

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

## การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคนิคการปลูกฟื้นฟูป่าเบญจพรรณในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

Integration of Geographic Information Systems and Forest Restoration Techniques in Mixed Deciduous Forests of Northern Thailand

กาวิน อินตะสุนทร<sup>1</sup> วิชญ์ภาส สังพาลี<sup>1\*</sup> สุธีระ เหมฮัก<sup>1</sup> ธีรานนท์ ปาสุธรรม<sup>1</sup> และจัทธามาต อัจฉนาเสียว<sup>1</sup>

Kawin Intasurin<sup>1</sup> Witchaphart Sungpalee<sup>1\*</sup> Sutteera Hermhuk<sup>1</sup>

Theeranon Pasutham<sup>1</sup> and Chuthamat Atnaseo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

<sup>1</sup> Program in Agricultural, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai 50290

\* Corresponding author: sci.ocu@gmail.com

### Abstract

This study aimed to evaluate forest restoration techniques in mixed deciduous forest areas of northern Thailand by integrating geospatial technology to assess site moisture conditions and to compare the effects of different planting techniques on seedling growth and biomass. The study was conducted in the Sob Kok National Reserved Forest, Chiang Rai Province. Five tree species, namely *Azelia xylocarpa*, *Albizia lebbeck*, *Cassia fistula*, *Pterocarpus macrocarpus*, and *Xylia xylocarpa* were planted under four treatments: control, mulching, polymer, and mixed. The analysis of the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) combined with elevation revealed that the study area had low to moderate moisture conditions, with an average NDMI value of 0.16483, indicating moisture limitations within the area. Most areas exhibited moderate moisture levels, particularly at elevations between 400–900 meters, while slightly higher moisture levels were observed above 600 m elevation. The developed biomass equation showed high predictive accuracy with an  $R^2$  value of 0.9066. Seedling survival rates were generally high, exceeding 80%, particularly for *Azelia xylocarpa*, *Albizia lebbeck*, and *Cassia fistula*, whereas *Pterocarpus macrocarpus* showed the lowest survival rate. Statistical analysis indicated no significant differences among treatments ( $p > 0.05$ ). Relative growth rate (RGR) differed among species but was not statistically significant. These findings suggest that tree species characteristics and environmental factors, especially moisture conditions, had greater influence on seedling survival and growth than planting techniques during the early establishment stage. Therefore, selecting suitable tree species together with site analysis using geoinformatics technology is an important approach for improving forest restoration efficiency.

**Keywords:** Mixed deciduous forest, Forest restoration, Remote sensing

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้ดำเนินการในเขตพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าสบกกฝั่งขวา บ้านป่าคาใต้ หมู่ที่ 8 ตำบลแม่เงิน อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินเทคนิคการปลูกฟื้นฟูป่าเบญจพรรณในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์ความชื้นของพื้นที่ และเปรียบเทียบผลของเทคนิคการปลูกต่อการเจริญเติบโต และมวลชีวภาพของกล้าไม้โดยใช้กล้าไม้ 5 ชนิด ได้แก่ มะค่าโมง พญาศรีราชพฤกษ์ ประดู่ และแดง ภายใต้ 4 กรรมวิธี คือ control, mulching, polymer และ mixed ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความชื้นของพืชพรรณร่วมกับระดับความสูงพบว่า พื้นที่ศึกษามีความชื้นอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ค่าเฉลี่ย 0.16483 สะท้อนถึงข้อจำกัดด้านความชื้นของพื้นที่และพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีความชื้นระดับปานกลาง โดยเฉพาะช่วงความสูง 400–900 เมตร และพบแนวโน้มความชื้นสูงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในพื้นที่สูงมากกว่า 600 เมตร สมการมวลชีวภาพของกล้าไม้ที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำสูง  $R^2$  สูงถึง 0.9066 ด้านอัตราการรอดตาย พบว่ากล้าไม้ส่วนใหญ่มีอัตราการรอดตายสูงมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะมะค่าโมง พญาศรี และราชพฤกษ์ ขณะที่ประดู่มีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้ การทดสอบทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทรีทเมนต์ ( $p > 0.05$ ) และอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) มีความแตกต่างกันระหว่างชนิดไม้ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ซึ่งให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ไม้และสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะความชื้น มีอิทธิพลต่อการรอดตายและการเจริญเติบโตมากกว่าความแตกต่างของเทคนิคการปลูกในระยะเริ่มต้น ดังนั้นการเลือกชนิดไม้ที่เหมาะสมร่วมกับการวิเคราะห์สภาพพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศจึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการฟื้นฟูป่า

