฝนเขตร้อน (XSBN Tropical rainforest) ตั้งอยู่ในพื้นที่ทดลองของสวนพฤกษศาสตร์เขตร้อน สิบสองปันนา สาธารณรัฐประชาชนจีน ตั้งอยู่ละติจูดที่ 21°N และลองจิจูดที่ 101°E ที่ระดับความสูง 592 เมตร ในสิบสองปันนา ทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีน (รูปที่ 6) ภายใต้การดูแลของ Chinese Academy of Sciences (CAS) สภาพอากาศในบริเวณนี้แบ่งเป็นสองฤดู ได้แก่ ฤดูฝน (Wet season) ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และ ฤดูแล้ง (Dry season) ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของพื้นที่เป็นภูมิประเทศที่เป็นเนินเขา ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยในช่วง 50 ปีที่ผ่านมาคือ

1,492 มิลลิเมตร (Song et al., 2014) และอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 21.7 °C โดยมีค่าเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 15.9 ถึง 25.7 °C (Tan et al., 2010).



รูปที่ 6 ตำแหน่งที่ตั้งและสภาพพื้นที่ป่าฝนเขตร้อน สถานีวิจัย Xishuangbanna site (XSBN) ประเทศจีน (Ruiwu Z. et al., 2019)

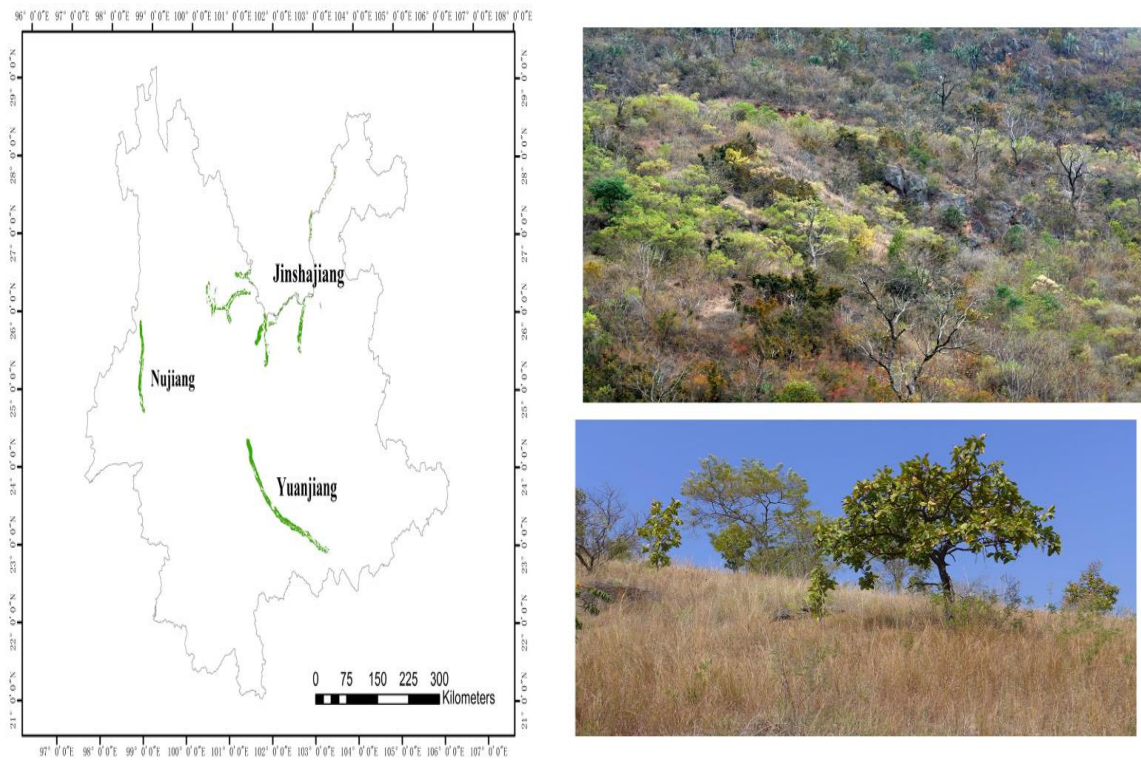
4) ป่าสนกิ่งแอลไพน์ (LJ, Subalpine coniferous forest) ตั้งอยู่เมืองลี่เจียง ประเทศจีน (ละติจูด 27°08'32"N, ลองละติจูด 100°13'38"E ความสูง 3240 m เหนือระดับน้ำทะเล) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 7.9 °C มีปริมาณน้ำฝนรวม 1095 mm/ปี มีค่า pH ของดินในช่วง 5.6-5.9

5) ป่าดิบชื้นกิ่งเขตร้อน (ALS, Subtropical evergreen broad-leaved forest) ตั้งอยู่เมืองอัลเลา เมาเทน ประเทศจีน (ละติจูด 24°32'17" N, ลองละติจูด 101°01'45" E ความสูง 2500 m เหนือระดับน้ำทะเล) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 11.7 °C มีปริมาณน้ำฝนรวม 1728 mm/ปี มีค่า pH ของดินในช่วง 4.4-4.9

6) ป่าสนอัลไพน์ (GGS, Alpine coniferous forest) ตั้งอยู่เมืองกังกาซาน ประเทศจีน (ละติจูด 29°34'34"N, ลองละติจูด 101°59'54"E ความสูง 2948 m เหนือระดับน้ำทะเล) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 4.2 °C มีปริมาณน้ำฝนรวม 1942 mm/ปี มีค่า pH ของดิน <7

7) พุ่มหญ้าสะวันนา (YJ, Savanna shrub) ตั้งอยู่เมืองหยวนเจียง ภาคตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศจีน (ละติจูด 23°28'26" N, ลองละติจูด 102°10'39" E ความสูง 550 m เหนือระดับน้ำทะเล) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.3 °C มีปริมาณน้ำฝนรวม 734 mm/ปี มีค่า pH ของดินในช่วง 6.2-6.9 (รูปที่ 7) โดยมีไม้เด่น *Heteropogon contortus* และ *Cymbopogon citratus* ไม้พุ่ม *Dodonaea viscosa*, *Acacia farnesiana*,

Woodfordia fruticosa และ *Euphorbia royleana* ต้นไม้ *Bombax ceiba*, *Lannea coromandelica*, *Phyllanthus emblica* และ *Buchanania latifolia* จีน (Zhu H. et al., 2020)



รูปที่ 7 ตำแหน่งที่ตั้งและรูปพื้นที่ทุ่งหญ้าสะวันนา (Savanna shrub) เมือง Yuanjiang (YJ) ประเทศจีน (Zhu H. et al., 2020)

8) ป่าฝนเขตร้อน (Pasoh, Tropical rainforest) ตั้งอยู่เมือง Pasoh ประเทศมาเลเซีย (ละติจูด $2^{\circ} 58' 55''\text{N}$, ลองละติจูด $102^{\circ} 18' 47''\text{E}$ ความสูง 75-150 m เหนือระดับน้ำทะเล) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.5°C มีปริมาณน้ำฝนรวม 1865 mm/ปี มีค่า pH ของดิน 3.86 ป่าป่าโซห์ถือเป็นแหล่งป่าไม้ที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชสูงกว่า 814 ชนิดพันธุ์ 294 สกุล และ 78 วงศ์ โดยพบวงศ์พืชที่พบมากที่สุดคือ Euphorbiaceae และ Annonaceae

4.2 การตรวจวัดเรือนยอดโดยใช้ภาพถ่ายดิจิทัล (Digital image)

ในการศึกษาในประเทศไทย คณะวิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพดิจิทัลผ่านโทรศัพท์มือถือ (Honor7 Dua-AL00 ระบบปฏิบัติการ Android Oreo version 8.1 EMUI 8.0 หน่วยประมวลผล Mediatek MT6739, Quad-core 1.5 GHz Cortex-A53 ความละเอียดกล้อง 13 ล้านพิกเซล ระบบจับโฟกัส PDAF รูรับแสง f/2.2) ณ สถานีตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดพะเยา (DPT site) และสถานีตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดราชบุรี (DFR site) บนเสาที่ความสูงเหนือระดับชั้นเรือนยอดประมาณ 5 เมตร ทำมุม 20° กับชั้นเรือนยอด และถ่ายภาพอัตโนมัติด้วยแอปพลิเคชันสำหรับการถ่ายภาพ (Camera FV-5 Pro) ทุก ๆ 1 ชั่วโมง

(บันทึกภาพในรูปแบบ JPEG ที่ความละเอียด 3120 x 4208 pixels) โดยเริ่มถ่ายภาพตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2563 จนถึงปัจจุบัน สำหรับการคัดเลือกภาพที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีสีมีขั้นตอนการคัดเลือกและทำคุณภาพข้อมูลด้วยเทคนิคการกรองด้วยสภาพอากาศ (Weather filtering: WFI) (Ide R. and Oguma H., 2010) ดังรูปที่ 8

โดยภาพที่ใช้จะเป็นภาพในช่วงเวลา 10.00–14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบเชิงมุมของการสะท้อนแสงของชั้นเรือนยอดน้อย คัดเลือกภาพที่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมออก เช่น มีหยดน้ำ มีหมอกหนา หรือฝนตกหนัก เรียกว่าขั้นตอนการคัดเลือก (Screening) จากนั้นจะนำภาพที่ผ่านขั้นตอนการคัดเลือกไปวิเคราะห์ตัวเลขดิจิทัล (Digital number: DN) ด้วยโปรแกรม ImageJ หรือ R program 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

$$RCC = R_{DN} / (R_{DN} + G_{DN} + B_{DN}) \quad \text{--- (1)}$$

$$GCC = G_{DN} / (R_{DN} + G_{DN} + B_{DN}) \quad \text{--- (2)}$$

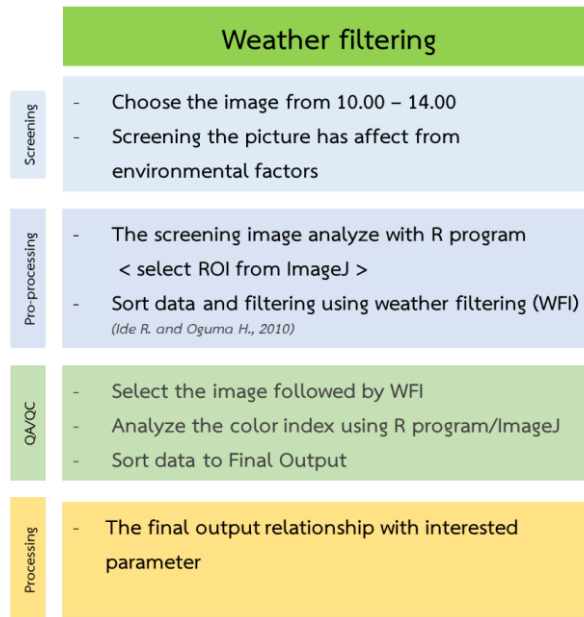
$$BCC = B_{DN} / (R_{DN} + G_{DN} + B_{DN}) \quad \text{--- (3)}$$

จากนั้นนำค่าดัชนีสีเข้าสู่กระบวนการทำคุณภาพข้อมูล (Quality control) ด้วยเทคนิคการกรองด้วยสภาพอากาศ (Weather filtering: WFI) จากสมการ (4) แล้วคัดเลือกภาพตามช่วงเวลาที่ค่า WFI ห่างจาก 0 มากที่สุด (เนื่องจากเมื่อภาพมีสภาพแวดล้อมท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) อัตราส่วนค่าดัชนีสีน้ำเงินจะมีค่าสูงกว่าค่าดัชนีสีแดง ขณะที่เมื่อสภาพแวดล้อมอยู่ภายใต้สภาวะมีหมอก หรือเมฆครึ้ม ความแตกต่างของค่าดัชนีสีจะมีค่าต่ำ) มา 1 ภาพ เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลของวันนั้น เพื่อนำไปคำนวณค่าดัชนีสี และดัชนีพีชพรรณ (Green Excess Index: GEI) ต่อไปดังสมการ 5

$$WFI = (BCC - RCC) / (BCC + RCC) \quad \text{--- (4)}$$

$$GEI = 2G_{DN} - (R_{DN} + B_{DN}) \quad \text{--- (5)}$$

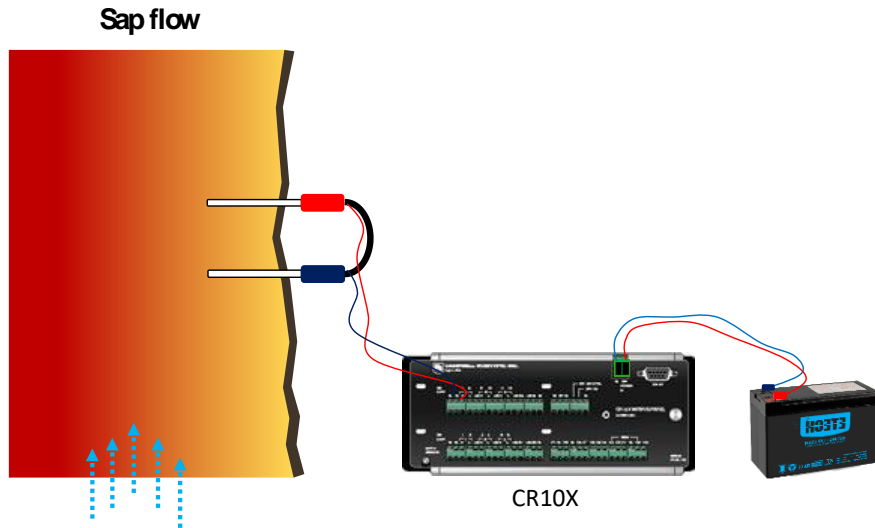
ซึ่งทีมนักวิจัยไทยได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี วิธีการติดตั้ง รวมถึงวิธีการวิเคราะห์จากทีมนักวิจัยจากจีน ซึ่งเคยวิจัยด้านนี้มาก่อน อย่างไรก็ตามทีมนักวิจัยไทยได้นำเทคนิคการทำคุณภาพข้อมูลด้วยเทคนิคการกรองด้วยสภาพอากาศเข้ามาร่วมเพื่อไม่ให้เกิดความเอนเอียงในการคัดเลือกภาพตัวแทน



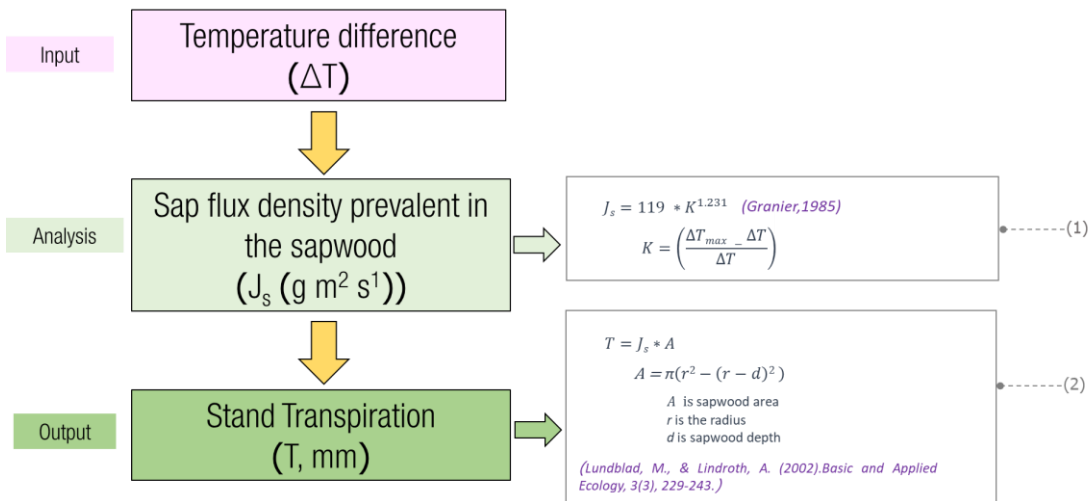
รูปที่ 8 แผนผังการคัดเลือกข้อมูลและการทำคุณภาพข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลด้วยเทคนิคการกรองด้วยสภาพอากาศ (Weather filtering: WFI)

4.3 การตรวจวัดการไหลของน้ำในลำต้น

สำหรับการตรวจวัดการไหลของน้ำในลำต้น (Sap flow; J_s) ทำได้โดยติดตั้งเซนเซอร์กระจายความร้อน (Thermal Dissipation Probe) (Granier, 1985) เข้าไปในกระพี้ของต้นพลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) จำนวน 6 ต้น ของสถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยพะเยา และต้นเต็งและยางเหียง อย่างละ 3 ต้น ของป่าเต็งรังจังหวัดราชบุรี ทั้งสองพื้นที่ติดตั้งเซนเซอร์ที่ความลึกประมาณ 2.5 เซนติเมตร และที่ระดับความสูงของต้นไม้ 1.3 เมตร ประกอบไปด้วยเซนเซอร์กระจายความร้อน (สีแดง) และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอ้างอิง (สีน้ำเงิน) โดยติดตั้งห่างกัน 10 เซนติเมตรดังรูปที่ 9 ข้อมูลที่ตรวจวัดถูกบันทึกลงกล่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (CR10X; Campbell Scientific Inc., USA) ทุก 30 นาที ค่าที่ตรวจวัดได้จะรายงานเป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature difference; ΔT) ของต้นไม้แต่ละต้นและสามารถคำนวณค่าการไหลของน้ำในลำต้นโดยใช้สมการของ Granier (1985) นอกจากนี้ค่าการไหลของน้ำในลำต้นยังสามารถประเมินเป็นค่าการคายน้ำในระดับต้นไม้ (Stand transpiration) ได้โดยนำค่าการไหลของน้ำในลำต้นคูณด้วยพื้นที่กระพี้ (Sapwood area; A) ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 แสดงภาพจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการไหลของน้ำในลำต้น



รูปที่ 10 แสดงการประเมินข้อมูลการไหลของน้ำในลำต้นและการคายน้ำของพืช

4.4 การตรวจวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำและข้อมูลอุตุนิมวิทยา

อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำระหว่างบรรยากาศกับระบบนิเวศป่าไม้สามารถประเมินได้จาก การใช้เทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวนระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความเร็วลมในแนวตั้ง อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจวัดพารามิเตอร์ได้ถูกติดตั้งบนเสาสูงในสถานีตรวจวัดจุลอุตุนิมวิทยา จังหวัดพะเยา (DPT site) ซึ่งมีความสูง 42 เมตร ดังรูปที่ 11a และเสาตรวจวัดจุลอุตุนิมวิทยา จังหวัดราชบุรี (DFR site) ที่มีความสูง 11 เมตร ดังรูปที่ 11b โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ ได้แสดงดังตารางที่ 4 (AsiaFlux, 2007; Burba, 2010) โดยมีความถี่ในการตรวจวัดและการจัดเก็บข้อมูลที่ 10 Hz สำหรับข้อมูลฟลักซ์ (Flux data) และทุก ๆ 10 นาที สำหรับข้อมูลสภาพ

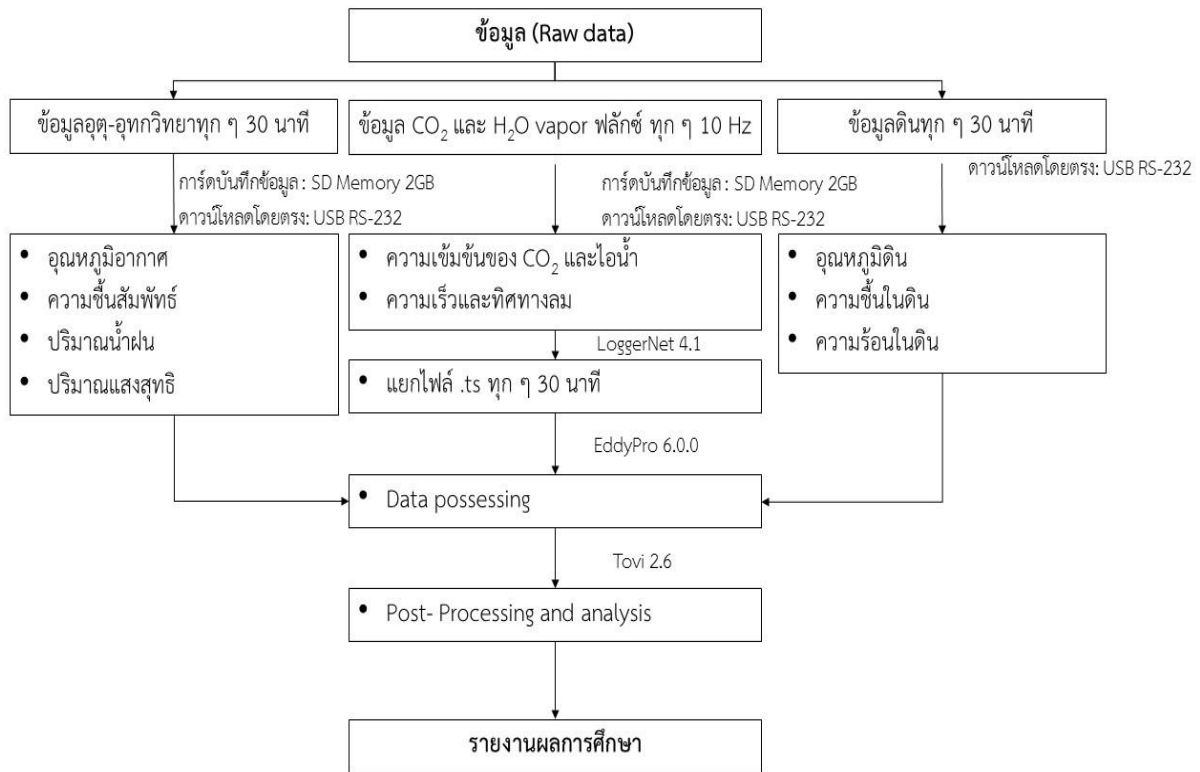
อากาศ (Weather data) และข้อมูลดิน (Soil data) ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ตลอด 24 ชั่วโมง ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูล และการทำคุณภาพข้อมูลจะใช้ EddyPro software version 6.0.0 (LI-COR, Lincoln, NE, USA) และโปรแกรม TOVI ตามลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ และสภาพอากาศแสดงดังรูปที่ 12-13



รูปที่ 11 เสาตรวจวัดในพื้นที่สถานีจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยพะเยา (DPT site) (4a) และ จังหวัดราชบุรี (4b)

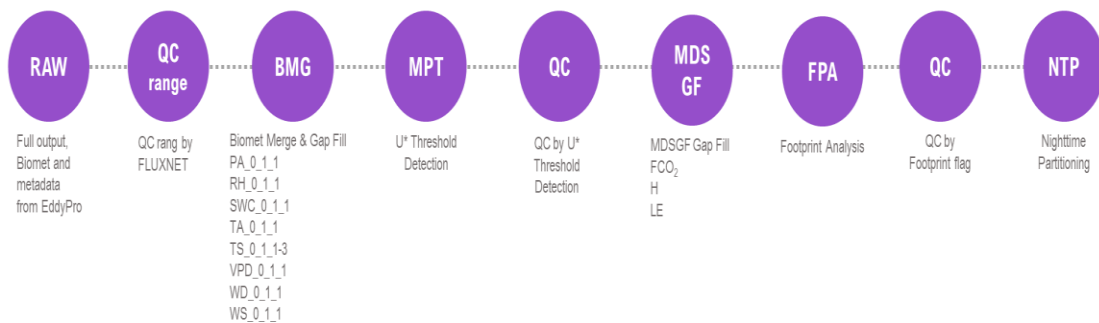
ตารางที่ 4 เครื่องมือและพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดบนหอคอยวัดก๊าซทั้งสองพื้นที่

พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ติดตั้งที่ DPT site (42 เมตร)	เครื่องมือที่ติดตั้งที่ DFR site (11 เมตร)	หน่วย
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) และไอน้ำ (Water Vapor)	Open-path CO ₂ /H ₂ O analyzer (EC150, Campbell Sci)	Open-path CO ₂ /H ₂ O analyzer (Li-cor 7500, Li-COR)	(μg.m ⁻³) (g.m ⁻³)
- อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) - ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)	Weather Transmitter (WXT520 Campbell Sci)	Vaisala sensor (Vaisala HMP45C)	(°C) (%)
- ปริมาณน้ำฝน (Precipitation)	Weather Transmitter (WXT520 Campbell Sci)	Tipping bucket rain gauge (TE525, Campbell Sci.)	(mm)
- ปริมาณแสงที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (Photosynthetically Active Radiation)	LI-190SZ Quantum Sensor	LI-190SZ Quantum Sensor	(μmol.m ⁻² .s ⁻¹)
- อุณหภูมิดิน (Soil temperature)	Thermocouple	Thermocouple	(°C)
- ความชื้นในดิน (Soil water content)	Water content reflectometer (CS616, Campbell)	Water content reflectometer (CS616, Campbell)	(%VWC)
- ปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation)	NR01, Four-Component Net Radiation Sensor (Campbell Sci)	Net radiometer (Kipp & Zonen CNR1)	(W.m ⁻²)
- ความเร็วและทิศทางการลม (Wind speed and direction)	Three-dimensional sonic anemometer-thermometer (CSAT3, Campbell Sci)	Three-dimensional sonic anemometer-thermometer (CSAT3, Campbell Sci)	(m.s ⁻¹) (Degree)
- กล่องบันทึกข้อมูล (Data logger)	CR1000	CR1000	
- การ์ดเก็บข้อมูล (SD Memory 2GB)	WD	SSD	



รูปที่ 12 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ และสภาพอากาศ

WORKFLOW Flux analysis by TOVI Version 2021



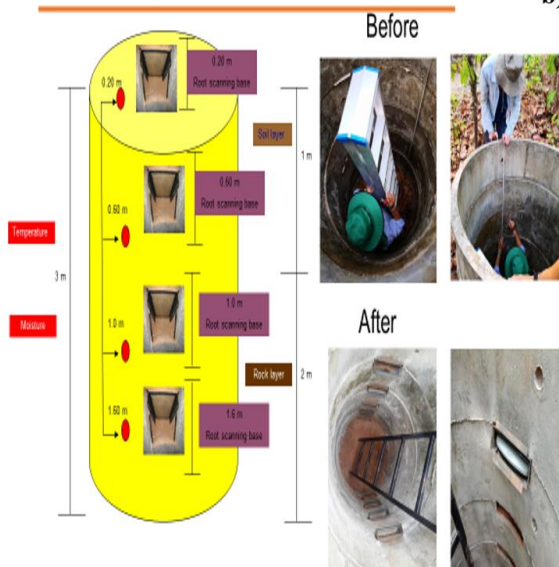
รูปที่ 13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลและการทำคุณภาพข้อมูลด้วยโปรแกรม ToVi

4.5 การเจริญเติบโตของราก

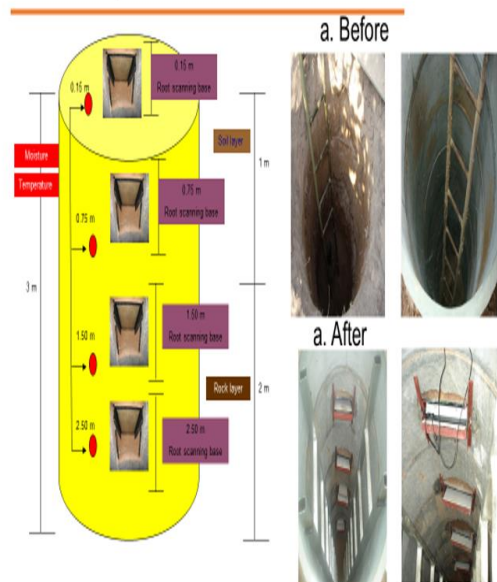
ศึกษาการเจริญเติบโตในส่วนใต้ดิน รากพืชด้วยวิธีการ Minirhizotron technique โดยเทคนิคนี้เป็นวิธีหนึ่งหนึ่งที่นิยมใช้เพราะว่าสามารถศึกษารากได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ทำลายส่วนของระบบรากพืช สามารถศึกษาการเจริญเติบโตของราก การแผ่กระจายน้ำหนักราก และความหนาแน่นของรากต่อพื้นที่ โดยใช้วัตถุที่มีความโปร่งใสเห็นได้ชัดเจนที่มีขนาดกว้าง 40 ซม. สูง 50 ซม. กระจกหนา 1 ซม. ฝังในดินบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างในทุกการทดลองให้แนวตั้งทำมุมกับต้นไม้ 45 องศา โดยทำการศึกษาทั้งหมด 4 ระดับความลึกทั้ง 2 พื้นที่วิจัย โดยพื้นที่ป่าเต็งรัง จังหวัดพะเยา มีความลึก 0.20, 0.60, 1.0 และ 1.6 เมตร จากพื้นดิน (รูปที่ 14a) ส่วนพื้นที่ป่าเต็งรังจังหวัดราชบุรี มีความลึก 0.15, 0.75, 1.5 และ 2.5 เมตรจากระดับพื้นดิน (รูปที่ 14b) ทำการสแกนภาพการเจริญเติบโตของรากฝอยเป็นประจำทุกเดือน จากนั้นทำการเก็บภาพโดยการนำภาพถ่ายที่ได้มาวิเคราะห์ความยาวและขนาดรากในแต่ละสัปดาห์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จภาพ Gimp 2.6 ในการวาดเส้นรากที่มีการเจริญเติบโตและรากที่ตายจากภาพที่ทำการบันทึกในแต่ละสัปดาห์ ปรับขนาดสีให้ชัดเจนเพื่อนำมาวิเคราะห์ความยาวและน้ำหนักรากด้วยโปรแกรมสำเร็จภาพ WinRHIZO (Regent Instruments INC, Canada)

การศึกษาพลวัตของรากฝอย

a) Root Instrument Setup at Pha Yao site

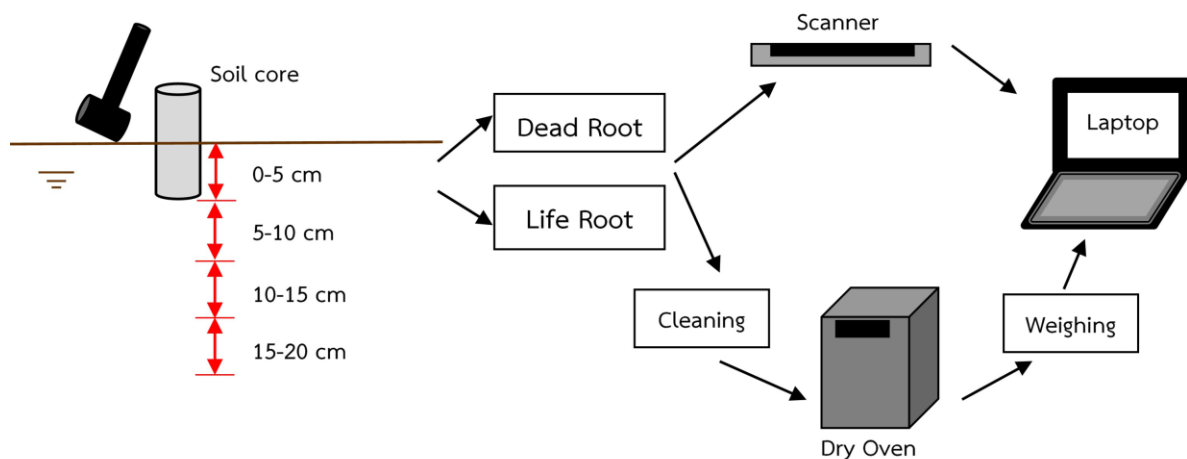


b) Root Instrument Setup at Ratchaburi site



รูปที่ 14 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์และการวิเคราะห์การศึกษาการเจริญเติบโตของรากด้วยวิธี Minirhizotron ในพื้นที่ป่าเต็งรัง จังหวัดพะเยา (a) และป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี (b)

สำหรับการศึกษาการเจริญเติบโตของรากด้วยวิธี Soil core เป็นอีกวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษามวลชีวภาพ และความยาวของรากฝอย เหมาะกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของรากฝอย แต่ไม่เหมาะกับการศึกษาอัตราการเวียนกลับของราก (Vogt K., et al. 1998) เนื่องจากไม่สามารถทราบการตายและการเกิดขึ้นใหม่ของรากในระหว่างช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง โดยการศึกษามวลชีวภาพและความยาวของรากฝอย ทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ทุกๆ เดือน ที่ระดับความลึกของดิน 4 ระดับ ได้แก่ 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 cm ทั้ง 2 พื้นที่วิจัย จากนั้นทำการแยกรากฝอยออกจากดิน ซึ่งแยกออกเป็น รากเป็น และรากตาย นำตัวอย่างรากฝอยวางบนเครื่องสแกน เพื่อสแกนภาพรากฝอยที่มีอยู่ในแต่ละชั้นดิน และนำภาพสแกนที่ได้มาปรับคุณภาพ และวิเคราะห์ความยาวของรากฝอย โดยโปรแกรม Image J (รูปที่ 15) จากนั้นจึงนำตัวอย่างรากฝอยไปล้างน้ำให้สะอาดอย่างระมัดระวัง และนำรากไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จึงนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อหามวลชีวภาพของรากฝอย



รูปที่ 15 การศึกษาการเจริญเติบโตและชีวมวลของรากฝอยด้วยวิธี Soil core

5. ผลการศึกษาในปีที่ 1

การศึกษาในปีที่ 1 มุ่งเน้นการติดตั้งและตรวจสอบอุปกรณ์ การทำ protocol ในการตรวจวัด การจัดการข้อมูลและการเทียบค่าระหว่างสถานีตรวจวัด ทั้งนี้ เพื่อให้สะดวกต่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลในปีที่ 2 และ 3 และเพื่อให้สามารถวิเคราะห์และตีความผลที่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างถูกต้อง ในช่วงที่ผ่านมา จึงยังไม่ได้มีวิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกมากนัก อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนเหล่านี้มีความสำคัญ ในการที่จะแสดงว่า การดำเนินการวิจัยในส่วนที่เหลือมีศักยภาพที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ในภาพรวมได้ ผมจากการดำเนินการวิจัยในปีที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

5.1 รูปแบบของค่าดัชนีสี และดัชนีพืชพรรณ

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีสีของชั้นเรือนยอดของพืชในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุตุนิยมหาวิทยาลัย จัหวัดพะเยา ระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ.2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2563 มีค่าดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.38 ค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) อยู่ระหว่าง 0.36 – 0.41 และดัชนีสีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) อยู่ระหว่าง 0.21 – 0.29 (รูปที่ 16a) ขณะที่ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index: GEI) มีค่าอยู่ระหว่าง 27.04 – 74.99 โดยวันที่ค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าสูงสุดอยู่ในเดือนกรกฎาคมวันที่ 202 ของปี (Day of year: DOY) (รูปที่ 16b)

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสีพลาสิกซ์ของชั้นเรือนยอดในป่าเต็งรังระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ.2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2563 (รูปที่ 17) ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าดัชนีสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB color index) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) และการแบ่งช่วงฤดูของป่าเต็งรังตามสภาพภูมิอากาศคือฤดูแล้งและฤดูฝน (Tanaka et al., 2008) โดยสามารถแบ่งรูปแบบการผลัดใบและผลิใบอย่างคร่าว ๆ ในช่วงเวลาการวิจัยได้ดังนี้ (1) ช่วงผลิใบ (Leaf expansion) จะเริ่มตั้งแต่ค่า GEI จะมีเริ่มสูงขึ้นจากค่าต่ำสุด จนถึงกระทั่งสิ้นฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามในระยณะนี้ค่าดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) จะยังคงสูงกว่าค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) อยู่ (DOY ที่ 50-116) (2) ช่วงเจริญเติบโต (Growing period) จะเริ่มตั้งแต่เข้าสู่ฤดูฝน หรือเมื่อค่า RCC มีค่าต่ำกว่าค่า GCC จนถึงสิ้นฤดูฝน (DOY ที่ 117-326) โดยในระยณะนี้ค่า GCC จะมีค่าสูงกว่าค่า RCC เสมอ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยณะย่อยได้แก่ ระยณะเติบโต (Mature stage) ซึ่งมีปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบไม้สูงที่สุด (Ruberti et al., 2014) และระยณะใบแก่ (Mature dark green stage) (Mizunuma et al., 2013) (3) ช่วงก่อนผลัดใบ (Pre-defoliation) โดยระยณะนี้จะเริ่มตั้งแต่เข้าสู่ฤดูแล้งจนถึงเข้าสู่ช่วงผลัดใบของพืช (DOY ที่ 327-340) และ (4) ช่วงผลัดใบ (Defoliation) จะเริ่มตั้งแต่ช่วงที่ชั้นเรือนยอดเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จนถึงกระทั่งช่วงที่ค่า GEI จะมีค่าต่ำที่สุด โดยในระยณะนี้ค่า RCC จะเริ่มมีค่าสูงกว่าค่า GCC (DOY ที่ 341-49) แสดงดังตารางที่ 5 และรูปที่ 17 โดยจะเห็นว่าช่วงเวลาที่จะเข้าสู่ฤดูแล้งนั้นมีการเลื่อนจากเดิมคือต้นเดือนพฤศจิกายน (Tanaka et al., 2008) เป็นช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน

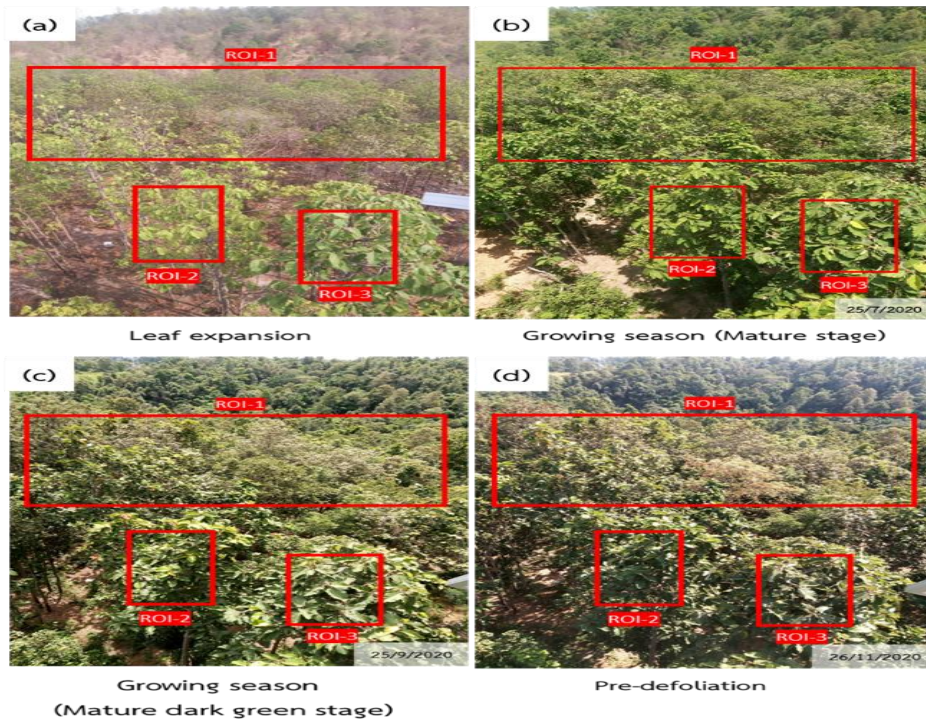
ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสีพลาสิกซ์ของชั้นเรือนยอดในป่าเต็งรังในช่วงเวลาต่าง ๆ (พะเยา)

Season	Stage	Day of Year	Period	Duration (days)	RCC*	GCC*	BCC*	GEI*
					avg	avg	avg	avg
Dry season	Leaf expansion ¹	50 - 116	19 Feb – 25 Apr 2020	67	0.371	0.372	0.257	42.956
Wet season	- mature stage	117 - 202	26 Apr 2020 - 20 Jul 2020	86	0.351	0.390	0.259	56.738
		203 - 326	21 Jul 2020 - 21 Nov 2020	124	0.369	0.379	0.253	46.776
Dry season	Pre-defoliation	327 - 340	22 Nov 2020 – 5 Dec 2020	14	0.375	0.368	0.257	31.300
	Defoliation ²	341 - 49	6 Dec 2020 - 18 Feb 2021	75	-	-	-	-

*RCC = Red Chromatic Coordinate, GCC = Green Chromatic Coordinate, BCC = Blue Chromatic Coordinate,
GEI = Green Excess Index

¹ช่วงข้อมูลรายงานตั้งแต่เริ่มโครงการวันที่ 1 เมษายน 2563 ถึง 25 เมษายน 2563 (DOY ที่ 92 – 116)

²ช่วงข้อมูลรายงานถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563 (DOY ที่ 366) – ข้อมูลเดือนธันวาคมขาดหาย



รูปที่ 16 ภาพถ่ายดิจิทัลในช่วงการเจริญเติบโตต่าง ๆ ในป่าเต็งรังพะเยา ได้แก่ (a) ช่วงผลัดใบ (Leaf expansion)

(b) ระยะเจริญเติบโต (Growing season: Mature stage) (c) ระยะใบแก่ (Growing season: Mature dark green stage) (d) ช่วงก่อนการผลัดใบ (Pre-defoliation) ระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ.2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.

2563



รูปที่ 17 (a) อัตราส่วนดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) สีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) สีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) และ (b) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) จากภาพถ่ายดิจิทัลในป่าเต็งรังพะเยาระหว่างเดือนเมษายน 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.

2563

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีสีของชั้นเรือนยอดของพืชในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยราชบุรี ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 มีค่าดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.39 จะมีค่าสูงสุดที่ DOY ที่ 44 และมีค่าต่ำสุดที่ DOY 233 ของปี ค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.39 จะมีค่าสูงสุดที่ DOY ที่ 3 และมีค่าต่ำสุดที่ DOY 44 และดัชนีสีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) อยู่ระหว่าง 0.26 – 0.31 จะมีค่าสูงสุดที่ DOY ที่ 226 และมีค่าต่ำสุดที่ DOY 271 ขณะที่ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index: GEI) มีค่าอยู่ระหว่าง -6.18 – 68.47 โดยวันที่ค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนมกราคม DOY ที่ 3 ของปี และมีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ DOY ที่ 46 ของปี (Day of year: DOY) ดังรูปที่ 18

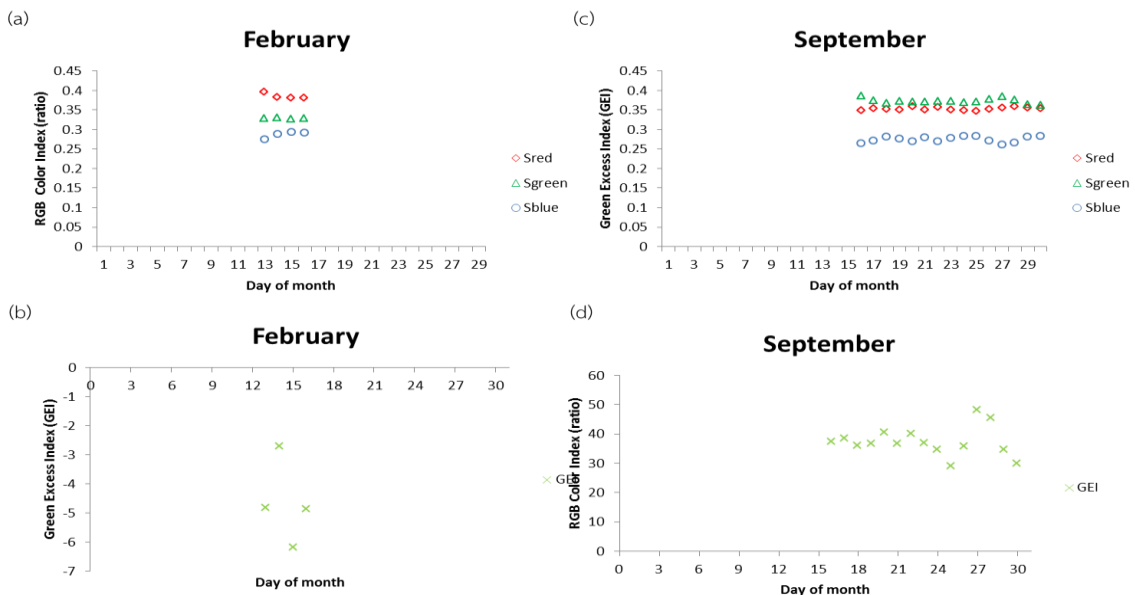
เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลภาพถ่ายช่วงฤดูแล้ง (Dry season) ในเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูฝน (Wet season) ในช่วงเดือนกันยายนพบว่า ในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) จะมีค่าดัชนีสีแดงสูงสุดมากกว่าดัชนีสีเขียว มีค่าอยู่ที่ 0.40 และ 0.33 ค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าสูงสุดที่ -2.70 และช่วงฤดูฝน (Wet season) จะมีค่าดัชนีสีเขียวสูงสุดมากกว่าดัชนีสีแดงมีค่าอยู่ที่ 0.39 และ 0.36 ค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าสูงสุดที่ 48.21 ดังรูปที่ 19

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสีลักษณะของชั้นเรือนยอดในป่าเต็งรังจังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าดัชนีสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB color index) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) โดยการแบ่งช่วงฤดูของป่าเต็งรังตามสภาพภูมิอากาศ แบ่งเป็น ฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน (Dry season) ฤดูฝน (Wet

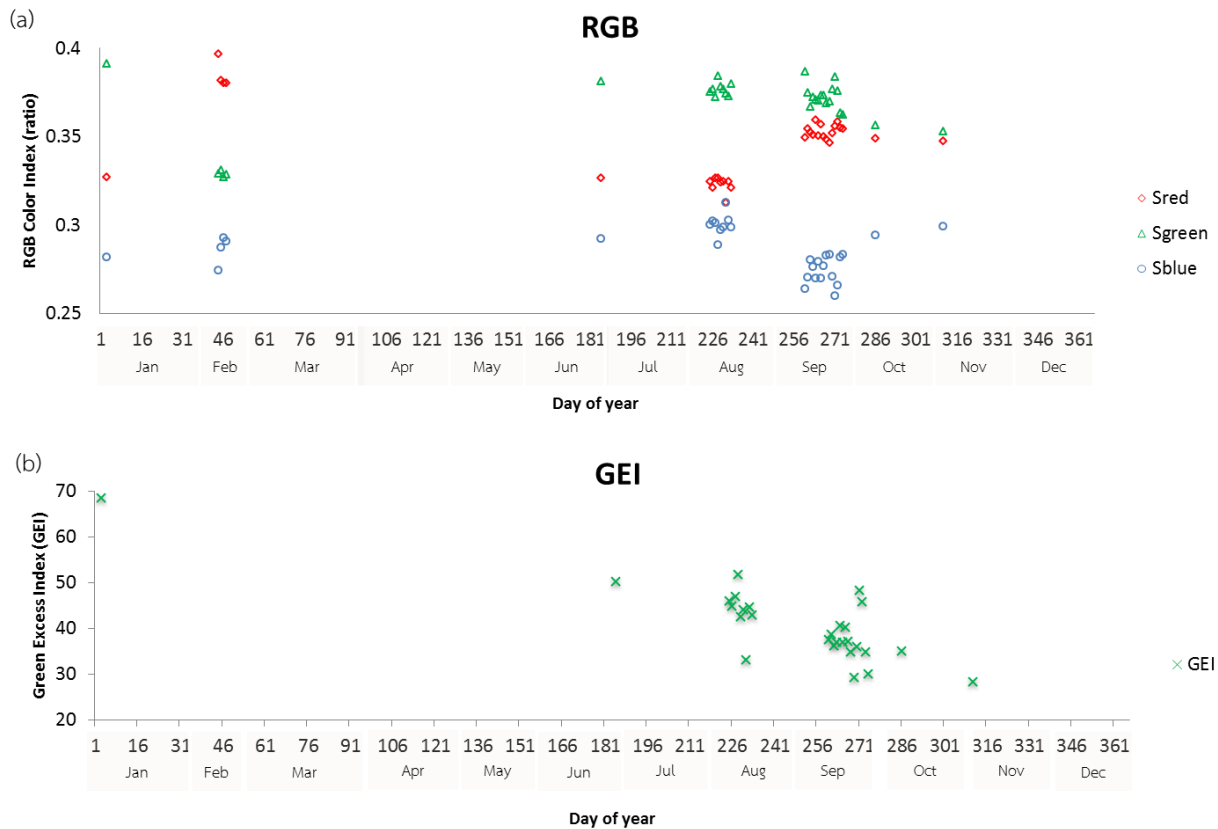
season) ตั้งแต่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม จากการศึกษาจะเห็นการเปลี่ยนของต้นไม้โดยการผลัดใบ ในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) ได้อย่างชัดเจนจากข้อมูลในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และฤดูฝน (Wet season) ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม โดยค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) และค่าดัชนีพืชพรรณ (Green Excess Index: GEI) จะเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 20



