KKU SCIENCE JOURNAL
Journal Home Page : https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ
Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand

พลวัตของการกักเก็บคาร์บอนภาคป่าไม้ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของชนิดไม้ พื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาวอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลำพูน

The Forest Dynamics of Carbon Sequestration and Some Environmental Factors Influencing the Distribution of Tree Species in the Royal-Instated Mae-Aow River Basin Development Project, Lamphun Province

สุเมธ ธรรมนิยม[1] สุธีระ เหิมฮึก[2*] ต่อลาภ คำโย[3] ยุวดี พลพิทักษ์[4] และ วนิดา ปัญญา[2]
Sumet Tamniyom[1], Sutheera Hermhuk[2*], Torlarp Kamyo[3], Yuwadee Ponpituk[4] and Wanida Panya[2]

[1]สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140
[2]คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[3]สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140
[4]สาขาวิชาการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140
[1]Program in Forest Management, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140, Thailand
[2]Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand
[3]Program in Agroforestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140, Thailand
[4]Program in Forestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษาพลวัตป่าไม้ ภายหลังการฟื้นฟูป่าตามธรรมชาติ นำไปสู่การเข้าใจรูปแบบการทดแทน แนวทางการย่นระยะเวลาการฟื้นตัวของป่าจากการทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อชนิดไม้นั้น ๆ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของป่าไม้ในรูปแบบพลวัตขององค์ประกอบพรรณไม้ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ และวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายของพรรณไม้เด่นในพื้นที่ป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรังที่มีการฟื้นตัวเองตามธรรมชาติ อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน โดยการวางแปลงถาวรขนาด 20 เมตร x 50 เมตร จำนวน 3 แปลง ในสองชนิดป่า เก็บข้อมูลปัจจัยแวดล้อม คือ ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ และตัวอย่างดินเพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และทำการตรวจวัดการเจริญเติบโตของต้นไม้ใน 3 ช่วงเวลาคือ ปี พ.ศ. 2563 2565 และ 2567 ผลการศึกษา พบชนิดไม้ทั้งหมด 68 ชนิด 58 สกุล ใน 29 วงศ์ มีค่าความหลากชนิดเฉลี่ยตามค่าดัชนี Shannon-Wiener index (H') ระดับปานกลางเท่ากับ 2.23 ± 0.52 โดยพื้นที่ป่าเต็งรังมียางพลวงเป็นชนิดไม้เด่นจากค่าดัชนีความสำคัญ ส่วนป่าเบญจพรรณ มีสาธรเป็นชนิดไม้เด่น เมื่อพิจารณาพลวัตของป่าไม้

*Corresponding Author, E-mail: sutheera@mju.ac.th, h.sutheera@gmail.com
Received date: 4 July 2025 | Revised date: 3 October 2025 | Accepted date: 13 November 2025
doi: 10.14456/kkuscij.2026.14

ตลอดระยะเวลาการวัดทุก ๆ 2 ปี พบว่าพื้นที่หน้าตัดรวมเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2565 และปี พ.ศ. 2567 เท่ากับ 0.37 และ 1.41 ตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราการตาย และอัตราการเพิ่มพูนพบว่าช่วง ปี พ.ศ. 2565 มีอัตราการตาย (3.01%) มากกว่าอัตราการเพิ่มพูน (1.53%) และช่วงที่สอง พ.ศ. 2567 มีอัตราการเพิ่มพูน (4.92) มากกว่าอัตราการตาย (3.42) ในส่วนของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพพบว่า ปี พ.ศ. 2567 มีการสะสมมวลชีวภาพป่าไม้รวมเท่ากับ 54.72 ตัน คิดเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 32.66 ตัน โดยการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในช่วงระยะเวลา 4 ปี พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในภาพรวมลดลง 7.63 ตัน คิดเป็น 4.06 ตันต่อไร่ เนื่องจากมีอัตราการตายของต้นไม้สูง และการระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปรากฏของชนิดพรรณไม้พบว่า ความสูงจากระดับน้ำทะเล อนุภาคทรายแป้ง เป็นปัจจัยหลักของการปรากฏกลุ่มไม้ป่าเบญจพรรณ ในส่วนของอนุภาคทราย อนุภาคดินเหนียว และสมบัติเคมีของดิน เช่น โพแทสเซียม และแคลเซียม มีผลต่อการปรากฏของชนิดไม้ป่าเต็งรัง จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นพลวัตของการฟื้นฟูป่าตามธรรมชาติ อัตราการตายและการเพิ่มพูนของต้นไม้ และปัจจัยทางนิเวศที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน และการกระจายพรรณไม้ ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการส่งเสริมการฟื้นฟูในระบบนิเวศป่าไม้ต่อไป