**คำสำคัญ:** ป่าเบญจพรรณ, เทคนิคการปลูกฟื้นฟู, เทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

## คำนำ

ทรัพยากรป่าไม้เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบนิเวศโลกที่มีบทบาททั้งในด้านการรักษาสมดุลของสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ และการให้บริการทางระบบนิเวศ เช่น การกักเก็บคาร์บอน และการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน อย่างไรก็ตาม ในช่วงปีที่ผ่านมา พื้นที่ป่าไม้ทั้งทั่วโลกและประเทศไทยมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การขยายพื้นที่เกษตรกรรม และการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่เข้มข้นเกินไป (Charuphat, 1998; FAO, 2020) ส่งผลให้โครงสร้าง องค์ประกอบ และหน้าที่ของระบบนิเวศป่าไม้เกิดความเสื่อมโทรมลง (Vásquez-Grandón et al., 2018) การลดลงของทรัพยากรป่าไม้ดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากป่าไม้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญและการสูญเสียพื้นที่ป่าจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ (Brown, 2002; IPCC, 2006) ส่งผลให้หลายประเทศทั่วโลกได้ตระหนักและให้ความสำคัญกับการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกควบคู่กับการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับคาร์บอน โดยเฉพาะการฟื้นฟูและการปลูกป่า ภายใต้กรอบความร่วมมือของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) ประเทศไทยได้กำหนดเป้าหมายในการบรรลุความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี พ.ศ. 2593 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ภายในปี พ.ศ. 2608 ซึ่งส่งผลให้เกิดการดำเนินโครงการปลูกและฟื้นฟูป่าในหลายพื้นที่เพื่อเพิ่มแหล่งกักเก็บคาร์บอน อย่างไรก็ตาม พื้นที่เป้าหมายของการฟื้นฟูส่วนใหญ่มักเป็นพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างป่าที่ไม่สมบูรณ์ ความหลากหลายของชนิดพรรณไม้ลดลง และมีความสามารถในการฟื้นตัวตามธรรมชาติต่ำ (Larpkern et al., 2017) โดยเฉพาะในระบบนิเวศป่าเบญจพรรณในภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งมักถูกระทบจากไฟป่า การบุกรุกพื้นที่ และการครอบครองของพืชเบิกนำ เช่น ไม้

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

ที่สามารถแข่งขันกับกล้าไม้พื้นถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ketpranit et al., 1991) ความสำเร็จของการฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะความเหมาะสมของชนิดพันธุ์ไม้และสภาพแวดล้อมของพื้นที่ เช่น ความชื้น แสง และธาตุอาหาร ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการรอดตายและการเจริญเติบโตของกล้าไม้ในระยะเริ่มต้น (Asanok et al., 2021) ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการสำรวจระยะไกล (remote sensing) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการประเมินสภาพพื้นที่สำหรับการฟื้นฟูป่า หนึ่งในนั้นคือการใช้ดัชนีความชื้นของพืชพรรณ (Normalized Difference Moisture Index: NDMI) ซึ่งสามารถสะท้อนระดับความชื้นของพืชพรรณและดินในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยในการระบุพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านความชื้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จของการฟื้นฟูป่า

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการปลูกฟื้นฟูป่าเบญจพรรณ โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลจากเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์ความชื้นของพื้นที่ และเปรียบเทียบผลของเทคนิคการปลูกต่อการรอดตายและการเจริญเติบโตของกล้าไม้ ซึ่งผลการศึกษาคาดว่าจะช่วยสนับสนุนการวางแผนฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรมให้มีประสิทธิภาพ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ป่าเบญจพรรณ ในเขตพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าสบกกฝั่งขวา บ้านป่าควาใต้ หมู่ที่ 8 ตำบลแม่เงิน อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย พื้นที่ขนาด 4519.25 ไร่ สภาพทางกายภาพส่วนใหญ่เป็นภูเขา สภาพป่าโดยทั่วไปเป็นป่าเบญจพรรณ สภาพพื้นที่โดยทั่วไปของแปลงศึกษา เป็นเนินลาดชันมีพื้นที่ที่มีไม้ปกคลุมเรือนยอด มีความลาดชันอยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ โดยแปลงศึกษาตั้งอยู่ที่พิกัด 2248525.481 N, 631897.85E