รูปที่ 18 ภาพถ่ายดิจิทัลในช่วงการเจริญเติบโตในช่วงฤดูแล้ง (Dry season) และช่วงฤดูฝน (Wet season) ในป่าเต็งรังราชบุรี



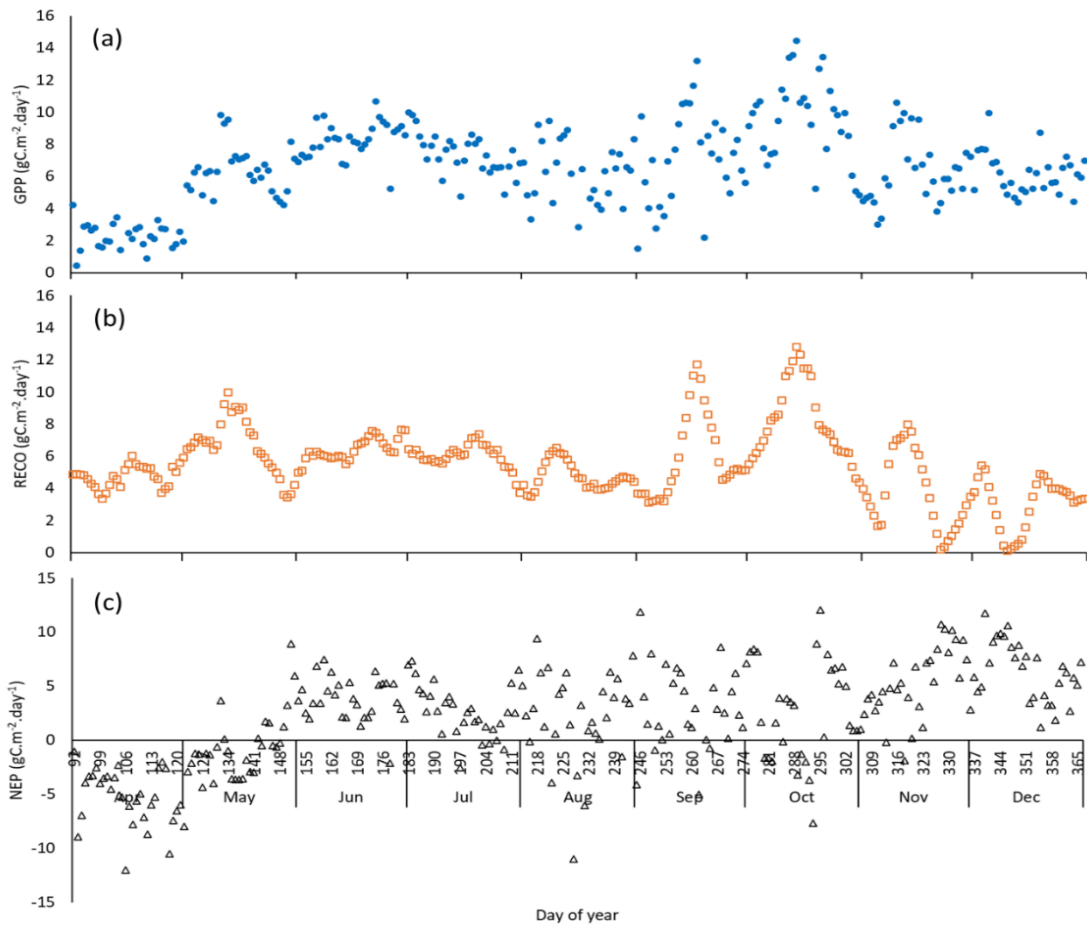
รูปที่ 19 (a) อัตราส่วนดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) สีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) สีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) ในช่วงฤดูแล้ง, (b) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) ในช่วงฤดูแล้ง, (c) อัตราส่วนดัชนีสีแดง (RCC) สีเขียว (GCC) สีน้ำเงิน (BCC) ในช่วงฤดูฝน และ (d) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) ในช่วงฤดูฝน ในป่าเต็งรังราชบุรี



รูปที่ 20 (a) อัตราส่วนดัชนีสีแดง (Red Chromatic Coordinate: RCC) สีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) สีน้ำเงิน (Blue Chromatic Coordinate: BCC) และ (b) ค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) จากภาพถ่ายดิจิทัลระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรังราชบุรี

5.2 รูปแบบค่าเฉลี่ยรายวันของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ

สำหรับรูปแบบค่าเฉลี่ยรายวันของข้อมูลการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ ณสถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมัตถวิทย์ จังหวัดพะเยา ระหว่างเดือนเมษายน ถึงเดือนธันวาคม 2563 พบว่า ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (Gross primary production: GPP) จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเดือนเมษายนจนถึงช่วงต้นเดือนกรกฎาคม จากนั้นจะลดลงเล็กน้อยจนถึงช่วงเดือนสิงหาคมและจะมีค่าสูงสุดเดือนตุลาคม เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งในเดือนพฤศจิกายนค่าผลผลิตขั้นปฐมภูมิจะค่อย ๆ ลดลงอีกครั้ง สำหรับการหายใจของระบบนิเวศ (Ecosystem respiration: RECO) พบว่ามีรูปแบบคล้าย ๆ กับผลผลิตขั้นปฐมภูมิ ขณะที่ค่าผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ (Net Ecosystem Productivity: NEP) จะมีค่าติดลบในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งตรงกับช่วงผลัดใบของพืช จากนั้นจะมีค่าสูงขึ้นในฤดูฝน โดยค่าเฉลี่ยผลผลิตขั้นปฐมภูมิ การหายใจของระบบนิเวศ และผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ ในระหว่างช่วงศึกษาวิจัย มีค่าอยู่ในเท่ากับ 5.58 4.74 และ 0.84 $gCm^{-2}day^{-1}$ ตามลำดับดังรูปที่ 21



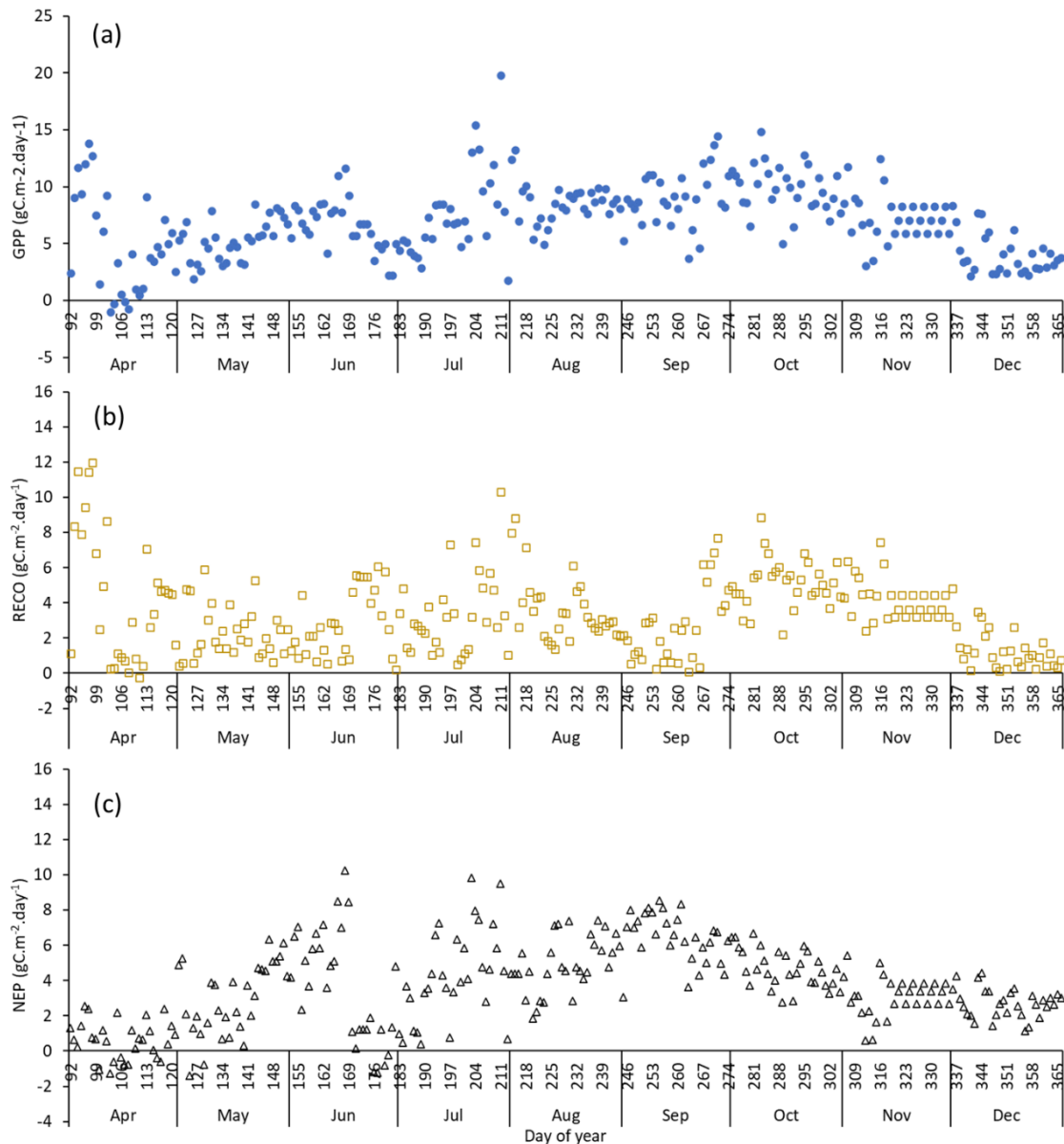
รูปที่ 21 รูปแบบของ (a) ผลผลิตขั้นปฐม (Gross primary productivity: GPP) (b) การหายใจของระบบนิเวศ (Ecosystem respiration: RECO) และ (c) ผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ (Net ecosystem productivity: NEP) เดือนเมษายน-ธันวาคม พ.ศ. 2563 ของป่าเต็งรังพะเยา

สำหรับรูปแบบค่าเฉลี่ยรายวันของข้อมูลการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมัตถวิทย์ จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนเมษายน ถึงเดือนธันวาคม 2563 พบว่าผลผลิตสุทธิของป่า (Net ecosystem productivity: NEP) เฉลี่ยในฤดูแล้ง (เดือนเมษายนและเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม) เท่ากับ $2.16 \pm 1.47 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเดือนเมษายน ($0.64 \pm 1.07 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) และค่าสูงที่สุดเดือนพฤศจิกายน ($3.10 \pm 1.09 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) ในขณะที่ช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) NEP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $4.51 \pm 2.34 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ มีค่าต่ำที่สุดเดือนพฤษภาคม ($2.97 \pm 2.04 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) และค่าสูงที่สุดเดือนกันยายน ($6.44 \pm 1.42 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบนิเวศของป่าสามารถกักเก็บคาร์บอนได้สูงสุดในฤดูฝน ทั้งนี้พบว่า ค่าเฉลี่ย NEP รายปี (เมษายน-ธันวาคม) มีค่าเท่ากับ $3.73 \pm 2.37 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ดังรูปที่ 22(c)

ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (GPP) เฉลี่ยช่วงฤดูแล้ง มีค่าเท่ากับ $5.38 \pm 3.21 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ โดยมีค่าสูงที่สุดเดือนพฤศจิกายน ($7.23 \pm 2.07 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) และมีค่าต่ำที่สุดเดือนธันวาคม ($4.02 \pm 1.77 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) และช่วงฤดูฝน GPP มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $7.79 \pm 2.89 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ มีค่าสูงที่สุดเดือนตุลาคม ($9.79 \pm 2.11 \text{ gC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

$\text{m}^{-2} \text{day}^{-1}$) และมีค่าต่ำที่สุดเดือนพฤษภาคม ($5.27 \pm 1.79 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$) และมีค่าเฉลี่ย GPP รายปี (เมษายน-ธันวาคม) เท่ากับ $6.99 \pm 3.20 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ดังรูปที่ 22(a)

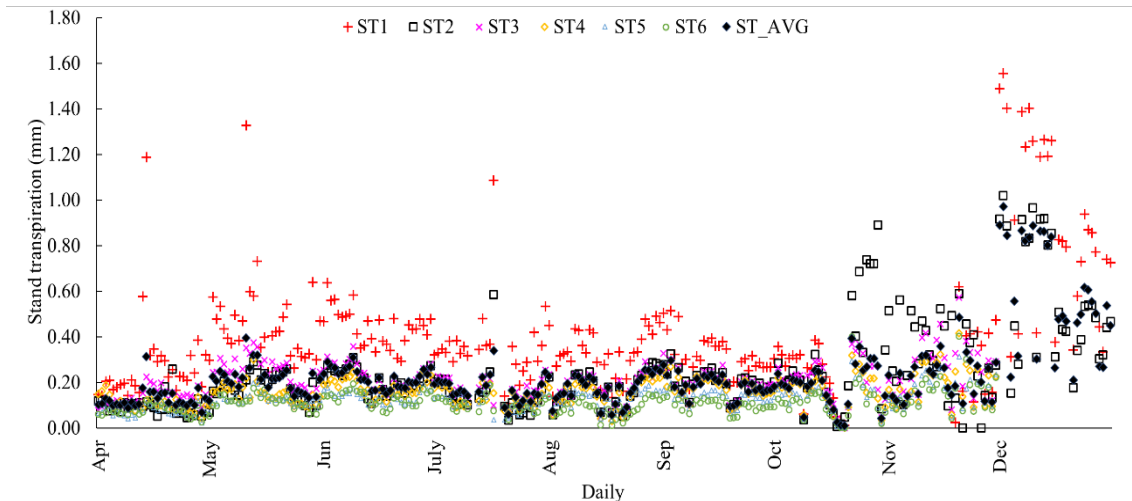
ในขณะที่การหายใจของระบบนิเวศ (Ecosystem Respiration: RECO) เฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง เท่ากับ $3.23 \pm 2.71 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$ มีค่าต่ำที่สุดเดือนธันวาคม ($0.58 \pm 0.41 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$) และค่าสูงที่สุดเดือนเมษายน ($4.32 \pm 3.76 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$) ช่วงฤดูฝน RE มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.28 \pm 2.05 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$ มีค่าต่ำที่สุดเดือนพฤษภาคม ($2.29 \pm 1.47 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$) และค่าสูงที่สุดเดือนตุลาคม ($5.11 \pm 1.37 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$) โดย RE มีค่าเฉลี่ยรายปี (เมษายน-ธันวาคม) เท่ากับ $3.26 \pm 2.29 \text{ gC m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ดังรูป 22(b)



รูปที่ 22 รูปแบบของ (a) ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (Gross primary productivity: GPP) (b) การหายใจของระบบนิเวศ (Ecosystem respiration: RECO) และ (c) ผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ (Net ecosystem productivity : NEP) เดือนเมษายน-ธันวาคม พ.ศ.2563 ของป่าเต็งรังราชบุรี

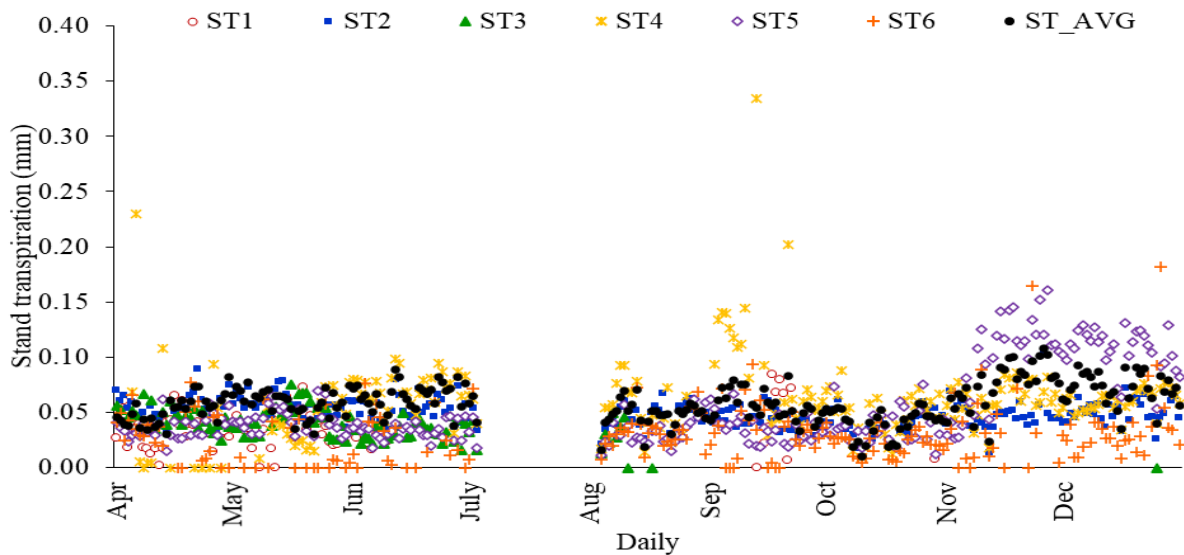
5.3 รูปแบบค่าเฉลี่ยรายวันของการไหลของน้ำในลำต้น (Sap flow)

สำหรับค่าเฉลี่ยรายวันของการไหลของน้ำในลำต้น (ต้นพลวง: *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb) ทั้ง 6 ต้น ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัย จังหวัดพะเยา ระหว่างเดือนเมษายน 2563 ถึงเดือนธันวาคม 2563 มีค่าเท่ากับ 0.23 ± 0.16 mm โดยค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน) มีค่าเท่ากับ 0.23 ± 0.19 mm และค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) มีค่าเท่ากับ 0.19 ± 0.07 ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงฤดูแล้งนั้นต้นไม้มีปริมาณการไหลของน้ำในลำต้นมากกว่าในฤดูฝน ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 รูปแบบการไหลของน้ำในลำต้น (ต้นพลวง *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) ทั้ง 6 ต้น ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัย จังหวัดพะเยา ระหว่างเดือนเมษายน 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563

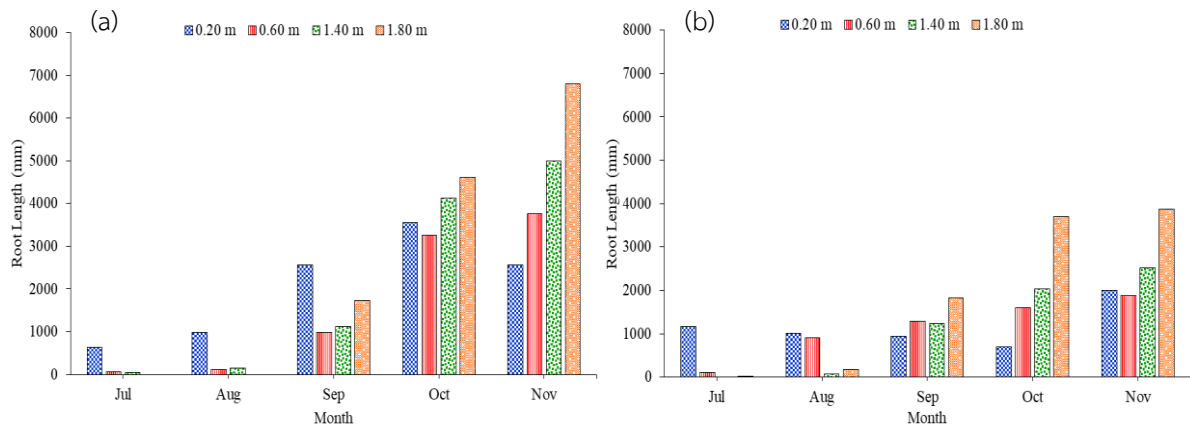
ค่าเฉลี่ยรายวันของการไหลของน้ำในลำต้น ที่ตรวจวัดในต้นเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.) 3 ต้น และต้นเต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) 3 ต้น ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัย จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนเมษายน 2563 ถึงเดือนธันวาคม 2563 พบว่า ต้นเหียง (TS1 - TS3) มีค่าการคายน้ำรายวันอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.10 mm และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 ± 0.01 mm ต้นเต็ง (TS4 - TS6) มีค่าการคายน้ำรายวันอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.13 mm และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 ± 0.02 mm ทั้งนี้มีค่าการคายน้ำรายวันเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 0.05 ± 0.02 mm โดยค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน) มีค่าเท่ากับ 0.07 ± 0.02 mm และค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) มีค่าเท่ากับ 0.05 ± 0.02 mm ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงฤดูแล้งนั้นต้นไม้มีปริมาณการไหลของน้ำในลำต้นมากกว่าในฤดูฝน ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 รูปแบบการไหลของน้ำในลำต้น ต้นเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.) 3 ต้น (ST1 – ST3) และต้นเต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) 3 ต้น (TS4 - TS6) ณ สถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนเมษายน 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 (ไม่มีข้อมูลกรกฎาคม 2563 เนื่องจากอุปกรณ์ขัดข้อง)