ABSTRACT

Understanding forest dynamics after natural forest restoration and the environmental factors influencing tree species distribution is essential for elucidating successional processes and developing strategies to accelerate each tree species for forest recovery. This study investigated changes in dynamics of forest composition, biomass carbon storage, and key environmental drivers of dominant tree species distribution in naturally recovery mixed deciduous forest (MDF) and deciduous dipterocarp forest (DDF) in Pa Sang District, Lamphun Province. Three permanent plots of 20 m x 50 m were established in each forest type. Topographic data and soil samples were collected for laboratory analysis, while tree growth was monitored in 2020, 2022, and 2024. A total 68 species, 58 genera and 29 families were found, with a moderate mean Shannon-Wiener diversity index (H' = 2.23 ± 0.52). Species dominance varied by forest type: *Dipterocarpus tuberculatus* in DDF and *Millettia leucantha* var. *buteoides* in MDF. Forest dynamics showed increases from year 2020 and 2022 increases in basal area of 0.37 and 1.41 m^2. Mortality rate (3.01%) recruitment rate (1.53%) in 2022, whereas the second period 2024, the recruitment rate (4.92%) was higher than the mortality rate (3.42%). In terms of carbon storage in biomass, in 2024, the total forest biomass accumulation was 54.72 tons, equivalent to 32.66 tons of carbon storage in biomass. However, overall carbon storage declined by 7.63 tons equivalent to 4.06 tons per rai, over four years due to high mortality rate. The identification of factors indicated that the elevation and silt strongly influenced MDF, while sand, clay and soil chemical such potassium and calcium factors shaped DDF. These findings found the dynamic of natural forest restoration, mortality and recruitment rate and site factors in determine the potential of carbon storage and tree species distribution. They provide a basis for refining restoration strategies to enhance forest recovery and carbon storage in forest ecosystems.

คำสำคัญ: ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ องค์ประกอบของชนิดพรรณไม้ การจัดลำดับหมู่ไม้

Keywords: Deciduous Dipterocarp Forest, Mixed Deciduous Forest, Tree Species Composition, Tree Stand Ordination