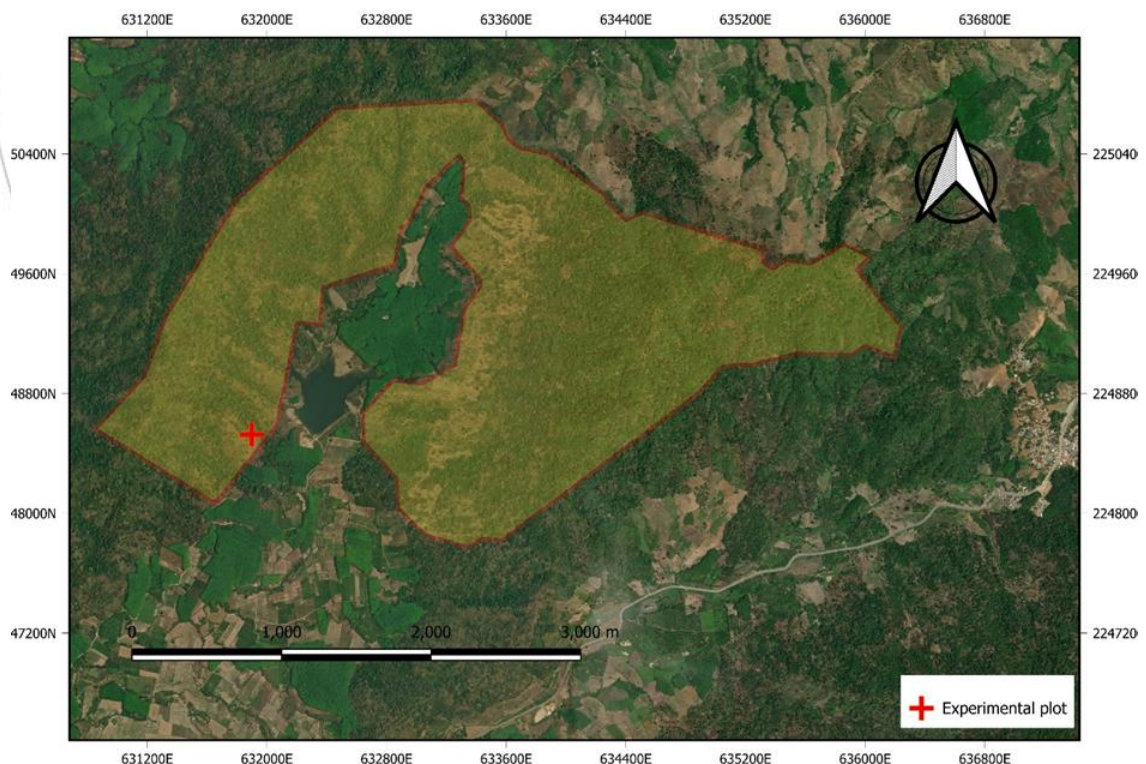


Figure 1 Study area and locations of sample plots in mixed deciduous forest at Ban Pa Kha Tai, Mae Nguen Sub-district, Chiang Saen District, Chiang Rai Province

## บทความวิจัยสหกิจศึกษา

### 2. การเก็บข้อมูลภาคสนาม

2.1 การศึกษาภายใต้โครงการปลูกป่าลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานประเทศไทย คัดเลือกพื้นที่ศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ทำการวางแผนทดลองขนาด  $30 \times 30$  เมตร โดยมีระยะปลูก  $2 \times 2$  เมตร ทำการคัดเลือกกล้าไม้ 5 ชนิดทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ทริทเมนต์ ปลูกตามแนวเส้น contour ติดแผ่นป้ายหมายเลขประจำกล้าไม้ การศึกษาเทคนิคการปลูกฟื้นฟูเพื่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ เก็บข้อมูล 2 ครั้งในเดือน สิงหาคม และธันวาคม ในพื้นที่แปลงศึกษา โดยเก็บข้อมูลของขนาดความโตที่คอรากและความสูงของกล้าไม้ เพื่อดูอัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้ในแต่ละเทคนิคการปลูก

2.2 ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยวิเคราะห์ค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้น (Normalized Difference Moisture Index: NDMI) ภายในแปลงศึกษาโดย แบ่งระดับความชื้นออกเป็น 5 ระดับ ตามวิธีการของ Gao (1996) เพื่อศึกษาหาพื้นที่ที่มีปัญหาด้านความชื้น และวิเคราะห์ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) เพื่อแบ่งชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษาออกเป็น 10 ระดับ ตามวิธีการของ Burrough and McDonnell (1998) จากนั้นนำมาวิเคราะห์พื้นที่ของแต่ละระดับความสูงและคำนวณเป็นร้อยละของพื้นที่ทั้งหมด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Quantum GIS เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสภาพพื้นที่ตามระดับความสูง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงกับค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้น (NDMI) ภายในพื้นที่ศึกษา ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 L2A โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Quantum GIS จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีผลต่างของความชื้นในพื้นที่จากการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมย้อนหลังในช่วงเดือน ธันวาคม พ.ศ.2566 จนถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2567

2.3 พัฒนาศมการประมาณค่ามวลชีวภาพกล้าไม้ ทำการจัดชั้นขนาดความโตที่คอรากของกล้าไม้แต่ละชนิดแล้ว นำตัวอย่างชั้นขนาดละ 1 ต้น เป็นตัวแทนในการพัฒนาศมการแอลโลเมตรี แล้วนำไม้ตัวอย่างที่คัดเลือกไว้ให้เป็นส่วนๆ และแยกส่วนของลำต้น ใบ และราก จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างที่สุ่มเก็บไปอบในตูอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักแห้งคงที่เพื่อนำพัฒนาศมการเพื่อประมาณมวลชีวภาพ

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 วิเคราะห์ปริมาณผลิตผลมวลชีวภาพของกล้าไม้ เป็นผลรวมของน้ำหนักแห้งแต่ละส่วนเป็นผลรวมของมวลชีวภาพของกล้าไม้ทุกชนิด

$$Wt = Ws + Wl + Wr$$

Wt= มวลชีวภาพรวมของกล้าไม้ (total dry biomass) (g)

Ws= น้ำหนักแห้งของลำต้น (stem dry weight) (g)

Wl= น้ำหนักแห้งของใบ (leaf dry weight) (g)

Wr= น้ำหนักแห้งของราก (root dry weight) (g)