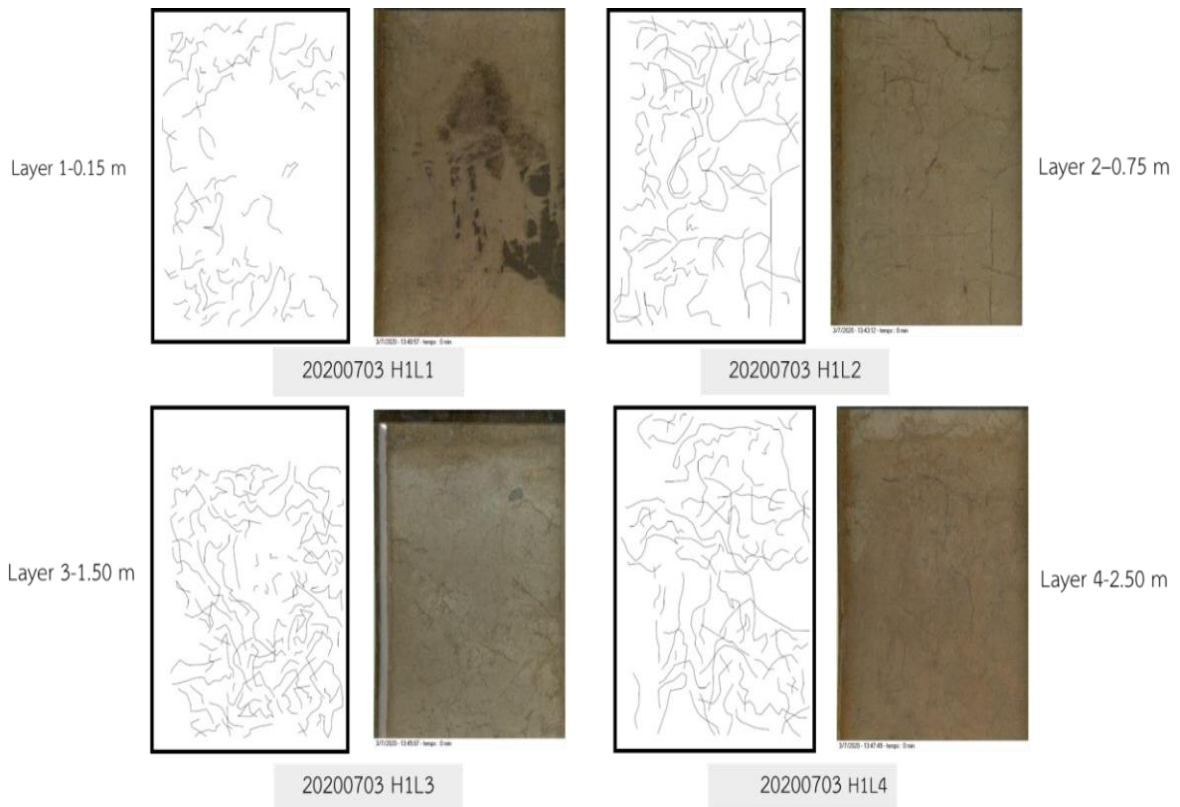
5.4 รูปแบบการเจริญเติบโตของรากพืช

การตรวจวัดการเจริญเติบโตของรากพืชด้วยวิธี Root windows ณ สถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดพะเยาทั้งหมด 4 ระดับ คือ 0.20, 0.60, 1.40 และ 1.80 m จำนวน 2 หลุม พบว่าการเจริญของรากพืชในหลุมที่ 1 และหลุมที่ 2 มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ความยาวของรากพืชในแต่ละระดับความลึกมีความยาวเพิ่มขึ้นในแต่ละเดือนตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา โดยความยาวของรากพืชเฉลี่ยทั้งหมดเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน 2563 หลุมที่ 1 ในแต่ละระดับชั้นความลึกของดิน 0.20, 0.60, 1.40 และ 1.80 m มีค่าเท่ากับ $2,059.87 \pm 1,216.76$, $1,635.47 \pm 1,757.71$, $2,086.77 \pm 2,314.38$ และ $4,382 \pm 2,547.38$ mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 25(a) และหลุมที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,162.28 \pm 495.23$, $1,156.14 \pm 692.07$, $1,466.22 \pm 1,071.79$ และ $1,916 \pm 1,849.06$ mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 25(b)

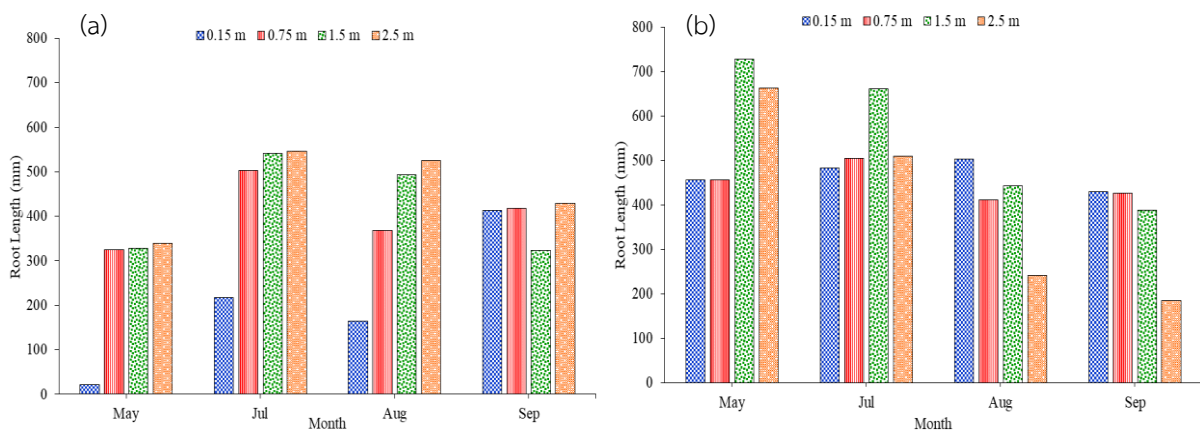


รูปที่ 25 แผนภูมิแท่งแสดงการเจริญเติบโตของรากใน (a) กลุ่มที่ 1 และ (b) กลุ่มที่ 2 ที่ระดับความลึก 0.20 0.60 1.40 และ 1.80 m ณ สถานีวิจัยจุลอุตุณิยมวิทยา จังหวัดพะเยา ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2563 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563

จากการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของรากพืชโดยวิธีการตรวจวัดด้วย Root windows ในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุตุณิยมวิทยา จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 ทั้งหมด 4 ระดับความลึก คือ 0.15, 0.75, 1.50 และ 2.50 m จำนวน 2 กลุ่ม พบว่าความยาวของรากพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 26) โดยความยาวของรากพืชเฉลี่ยทั้งหมดเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนกันยายน 2563 กลุ่มที่ 1 ในแต่ละระดับชั้นความลึกของดิน 0.15, 0.75, 1.50 และ 2.50 m มีค่าเท่ากับ 204.11 ± 161.77 , 403.20 ± 76.34 , 421.55 ± 112.30 และ 459.63 ± 95.30 mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 27(a) และกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 468.07 ± 32.21 , 449.64 ± 41.64 , 555.41 ± 165.03 และ 399.95 ± 226.22 mm ตามลำดับ ดังรูปที่ 27(b)



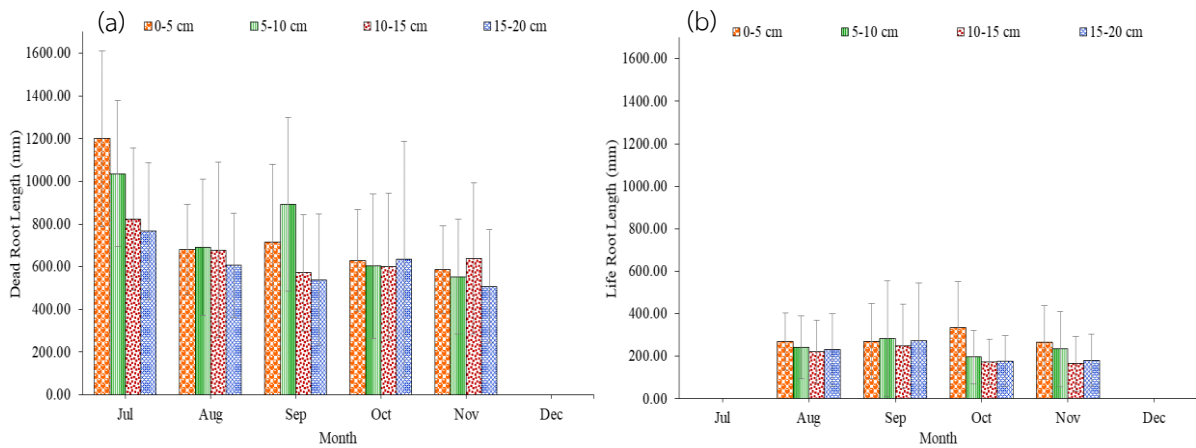
รูปที่ 26 การเจริญเติบโตของรากชั้นที่ 1 ที่ระดับ 0.15 เมตร ชั้นที่ 2 ที่ระดับ 0.75 เมตร ชั้นที่ 3 ที่ระดับ 1.5 เมตร และชั้นที่ 4 ที่ระดับ 2.5 เมตร ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2563



รูปที่ 27 แผนภูมิแท่งแสดงการเจริญเติบโตของรากใน(a) กลุ่มที่ 1 และ (b) กลุ่มที่ 2 ที่ระดับความลึก 0.15, 0.75, 1.5 และ 2.5 m ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัย จังหัดราชบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563

ทั้งนี้ ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัย จังหัดราชบุรีได้ทำการศึกษารากของรากฝอยโดยใช้วิธี Soil core ระหว่างเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2563 อีกวิธีด้วย พบว่าความยาวของรากตายสูงที่สุดเดือน

กรกฎาคม (956.33 ± 199.56 mm) และต่ำที่สุดเดือนพฤศจิกายน (571.92 ± 54.88 mm) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 697.89 ± 150.54 mm ดังรูปที่ 28(a) ในขณะที่ความยาวของรากเป็น (รากที่มีชีวิต) สูงที่สุดเดือนกันยายน (268.22 ± 14.80 mm) และต่ำที่สุดเดือนพฤศจิกายน (211.21 ± 46.47 mm) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 188.17 ± 107.45 mm ดังรูปที่ 28(b) ซึ่งความยาวรากตายและรากเป็นมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน และความยาวของรากตายมีค่ามากกว่ารากเป็นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



รูปที่ 28 ความยาวของรากฝอยตาย (a) และรากฝอยเป็น (b) ในดิน ที่ความลึก 4 ระดับ ณ สถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดราชบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม 2563

6. อภิปรายและวิจารณ์ผล

6.1 ศักยภาพในการใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้ (Near-surface remote sensing technique) ในการประเมินการดูดซับและการปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้

เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีทางเลือกในการประเมินการปล่อย/ดูดซับคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ การศึกษาครั้งนี้ คณะวิจัยได้นำเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้มาประยุกต์ใช้ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพืชพรรณ (Green excess index) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนคาร์บอนด้วยเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (Eddy covariance technique)

จากการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green chromatic coordination: GCC) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) กับผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (Gross primary production: GPP) การหายใจของระบบนิเวศ (Ecosystem respiration: RECO) และ ผลผลิตของระบบนิเวศขั้นสุทธิ (Net ecosystem productivity: NEP) ในช่วงผลิบ-ช่วงเจริญเติบโต (ปลายเดือนเมษายนถึงกลางเดือนกรกฎาคม) ของสถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดพะเยา พบว่ามีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงโดยเมื่อค่า GCC และ GEI เพิ่มขึ้น ค่า GPP RECO และ NEP จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่า GCC มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.01$ กับทั้งค่า GPP RECO และ NEP โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.52, 0.44 และ 0.46 ตามลำดับ (รูปที่ 29 a – c) ขณะที่ค่า GEI มี

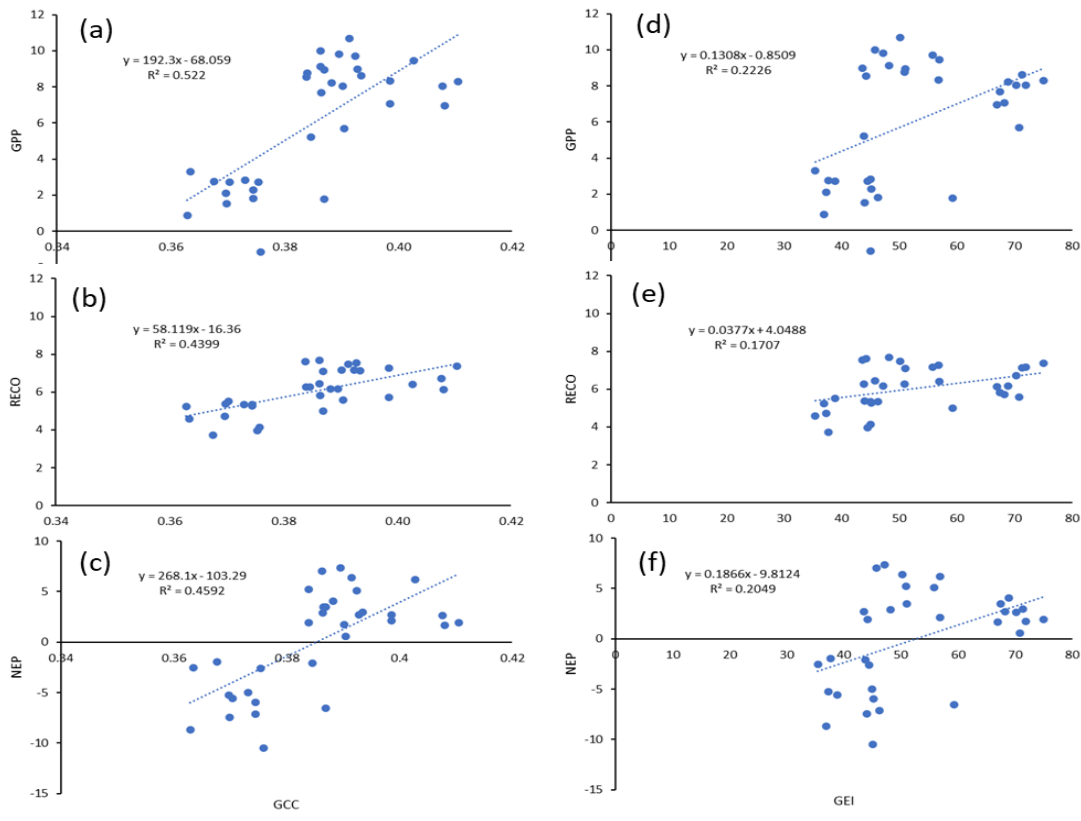
ความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.01$ กับค่า GPP และ NEP ที่ $R^2 = 0.22$ และ 0.20 ตามลำดับ (รูปที่ 29 d,f) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ กับค่า RECO โดยมีค่า $R^2 = 0.17$ (รูปที่ 29e) ทั้งนี้จากค่า R^2 จะเห็นว่า ค่าทั้งค่า GEI และ GCC ยังอธิบาย variations ของค่า GPP, RECO, NEP ได้เพียง 20-50% เท่านั้น ซึ่งอาจมีสาเหตุหลายปัจจัยเช่น จำนวนข้อมูลที่ยังมีน้อยเกินไป โดยเฉพาะภาพถ่ายที่ปัจจุบันใช้เพียงหนึ่งภาพต่อวัน ในขณะที่ค่า GPP, RECO, NEP เป็นค่าเฉลี่ยรายวัน นอกจากนี้ ดัชนีเหล่านี้ เป็นค่าที่เกิดจากการ normalization มาแล้ว จึงอาจมีความ sensitivity ต่อการเปลี่ยนแปลงต่ำ เป็นต้น ซึ่งทางคณะผู้วิจัย จะทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลและองค์ความรู้ที่เหมาะสมที่สุดในการนำค่าดัชนีไปประเมินการดูดซับคาร์บอน และนำไปประเมินการตอบสนองของระบบนิเวศป่าต่างๆต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อไป

โดยเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index) ก็กับการกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยคาร์บอนข้างต้นแล้วจะสอดคล้องกับการแบ่งช่วงฤดูการเจริญเติบโตของพืช (Growing season) โดยในระยะเจริญเติบโต (Mature stage) สอดคล้องกับช่วงที่เมื่อค่า GCC และ GEI เพิ่มขึ้น ค่า GPP และ NEP จะมีค่าสูงขึ้นซึ่งเป็นช่วงที่คลอโรฟิลล์ในใบพืชมีค่าสูงสุด ทำให้มีการหายใจของระบบนิเวศเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณากราฟรูปแบบของค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพืชพรรณ (รูปที่ 17) พบว่าเมื่อพืชเข้าสู่ระยะใบแก่ (Mature dark green stage) แม้ว่าค่า GCC และ GEI จะมีค่าสูงแต่ค่า GPP และ NEP กลับลดลง เนื่องมาจากในระยะนี้จะได้รับผลกระทบจากปัจจัยควบคุมต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอก (เช่น ฮอร์โมน อายุของเซลล์ แสง สารอาหาร เป็นต้น) ซึ่งจะทำให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลาย และลดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของใบลง (Ruberti et al., 2014) โดยความเข้มข้นฮอร์โมนไซโตไคนินจะเป็นตัวชักนำกระบวนการแก่ตัวของพืชให้เกิดขึ้น (Carimi et al., 2004) โดยกระบวนการนี้จะไปอย่างช้า ๆ นั่นเอง ดังนั้นการวิเคราะห์ในประเด็นนี้ในปีต่อไป จะเพิ่มเติมในเรื่องของการเลือก time scale ที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้ภาพถ่ายในการประเมินการแลกเปลี่ยนคาร์บอนที่ถูกต้องที่สุด

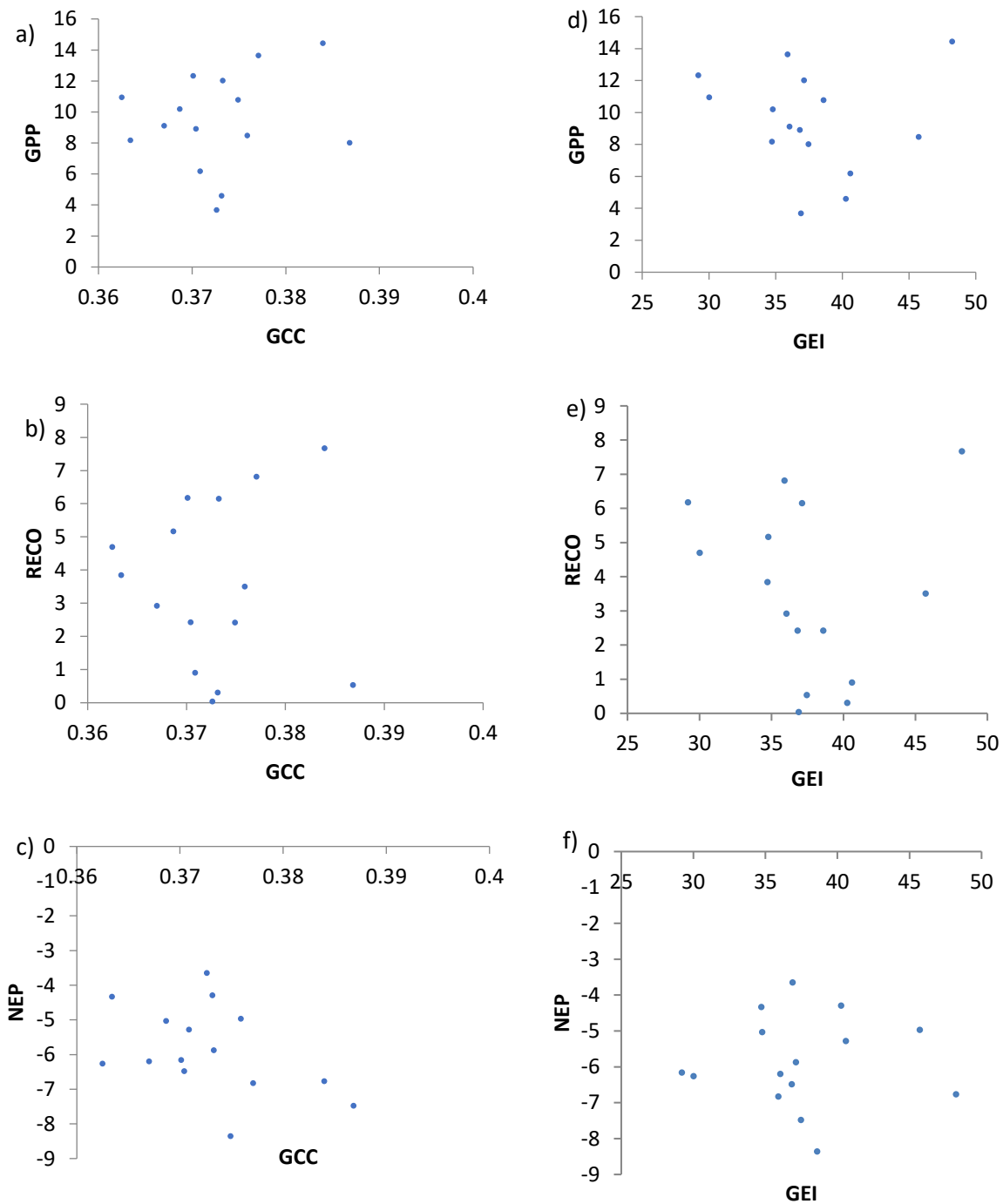
ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green chromatic coordination: GCC) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) กับผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (Gross primary productivity: GPP) การหายใจของระบบนิเวศ (Ecosystem respiration: RECO) และ ผลผลิตของระบบนิเวศขั้นสุทธิ (Net ecosystem productivity: NEP) ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) ของสถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยราชบุรี พบว่ายังไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนเหมือนกับในกรณีของพะเยา (รูปที่ 30) เนื่องจากข้อมูลในช่วงปีแรกยังมีค่อนข้างน้อยเนื่องจากปัญหาการแพร่ระบาดของโควิด 19 จึงไม่สามารถเดินทางไปเก็บข้อมูลในพื้นที่วิจัย และปัญหาไฟฟ้าในพื้นที่วิจัยเกิดขัดข้องบ่อยครั้ง ซึ่งปัจจุบันปัญหาโควิด 19 ได้ดีขึ้นตามลำดับ และทีมวิจัยได้เข้าไปในพื้นที่เพื่อแก้ปัญหาเรื่องไฟฟ้าขัดข้อง โดยการเพิ่มแบตเตอรี่และการต่อเชื่อมระบบไฟฟ้าให้มีความเสถียรมากขึ้น

จากผลการทดลองข้างต้นชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้สำหรับการประเมินการปล่อย/ดูดซับคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้นั้นมีความเป็นไปได้ในการใช้แทนเทคโนโลยีตรวจวัดการปล่อย/ดูดซับคาร์บอนอื่น ๆ ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพืชพรรณจะมีความสัมพันธ์กับการปล่อย/ดูดซับคาร์บอนในช่วงผลัดใบและช่วงผลิใบ (Saitoh et al., 2012; Zhou et al., 2019) อย่างไรก็ตาม

ตาม เนื่องจากข้อมูลที่มีในปัจจุบันยังไม่ครอบคลุมช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวลักษณะของ
 ชั้นเรือนยอดของระบบนิเวศ จึงทำให้ยังไม่สามารถยืนยันได้อย่างแน่นอนถึงประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากการ
 การเก็บข้อมูลยังไม่สมบูรณ์ และมีระยะเวลาในการดำเนินงานเพียงปีเดียว ดังนั้นเพื่อให้การทดสอบเทคโนโลยี
 ภาพถ่ายระยะใกล้สำหรับการใช้ในการประเมินการปล่อย/ดูดซับคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้มีประสิทธิภาพที่มาก
 ยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อในระยะยาวขึ้น นอกจากนี้จะต้องมีการตรวจสอบความใช้ได้ (Validation)
 ของเทคโนโลยีกับป่าประเภทอื่น ๆ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับข้อมูลจากทีมจีนต่อไป