บทนำ

ประเทศไทยในปัจจุบันพื้นที่ป่าไม้เกิดความเสียหายและลดลงอย่างมาก ด้วยปัจจัยและเงื่อนไขหลายประการ ทั้งด้านการเพิ่มขึ้นของประชากร ความต้องการใช้ผลผลิตด้านป่าไม้ การขยายตัวทางเศรษฐกิจ (Trisurat *et al*., 2010) การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมที่เกินขอบเขตกฎหมาย จึงทำให้ช่วงที่ผ่านมามีการใช้ทรัพยากรและที่ดินป่าไม้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ (วีระภาสและยุทธนา, 2566) ทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลกระทบทั้งในทางเศรษฐกิจ สังคม และความสมดุลของสภาพแวดล้อมโดยตรง (สุธีระและดอกรัก, 2563) ในด้านการบริการของระบบนิเวศ (ecosystem services) ป่าไม้ยังมีบทบาทในการควบคุมสมดุลของน้ำในพื้นที่ต้นน้ำ การรักษาหน้าดิน และด้านสำคัญ คือ เป็นพื้นที่กักเก็บคาร์บอนซึ่งช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การศึกษาข้อมูลเชิงปริมาณทางนิเวศวิทยาป่าไม้นั้นอาจทำให้สามารถเข้าใจรูปแบบการทดแทนของสังคมพืชป่าไม้ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นตัวกำหนดการปรากฏหรือการกระจายของพืช หรือการนำไปสู่การประเมินการกักเก็บคาร์บอนภาคป่าไม้ในอนาคต (สถิตและคณะ, 2568; Jia *et al*., 2022) สังคมป่าเต็งรัง เป็นสังคมพืชที่พบมากในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยและมีประวัติการบุกรุกในอดีต ผนวกกับการฟื้นฟูป่าจนถึงปัจจุบัน ซึ่งลุ่มน้ำแม่อาว จังหวัดลำพูน เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่ประสบปัญหาการบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อการเกษตร การลักลอบตัดไม้ทำลายป่า การขาดแคลนทรัพยากรน้ำ จากพื้นที่ลุ่มน้ำอันอุดมสมบูรณ์กลายสภาพเป็นพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว และส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและอื่น ๆ เป็นอย่างมาก ด้วยพระมหากรุณาธิคุณ และทรงมีน้ำพระราชหฤทัยห่วงใยทุกข์สุขของราษฎรของ พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ทรงมีพระราชดำรัสให้มีการจัดตั้ง “โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลำพูน” ขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2535 ครอบคลุมพื้นที่ 127,058 ไร่ 32 หมู่บ้าน 6 ตำบล ในพื้นที่อำเภอป่าซาง อำเภอบ้านโฮ่ง และอำเภอเวียงหนองล่อง จังหวัดลำพูน เพื่ออนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่ให้มีความอุดมสมบูรณ์ ควบคู่กับการจัดที่ดินทำกินและที่อยู่อาศัย การพัฒนาระบบสาธารณูปโภคยกระดับรายได้ และความเป็นอยู่ของราษฎรในพื้นที่ โดยดำเนินการจัดสรรที่ดินให้แก่ราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากการสร้างอ่างเก็บน้ำ และมุ่งเน้นให้เกิดการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะป่าไม้ให้กลับคืนความอุดมสมบูรณ์ ตลอดจนการปลูกสร้างจิตสำนึกให้แก่ราษฎร ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ รวมทั้งส่งเสริมและพัฒนาอาชีพให้แก่ราษฎรเพื่อยกระดับความเป็นอยู่ให้ดีขึ้น (สำนักงานการปฏิรูปที่ดินจังหวัดลำพูน, 2566) ซึ่งตลอดระยะเวลานับแต่การก่อตั้งโครงการฯ นั้น ยังขาดข้อมูลพื้นฐานด้านความหลากชนิด โครงสร้างและองค์ประกอบของชนิดพรรณไม้ในพื้นที่ ซึ่งอาจเป็นการพัฒนาต่อยอดในการยกระดับความเป็นอยู่ด้านรายได้ของเกษตรกรที่พึ่งพาทรัพยากรป่าไม้ และด้านการอนุรักษ์สภาพป่าธรรมชาติดั้งเดิมควบคู่กันไปในอนาคต

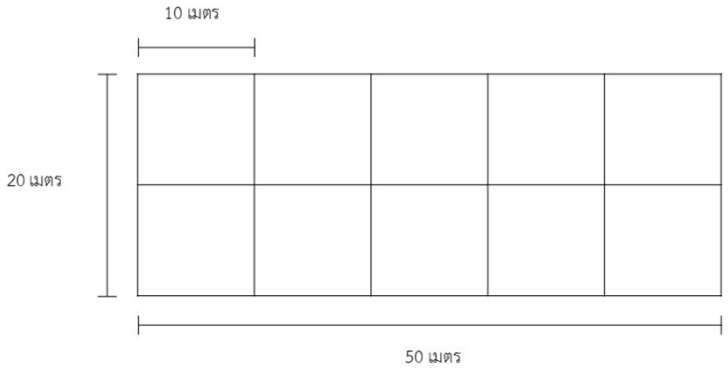
การศึกษาความหลากชนิด องค์ประกอบของพรรณไม้ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสังคมพืชนั้น ทางนิเวศวิทยาป่าไม้ถือได้ว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่นำไปสู่ศาสตร์ด้านการป่าไม้เชิงลึกว่าพื้นที่นั้นมีโครงสร้างและประกอบด้วยชนิดไม้อะไรบ้าง มีสถานภาพเป็นอย่างไร ควรแก่การศึกษาเชิงลึกต่อเนื่องด้านอะไรบ้างในอนาคต (ดอกรักและอุทิศ, 2552) โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ตรวจสอบพลวัตของโครงสร้างและองค์ประกอบ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสังคมพืช และปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรากฏของพรรณไม้ ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลำพูน โดยมุ่งเป้าถึงการคัดเลือกจุดสำรวจแบบเจาะจงในแต่ละชนิดป่าภายในพื้นที่โครงการฯ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชระยะยาว ซึ่งจะเป็นตัวแทนด้านข้อมูลเชิงปริมาณต่อหน่วยพื้นที่ทั้งหมดต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การวางแปลงสำรวจ