โดยใช้สมการแอลโลเมตรี (allometric equation) จากสูตรสมการชีวมวลถูกพัฒนาในรูปแบบสมการกำลังตั้งสมการ

$$y = ax^b$$

โดย

y คือ มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

## บทความวิจัยสหกิจศึกษา

b คือ ค่าชี้กำลัง

a คือ ค่าคงที่

X คือ Parabolic volume ในรูป D2 คือ ขนาดเส้นความโตที่ระดับคอรากยกกำลังสอง

3.2 วิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate :RGR) จากสมการของ Kira and Shidei (1956)

3.3 วิเคราะห์หาดัชนีผลต่างความชื้นของน้ำ สามารถวิเคราะห์ได้จากค่าความการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Near-

Infrared และ Shortwave Infrared  $NDMI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$

NDMI คือ ค่าผลต่างความชื้นของน้ำ

NIR คือ ช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด

SWIR1 คือ อินฟราเรดคลื่นสั้น

3.4 การวิเคราะห์อัตราการรอดตายของกล้าไม้ตั้งสมการ

$$\text{Survival rate (\%)} = \frac{\text{จำนวนต้นที่รอดชีวิต}}{\text{จำนวนต้นที่ปลูกทั้งหมด}} \times 100$$

## 4. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

4.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของกล้าไม้ ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายแบบ log-log power regression จากข้อมูลมวลชีวภาพที่ศึกษา

4.2 วิเคราะห์ผลของเทคนิคการปลูกต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR) ของกล้าไม้ ด้วยวิธี Kruskal-Wallis test

## ผลการวิจัยและวิจารณ์

### 1. ความชื้นพื้นผิว

พื้นที่การวิเคราะห์ค่าดัชนีความชื้นของพืชพรรณ (Normalized Difference Moisture Index: NDMI) ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินระดับความชื้นของพื้นที่ศึกษา โดยคำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมภายในแปลงศึกษา ในช่วงระยะเวลา 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่าค่า NDMI มีค่าตั้งแต่ 0.007117 ถึง 0.366347 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16483 ซึ่งสะท้อนว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีความชื้นอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ยืนยันว่าพื้นที่ศึกษามีข้อจำกัดด้านความชื้นค่อนข้างชัดเจน โดยค่าความชื้นต่ำสุดพบในช่วงฤดูแล้ง ขณะที่บางตำแหน่งมีค่า NDMI ต่ำ การกระจายตัวของค่า NDMI ที่มีความแปรปรวนสูงสะท้อนถึงความไม่สม่ำเสมอของความชื้นในพื้นที่ ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Gao (1996) ที่ระบุว่าค่า NDMI มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำในพืชพรรณและดิน และสามารถใช้อธิบายความแปรปรวนของความชื้นเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับ Campanello et al. (2007) ที่รายงานว่าความแตกต่างของสภาพความชื้นในระดับพื้นที่ย่อมมีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืชอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ค่าเฉลี่ย NDMI ที่อยู่ในระดับต่ำจึงบ่งชี้ว่าความชื้นเป็นปัจจัยจำกัดหลักของพื้นที่ศึกษา ซึ่งทำให้พื้นที่ดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการศึกษาด้านเทคนิคการฟื้นฟูป่าในสภาพแวดล้อมที่มีปัญหาทางด้านความชื้นต่ำ (Table 1)

**Table 1** Normalized Difference Moisture Index values for the period from December 2023 to May 2024.

Month –Year	NDMI Min	NDMI Max	NDMI Mean
December 2023	0.099492	0.366347	0.259017
January 2024	0.184148	0.300684	0.24727
February 2024	0.099501	0.275151	0.207882
March 2024	0.017191	0.172951	0.128022
April 2024	0.012198	0.11004	0.072543
May 2024	0.007117	0.14273	0.074287

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้น (NDMI) ร่วมกับระดับความสูงของพื้นที่ พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับความชื้นปานกลาง โดยพบว่าในช่วงระดับความสูง 400 – 900 เมตร ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่มากที่สุดของพื้นที่ศึกษา ขณะที่ค่าความชื้นระดับสูงพบกระจายอยู่ในทุกระดับความสูงแต่มีสัดส่วนค่อนข้างต่ำ และไม่พบพื้นที่ที่มีความชื้นสูงมาก อย่างชัดเจน สะท้อนให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษาโดยรวมมีสภาพความชื้นอยู่ในระดับปานกลางต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่าในบางช่วงระดับความสูง โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่สูงมากกว่า 600 เมตร มีแนวโน้มปรากฏค่าความชื้นระดับสูงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Table 2) การเปลี่ยนแปลงของค่า NDMI ในแต่ละเดือนมีความแตกต่างไม่มากนัก แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษายังคงมีเสถียรภาพด้านความชื้นของพืชพรรณในช่วงฤดูศึกษาดังกล่าว