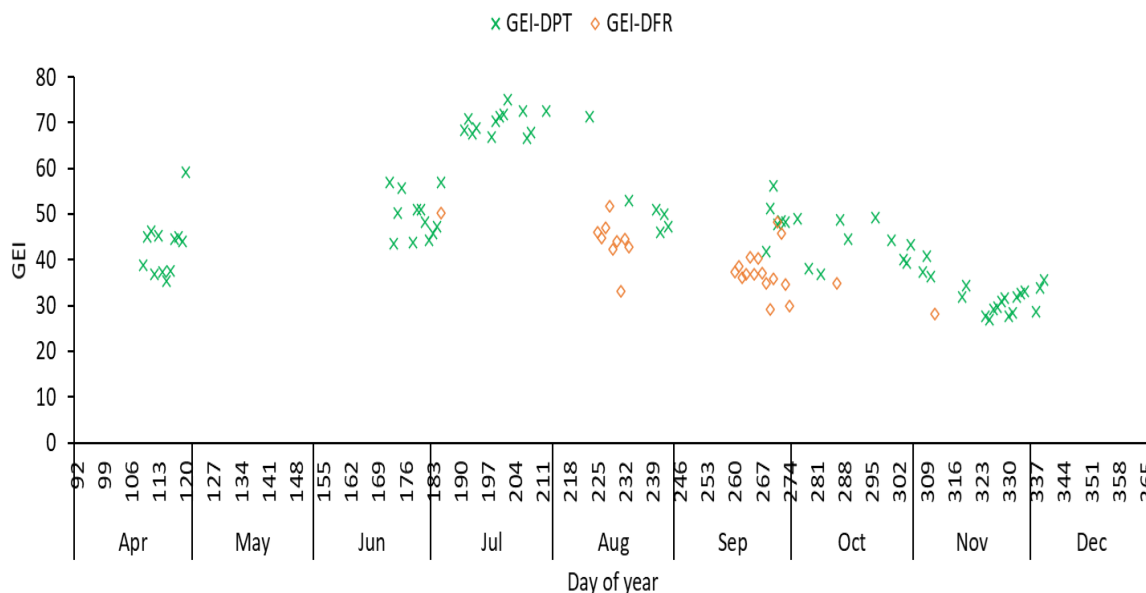
รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index) กับการกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยคาร์บอน ในช่วงผลิบา-ช่วงเจริญเติบโต (ปลายเดือนเมษายนถึงกลางเดือนกรกฎาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง จังหวัดพะเยา



รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index) กับการกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยคาร์บอน ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม) พ.ศ.2563 ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี

6.2 ลักษณะการตอบสนองและพลวัตทางสรีระวิทยาชั้นเรือนยอด

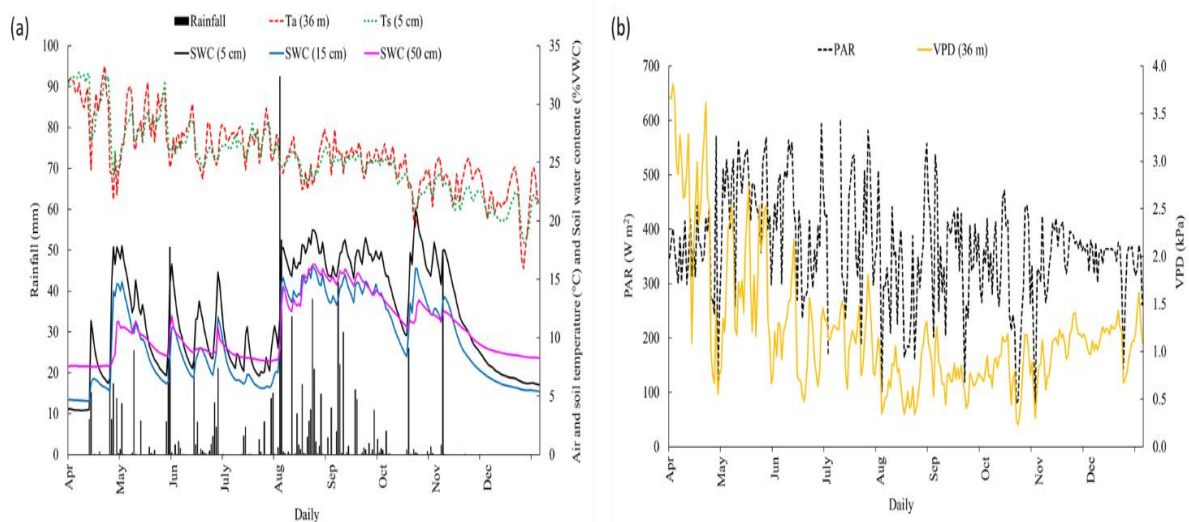
จากการดำเนินการวิจัยในปีที่ 1 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) ในเบื้องต้นระหว่างสถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดพะเยา (DPT) และจังหวัดราชบุรี (DFR) พบว่าค่า GEI ของทั้ง 2 สถานีในช่วงที่สามารถเก็บข้อมูลได้มีค่าใกล้เคียงกัน และมีรูปแบบไปในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ 31) อย่างไรก็ตาม ค่า GEI ของสถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดราชบุรี มีค่าต่ำกว่าสถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดพะเยา อาจเนื่องมาจากขนาด และอายุของต้นไม้ที่มีขนาดเล็กและอายุน้อยกว่า จึงทำให้ต้นไม้แสดงออกถึงค่าดัชนีพืชพรรณที่มีค่าต่ำกว่า นอกจากนี้เนื่องจากสภาพอากาศทั่วไปของจังหวัดพะเยาและจังหวัดราชบุรีมีความแตกต่างกัน อาจทำให้การแบ่งระยะเวลาการผลัดใบ-ผลิใบมีความแตกต่างกัน ข้อมูลเหล่านี้ จะนำไปวิเคราะห์ถึงระยะหรือช่วงเวลาการเจริญเติบโตของระบบนิเวศป่าทั้งหมด เพื่อให้เข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลและช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยภูมิอากาศ ณ ปัจจุบัน เนื่องจากการขัดข้องด้านเทคนิคการตรวจวัดทำให้ข้อมูลการวิจัยไม่เพียงพอในการเปรียบเทียบรูปแบบของดัชนีพืชพรรณของทั้ง 2 สถานีได้อย่างชัดเจน (โดยเฉพาะที่ราชบุรีที่สามารถบันทึกภาพถ่ายได้เพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น) ซึ่งทางคณะวิจัยได้มีการประชุมและหารือ (ผ่านระบบออนไลน์) ถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาแล้วโดยการเพิ่มความถี่ในการเก็บข้อมูลและซ่อมบำรุงอุปกรณ์เพื่อให้การตรวจวัดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในปีถัดไป นอกจากนี้เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) ทำให้การเดินทางไปเก็บข้อมูลและซ่อมบำรุงอุปกรณ์ตรวจวัดในปีที่ 1 เกิดข้อผิดพลาดขึ้น รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกร่วมกันได้



รูปที่ 31 เปรียบเทียบรูปแบบค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) ระหว่างสถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดพะเยา (DPT) และจังหวัดราชบุรี (DFR)

6.3 การตอบสนองของระบบนิเวศป่า ต่อปัจจัยทางภูมิอากาศ (ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม)

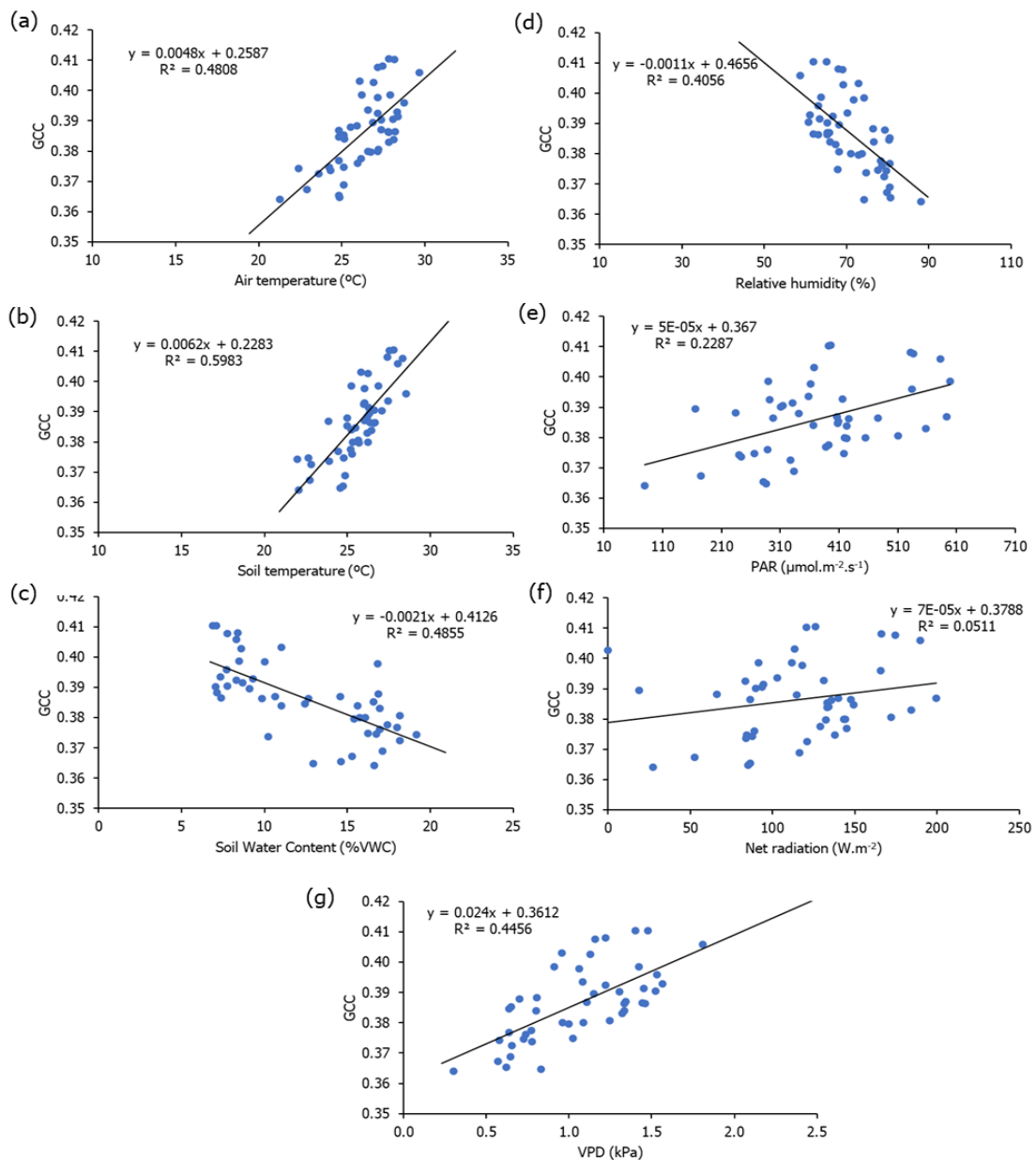
จากการตรวจวัดข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยพะเยา ได้แก่ ปริมาณฝน อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดินที่ความลึก 5 cm และความชื้นดินที่ความลึก 5, 15, 50 cm แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ และแรงดึงระเหยน้ำ ระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม 2563 พบว่า ปริมาณฝนสะสมมีค่าเท่ากับ 943.91 mm อุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 11.39 - 38.05 °C (เฉลี่ย 25.68 ± 3.85 °C) อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 5 cm อยู่ในช่วง 15.98 - 38.23 °C (เฉลี่ย 25.28 ± 3.37 °C) ความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 cm อยู่ในช่วง 3.69 - 22.02 %VWC (เฉลี่ย 11.78 ± 4.55 %VWC) (รูปที่ 32a) ขณะที่แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 364.09 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ และค่าแรงดึงระเหยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 ± 0.88 kPa ดังรูปที่ 32b



รูปที่ 32 รูปแบบของ (a) ปริมาณฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature: Ta) อุณหภูมิดิน (Soil temperature: Ts) ที่ระดับความลึก 5 cm และความชื้นในดิน (Soil water content: SWC) ที่ระดับความลึก 5, 15, 50 cm (b) แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ (Photosynthetically active radiation: PAR) และแรงดึงระเหยไอ (Vapor pressure deficit: VPD) ในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยพะเยา

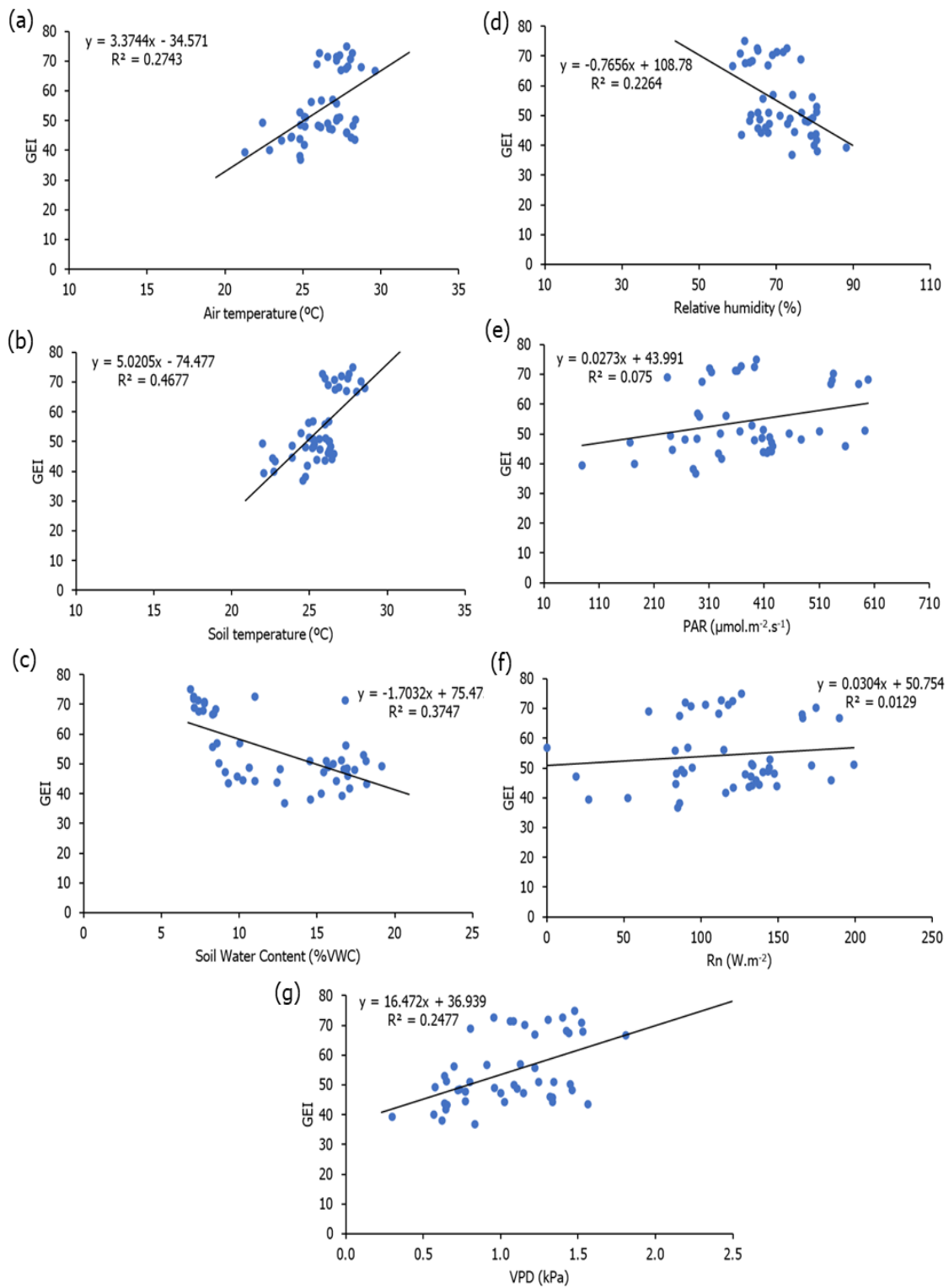
ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความชื้นในดิน ความชื้นสัมพัทธ์ แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ (Photosynthetically active radiation: PAR) รังสีสุทธิ (Net radiation: Rn) และแรงดึงระเหยน้ำ (Vapor pressure deficit: VPD) ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) (รูปที่ 33)

โดยความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว และปัจจัยสิ่งแวดล้อมในช่วงฤดูฝน พบมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดินสูงที่สุด ($R^2=0.59$) รองลงมาคือ ความชื้นในดิน ($R^2=0.48$) อุณหภูมิอากาศ ($R^2=0.48$) แรงดึงระเหยน้ำ ($R^2=0.44$) ความชื้นในอากาศ ($R^2=0.40$) แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ ($R^2=0.22$) และรังสีสุทธิ ($R^2=0.05$) ตามลำดับ (รูปที่ 33)



รูปที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยพะเยา

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมในช่วงฤดูฝน พบมีความสัมพันธ์กับ อุณหภูมิดินสูงสุด ($R^2=0.46$) รองลงมาคือ ความชื้นในดิน ($R^2=0.37$) อุณหภูมิอากาศ ($R^2=0.27$) แร่ตั้งระเหย น้ำ ($R^2=0.24$) ความชื้นในอากาศ ($R^2=0.22$) แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ ($R^2=0.07$) และรังสีสุทธิ ($R^2=0.01$) ตามลำดับดังรูปที่ 34

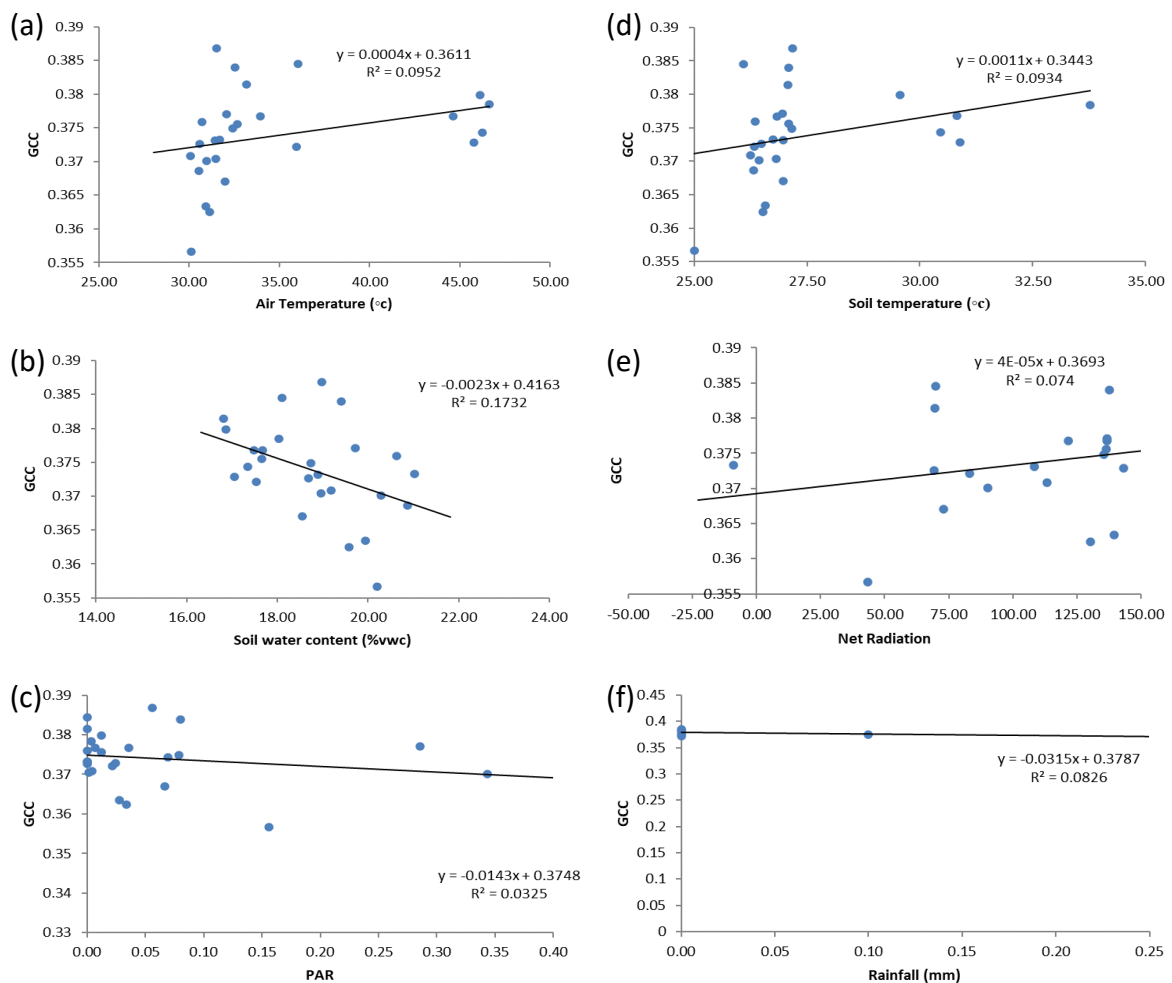


รูปที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุณหภูมิมัตถิยา พะเยา

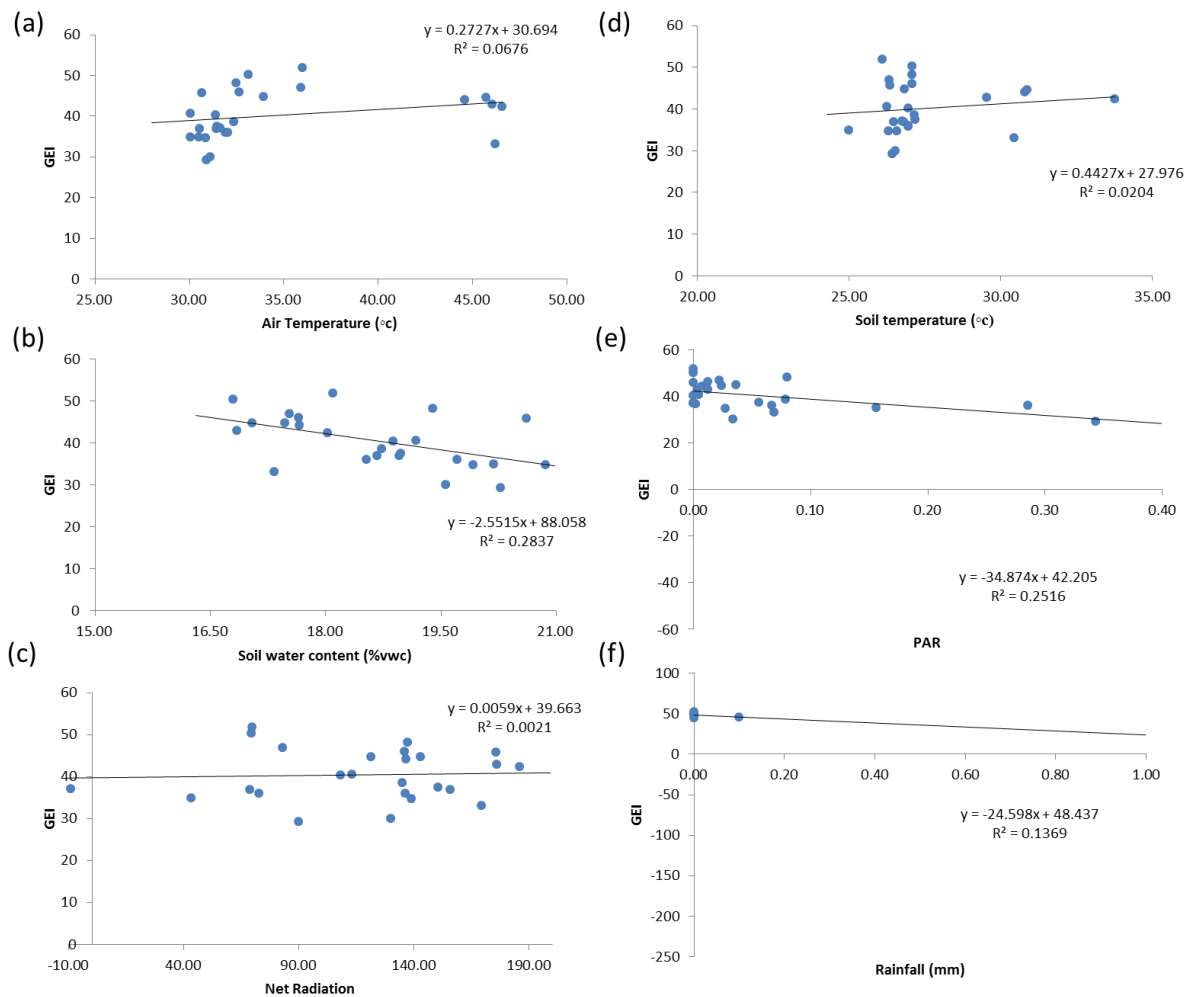
ขณะที่ในป่าเต็งรัง ณ สถานีวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดราชบุรีความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) และดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิดิน ความชื้นในดิน ความชื้นสัมพัทธ์ แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ (Photosynthetically active radiation: PAR) รังสีสุทธิ (Net radiation: Rn) และปริมาณน้ำฝน (Rainfall) ในช่วงฤดูฝน (Wet season) ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม

ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสีเขียว และปัจจัยสิ่งแวดล้อมในช่วงฤดูฝน พบมีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินสูงที่สุด ($R^2=0.173$) รองลงมาคือ อุณหภูมิอากาศ ($R^2=0.095$) อุณหภูมิดิน ($R^2=0.093$) ปริมาณน้ำฝน ($R^2=0.083$) รังสีสุทธิ ($R^2=0.074$) และแสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ ($R^2=0.033$) ตามลำดับดังรูปที่ 35

ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมในช่วงฤดูฝน พบมีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินสูงที่สุด ($R^2=0.284$) รองลงมาคือแสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ ($R^2=0.252$) ปริมาณน้ำฝน ($R^2=0.137$) อุณหภูมิอากาศ ($R^2=0.068$) อุณหภูมิดิน ($R^2=0.020$) และรังสีสุทธิ ($R^2=0.002$) ตามลำดับดังรูปที่ 36



รูปที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียว (Green Chromatic Coordinate: GCC) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี



รูปที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ (Green excess index: GEI) กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) พ.ศ. 2563 ในป่าเต็งรัง จังหวัดราชบุรี

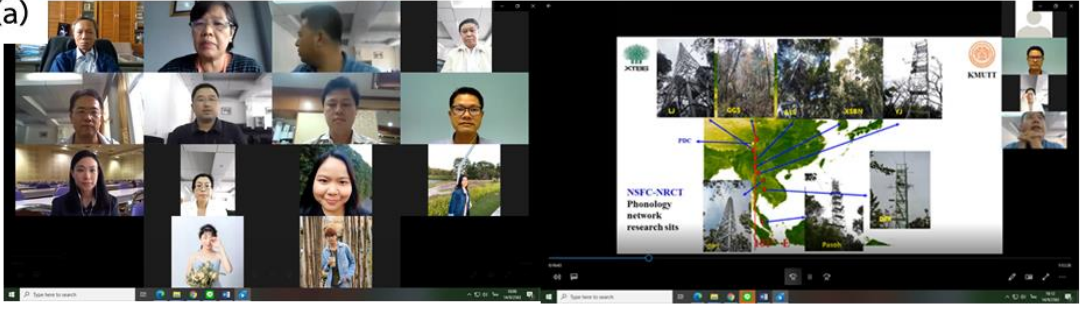
ทั้งนี้การวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ เป็นเพียงการวิเคราะห์เบื้องต้นเท่านั้น จึงยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน ซึ่งจำเป็นต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลไปอีกสักระยะหนึ่ง มีการเปรียบเทียบข้อมูลจากทุก study sites และการวิเคราะห์เชิงลึกร่วมกันระหว่างทีมไทยจีน จึงจะสามารถหาข้อสรุปที่ถูกต้องชัดเจน

6.4 การสร้างเครือข่ายความร่วมมือด้านงานวิจัย

1) การสร้างเครือข่ายกับทีมวิจัยจีน โครงการวิจัยฯ ได้มีการติดต่อและแลกเปลี่ยนความรู้และแลกเปลี่ยนข้อมูลงานวิจัยอย่างต่อเนื่องผ่านระบบออนไลน์ รวมถึงได้วางแผนการฝึกอบรมต่าง ๆ ร่วมกับนักวิจัยจากสวนพฤกษศาสตร์เขตร้อนสิบสองปันนา สาธารณรัฐประชาชนจีน (Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Science, China) (รูปที่ 37 a) นอกจากนี้โครงการวิจัยฯ ยังได้มีการสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ให้ไปศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ณ สวนพฤกษศาสตร์เขตร้อนสิบสองปันนา สาธารณรัฐประชาชนจีน โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสาธารณรัฐประชาชนจีนภายใต้ทุน 2020 ANSO Scholarship for Young Talents จากหน่วยงาน Alliance of International Science Organizations

(ANSO) คือนางสาวบุญศิริ สวัสดิ์ไชย (รูปที่ 37 b) อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยสถานการณ์การระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) ในปัจจุบันจึงทำให้กำหนดการฝึกอบรม และการไปเรียน ณ สวนพฤกษศาสตร์เขตร้อนสิบสองปันนา สาธารณรัฐประชาชนจีน ได้เลื่อนออกไป (แต่ยังคงเรียนภาคทฤษฎีผ่านระบบออนไลน์)

(a)



(b)

Awardee List 2020

ANSO Scholarship for Young Talents (Master's)

UNIVERSITY OF CHINESE ACADEMY OF SCIENCES (UCAS)

OGUNDIPE			
126	CHINEDU LEONARD	NIGERIA	SHENZHEN INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY, CAS
127	BOONSIRI SAWASDCHAI	THAILAND	XISHUANGBANNA TROPICAL BOTANICAL GARDEN, CAS
128	RABIA SHAHID	PAKISTAN	INSTITUTE OF CHEMISTRY, CAS
129	BENJAMIN CHINEDU	NIGERIA	INSTITUTE OF MOUNTAIN HAZARDS AND

รูปที่ 37 ความร่วมมือระหว่างประหว่งที่มิวิจัยของประเทศไทยและประเทศจีน

2) การสร้างเครือข่ายภายในประเทศ โครงการวิจัย ร่วมกับองค์กรวิจัย องค์กรเอกชนและเครือข่าย ThaiFlux ได้จัดโครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ThaiFlux Workshop 2020 เรื่อง “ การตรวจวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำโดยเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (Eddy covariance technique) ในระบบนิเวศการเกษตรและป่าไม้” ณ ห้องประชุมบุญญवास ลำเพาพงศ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 16-18 พฤศจิกายน 2563 (รูปที่ 38) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อ 1) สร้างเครือข่ายและแลกเปลี่ยนประสบการณ์/องค์ความรู้กับนักวิจัยในประเทศ และ 2) นำองค์ความรู้และเทคนิคที่ได้โครงการวิจัย ถ่ายทอดสู่นักวิจัยในประเทศและผู้สนใจทั่วไป โดยมีการจัดอบรมนักวิจัย นักวิชาการ อาจารย์ นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจ เข้าใจทฤษฎีความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (eddy covariance method, EC), การออกแบบการทดลองภาคสนาม การตรวจวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO₂/H₂O vapor และพลังงานระหว่างบรรยากาศกับระบบนิเวศการเกษตรและป่าไม้ตลอดจนเข้าใจพื้นฐานการทำงานของระบบ EC และสามารถ

วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นผ่านโปรแกรม EddyPro และ ToVi โดยมีผู้เข้าร่วมประชุมจำนวนทั้งสิ้นประมาณ 80 คนจากหน่วยงาน ทั้งภาครัฐ และเอกชน มากกว่า 15 หน่วยงาน



รูปที่ 38 ภาพบรรยากาศการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ ThaiFlux Workshop 2020

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางซีพลักษณะขึ้นเรือนยอดระบบนิเวศป่าเต็งรังระหว่างการศึกษาวิจัย (ตั้งแต่เดือนเมษายน 2563 ถึงเดือนธันวาคม 2563) พบว่าการแบ่งช่วงผลัดใบและผลิใบด้วยการวิเคราะห์ค่าดัชนีสีและดัชนีพีชพรรณ และวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยจะสามารถแบ่งได้รูปแบบการผลัดใบและผลิใบอย่างคร่าว ๆ ในระบบนิเวศป่าเต็งรัง ได้ดังนี้ (1) ช่วงผลิใบ (Leaf expansion) (2) ช่วงเจริญเติบโต (Growing season) แบ่งได้เป็น 2 ระยะย่อยคือ ระยะเจริญเติบโต (Mature stage) และระยะใบแก่ (Mature dark green stage) (3) ช่วงก่อนผลัดใบ (Pre-defoliation) และ (4) ช่วงผลัดใบ (Leaf expansion) ซึ่งทำให้เห็นการเลื่อน (Shift) ของฤดูกาลตามฤดูกาลปกติ

โดยการเปลี่ยนแปลงของดัชนีสีเขียวและดัชนีพีชพรรณมีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม (ช่วงฤดูฝน) พบว่า อุณหภูมิดิน อุณหภูมิอากาศ แสงถึงระเหยไอ แสงที่พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ และปริมาณแสงสุทธิ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพีชพรรณ กล่าวคือเมื่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมข้างต้น

โดยเฉพาะอุณหภูมิดิน และอุณหภูมิอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพืชพรรณมีค่าเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามกับค่าความชื้นในดินและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพืชพรรณ ซึ่งจะสอดคล้องกับช่วงปลายฤดูฝนที่จะเข้าสู่ช่วงผลัดใบ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพืชพรรณต่อการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอน (ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ การหายใจของระบบนิเวศ และผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิ) พบว่าเมื่อค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพืชพรรณสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าผลผลิตขั้นปฐมภูมิและผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืช (Mature stage) เมื่อเข้าสู่ช่วงระยะใบแก่ (Mature dark green stage) แม้ค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพืชพรรณจะสูงขึ้นแต่กลับทำให้ผลผลิตขั้นปฐมภูมิและผลผลิตของระบบนิเวศสุทธิมีค่าลดลง เนื่องมาจากคลอโรฟิลล์ในใบพืชถูกทำลายและลดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของใบลง ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพืชพรรณกับการหายใจของระบบนิเวศจะพบว่ามีค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำมาก เนื่องจากพืชมีการดูดกลับคาร์บอนในบรรยากาศเพื่อนำไปสังเคราะห์แสงจึงส่งผลให้ค่าการหายใจของระบบนิเวศค่อนข้างคงที่

7.2 อุปสรรคและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลในช่วงระหว่างเดือนเมษายนถึง มิถุนายน 2563 พบปัญหาแอปพลิเคชันเกิดความไม่เสถียรอันเนื่องมาจากสภาพอากาศร้อนของประเทศไทย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขและป้องกันโดยการ 1) ติดตั้งฉนวนกันความร้อน 2) ติดตั้งพัดลมระบายอากาศภายในกล่องติดตั้งอุปกรณ์ 3) ติดตั้งแสลนกรองแสง และ 4) เพิ่มความถี่ในการเข้าไปบำรุงรักษาและเก็บข้อมูล ผลพบว่ายังพบความผิดปกติของกล่องถ่ายภาพ เนื่องจากการทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา ทำให้เกิดความร้อนภายใน และแบตเตอรี่กล่องถ่ายภาพวม ทำให้ยังคงเกิดความไม่เสถียรของการเก็บข้อมูลอยู่ในบางครั้ง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนกล่องถ่ายภาพเป็นเครื่องใหม่ (ที่มวิจัยจากประเทศจีนส่งมาให้) เพิ่มระยะเวลาการไปเก็บข้อมูลจากเดือนละ 1 ครั้ง เป็น 2 ครั้ง/เดือน โดยข้อมูลในอดีตพบว่า สามารถถ่ายรูปต่อเนื่องได้ประมาณ 7-10 วัน นอกจากนี้ยังมีการสำรองข้อมูลโดยการอัปโหลดข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ (Nutstore)

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีสีเขียวและดัชนีพรรณพืชมีความสำคัญในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงต่อการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนของระบบนิเวศในป่าที่ศึกษาโดยเฉพาะการเจริญในช่วงผลัดใบและผลัดใบตามฤดูกาล แผนการเฝ้าระวังติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์ผล ต่อเนื่องตามฤดูกาลในปีที่สองช่วยเพิ่มความแม่นยำและสร้างความมั่นใจของการใช้ลักษณะทางชีวลักษณ์เพื่อศึกษาการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะการเปรียบเทียบกับระบบนิเวศป่าไม้ในประเทศจีนที่ละติจูดต่างกัน

8. แผนงานการดำเนินงานวิจัยและผลที่ได้ในปีที่ 1 และ แผนงานโดยสังเขปในปีที่ 2

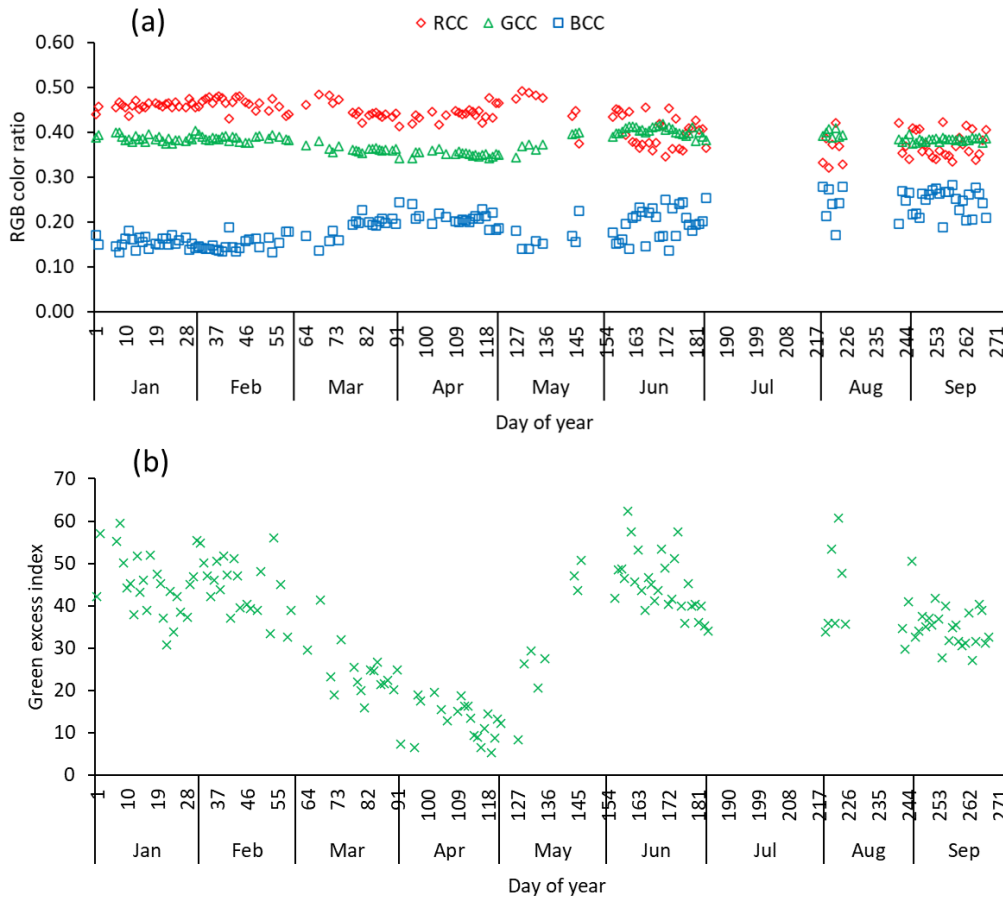
ระยะเวลา	แผนงานการดำเนินงานวิจัย	ผลที่ได้
ปีที่ 1 (12 เดือน)	1. มีการวางแผนกิจกรรมและงานวิจัย	- โครงการวิจัยได้มีการวางแผนกิจกรรมและงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง ทั้งการประชุม และการลงพื้นที่ภาคสนามจริง อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยสถานการณ์การระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) ทำให้ทีมงานวิจัยต้องปรับแผนการทำงานและมีการประชุมกันผ่านระบบออนไลน์อย่างต่อเนื่องเพื่อให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
	2. มีการติดตั้งและตรวจสอบวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	- โครงการวิจัยได้มีการติดตั้งอุปกรณ์วิจัยและตรวจสอบระบบการทำงานเรียบร้อยแล้ว
	3. มีรูปแบบข้อมูล ขั้นตอนสำหรับการทำคุณภาพข้อมูล	- โครงการวิจัยได้จัดทำรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลรวมถึงขั้นตอนการทำคุณภาพข้อมูลเป็นผังการปฏิบัติงานและการทำคุณภาพข้อมูลเพื่อให้แต่ละสถานีวิจัยได้มีการจัดการข้อมูลให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน
	4. มีผลการวิจัยเบื้องต้น (ได้แก่ ภาพถ่ายดิจิทัล การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำการเจริญเติบโตของราก การไหลของน้ำในลำต้น และข้อมูลจุลอุตุนิยมวิทยา) พร้อมสำหรับการวิเคราะห์	- โครงการวิจัยมีผลการวิจัยเบื้องต้น (ระหว่างเดือนเมษายน 2563 - ธันวาคม 2563) ตามรายละเอียดในรายงานฉบับสมบูรณ์ปีที่ 1
	5. มีการติดตั้งอุปกรณ์วิจัย เก็บข้อมูลและแบ่งปันข้อมูล (ฝ่ายจีน)	ฝ่ายไทยได้รับข้อมูล Canopy color index จากสถานี XSBN และฝ่ายไทยได้ให้ข้อมูล Sap flow ที่ พะเยาและราชบุรีแก่จีน
	6. ได้หัวข้อการเผยแพร่งานวิจัย	ทีมอยู่ระหว่างการจัดเตรียม manuscript เพื่อตีพิมพ์ในหัวข้อ Monitoring of canopy phenological characteristics using digital image in dry dipterocarp forest, Northern Thailand

ระยะเวลา	แผนงานการดำเนินงานวิจัย	ผลที่ได้
	7. มีแพลตฟอร์มสำหรับการแบ่งปันข้อมูล	- สำหรับแพลตฟอร์มสำหรับการแบ่งปันข้อมูลระหว่างไทยและจีนคือ Nutstore ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่มีสะดวก
ปีที่ 2 (18 เดือน)	1. ดำเนินการเก็บข้อมูลต่อเนื่อง	ดำเนินการเก็บข้อมูลวิจัย ได้แก่ ภาพถ่ายดิจิทัล การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ การเจริญเติบโตของราก การไหลของน้ำในลำต้น และข้อมูลจุลอุณหภูมิมิเทียม พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลอง
	2. วิเคราะห์ข้อมูล	วิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย <ul style="list-style-type: none"> - ภาพถ่ายระยะใกล้ - CO₂ และ water fluxes - Sap flow - การเจริญเติบโตของราก โดยผลการทดลองจะมีการวิเคราะห์และนำเสนอในส่วนของความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงรายชั่วโมง รายวัน และรายเดือน ของในพื้นที่วิจัยทั้งไทยและจีน
	3. รวบรวมและสังเคราะห์ข้อมูล	Drafted manuscripts on; <ul style="list-style-type: none"> • Canopy phenology across the latitudinal gradients and its response to climate • CO₂ and water fluxes across the sites • Relationship between forest canopy and root dynamics
ปีที่ 2 (24 เดือน)	1. ดำเนินการเก็บข้อมูลต่อเนื่อง	ดำเนินการเก็บข้อมูลวิจัยและแชร์ของมูลการวิจัยระหว่างไทยและจีน ได้แก่ ภาพถ่ายดิจิทัล การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ การเจริญเติบโตของราก การไหลของน้ำในลำต้น และข้อมูลจุลอุณหภูมิมิเทียม พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ระยะเวลา	แผนงานการดำเนินงานวิจัย	ผลที่ได้
	2.การประเมินข้อมูลเบื้องต้นจากเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้ เพื่อประมาณการดูดซึ่มคาร์บอนและประเมินการตอบสนองของระบบนิเวศป่าไม้	ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศป่าไม้ ในมิติต่าง ๆ ด้วยเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้
	3. การประชุมเชิงปฏิบัติการ / การประชุมเพื่อระดมความคิดในการปรับปรุงเทคนิคการวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับข้อดีและข้อจำกัด ในพื้นที่วิจัย	ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้ เพื่อลดข้อจำกัดการเก็บข้อมูลในระบบนิเวศป่าไม้

9. ข้อมูลรูปแบบค่าดัชนีสีและดัชนีพืชพรรณของป่าฝนเขตร้อน (Rain forest) ณ สถานีวิจัยสิบสองปันนาของจีน

การแลกเปลี่ยนข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกันระหว่างทีมไทยและจีน ยังทำได้อย่างจำกัด เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 และยังเป็นช่วงเริ่มการตรวจวัด ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจาก study site ต่างๆ ส่วนมากยังไม่ได้รับการวิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล จึงยังไม่สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อย่างไรก็ตาม ในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา ทางครวิจัยจีน ได้ส่งผลการวิเคราะห์เบื้องต้นของค่าดัชนีสีและดัชนีพืชพรรณของป่าฝนเขตร้อน (Rain forest ecosystem) ณ สถานีวิจัยสิบสองปันนาของจีน พบว่า ค่าดัชนีสีและดัชนีพืชพรรณมีรูปแบบช่วงระยะเวลาการผลัดใบ/ใบไม้เปลี่ยนสี-ผลิใบที่มีความคล้ายคลึงกับระบบนิเวศป่าเต็งรัง อย่างไรก็ตามพบว่าป่าฝนเขตร้อน ณ สถานีวิจัยสิบสองปันนามีการผลัดใบ/ใบไม้เปลี่ยนสีช้ากว่าระบบนิเวศป่าเต็งรัง โดยมีค่าต่ำสุดประมาณเดือนเมษายน แต่พบว่าช่วงระยะเวลา (Range) การผลัดใบ/ใบไม้เปลี่ยนสีค่อนข้างสั้นกว่าป่าเต็งรัง (รูปที่ 39) ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสีพิกซ์เซลของชั้นเรือนยอดในป่าฝนเขตร้อนมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม และการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนคาร์บอนด้วยเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวนต่อไป รวมถึงการนำผลการวิจัยจากสถานีอื่นๆมาร่วมวิเคราะห์และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ความถูกต้องแม่นยำของเทคโนโลยีภาพถ่ายระยะใกล้ในการประเมินการกักเก็บ/ปลดปล่อยคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ต่อไปในอนาคต



รูปที่ 39 รูปแบบของดัชนีสีและดัชนีพืชพรรณของป่าฝนเขตร้อน ณ สถานีวิจัยสิบลองปันนา สาธารณรัฐประชาชนจีน ระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2563

บรรณานุกรม

ัญลักษณ์ เจริญพรภักดี. (2557). การสร้างรากฝอยในป่าชายเลนรุ่มสอง จังหวัดตราด [วิทยานิพนธ์ วท.ม. (พฤกษศาสตร์)]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย.

มนตรี แสนวังสี และคณะ. (2553). ลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเต็งรังภายใต้สภาพอากาศเย็น-แล้งและร้อน-ชื้น. *การประชุมวิชาการระดับชาติ เรื่องประเทศไทยกับภูมิอากาศโลก ครั้งที่ 1*. พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ. (2538). ผลผลิตและการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิัญญา อากมานุวัตร. (2560). การประเมินการสะสมและอัตราการย่อยสลายชีวมวลในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี [ปริญญาานิพนธ์ วท.บ. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร)]กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Arya and S.P. (1988). Introduction to Micrometeorology, 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA; (pp. 307).

AsiaFlux. (2007). Introduction. In: Practice of Flux Observation in Terrestrial Ecosystems, *AsiaFlux Steering Committee*, Japan 3: (pp. 3-22).