ทำการวางแปลงถาวร (permanent plot) โดยการสุ่มแบบเจาะจง ในพื้นที่ที่สามารถเป็นตัวแทนที่ดีในการประเมินค่าเชิงปริมาณของสังคมพืชตัวแทนได้ โดยวางแปลงขนาดแปลงละ 20 เมตร x 50 เมตร ในป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest) 3 แปลงย่อย และป่าเต็งรัง (deciduous dipterocarp forest) 3 แปลงย่อย โดยบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ทุกแปลงถาวร และทำการฝังหมุดปูน 4 มุมของแปลงตัวอย่าง

ภายในแปลงตัวอย่างวางแปลงย่อยขนาด 10 เมตร x 10 เมตร จำนวน 10 แปลงย่อย (รูปที่ 1) โดยทำการจำแนกและบันทึกชนิดไม้ (tree species identification) ตามรูปแบบของสำนักงานหอพรรณไม้ (2557) ที่มีขนาดเส้นรอบวงที่ระดับความสูงเพียงอก (1.30 เมตร) ตั้งแต่ 14.1 เซนติเมตรขึ้นไป โดยทำการวัดขนาดความโต (girth at breast height, GBH) (หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ (DBH) ที่มากกว่า 4.5 เซนติเมตร) ความสูงทั้งหมด (total height, H) ติดหมายเลขประจำต้น โดยทำการวัดในช่วงปีแรกคือ ปี พ.ศ. 2563 ทำการวัดซ้ำทุก ๆ 2 ปี คือ ปี พ.ศ. 2565 และปี พ.ศ. 2567 เพื่อตรวจสอบพลวัตการเพิ่มพูน และการตายของชนิดไม้ในพื้นที่แปลงศึกษา



รูปที่ 1 ผังแปลงตัวอย่างขนาด 20 เมตร x 50 เมตร

2. การเก็บข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการ

การเก็บข้อมูลลักษณะภูมิประเทศจากแปลงย่อย ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ทิศด้านลาด ความลาดชัน และระยะห่างจากแหล่งน้ำ จากแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (digital elevation model) ด้วยโปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และการเก็บข้อมูลดิน ทำการเก็บตัวอย่างดินโดยการรบกวนโครงสร้างดิน ที่ระดับความลึกของดิน 0 - 30 เซนติเมตร ใน 1 แปลงย่อย เก็บดิน 4 จุด รวมเป็น 1 ตัวอย่างดิน ในชนิดป่าละ 3 แปลง รวม 6 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของเคมี และธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) อินทรียวัตถุในดิน (OM) ปริมาณไนโตรเจนในดิน (%N) ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (available phosphorus; P) ปริมาณโพแทสเซียมในดิน (available potassium; K) ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (extractable form magnesium; Mg) ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable from calcium; Ca) อนุภาคขนาดทราย (%Sand) อนุภาคขนาดทรายแป้ง (%Silt) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (%Clay) ในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์หาชนิดไม้เด่นจากค่าดัชนีความสำคัญของชนิดไม้ (importance values index) และค่าดัชนีความหลากชนิด Shannon–Wiener Index (H') ตามการอ้างอิงของดอกรักและอุทิศ (2552)

2. การประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน (above and below ground biomass) โดยคำนวณมวลชีวภาพชนิดพรรณไม้ผลัดใบ (deciduous plant species) คำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรายต้นของไม้ต้น โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของ Ogawa *et al*. (1965) ดังสมการ

มวลชีวภาพส่วนลำต้น (W_s) = $0.0396\ (D^2H)^{0.9326}$

มวลชีวภาพส่วนกิ่ง (W_b) = $0.003487\ (D^2H)^{1.027}$

มวลชีวภาพส่วนใบ (W_l) = $(28.0/Wtc + 0.025)^{-1}$

มวลชีวภาพส่วนราก (W_r) = $0.026\ (D^2H)^{0.775}$

โดยมวลมวลชีวภาพทั้งหมด WT = Ws+Wb+Wl+Wr

โดย W_s = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กก.)