**Table 2** NDMI Area Percentage by Elevation Class

Year-month	Elevation class (m)	Area proportion of NDMI classes (%)					Total area (rai)	Proportion of study area (%)
		Very Low	Low	Moderate	High	Very High		
2023-12	300 - 400	0.0	0.0	98.2	1.8	0.0	52.1	1.15
	400 - 500	0.0	0.02	97.17	2.81	0.0	1401.56	31.01
	500 - 600	0.0	0.02	94.7	5.29	0.0	1237.69	27.39
	600 - 700	0.0	0.0	92.13	7.87	0.0	676.52	14.97
	700 - 800	0.0	0.0	95.23	4.77	0.0	601.02	13.30
	800 - 900	0.0	0.03	96.82	3.16	0.0	485.05	10.73
	900 - 1000	0.0	0.0	99.86	0.14	0.0	65.3	1.44
2024-1	300 - 400	0.0	0.22	99.09	0.69	0.0	52.1	1.15
	400 - 500	0.0	0.26	97.42	2.32	0.0	1401.56	31.01
	500 - 600	0.0	0.13	95.4	4.47	0.0	1237.69	27.39
	600 - 700	0.0	0.02	92.74	7.24	0.0	676.52	14.97

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

700 - 800	0.0	0.01	96.06	3.93	0.0	601.02	13.30
800 - 900	0.0	0.0	98.22	1.78	0.0	485.05	10.73

Table 2 (Continued)

Year-month	Elevation class (m)	Area proportion of NDMI classes (%)					Total area (rai)	Proportion of study area (%)
		Very Low	Low	Moderate	High	Very High		
2024-1	900 - 1000	0.0	0.0	99.71	0.29	0.0	65.3	1.44
2024-2	300 - 400	0.0	0.59	98.97	0.45	0.0	52.1	1.15
	400 - 500	0.0	0.77	97.74	1.49	0.0	1401.56	31.01
	500 - 600	0.0	0.3	97.2	2.5	0.0	1237.69	27.39
	600 - 700	0.0	0.07	95.57	4.35	0.0	676.52	14.97
	700 - 800	0.0	0.03	96.18	3.79	0.0	601.02	13.30
	800 - 900	0.0	0.01	97.21	2.77	0.0	485.05	10.73
2024-3	900 - 1000	0.0	0.1	98.78	1.12	0.0	65.3	1.44
	300 - 400	0.0	4.24	95.71	0.04	0.0	52.1	1.15
	400 - 500	0.0	8.44	91.46	0.09	0.0	1401.56	31.01
	500 - 600	0.0	6.01	93.91	0.08	0.0	1237.69	27.39
	600 - 700	0.0	2.41	97.37	0.22	0.0	676.52	14.97
	700 - 800	0.0	3.83	96.01	0.16	0.0	601.02	13.30
2024-4	800 - 900	0.0	2.04	97.71	0.25	0.0	485.05	10.73
	900 - 1000	0.0	0.87	99.04	0.09	0.0	65.3	1.44
	300 - 400	0.0	14.72	85.28	0.0	0.0	52.1	1.15
	400 - 500	0.0	24.07	75.93	0.0	0.0	1401.56	31.01
	500 - 600	0.0	35.51	64.48	0.01	0.0	1237.69	27.39
	600 - 700	0.0	16.73	83.26	0.01	0.0	676.52	14.97
2024-5	700 - 800	0.0	10.86	89.11	0.03	0.0	601.02	13.30
	800 - 900	0.0	7.27	92.64	0.09	0.0	485.05	10.73
	900 - 1000	0.0	1.57	98.43	0.0	0.0	65.3	1.44
	300 - 400	0.0	6.14	93.86	0.0	0.0	52.1	1.15
2024-5	400 - 500	0.0	14.58	85.42	0.0	0.0	1401.56	31.01
	500 - 600	0.0	20.36	79.64	0.0	0.0	1237.69	27.39

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

600 - 700	0.0	7.08	92.92	0.0	0.0	676.52	14.97
700 - 800	0.0	2.5	97.5	0.0	0.0	601.02	13.30
800 - 900	0.0	1.8	98.2	0.0	0.0	485.05	10.73
900 - 1000	0.0	0.31	99.69	0.0	0.0	65.3	1.44

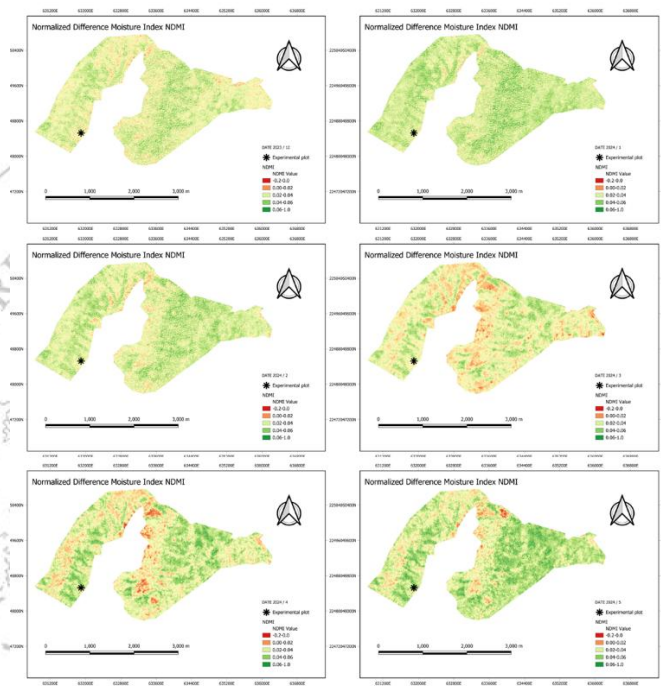


Figure 2 Spatial distribution of Normalized Difference Moisture Index (NDMI) values for each month.