- Becker P. (1996). Sap flow in Bornean heath and dipterocarp forest trees during wet and dry periods. *Tree Physiology* 16, (pp. 295-299).
- Blanken, P. D., Black, T. A., Yang, P. C., Neumann, H. H., Nesic, Z., Staebler, R., et al. (1997). Energy balance and canopy conductance of a boreal aspen forest: partitioning overstory and understory components. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D24), (pp. 28915-28927).
- Burba, G.G., and D.J. Anderson. (2010). A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements: Principles and Workflow Examples for Scientific and Industrial Applications. *LI-COR Biosciences*, Lincoln, USA. (pp. 211).
- Burke MK, Raynal DJ. (1994). Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil*: 162: (pp. 135–46).
- Carimi, F., Terzi, M., De Michele, R., Zottini, M., Lo Schiavo and F. (2004). High levels of the cytokinin BAP induce PCD by accelerating senescence. *Plant Science*: 166(4): (pp. 963-969).
- Cavanaugh, M. L., Kurc, S. A. and Scott R. L. (2011). Evapotranspiration partitioning in semiarid shrubland ecosystems: a two-site evaluation of soil moisture control on transpiration. *Ecohydrology*, 4(5), (pp. 671-681).
- Diem, P.K., Pimple, U., Sitthi, A., Varnakivida, P., Tanaka, K., Pungkul, S., Leadprathom, K., Y. LeClerc, M., and Chidthaisong, A. (2018). Shifts in Growing Season of Tropical Deciduous Forests as Driven by El Niño and La Niña during 2001–2016. *Forests*, 9, (pp. 448; doi:10.3390/f9080448).
- Dugas, W. A., Hicks, R. A. and Gibbens, R. P. (1996). Structure and function of C3 and C4 Chihuahuan Desert plant communities. Energy balance components. *Journal of Arid Environments*, 34(1), (pp. 63-80).
- Ěermák, J., E. Cienciala, E. Kuæera, A. Lindroth and E. Bednárová. (1995). Individual variation of sap-flow rate in large pine and spruce trees and stand transpiration: a pilot study at the central NOPEX site. *J. Hydrol.* 168: (pp. 17—27).
- Hirata R., et al. (2008). Spatial distribution of carbon balance in forest ecosystems across East Asia. *Agricultural and Forest Meteorology* 148(5): (pp. 761-775).
- Ide, R., and Oguma, H. (2010). Use of digital cameras for phenological observations. *Ecological Informatics*, 5(5), (pp. 339-347).

- Intanil, P., Sanwangsri, M., Boonpoke, A., and Hanpattanakit, P. (2018). Contribution of Root Respiration to Soil Respiration during Rainy Season in Dry Dipterocarp Forest, *Northern Thailand. App. Envi. Res. 40(4)*, (pp. 19-27).
- Jackson RB, Mooney HA and Schulze ED. (1977). A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America, 94*, (pp. 7362-6).
- Jordan, C.F. and J.R. Kline. (1977). Transpiration of trees in a tropical rain forest. *J. Appl. Ecol. 14*, (pp. 853-860).
- Kaewthongrach, R., Diem, P.K., Chidthaisong, A., Suepa, T., Sanwangsri, M., Hanpattanakit, P., and Arnkovid, P. (2018). Detecting the ELNIÑO'S induced changes in phenology of a secondary dry dipterocarp forest by using remote sensing. *Sirindhorn Conference on Geoinformatics*, Chonburi.
- Kaewthongrach, R., Vitasse, Y., Lamjiak, T., and Chidthaisong, A. (2019). Impact of Severe Drought during the Strong 2015/2016 El Nino on the Phenology and Survival of Secondary Dry Dipterocarp Species in Western Thailand. *Forests, 10*, (pp. 967; doi:10.3390/f10110967).
- Kelliher, F. M., Köstner, B. M. M., Hollinger, D. Y., Byers, J. N., Hunt, J. E., Mc Seveny, and T. M., et al. (1992). Evaporation, xylem sap flow, and tree transpiration in a New Zealand broad-leaved forest. *Agricultural and Forest Meteorology, 62(1-2)*, (pp. 53-73).
- Kemp, P. R., Reynolds, J. F., Pachepsky, Y. and Chen, J. L. (1997). A comparative modeling study of soil water dynamics in a desert ecosystem. *Water Resources Research, 33(1)*, (pp. 73-90).
- Khamsorn, P., Sanwangsri, M., Chaileucha, C., and Suwannapat, P. (2019). Assessing of Water Balance Components in Dry Dipterocarp-Forested Watershed in Phayao, *Thailand. Proceedings on the 5th EnvironmentAsia International Conference*, 13-15 June 2019, Convention Center, The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand.
- Kljun, N., Calanca, P., Rotach, M.W., and Schmid, H.P. (2015). A simple two-dimensional parameterisation for Flux Footprint Prediction (FFP). *Geoscientific Model Development, 8*, (pp. 3695-3713).
- Kljun, N., P. Calanca, M. W. Rotach, and H. P. Schmid. (2004). A simple parameterisation for flux footprint predictions. *Boundary-Layer Meteorology, 112*: (pp. 503-523).
- Kozlowski, T. T. and S. G. Pallardy (1997). Preface. "Physiology of Woody Plants (Second Edition). T. T. K. G. Pallardy. San Diego, Academic Press: xiii-xiv. Ohtsuka, T., Saigusa, N., Koizumi, H. (2009). On linking multiyear biometric Measurements of tree growth with eddy covariance-based net ecosystem production". *Global Change Biology 15*: (pp. 1015-1024).

- L'Heureux ML, Takahashi K, Watkins AB, Barnston AG, Becker EJ, Liberto TED, Gamble F, Gottschalck J, Halpert MS, Huang B, Mosquera-Vásquez K and Wittenberg AT.(2015). Observing and Predicting the 2015/16 El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society* 2017; 98(7): (pp. 1363-1382).
- Lin, Y., Zhang, Y., Zhao, W., Dong, Y., Fei, X., Song, Q., et al. (2018). Pattern and driving factor of intense defoliation of rubber plantations in SW China. *Ecological Indicators*, 94, (pp. 104-116).
- Liu, X., Li, Y., Chen, X., Zhou, G., Cheng, J., Zhang, D and Zhang, Q. (2015). Partitioning evapotranspiration in an intact forested watershed in southern China. *Ecohydrology*, 8(6), (pp. 1037-1047).
- Mitchell, P. J., Veneklaas, E., Lambers, H. and Burgess, S. S. (2009). Partitioning of evapotranspiration in a semi-arid eucalypt woodland in south-western Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*,149(1), (pp. 25-37).
- Mizunuma, T., Wilkinson, M., Eaton, E., Mencuccini, M., Morison, J. and Grace, J. (2013). The relationship between carbon dioxide uptake and canopy colour from two camera systems in a deciduous forest in southern England. *Functional Ecology*, 27, (pp. 196-207).
- Moncrieff, J. B., R. Clement, J. Finnigan, and T. Meyers. (2004). Averaging, detrending and filtering of eddy covariance time series, in *Handbook of micrometeorology: a guide for surface flux measurements*, eds. Lee, X., W. J. Massman and B. E. Law. Dordrecht: *Kluwer Academic*, (pp. 7-31).
- Moran, M. S., Scott, R. L., Keefer, T. O., Emmerich, W. E., Hernandez, M., Nearing, G. S. and O'Neill, P. E. (2009). Partitioning evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems using time series of soil surface temperature. *Agricultural and forest meteorology*,149(1), (pp. 959-72).
- Moreno Chacón M and Lusk C. (2004). Vertical distribution of fine root biomass of emergent *Nothofagus dombeyi* and its canopy associates in a Chilean temperate rainforest. *Forest Ecology and Management*; 199(2).
- Moroni MT, Worledge D. and Beadle CL. (2003). Root distribution of *Eucalyptus* *intense* and *globulus* in irrigated and droughted soil. *Forest Ecology and Management*. 177: (pp. 399-407).
- Nadelhoffer KJ and Reich JW. (1992). Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. *Ecology*,73, (pp. 1139-47).

- Oren, R., Sperry, J. S., Ewers, B. E., Pataki, D. E., Phillips, N. and Megonigal, J. P. (2001). Sensitivity of mean canopy stomatal conductance to vapor pressure deficit in a flooded *Taxodium distichum* L. forest: hydraulic and non-hydraulic effects. *Oecologia*, *126*(1), (pp. 21-29).
- Pastorello, G., Trotta, C., Canfora, E., Chu, H., Christianson, D., Cheah, Y. W and Isaac, P. (2020). The FLUXNET2015 dataset and the ONEFlux processing pipeline for eddy covariance data. *Scientific data*, *7*(1), (pp,1-27).
- Raz Yaseef, N., Yakir, D., Schiller, G. and Cohen, S. (2012). Dynamics of evapotranspiration partitioning in a semi-arid forest as affected by temporal rainfall patterns. *Agricultural and Forest Meteorology*, *157*, (pp. 77-85).
- Reynolds, J. F., Kemp, P. R. and Tenhunen, J. D. (2000). Effects of long-term rainfall variability on evapotranspiration and soil water distribution in the Chihuahuan Desert: a modeling analysis. *Plant Ecology*, *150*(1), (pp. 145-159).
- Ruberti, C., Barizza, E., Bodner, M., La Rocca, N., De Michele, R., Carimi, F., et al. (2014). Mitochondria change dynamics and morphology during grapevine leaf senescence. *PLoS One*, *9*(7), (pp. 102012).
- Saigusa, N., et al. (2008). Temporal and spatial variations in the seasonal patterns of CO₂ flux in boreal, temperate, and tropical forests in East Asia. *Agricultural and Forest Meteorology* *148*(5), (pp. 700-713).
- Saitoh, T.M., Nagai, S., Saigusa, N., Koboyashi, H., Suzuki, R., Nasahara, K.N. and Muraoka, H. (2012). Assessing the use of camera-based indices for characterizing canopy phenology in relation to gross primary production in a deciduous broad-leaved and an evergreen coniferous forest in Japan. *Ecological Informatics*, *11*, (pp. 45-54).
- Sanwangsri, M., Hanpattanakit, P., and Chidthaisong, A. (2017). Variations of Energy Fluxes and Ecosystem Evapotranspiration in a Young Secondary Dry Dipterocarp Forest in Western Thailand. *Atmosphere*, *8*, (pp. 152; doi:10.3390/atmos8080152).
- Schlesinger, W. H. and Jasechko, S. (2014). Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, *189*, (pp. 115-117).
- Shibata H., T. Hiura, Y. Tanaka, K. Takagi and T. Koike. (2005). Carbon cycling and budget in a forested basin of southwestern Hokkaido northern Japan. *Ecological Research*, *20*, (pp. 325-31).
- Song, Q.H. Z.H. Tan, Y.P. Zhang, L.Q. Sha, X.B. Deng, Y. Deng, W.J. Zhou, J.F. Zhao, J.B. Zhao and X. Zhang. (2014). Do the rubber plantations in tropical China act as large carbon sinks. *Forest*, (pp. 42-47).

- Tan Z., Y. Zhang, G. Yu, L. Sha, J. Tang, X. and Deng, Q. Song. (2010). Carbon balance of a primary tropical seasonal rain forest *J. Geophys. Res.*15, (pp. 411-454).
- Nagai, S., Nakai, T., Saitoh, T.M., Busey, R.C., Kobayashi, H., Suzuki, R., Muraoka, H., and Kimb, Y. (2013). 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* 7; (pp. 125-135).
- Sonnentag, O., Detto, M., Vargas, R., Ryu, Y., Runkle, B. R. K., Kelly, M., et al. (2011). Tracking the structural and functional development of a perennial pepperweed (*Lepidium latifolium* L.) infestation using a multi-year archive of webcam imagery and eddy covariance measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7), (pp. 916-926).
- Staudt, K., Serafimovich, A., Siebicke, L., Pyles, R. D. and Falge, E. (2011). Vertical structure of evapotranspiration at a forest site (a case study). *Agricultural and forest meteorology*, 151(6), (pp. 709-729).
- Stull, R.B. (1998). An Introduction to Boundary Layer Meteorology; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, (pp. 670).
- Tanaka, K., Takizawa, H., Tanaka, N., Kosaka, I., Yoshifuji, N., Tantasirin, C., et al. (2003). Transpiration peak over a hill evergreen forest in northern Thailand in the late dry season: Assessing the seasonal changes in evapotranspiration using a multilayer model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D17), (pp. ALC 4-1-ALC 4-15).
- Tanaka, N., Kume, T., Yoshifuji, N., Tanaka, K., Takizawa, H., Shiraki, K., Tantasirin, C., Tangtham, N. and Suzuki M. (2008). A review of evapotranspiration estimates from tropical forest in Thailand and adjacent regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, (5), (pp.807-819).
- Wilson, K. B., Hanson, P. J., Mulholland, P. J., Baldocchi, D. D. and Wullschleger, S. D. (2001). A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. *Agricultural and Forest Meteorology*, 106(2), (pp. 153-168).
- Wolf, S.C., Goulden, M.L., Mounger, J.W., Fan, S.-M., Bakwin, P.S., Daube, B.C., Bassow, S.L. and Bazzas, F.A. (1993). *Science* 260, (pp. 1314–1317).
- Zhongmin, H., Guirui, Y., Yanlian, Z., Xiaomin, S., Yingnian, L., Peili, S., et al. (2009). Partitioning of evapotranspiration and its controls in four grassland ecosystems: application of a two-source model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, (pp. 1410–1420).
- Zhou, R., Zhang, Y., Song, Q., Lin, Y., Sha, L., Jin, Y., et al. (2019). 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*, 437, (pp. 222-231).

Zhu, X. J., Yu, G. R., Hu, Z. M., Wang, Q. F., He, H. L., Yan, J. H. and Zhang, J. H. (2015). Spatiotemporal variations of T/ET (the ratio of transpiration to evapotranspiration) in three forests of Eastern China. *Ecological Indicators*, 52, (pp. 411-421).

Zhu H., Tan Y., Yan L., and Liu F. (2020). Flora of the Savanna-like Vegetation in hot dry valleys, Southwestern China with implications to their origin and evolution. *The Botanical Review*, 86, (pp. 281-297).

คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัยของประเทศไทย

1. รองศาสตราจารย์ ดร.สิรินทรเทพ เต๋อประยูร.....หัวหน้าโครงการ (Principal Investigator)
บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
โทรศัพท์: 02-4708309-10, E-mail: sirin@jgsee.kmutt.ac.th
2. รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ชิตไธสง.....ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator)
บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
โทรศัพท์: 02-4708309-10, E-mail: amnatcop18@gmail.com,
amnat_c@jgsee.kmutt.ac.th
3. อาจารย์ ดร.ปรีเวท วรรมโกวิท.....ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator)
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
โทรศัพท์: 089-8665958, E-mail: pariwate@gmail.com
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ.....นักวิจัยรุ่นใหม่ (Young Scientist)
คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์: 086-4152906, E-mail: phongthep@g.swu.ac.th
5. อาจารย์ ดร.มนตรี แสนวังสี.....นักวิจัยรุ่นใหม่ (Young Scientist)
ภาควิชาเกษตรที่สูงและทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โทรศัพท์: 053-944099, E-mail: montri.s@cmu.ac.th
6. นายพัลลภ อินทะนิล.....ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยพะเยา
คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
โทรศัพท์: 095-1966693, E-mail: mailto:punlop.intanil@gmail.com
7. นางสาววิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์.....ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์: 092-6564980, E-mail: wittanan.tammadid@g.swu.ac.th
8. นางสาวมัชฌิมา คำแก้ว.....ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์: 093-6149551, E-mail: k.yayee2017@gmail.com

คณะผู้วิจัยของประเทศไทย

1. Associate Prof. Dr. Yuntong Liu.....หัวหน้าโครงการ (Principal Investigator)
Faculty Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences
โทรศัพท์: 0871-65160904, E-mail: liuyuntong@xtbg.ac.cn
2. Prof. Dr. Yiping Zhang.....ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator)
Faculty Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences
โทรศัพท์: 0871-65160904, E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn
3. Prof. Dr. Liqing Sha.....ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator)
Faculty Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences
โทรศัพท์: 0871-65160904, E-mail: shalq@xtbg.ac.cn
4. Associate Prof. Dr. Qinghai Song.....ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator)
Faculty Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences
โทรศัพท์: 0871-65160904, E-mail: sqh@xtbg.ac.cn

ภาคผนวก

แบบรายงานการประชุม
รายงานการประชุม Online meeting Thai-Chinese collaboration project
ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ.2563

ผู้เข้าร่วมประชุม

คณะผู้วิจัยของประเทศไทย

- | | |
|--|--|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.สิรินทรเทพ เต๋าศระบูร | หัวหน้าโครงการ(Principal Investigator) |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ชิดไธสง | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ | นักวิจัยรุ่นใหม่ (Young Scientist) |
| 4. อาจารย์ ดร.มนตรี แสนวังสี | นักวิจัยรุ่นใหม่ (Young Scientist) |
| 5. อาจารย์ พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์ | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 6. นายพัลลภ อินทะนิล | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 7. นางสาววิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์ | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 8. นางสาวมัชฌิมา คำแก้ว | ผู้ช่วยนักวิจัย |

คณะผู้วิจัยของประเทศจีน

- | | |
|--|--------------------------------|
| 9. Associate Prof. Dr.Yuntong Liu
Investigator) | หัวหน้าโครงการ (Principal |
| 10. Prof. Dr.Yiping Zhang | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |
| 11. Prof. Dr.Liqing Sha | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |
| 12. Associate Prof. Dr.Qinghai Song | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |
| 13. Associate Prof. Dr.Wenjun Zhou | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |

เริ่มประชุมเวลา 13.00 น.

วาระที่ 1 ประธานแจ้งให้ทราบ (ทีมไทย)

ประธานที่ประชุม รองศาสตราจารย์ ดร.สิรินทรเทพ เต๋าศระบูร แจ้งให้ผู้เข้าร่วมประชุมทราบเกี่ยวกับหัวข้อและรายละเอียดการประชุม เรื่องการรายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัย การศึกษาการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และลักษณะทางชีวภาพโดยใช้ดัชนีสีทรงพุ่มของพืชพรรณ ในระบบนิเวศป่าไม้ที่ละติจูดต่างกัน ตั้งแต่ทางใต้ของประเทศจีนถึงภูมิภาคอินโดจีน ของคณะผู้วิจัยของประเทศไทย และประเทศจีน และแนะนำคณะผู้วิจัยของประเทศไทย

วาระที่ 2 เรื่องที่เสนอให้ที่ประชุมทราบ

รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยของคณะผู้วิจัยของประเทศจีน โดย Associate Prof. Dr.Yuntong Liu

- พื้นที่ศึกษา Pudacuo National Park-Climat and Phenology, ประเทศจีน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ วัตถุประสงค์ของการวิจัย ปัญหาของการวิจัย
- Annual work plan
 - 1) เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2563 ติดตั้งอุปกรณ์ sap flow เพื่อเก็บข้อมูลและตรวจติดตาม forest canopy flux ร่วมกับ digital camera และการประชุมเริ่มต้นโครงการ
 - 2) เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2563 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล (picture, sap flow, ST, SW, et al.) ทีมพิมพ์ผลงานวิจัย 1-2 ฉบับ
 - 3) เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 เก็บข้อมูลต่อเนื่อง วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง color index และปัจจัยต่าง ๆ ตรวจเยี่ยมพื้นที่ศึกษา เขียนผลงานวิจัยตีพิมพ์ 3-4 ฉบับ
 - 4) เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2565 เก็บข้อมูลต่อเนื่อง วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง color index, GPP, WUE, sap flow, และ methodological data แลกเปลี่ยนความรู้ เขียนวิทยานิพนธ์ เขียนผลงานวิจัยตีพิมพ์ 3-4 ฉบับ และจัดสัมมนาทางวิชาการในระดับทวิภาคี

วาระที่ 3 เรื่องที่เสนอให้ที่ประชุมทราบ (ต่อ)

รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยของคณะผู้วิจัยของประเทศไทย โดยรองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ชิดไธสง

- คณะผู้วิจัยของประเทศไทยชี้แจงเรื่อง Expected output (ปี 1 ช่วงที่ 1)
 - 1) การวางแผนการวิจัยและการดำเนินการวิจัย
 - 2) ติดตั้งอุปกรณ์และตรวจสอบความสอดคล้องกันทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา
 - 3) กำหนดช่วงเวลาการตรวจวัด รูปแบบข้อมูล การควบคุมคุณภาพของข้อมูล
 - 4) เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น
- รายงานความก้าวหน้า มี 5 ส่วน แบ่งเป็น Digital camera, Flux data, Sap flow, Root scan และ Methodological data รายละเอียด ดังนี้
 - 1) Digital camera การวางแผนการวิจัยและการดำเนินการวิจัย ติดตั้งกล้องและเริ่มเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลผ่าน imageJ software การคำนวณดัชนีสี และเปรียบเทียบรูปแบบหรือสร้างความสัมพันธ์ด้วยพารามิเตอร์ที่สนใจ (มีตัวอย่างข้อมูลเดือนสิงหาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2563) โดยกล้องที่ติดตั้งในแปลงป่าทั้งสองแห่งเป็นกล้องโทรศัพท์มือถือ
 - 2) Flux data มีการติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว โดยการตรวจวัดพารามิเตอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งติดตั้งเสาสสูง โดยใช้เทคนิค Eddy Covariance ความถี่ในตรวจวัดและการจัดเก็บข้อมูล 10 Hz สำหรับข้อมูลฟลักซ์ และทุก ๆ 10 นาที สำหรับข้อมูลสภาพอากาศ โดยการวิเคราะห์ข้อมูล และการทำคุณภาพข้อมูล จะใช้ EddyPro และโปรแกรม TOVI (มีตัวอย่างข้อมูลการคัดกรองคุณภาพข้อมูล การทำ Gap filling ผล Fingerprints ผล Flux footprint analysis)

3) Sap flow การวางแผนการวิจัยและการดำเนินการวิจัย ติดตั้งเซนเซอร์กระจายความร้อน และเซนเซอร์อุณหภูมิ ข้อมูลความแตกต่างของอุณหภูมิที่ได้ความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของการไหลของน้ำ (มีตัวอย่างข้อมูล Daily pattern กับปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ เดือนมกราคม พ.ศ.2562 ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2563)

4) Root scan การวางแผนการวิจัยและการดำเนินการวิจัย ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจติดตามการเจริญเติบโตและการตายของราก โดยใช้ root window และตรวจวัดมวลชีวภาพของรากฝอย และความยาว โดยใช้ soil core โดยในพื้นที่ป่าเต็งรังจังหวัดราชบุรีมีการติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ส่วนในป่าเต็งรังจังหวัดพะเยากำลังดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์และจะสามารถตรวจวัดได้ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2563

วาระที่ 4 เรื่องที่อภิปรายร่วมกันในที่ประชุม

- Data sharing

1) Digital camera อันดับแรกต้องยืนยันวิธีการตรวจวัดและพารามิเตอร์ การคำนวณผลที่ตรงกันทั้งของประเทศไทยและจีน (ต้องส่งรายละเอียดการประเมิน RGB และวิธีการตรวจวัด)

2) Flux data ยืนยันวิธีและรายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณ เครื่องมือวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ตรงกัน หากมีการใช้เทคนิคที่ไม่ตรงกัน ควรทำการเปรียบเทียบ (เลือกข้อมูลปี พ.ศ.2559 หรือ พ.ศ.2562 จากประเทศไทย และประเทศจีน วิเคราะห์ตามเทคนิคของที่แต่ละประเทศใช้ และทำการเปรียบเทียบข้อมูลดิบและผลลัพธ์ที่ได้)

3) Root scan ส่งรายละเอียดวิธีการตรวจติดตามการเจริญเติบโตและการตายของราก โดยใช้ root window และตรวจวัดมวลชีวภาพของรากฝอย และความยาว โดยใช้ soil core ให้ทางประเทศจีน เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการ (ให้ตรงกันทั้งสองประเทศ)

- การเปรียบเทียบ (หรือเปรียบเทียบ) ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล

1) วิธีการปรับเทียบกล้องโทรศัพท์มือถือจากทั้งสองพื้นที่ให้มีความคล้ายคลึงกัน

2) จะใช้ color chart ในการปรับเทียบ

- ผลกระทบของระยะทาง หรือมุม (ไม่มีความแตกต่างกัน)