W_b = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กก.)

W_l = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กก.)

Wr = มวลชีวภาพใต้พื้นดินในส่วนที่เป็นราก (กก.)

WT = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กก.)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร (ซม.) หรือ DBH ที่คำนวณจาก GBH/ π

H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)

π = 3.14

โดยแต่ละสังคมพืชได้นำค่ามวลชีวภาพ มาคำนวณสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation: CV) โดยค่า CV ที่ได้ต้องไม่เกิน ร้อยละ 25 จะถือว่าจำนวนแปลงตัวอย่างดังกล่าวเป็นตัวแทนที่เหมาะสม ดังสมการ

$$CV = SD \times 100/ \bar{x}$$

% CV = ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation)

SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของค่ามวลชีวภาพในชั้นภูมิสังคมพืช

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพของชั้นภูมินั้น ๆ

3. ข้อมูลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ตาม T-VER-S-TOOL-01-01 version 01 และ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) ได้กำหนดว่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพของต้นไม้เป็นคาร์บอน จึงมีสมการดังนี้

$$CS = GB \times 0.47$$

เมื่อ 0.47 คือ ร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ

โดย CS คือ การกักเก็บคาร์บอน

GB คือ มวลชีวภาพทั้งหมดของต้นไม้

4. พลวัตของป่าไม้ นำข้อมูลต้นไม้ในแต่ละปีที่ทำการวัดซ้ำมาวิเคราะห์หาอัตราการตาย (mortality rate; M%) และอัตราการเพิ่มพูน (recruitment rate; R%) ตามสูตรของ Condit (1995)

5. การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเชิงปริมาณทางนิเวศวิทยาของต้นไม้ในแปลงสำรวจทั้งหมด และค่าสมบัติดินต่าง ๆ โดยใช้การทดสอบความแปรปรวนของค่าความแตกต่างด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Welch's t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล 2 ชุด โดยข้อมูลในแต่ละชุดมีการแจกแจงแบบอิสระต่อกัน (Free distribution) (Conover, 1998) ด้วยโปรแกรม R

6. ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการปรากฏของชนิดไม้เด่นในแต่ละแปลงกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแปลงตัวอย่าง ด้วยวิธีวิเคราะห์การจัดลำดับชั้น (ordination analysis) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Canonical correspondence analysis (CCA) ด้วยการใช้วิธีวิเคราะห์แบบหลายตัวแปรเพื่อการจัดลำดับทั้งส่วนของหน่วยตัวอย่าง (sampling units) และตัวแปร (variables) รวมถึงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยการนำจำนวนของชนิดพรรณไม้ที่พบในแต่ละแปลงตัวอย่างตามความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมในด้านสมบัติดิน และค่าปัจจัยภูมิประเทศจากการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ 12 ปัจจัยในข้อที่ 2 ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งหลักการทั่วไปของวิธีการนี้คือ การใช้ multiple regression เพื่อการเลือกเอา linear combination ของปัจจัยแวดล้อมที่อธิบายความแปรผันของ species score ในแต่ละแกน วิธีการนี้จึงสามารถจัดลำดับสังคมพืชและชนิดไม้ภายในสังคมไปตามปัจจัยแวดล้อมได้ในเวลาเดียวกัน (Kent and Coker, 1992) โดยใช้โปรแกรม R version 4.5.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. โครงสร้างและองค์ประกอบของชนิดไม้ (Forest structure and species composition)

ผลการสำรวจโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืชบริเวณพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาวฯ ที่สามารถจำแนกสังคมพืชได้เป็น 2 สังคมพืชหลัก ในปีการสำรวจซ้ำ พ.ศ. 2567 พบชนิดไม้ทั้งหมด 68 ชนิด (species) 58 สกุล (genus) ใน 29 วงศ์ (family) มีค่าความหลากชนิดเฉลี่ยตามค่าดัชนี Shannon-Wiener index (H') ระดับปานกลางเท่ากับ 2.23 ± 0.52 มีพื้นที่หน้าตัดของเนื้อไม้รวม 12.041 ตารางเมตร (3.210 ตารางเมตรต่อไร่ และคิดเป็น 20.068 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์) และสามารถอธิบายตามชนิดของสังคมพืชได้ ดังต่อไปนี้