2. เทคนิคการปลูกฟื้นฟู

ผลจากการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกเพื่อประมาณมวลชีวภาพของกล้าไม้ พบว่าสมการที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) อยู่ในระดับสูง โดยมีค่าสูงถึง 0.9066 (Table 3) สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความโตของกล้าไม้กับมวลชีวภาพรวม เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ (Figure 3) พบว่ามวลชีวภาพเพิ่มขึ้นตามขนาดของกล้าไม้ในลักษณะเป็นเชิงเส้น โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบสมการกำลังที่นิยมใช้ในการศึกษามวลชีวภาพของพืช ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Chave et al. (2014) และ Ogawa et al. (1965) ที่รายงานว่าสมการแอลโลเมตริกในรูปแบบกำลังสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดต้นไม้กับมวลชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Porkar et al. (2011) ยังชี้ให้เห็นว่าการใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียว เช่น ขนาดลำต้น อาจมีข้อจำกัดในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างชนิดพันธุ์หรือสภาพแวดล้อม ดังนั้น แม้สมการที่พัฒนาจะมีความเหมาะสมในระดับพื้นที่ศึกษา แต่การนำไปใช้ในบริบทที่แตกต่างควรพิจารณาปัจจัยร่วมอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการประมาณมวลชีวภาพ

Table 3 Allometric equations for estimating the biomass of 5 seedling species

Species	Allometric equation	Coefficient of determination ( $R^2$ )

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

*Azalia xylocarpa* (Kurz) Craib.

*Albizia lebbeck* (L.) Benth

*Cassia fistula* L

$$Wt = 0.2855 \times (D^2)^{0.9224}$$

$$R^2 = 0.9066$$

*Pterocarpus macrocarpus* Kurz.

*Xylia xylocarpa*

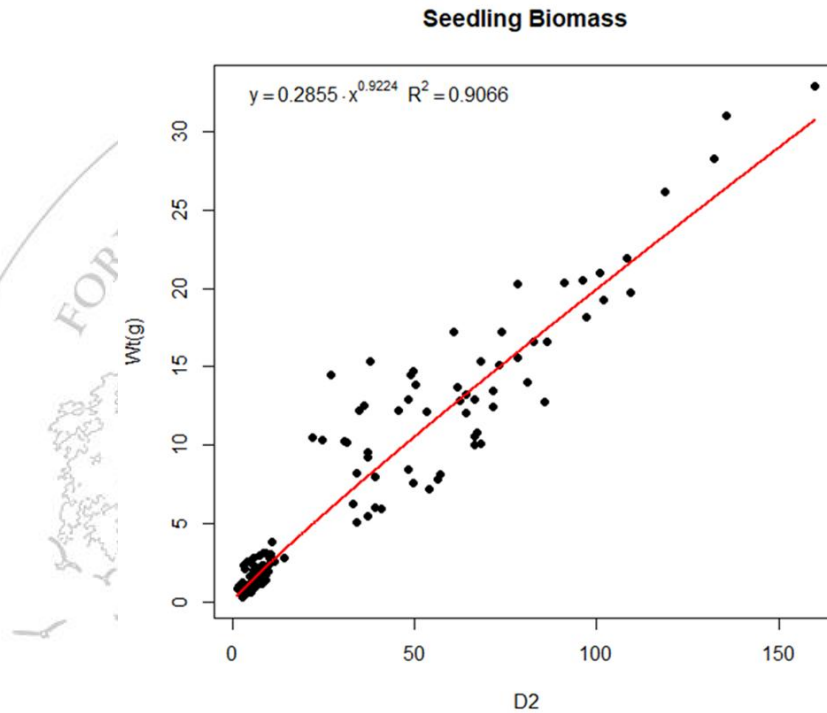


Figure 3 Relationship between seedling biomass and root collar diameter

### 3. อัตราการรอดตายของกล้าไม้ที่ทดลองปลูก

ผลจากการศึกษาพบว่าอัตราการรอดตายของกล้าไม้แตกต่างกันตามชนิดกล้าไม้และกรรมวิธีที่ใช้ในการทดลองปลูก ผลการศึกษาพบว่า มะค่าโมงมีอัตราการรอดตายสูงที่สุดในการปลูกทดลองโดยมีอัตราการรอดตายถึง 100 ในทั้ง 3 กรรมวิธี และราชพฤกษ์มีแนวโน้มอัตราการรอดตายที่ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน ขณะที่แดงเป็นพรรณไม้มีอัตราการรอดตายอยู่ในระดับปานกลาง ในทางตรงกันข้ามพบว่า ประดู่มีอัตราการรอดตายในแต่ละกรรมวิธีต่ำที่สุด โดยบางกรรมวิธีมีอัตราการรอดตายเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ สะท้อนให้เห็นว่าประดู่มีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมของพื้นที่ทดลองได้ต่ำกว่าชนิดพันธุ์อื่น โดยรวมพบว่า การใช้วัสดุคลุมดิน (mulching) การใช้ polymer และการใช้กรรมวิธี mixed มีส่วนช่วยส่งเสริมการรอดตายของกล้าไม้ในหลายชนิดพันธุ์ (Table 3)

Table 4 Survival rate of seedlings in experimental planting plots.