- การเลือกใช้ภาพถ่าย จะทำการวิเคราะห์ Solar radiation (light curve จากช่วงเช้าถึงเย็น) จากนั้นจึงเลือกภาพถ่ายที่ light condition เหมือนกันทุกพื้นที่ศึกษา และเลือกช่วงเวลาที่จะทำการเปรียบเทียบภาพถ่าย

- Other issues

1) ต้องวางแผนการดำเนินงานวิจัย ข้อมูลอะไรบ้างที่เราต้องแชร์กัน manuscript อะไรบ้างที่ต้องเปรียบเทียบ มีข้อมูล 1 ปีก่อนที่สามารถวิเคราะห์ และตีพิมพ์ได้

2) คณะที่วิจัยไทยให้จัดข้อมูลต่าง ๆ ให้เป็นระบบเพื่อให้ง่ายต่อการแชร์

3) ลิสต์ข้อมูลที่คณะที่วิจัยไทยต้องการมีอะไรบ้าง สำหรับ flux data หรือข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น

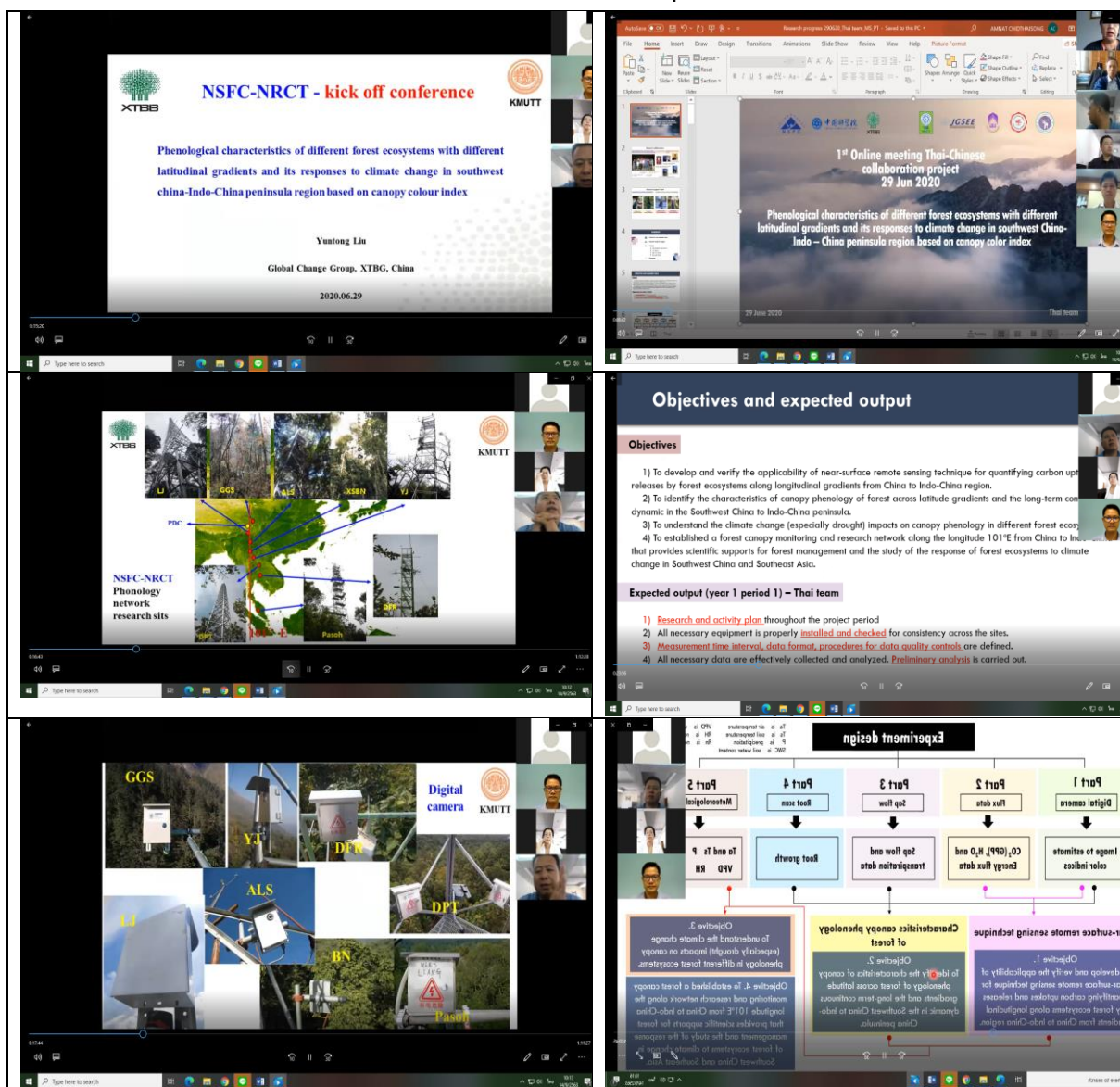
4) สรุป methodology สำหรับรากฝอย Soil core (ทั้งภาพ และวิดีโอ)

วาระที่ 5 เรื่องที่เสนอให้ที่ประชุมพิจารณา

1. จะมีการประชุมกับคณะผู้วิจัยของประเทศจีนทุก ๆ เดือน ผ่านทาง Zoom และติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกันผ่านทาง E-mail (เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19)
2. การประชุมครั้งต่อไปปลายเดือนกรกฎาคม โดยอาจารย์ ดร.มนตรี แสนวังสีเป็นผู้ประสานงานเรื่องวันและเวลาการประชุม

เลิกประชุมเวลา 15.30 น.

ภาพประกอบการประชุม



Research missions

- To identify the characteristics of canopy phenology with different cross-latitude gradients and the long-term continuous dynamic in the Southwest China- Indo- China peninsula were obtained from the colour index, which extracted from digital camera images
- Analyse the relationship between the colour index and GPP, WUE and sap flow, study the effect of phenology on the GPP, WUE and sap flow of different forest ecosystems
- To analyze climate change (especially drought) and its impact on canopy phenology in different forest ecosystems

Fig. 1. Color index changes between two seasons and dry season

Root Instrument Setup at Ratchaburi site

a. Before

a. After

รายงานการประชุม Online meeting Thai-Chinese collaboration project ครั้งที่ 2
วันที่ 22 ธันวาคม 2563 เวลา 13.30 น. เป็นต้นไป
ผ่านการประชุมออนไลน์ Zoom Application

ผู้เข้าร่วมประชุม

คณะผู้วิจัยของประเทศไทย

- | | |
|--|---|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.สิรินทรเทพ เต๋อประยูร | หัวหน้าโครงการ (Principal Investigator) |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ชิดไธสง | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ | นักวิจัยรุ่นใหม่ (Young Scientist) |
| 4. อาจารย์ ดร.มนตรี แสนวังสี | นักวิจัยรุ่นใหม่ (Young Scientist) |
| 5. อาจารย์ พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์ | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 6. นายพัลลภ อินทะนิล | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 7. นางสาวเพ็ญฤดี คำสอน | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 8. นางสาววิจิตานันท์ ธรรมดิษฐ์ | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 9. นางสาวมัชฌิมา คำแก้ว | ผู้ช่วยนักวิจัย |

คณะผู้วิจัยของประเทศจีน

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. Associate Prof. Dr.Yuntong Liu | หัวหน้าโครงการ (Principal Investigator) |
| 2. Prof. Dr.Yiping Zhang | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |
| 3. Prof. Dr.Liqing Sha | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |
| 4. Associate Prof. Dr.Qinghai Song | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |
| 5. Associate Prof. Dr.Wenjun Zhou | ผู้ร่วมวิจัย (Co-Investigator) |

เริ่มประชุมเวลา 13.30 น.

วาระที่การประชุมที่ 1 ประธานแจ้งให้ทราบ (ทีมไทย)

ประธานที่ประชุม รองศาสตราจารย์ ดร.สิรินทรเทพ เต๋อประยูร แจ้งให้ผู้เข้าร่วมประชุมทราบเกี่ยวกับหัวข้อและรายละเอียดการประชุม

วาระที่การประชุมที่ 2 เรื่องที่เสนอให้ที่ประชุมทราบ

รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยของคณะผู้วิจัยของประเทศจีน โดย Associate Prof. Dr.Yuntong Liu

- Paper ที่ตีพิมพ์

- 1) กำลังตีพิมพ์ 2 papers ในวารสาร Journal of Environmental Informatics และ Forest Ecology and Management (สถานะ under view)

- 2) ตีพิมพ์แล้วเรื่อง Tree Surface Temperature in a Primary Tropical Rain Forest ในวารสาร Atmosphere

- 3) มีแผนที่จะตีพิมพ์ paper ทุก ๆ 4 เดือน ในปี 2564 หัวข้อความสัมพันธ์ระหว่าง ROI index และ GPP หรือ NEE ความสัมพันธ์ระหว่าง ROI index และ WUE และการศึกษาการตอบสนองที่แตกต่างกันของลักษณะทางชีวภาพป่าเขตร้อน และ GPP ต่อภัยแล้ง โดยใช้ภาพถ่ายขั้นเรือนยอด

- ข้อเสนอแนะ

- 1) แนะนำให้เพิ่มชื่อผู้เขียนและ Founding No. ลงใน paper ที่เกี่ยวข้อง

- 2) ควรจัดให้มีนักศึกษาหรือผู้ช่วยนักวิจัยที่จะมาแก้ไขปัญหาการแชร์ข้อมูล และการบำรุงรักษาเครื่องมือ เป็นต้น

- 3) แนะนำให้ทางทีมไทยตรวจวัด Soil Respiration, DBH ของต้นไม้ และ Litterfall

- การแชร์ข้อมูล ทีมไทยและจีนสามารถแชร์ข้อมูลผ่านทาง Nutstore App ซึ่งเก็บข้อมูลได้ 96GB และ login ตาม ID และ Password ของทางจีน

- Annual work plan

- 1) อภิปรายเกี่ยวกับปัญหาของการแชร์ข้อมูลภาพถ่าย และการซ่อมบำรุงกล้องถ่ายภาพทุก ๆ เดือน

- 2) อภิปรายเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลและการเขียน paper ทุก ๆ 3 เดือน

- 3) สรุปผลการทำงานทุก ๆ 6 เดือน

วาระที่การประชุมที่ 3 เรื่องที่เสนอให้ที่ประชุมทราบ (ต่อ)

รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยของคณะผู้วิจัยของประเทศจีน โดย Dr. Sai Tay Zar Myo

- กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย อุปกรณ์และวิธีการทดลอง ผลการทดลอง อภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง ในพื้นที่ป่าฝนเขตร้อน

- โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยส่วนนี้คือ

- 1) เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงรายปีปัจจัยสิ่งแวดล้อม ลักษณะทางชีพลักษณ์ และ GPP โดยใช้ ภาพถ่ายดิจิทัล และการตรวจวัด flux

- 2) เพื่อประเมินผลกระทบของภัยแล้งต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีพลักษณ์และ GPP

- 3) เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่าง colour index, GPP และ Drought index

- ผลการทดลอง แบ่งเป็น รูปแบบรายปีของปัจจัยสิ่งแวดล้อม Rain use efficiency: RUE และ Drought index รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณ์ ความสัมพันธ์ระหว่าง colour index, GPP และ ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

- จากผลการทดลองสรุปผลได้ว่า
 - 1) มีความก้าวหน้าของใบและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางซีพลักษณ์ในป่าฝนหลังจาก 1 ปี
 - 2) การเปลี่ยนแปลงสีของต้นไม้เร็วและมีการเพิ่มระยะเวลาของ CVP
 - 3) ได้รับผลกระทบโดยตรงและทำให้ผลผลิตของป่าฝนลดลง และมีผลผลิตเพิ่มขึ้นหลังจากช่วงแล้ง
 - 4) โดยผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อลักษณะทางซีพลักษณ์ของป่าฝนและ Productivity สามารถประเมินโดยใช้การวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ colour index

วาระที่การประชุมที่ 4 เรื่องที่เสนอให้ที่ประชุมทราบ (ต่อ)

รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยของคณะผู้วิจัยของประเทศไทย โดยรองศาสตราจารย์ ดร. อำนาจ ชิดไธสง

- รายงานความก้าวหน้า มี 3 หัวข้อหลักแบ่งเป็น ผลการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลและวิธีการ ปัญหาและการแก้ไขปัญหา ในส่วนของ Digital camera, Flux data, Root scanning และ Sap flow, รายละเอียด ดังนี้

1) Digital camera

1.1) รายงานผลรูปแบบของ GEI และลักษณะทางซีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอด ตั้งแต่ปี 2019-ปัจจุบัน, การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางซีพลักษณ์ของชั้นเรือนยอดและ ROI ตามฤดูกาล ในป่าเต็งรัง DPT site และ DFR site, และนำเสนอวิธีการ Weather Filtering (WFI) ที่ใช้ในการเลือกภาพถ่ายดิจิทัลที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ GEI โดยเปรียบเทียบกับวิธีที่เลือกภาพโดยสายตาของผู้วิเคราะห์

2) Flux data มีการทำ QC และ Gap filling นำเสนอผล Net Ecosystem CO₂ Exchange (NEE) ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน โดยอยากให้มีการแชร์ข้อมูลและอภิปรายกันเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์จะได้มี standard ที่เหมือนกัน

3) Root Scanning ข้อมูลที่ราชบุรีมีความสมบูรณ์มากกว่าที่พะเยา โดย ณ ตอนนี้มีข้อมูลความยาวของรากฝอยที่ตรวจวัดโดยวิธี Root window โดยเปรียบเทียบกับวิธี Soil core (ราชบุรีมีข้อมูลเดือน

4) Sap flow รายงานผลการคายน้ำของพืชทั้งรูปแบบรายวัน รายรอบวัน และรายเดือนระหว่างเดือนสิงหาคม-ธันวาคม 2019 ในป่าเต็งรังจังหวัดราชบุรี และเดือนเมษายน-พฤศจิกายน 2020 และความสัมพันธ์ระหว่าง Sap flow กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในป่าเต็งรังจังหวัดพะเยา

5) และสรุปรายงานผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลจากพื้นที่ป่าเต็งรังจังหวัดพะเยาและจังหวัดราชบุรี

6) Publication Idea ควรเปรียบเทียบเทคนิคการคัดเลือกภาพระหว่างวิธีการและพื้นที่ที่เปรียบเทียบ Sap flow, GPP, NEE, และรากฝอยระหว่างพื้นที่ และวิเคราะห์แต่ละพื้นที่และความลึกที่แตกต่างกัน เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีความเป็น specific

7) ปัญหาและอุปสรรค: ปัญหาเกี่ยวกับโทรศัพท์ที่ใช้ถ่ายภาพชั้นเรือนยอด แอปพลิเคชันสำหรับจับภาพไม่เสถียร (เช่น ไรต์บาลานซ์เปลี่ยนเอง) ทำให้ข้อมูลหายไป รูปภาพถูกย้ายตำแหน่งหลังจากดาวโหลดข้อมูล จะสามารถแก้ปัญหาสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างไร แบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือเสียทำให้ไม่มีพลังงานและ USB ไม่ตอบสนอง อาจเนื่องจากเมืองไทยอุณหภูมิร้อนมาก (ทางจีนก็มีปัญหาเกี่ยวกับสภาพอากาศเหมือนกัน) แลปัญหาการแชร์ข้อมูลขนาดใหญ่

8) การแก้ไขปัญหา : ขอให้มีการเปลี่ยนรุ่นโทรศัพท์

9) ขึ้นต่อไป : จะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายดิจิทัลกับ GPP และปัจจัยสิ่งแวดล้อม

วาระที่การประชุมที่ 5 เรื่องที่อภิปรายและพิจารณาร่วมกันในที่ประชุม

- การแก้ไขปัญหเกี่ยวกับโทรศัพท์ ทางจีนจะทำการส่งโทรศัพท์เครื่องใหม่มาให้ทางไทยพร้อมแอปพลิเคชัน และอาจหาอุปกรณ์มาป้องกันความร้อนให้กับโทรศัพท์ด้วย
- การแก้ไขปัญหาการแชร์ข้อมูลขนาดใหญ่ โดยใช้ Nutstore App สามารถอัปโหลดข้อมูลได้ 96GB หากว่า store เต็มสามารถลบข้อมูลเก่าออกได้
- ทางประเทศไทยขอข้อมูลการตอบสนองของระบบนิเวศป่าไม้ต่อปรากฏการณ์เอลนีโญ โดยขอเป็นข้อมูล process data (Flux data, NEE และ GPP) ระหว่างปีนั้น จากประเทศจีน เพื่อเปรียบเทียบกับระบบนิเวศป่าไม้มีการตอบสนองอย่างไร (โดยต้องบอกไซต์, ปี และสเกลให้ทางจีน)
- ปัญหาการทำ Root Scanning ของทีมจีน ทางทีมจีนยังไม่ได้เริ่มติดตั้งอุปกรณ์สำหรับ Root Scanning จะพร้อมเริ่มติดตั้งอุปกรณ์ในปีหน้าเดือนมกราคมเป็นต้นไป
- ประชุมครั้งต่อไป วันที่ 29 มกราคม 2564 เพื่ออภิปรายเกี่ยวกับหัวข้อและการเขียน paper เพื่อตีพิมพ์ โดยทางทีมไทยอาจจะเตรียม issue หรือ draft ของ paper ไว้ด้วย
- ทางทีมจีนขอให้ทีมไทยช่วยหานักศึกษาปริญญาโทมาร่วมติดต่อและทำงานด้วยกัน

วาระที่การประชุมที่ 6 เรื่องที่อภิปรายและพิจารณาร่วมกันในที่ประชุม (เฉพาะทีมไทย)

- นัดประชุมที่ราชบุรีวันที่ 15 - 16 มกราคม 2564 ฝากทาง อ.ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ ทำตารางและวางแผนการประชุม การเดินทางและที่พัก
- เตรียมวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ให้เรียบร้อย เพื่อนำมาอภิปรายร่วมกันในวันประชุม
- คิด paper ที่จะเขียนเรื่องอะไร ประเด็นที่จะเขียนคืออะไร หากต้องการใช้ข้อมูลจากทางทีมจีนต้องรีบขอข้อมูล (และอาจจะต้องมี paper รวมเพื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ศึกษา และต้องที่ตีพิมพ์ paper ที่มี impact สูง ๆ)

ภาพประกอบการประชุม

NSFC-NRCT -2020 Annual conference

Phenological characteristics of different forest ecosystems with different latitudinal gradients and its responses to climate change in southwest china-Indo-China peninsula region based on canopy colour index

Yuntong Liu
Global Change Group, XTBG, China
2020.12.22

2021 papers plan

- Relationship between the ROI index and GPP or NEE in China and Thailand, respectively.(Jan.-Apr.)
- Relationship between the ROI index and WUE in China and Thailand, respectively.(May.-Aug.)
- The different response of tropical forest phenology characteristics and GPP to drought by using forest canopy images Phenology in China and Thailand.(at least two years data, Sep.-Dec.)

Suggestions

- Add China and Thailand authors and founding No. in ecology phenology related papers (the National Natural Science Foundation of China and Thailand Research Fund (NSFC-TRF – 41961144017), How about Thailand?)
- Arrange specific student or assistant to solve the problems of data share, Instrument maintenance, and so on. (Bai he, a master student, China. How about Thailand? PunlopIntan?)
- Suggest Thailand could measure the soil respiration, DBH of a tree and litterfall.

Three versions

- NustoreWindowW Pffinstaller.exe For Windows 10, English or Chinese language
- nustore.android_4.22.4_136.apk For cell phone, English or Chinese language
- Also you can login by : <https://www.jianguoyun.com/>

Login info:
ID: liyuntong@xtbg.ac.cn
Password: liuyt@2014

Annual Work Plan

- Discuss the Problem of image data sharing, camera maintenance, Every month by wechat or zoom(two or more people)
- Discuss the data analysis and paper writing, and so on by wechat(two people) or zoom every three month(more than 2 people).
- Summary work by zoom meeting every 6 month (two side team)

中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

THE SECOND SINO-THAI MEETING

“Investigating the response of rainforest phenology and productivity to drought by using forest canopy images”

利用冠层影像研究热带雨林物候和生产力对干旱的响应

Presented By
Sai Tay Zar Myo
Ph.D (Candidate)
Global Change Research Group
December 22nd, 2020.

Objectives

- to examine the annual variations of climatic factors, phenology and the GPP based on digital camera images and flux observations;
利用数码相机影像和通量观测数据, 研究气候因子、物候和GPP的年度变化;
- to assess the effects of drought on the phenology variations and the GPP;
评估干旱对物候变化和GPP的影响
- to examine the relationships between colour indices, the GPP and the drought index.
研究颜色指数、GPP和干旱指数之间的关系。

Results

➤ The annual pattern of climatic factors, RUE and the drought index
气候因子、RUE和干旱指数的年度分布格局

Fig. Annual variations in total precipitation (Total P), average air temperature (Avg Ta) and potential evapotranspiration (PET), standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) and rain use efficiency (RUE). Vertical dashed lines indicate the drought period determined from the SPEI.

2nd Online meeting Thai-Chinese collaboration project
22 December 2020

Phenological characteristics of different forest ecosystems with different latitudinal gradients and its responses to climate change in southwest China- Indo - China peninsula region based on canopy color index

Zoom Meeting ID: 898 2274 4335
 Passcode: 035318
 22 December 2020

Results

The pattern of phenological variations 物候的变化

Fig. The pattern of leaf colour variation period (CVP) (the time interval between the fractions of red and green colour index diverged in the spring and converged in the fall each year), as indicated in the figure with grey rectangles, green excess index (GEI) and productivity (GPP).

Seasonal canopy phenology and region of interest (ROI)

Pre-defoliation, Defoliation, Leaf expansion, Growing season

Daily pattern of sap flux density in DPT site (Apr-Nov 2020)

Monthly pattern of sap flux density in DPT site (Apr-Nov 2020)

Conclusion

- The advancement in leaf emergence and the change in the pattern of the rainforest phenology variation in later years.
 经历干旱后叶片萌发提前，热带雨林物候模式产生变化。
- The earlier leaf colour variations and increased the duration of CVP.
 叶片颜色变化越早，CVP持续时间越长
- Directly affected and reduced the productivity of the rainforest and advanced in high productivity after the drought periods.
 直接影响和降低了热带雨林的的生产力，并在干旱时期后提高了生产力。
- The effect of climate changes on the rainforest's canopy phenology and productivity can be assessed by analysing the variations of pattern of colour indices.
 气候变化对热带雨林的冠层物候和生产力影响可以通过分析颜色指数的变化来评估。

Summary of data collection and analysis at DPT and DFR site

Data collection	2019												2020												Collection time	Number of data	% of data available
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
DPT site (Phayao)																											
1.1 Digital camera	[Yellow bars]																								1-2 time per week	Aug 2019 - present	90%
1.2 Flux data	[Yellow bars]																								Everyday	2013 - present	50%
1.3 Root scanning	[Grey bars]																										
1.3.1 Root window	[Yellow bars]																								twice per month	Jul 2020 - present	30%
1.3.2 Soil core	[Grey bars]																										0%
1.4 Sap Flow	[Yellow bars]																								1 time per week	Jan 2019 - present	90%
1.5 Climate	[Yellow bars]																								Everyday	2013 - present	100%
DFR site (Ratchaburi)																											
2.1 Digital camera	[Yellow bars]																								twice per month	7 days per month	No anal
2.2 Flux data	[Yellow bars]																								Everyday	2008 - present	No anal
2.3 Root scanning	[Grey bars]																										
2.3.1 Root window	[Yellow bars]																								a time per month	everymonth	20%
2.3.2 Soil core	[Grey bars]																										30%
2.4 Sap Flow	[Yellow bars]																								15 days/month		30%
2.5 Climate	[Yellow bars]																								Everyday		30%