สังคมพืชป่าเต็งรัง พบชนิดไม้ 37 ชนิด 35 สกุล ใน 23 วงศ์ มีค่าความหลากชนิดระดับน้อยเท่ากับ 1.86 ± 0.53 มีพื้นที่หน้าตัดของเนื้อไม้รวม 5.57 ตารางเมตร (2.97 ตารางเมตรต่อไร่ และคิดเป็น 18.56 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์) มีวงศ์เด่นจากการปกคลุมของพื้นที่หน้าตัด (dominant families based on basal area) 5 วงศ์แรก ได้แก่ วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) วงศ์ประดู่-เก็ด (Fabaceae) วงศ์มะม่วง-รัก (Anacardiaceae) วงศ์มะขามป้อม-เหมือด (Phyllanthaceae) และวงศ์กระบก (Irvingiaceae) มีค่าเท่ากับ 1.58 0.54 0.17 0.17 และ 0.11 ตารางเมตรต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจำนวนต้นต่อพื้นที่พบทั้งหมด 448 ต้น (239 ต้นต่อไร่ และ 1,494 ต้นต่อเฮกแตร์) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพื้นที่ป่าเบญจพรรณทั้งสามช่วงปีที่ศึกษา (ตารางที่ 1) ชนิดไม้เด่น (dominant species) คือ ยางพลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดเท่ากับ 116.23 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ เต็ง (*Shorea obtusa*) เก็ดแดง (*Dalbergia assamica*) แดง (*Xylia xylocarpa* var. *kerrii*) มะม่วงหัวแมงวัน (*Buchanania lanzan*) ส้านใหญ่ (*Dillenia obovata*) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) คำมอกน้อย (*Gardenia obtusifolia*) ยอป่า (*Morinda coreia*) และเหมือดโลด (*Aporosa villosa*) มีค่าเท่ากับ 26.84 19.73 13.37 9.22 9.04 8.95 8.55 7.15 และ 6.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter at breast height, DBH) เฉลี่ย 11.33 เซนติเมตร (หรือ GBH = 35.58 เซนติเมตร) ซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มไม้ขนาดกลาง (medium tree stem) โดยสามารถระบุได้ว่าพื้นที่ป่าเต็งรังผืนนี้เป็นสังคมป่าเต็งรังรุ่นสอง (secondary forest) ที่เกิดจากการฟื้นตัวหลังกิจกรรมในอดีต อาจเป็นพื้นที่สัมปทานป่าไม้ด้วยวัตถุประสงค์ใดประสงค์หนึ่ง ดังรายงานของสุธีระและคณะ (2564) ที่ระบุว่าป่าเต็งรังทางภาคเหนือของประเทศไทยในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติมักถูกสัมปทานต่าง ๆ เช่น สัมปทานไม้หมอนรางรถไฟ หรือสัมปทานไม้เพื่อเข้าโรงงานบ่มยาสูบ ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน-ลำปางในอดีต ขนาดความโตของต้นไม้อยู่ในช่วงที่ใกล้กัน และไม่โตมากนัก อย่างไรก็ตาม ยังมีไม้ขนาดเล็กขึ้นแซมในพื้นที่ซึ่งอาจถือได้ว่าพื้นที่ป่าผืนนี้ยังอยู่ในช่วงกระบวนการทดแทนตามธรรมชาติอีกนัยหนึ่ง