Treatment	Species	Number	Survival rate (%)
-----------	---------	--------	-------------------

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

Control	<i>Xylia xylocarpa</i>	9	90.0
	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	6	50
	<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth	10	100
	<i>Azelia xylocarpa</i> (Kurz) Craib.	11	91.7
	<i>Cassia fistula</i> L	11	100

Table 4 (Continued)

Treatment	Species	Number	Survival rate (%)
Mulching	<i>Xylia xylocarpa</i>	9	81.8
	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	8	72.7
	<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth	11	100
	<i>Azelia xylocarpa</i> (Kurz) Craib.	10	100
	<i>Cassia fistula</i> L	11	90.9
polymer	<i>Xylia xylocarpa</i>	10	83.3
	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	6	50
	<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth	9	75.0
	<i>Azelia xylocarpa</i> (Kurz) Craib.	12	100
	<i>Cassia fistula</i> L	11	91.7
Mixed	<i>Xylia xylocarpa</i>	10	90.9
	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	8	72.7
	<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth	10	90.9
	<i>Azelia xylocarpa</i> (Kurz) Craib.	11	100
	<i>Cassia fistula</i> L	10	90.9

กล้าไม้ส่วนใหญ่มีอัตราการรอดตายในระดับสูงในทุกทรีทเมนต์ โดยมะค่าโมงมีอัตราการรอดตายสูงที่สุด และมีความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์น้อย ขณะที่พฤษะและราชพฤษะมีอัตราการรอดตายสูงในบางทรีทเมนต์ ส่วนประดู่มีอัตราการรอดตายต่ำที่สุด และแดงมีอัตราการรอดตายในระดับปานกลาง ทั้งนี้การทดสอบด้วยวิธี Kruskal–Wallis test พบว่าอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทรีทเมนต์ ( $p > 0.05$ ) ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ไม้มีบทบาทสำคัญต่อการรอดตายมากกว่าความแตกต่างของเทคนิคการปลูก ซึ่งสอดคล้องกับ Wangpakapattanawong and Elliott (2008) ที่รายงานว่าความสำเร็จของการฟื้นฟูป่าขึ้นอยู่กับ การเลือกชนิดไม้ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่มากกว่าการจัดการในระยะเริ่มต้น นอกจากนี้ Elliott et al. (2013) ยังระบุว่าในช่วงแรกของการปลูก ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

เช่น ความชื้นและการแข่งขันของพืช มีอิทธิพลสูงกว่าความแตกต่างของเทคนิคการปลูก ทำให้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างวิธีการใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน ขณะเดียวกัน Woods and Elliott (2004) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปลูกฟื้นฟูในพื้นที่เสื่อมโทรม การอยู่รอดของกล้าไม้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวของชนิดไม้ต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าปัจจัยด้านเทคนิคเพียงอย่างเดียว (Table 4)

Table 5 Mean survival rate of seedlings in experimental plots with different treatments

Treatment	Mean survival rate (%)				
	<i>Azelia xylocarpa</i> (Kurz) Craib	<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth	<i>Cassia fistula</i> L	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	<i>Xylin xylocarpa</i>
Control	100	100	90.9	72.7	81.8
Mulching	95	100	100	50	88.9
Polymer	100	90	90	80	90
Mixed	100	70	90	60	90
p-value	ns	ns	ns	ns	ns

4. อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพกล้าไม้

ผลการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate: RGR) ของกล้าไม้ภายใต้พื้นที่ที่แตกต่างกันพบว่า แม้ค่าของอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของกล้าไม้แต่ละชนิดจะแสดงค่าเฉลี่ยมีความต่างกัน แต่จากการทดสอบด้วยวิธีการ Kruskal-Wallis test ผลพบว่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาจากตาราง (Table 6) จะเห็นได้ว่า มะค่าโมงและพฤษะมีแนวโน้มค่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงในบางพื้นที่ เช่น mixed และ mulching ขณะที่ราชพฤษะมีค่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงในทุกพื้นที่ โดยเฉพาะ mulching และ control ส่วนประดู่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำที่สุดในทุกพื้นที่ สะท้อนถึงข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของชนิดพันธุ์ ขณะที่แดงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์อยู่ในระดับค่อนข้างสูงและสม่ำเสมอในทุกพื้นที่ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยด้านชนิดพันธุ์มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตมากกว่าผลของเทคนิคการปลูกในระยะเริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับ Elliott et al. (2013) ที่ระบุว่าอัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้ในช่วงแรกขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมและลักษณะทางชีวภาพของชนิดไม้มากกว่าการจัดการ นอกจากนี้ ความแตกต่างของค่า RGR ที่ปรากฏในบางพื้นที่ เช่น ค่าอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่สูงใน mixed ของมะค่าโมง หรือ polymer ของบางชนิด อาจสะท้อนถึงผลของสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลต่อการใช้ทรัพยากรของพืชซึ่งสอดคล้องกับ Woods and Elliott (2004)