สังคมพืชป่าเบญจพรรณ พบชนิดไม้ 43 ชนิด 36 สกุล ใน 19 วงศ์ มีค่าความหลากชนิดในระดับปานกลางเท่ากับ 2.59 ± 0.27 มีพื้นที่หน้าตัดของเนื้อไม้รวม 6.47 ตารางเมตร (3.45 ตารางเมตรต่อไร่ และคิดเป็น 21.56 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์) มีวงศ์เด่นจากการปกคลุมของพื้นที่หน้าตัด 5 วงศ์แรก ได้แก่ วงศ์ประดู่-เก็ด (Fabaceae) วงศ์ตะแบก-เสลา (Lythraceae) วงศ์สัก (Lamiaceae) วงศ์กระท้อน (Meliaceae) และวงศ์ตะคร้ำ-มะกอกเกลื้อน (Burseraceae) มีค่าเท่ากับ 0.86 0.46 0.38 0.32 และ 0.31 ตารางเมตรต่อไร่ ตามลำดับ และวงศ์อื่น ๆ เมื่อพิจารณาจำนวนต้นต่อพื้นที่พบทั้งหมด 251 ต้น (134 ต้นต่อไร่ และ 837 ต้นต่อเฮกแตร์) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพื้นที่ป่าเต็งรังทั้งสามช่วงปีที่ศึกษา (ตารางที่ 1) ชนิดไม้เด่น คือ สาธรหรือขะเจ๊าะ (*Millettia leucantha* var. *buteoides*) มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดเท่ากับ 42.25 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ตะแบกแดง (*Lagerstroemia calyculata*) สัก (*Tectona grandis*) ตะคร้ำ (*Garuga pinnata*) กระพี้จั่น (*Millettia brandisiana*) รัง (*Pentacme siamensis*) ปอแก่นเทา (*Grewia eriocarpa*) ยมหิน (*Chukrasia tabularis*) จิ้วป่า (*Bombax anceps*) และแดง (*Xylia xylocarpa* var. *kerrii*) มีค่าเท่ากับ 25.59 22.20 19.17 17.83 16.94 16.27 15.80 13.21 และ 10.41 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (DBH) เฉลี่ย 14.70 เซนติเมตร (หรือ GBH = 46.16 เซนติเมตร) ซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มไม้ขนาดกลาง สามารถระบุได้ว่าพื้นที่ป่าเบญจพรรณผืนนี้เป็นสังคมป่าเบญจพรรณรุ่นสอง (secondary forest) ที่เกิดจากการฟื้นตัวหลังกิจกรรมในอดีต อาจเป็นพื้นที่สัมปทานป่าไม้ด้วยวัตถุประสงค์ใดประสงค์หนึ่ง เช่น สัมปทานไม้เบญจพรรณในอดีต เช่น ไม้สักและประดู่ป่า ที่พบในพื้นที่ และมีลำต้นขนาดไม่ใหญ่นัก ส่วนชนิดไม้ขนาดใหญ่ที่พบ เป็นไม้ตะแบกใหญ่ ตะคร้ำ และมะกอกป่า ซึ่งตะแบกใหญ่ อาจเป็นชนิดไม้ที่ไม่เป็นที่ต้องการในอดีต ส่วนอีก 2 ชนิดเป็นไม้โตปานกลางหรือโตเร็วกว่ากลุ่มไม้เรือนยอดเด่นของป่าเบญจพรรณ อนึ่งขนาดความโตของต้นไม้อยู่ในช่วงที่ใกล้กัน ผสมกับกลุ่มไม้ไผ่ โดยเฉพาะไผ่ไร่ (*Gigantochloa albociliata*) ที่ขึ้นกระจายตามที่ลาดเชิงเขาหรือพื้นที่รอยต่อกับป่าเต็งรังปกติของภาคเหนือ (สุธีระและคณะ, 2568; Thammanu *et al*., 2021) อย่างไรก็ตามยังมีไม้ขนาดเล็กขึ้นแซมในพื้นที่ซึ่งอาจถือได้ว่าพื้นที่ป่าผืนนี้ยังอยู่ในช่วงกระบวนการทดแทนตามธรรมชาติอีกนัยหนึ่ง

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้จำนวนต้นระหว่างชนิดป่าในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลำพูน ด้วยวิธีการ Welch Two Sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ชนิดป่า	2563		2565		2567	
	จำนวนต้นเฉลี่ยต่อแปลง	จำนวนต้นรวม	จำนวนต้นเฉลี่ยต่อแปลง	จำนวนต้นรวม	จำนวนต้นเฉลี่ยต่อแปลง	จำนวนต้นรวม
เต็งรัง	151.33 ± 6.43	484	164.33 ± 9.07	439	149.33 ± 4.16	448
เบญจพรรณ	86 ± 19.67	266	91.67 ± 18.88	242	83.67 ± 15.28	251
Welch Two Sample t-test	5.46*		6.01*		7.18*	

หมายเหตุ: * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$

2. พลวัตป่าไม้ (Forest dynamics)