**Table 6** Mean seedling biomass Relative growth rate

Treatment	<i>Azelia xylocarpa</i> (Kurz) <i>Craib</i>	<i>Albizia lebbeck</i> (L.) <i>Benth</i>	<i>Cassia fistula</i> <i>L</i>	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> <i>Kurz</i>	<i>Xylia</i> <i>xylocarpa</i>
Mulching	0.046	0.177	0.230	0.047	0.178
Control	0.029	0.095	0.220	0.010	0.157
Mixed	0.128	0.185	0.089	0.058	0.166
Polymer	0.041	0.092	0.143	0.048	0.188
Kruskal-Wallis test	0.376	0.089	0.08456	0.310	0.949
p-value	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

### สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษการปลูกฟื้นฟูป่าเบญจพรรณในพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม พบว่า จากการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์พื้นที่ศึกษามีข้อจำกัดด้านความชื้น โดยค่าดัชนี NDMI อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการฟื้นฟูป่า สมการแอลโลเมตริกที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำสูง  $R^2$  อยู่ในระดับสูงโดยมีค่าสูงถึง 0.9066 และสามารถใช้ประมาณมวลชีวภาพของกล้าไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล้าไม้ส่วนใหญ่มีอัตราการรอดตายในระดับสูง โดยเฉพาะมะค่าโมง พฤษะ และราชพฤษะ ขณะที่ประดู่มีอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตระหว่างทรีทเมนต์ต่างๆ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการปลูกในระยะเริ่มต้นยังไม่ผลชัดเจนต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้โดยรวม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าชนิดพันธุ์ไม้และสภาพแวดล้อม มีบทบาทสำคัญต่อการรอดตายและการเจริญเติบโตของกล้าไม้มากกว่าความแตกต่างของเทคนิคการปลูก ดังนั้น การเลือกชนิดไม้ที่เหมาะสมร่วมกับการประเมินสภาพพื้นที่จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรม และแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์และพี่ทุกท่าน รวมถึงสมาชิกในสาขาวิชาเอกทรัพยากรป่าไม้และการจัดการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ให้ความอนุเคราะห์ในการช่วยในการทำวิจัย และการวิเคราะห์ข้อมูล

### เอกสารอ้างอิง

Asanok, L., R. Taweasuk, and T. Kamyao. 2021. Plant functional diversity is linked to carbon storage in deciduous dipterocarp forest edges in northern Thailand. *Forests* 12(11): 1416. [in Thai]

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: Current status and future challenges. *Environmental Pollution* 116(3): 363–372.
- Burrough, P.A. and R.A. McDonnell. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.
- Campanello, P.I., M.G. Gatti, A. Ares, L. Montti, and G. Goldstein. 2007. Tree regeneration and microclimate in a liana and bamboo-dominated semideciduous Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management* 252: 108–117.
- Charuphat, T. 1998. Forest situation of Thailand in the past 37 years (1961–1998). Forest Research Office, Royal Forest Department, Bangkok, Thailand.
- Chave, J., M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, E. Chidumayo, M.S. Colgan, W.B.C. Delitti, A. Duque, T. Eid, P.M. Fearnside, R.C. Goodman, M. Henry, A. Martínez-Yrizar, W.A. Mugasha, H.C. Muller-Landau, M. Mencuccini, B.W. Nelson, A. Ngomanda, E.M. Nogueira, E. Ortiz-Malavassi, R. Pélissier, P. Ploton, C.M. Ryan, J.G. Saldarriaga, and G. Vieilledent. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Forest Ecology and Management* 512: 120002.
- Elliott, S., D. Blakesley, and K. Hardwick. 2013. *Restoring tropical forests: A practical guide*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020*. Rome: FAO. Available: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>
- Gao, B.C. 1996. NDWI A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water. *Remote Sensing of Environment* 58: 257–266.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IGES, Japan. Available: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Ketpranit, S., N. Tangtham, S. Saengthongphrao, P. Thammanon, N. Phumiphakphan, and S. Akka-akkara. 1991. Wildfires and their impact on forest systems in Thailand. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. [in Thai]
- Larpkern, P., M. Eriksen, and P. Waiboony. 2017. Diversity and uses of tree species in the deciduous dipterocarp forest, Mae Chaem District, Chiang Mai Province, northern Thailand. *Naresuan University Journal: Science and Technology* 25(3). [in Thai]

บทความวิจัยสหกิจศึกษา

Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino, and T. Kira. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II: Plant biomass. *Nature and Life in Southeast Asia* 4: 49–80.

Porkar, P., W. Sonchaem, R. Roachanakanan, and R. Hutacharoen. 2011. Improvement of the quality and precision of biomass and carbon equations: case study of mixed-deciduous degraded forest of Thailand. *Environment and Natural Resources Journal* 9(2): 39–47. [in Thai]

Vásquez-Grandón, A., P.J. Donoso, and V. Gerding. 2018. Forest degradation: When is a forest degraded? *Forests* 9(11): 726.

Wangpakapattanawong, P. and S. Elliott. 2008. Testing the framework species method for forest restoration in Chiang Mai, Northern Thailand. *Walailak Journal of Science and Technology* 5(1): 1–15.

Woods, K. and S. Elliott. 2004. Direct seeding for forest restoration on abandoned agricultural land in northern Thailand. *Journal of Tropical Forest Science* 16(2): 248–259.