จากการตรวจวัดต้นไม้ซ้ำในสองช่วงปี คือ พ.ศ. 2565 และปี พ.ศ. 2567 ของทุกสังคมพืชพบว่า พื้นที่หน้าตัดรวมเพิ่มขึ้นจากระหว่างปี พ.ศ. 2563 - 2565 และ พ.ศ. 2565 - 2567 เท่ากับ 0.37 และ 0.41 ตารางเมตร ตามลำดับ ในส่วนของจำนวนต้นนั้น พบไม้ระยะรุ่นที่มีขนาดเส้นรอบวงเพิ่มขึ้นเป็นไม้ต้นที่สามารถตรวจวัดได้ในแปลงศึกษาที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดที่ 31 และ 51 ต้น ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาการลดลงของต้นไม้ที่เกิดจากการตายตามธรรมชาติ (พบการยืนต้นตายหรือการล้มที่เกิดจากธรรมชาติ และสามารถหาหมายเลขติดต้นไม้พบทุกต้น) โดยพบต้นไม้ในแปลงศึกษามีการยืนต้นตายระหว่างปี พ.ศ. 2563 - 2565 และ พ.ศ. 2565 - 2567 ที่ 38 และ 31 ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดแต่ละสังคมพืชดังต่อไปนี้

สังคมพืชป่าเต็งรังในปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่หน้าตัดรวม 5.60 ตารางเมตร ปี พ.ศ. 2565 มีพื้นที่หน้าตัดรวม 5.38 ตารางเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.02 ตารางเมตร และลดลงจากการตายที่ -0.24 ตารางเมตร และปี พ.ศ. 2567 มีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น 6.13 ตารางเมตร เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.90 ตารางเมตร และลดลงจากการตายที่ -0.15 ตารางเมตร ส่วนความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่พบว่า มีต้นไม้ลดลงในปี พ.ศ. 2565 จำนวน 30 ต้น มีอัตราการตายที่ 3.20% ต่อปี และมีอัตราการเพิ่มพูนที่ 1.63% ต่อปี และเมื่อวัดซ้ำในปี พ.ศ. 2567 พบจำนวนต้นตายที่ 15 ต้น ซึ่งทั้งหมดเป็นต้นไม้ที่ยืนต้นตายและล้มเองตามธรรมชาติ ที่ขนาดเส้นรอบวง 16 - 30 เซนติเมตร มีอัตราการตายที่ 1.74% ต่อปี และมีอัตราการเพิ่มพูนที่ 2.75% ต่อปี ที่เกิดจากไม้ระยะรุ่นที่ขึ้นมาทดแทนเป็นไม้ต้นที่สามารถตรวจวัดได้ ทั้งนี้การที่อัตราการตายในช่วงแรกที่มีค่าสูงนั้น อาจเนื่องมาจากสังคมป่าเต็งรังดังกล่าว เป็นป่ารุ่นสองที่มีจำนวนต้นไม้ค่อนข้างหนาแน่น จึงเกิดการแข่งขันระหว่างการขึ้นของต้นไม้ และบางต้นที่มีขนาดเล็กมักถูกไม้เถาเกาะพันจนยอดหัก และข้อมูลจากหน่วยป้องกันและรักษาป่า มีการบันทึกว่ามีไฟป่าจากกิจกรรมของชาวบ้านเกิดขึ้นทุกปี และค่อนข้างรุนแรง จึงอาจเป็นสาเหตุให้ต้นไม้ยืนต้นตายในเวลาต่อมา

สังคมพืชป่าเบญจพรรณในปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่หน้าตัดรวม 6.22 ตารางเมตร ปี พ.ศ. 2565 มีพื้นที่หน้าตัดรวม 6.57 ตารางเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.35 ตารางเมตร และลดลงจากการตายที่ -0.22 ตารางเมตร และปี พ.ศ. 2567 มีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น 6.88 ตารางเมตร เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.51 ตารางเมตร และลดลงจากการตายที่ -0.22 ตารางเมตร ส่วนความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่พบว่า มีต้นไม้ลดลงในปี พ.ศ. 2565 จำนวน 8 ต้น มีอัตราการตายที่ 1.53% ต่อปี และมีอัตราการเพิ่มพูนที่ 3.01% ต่อปี และเมื่อวัดซ้ำในปี พ.ศ. 2567 พบจำนวนต้นตายที่ 16 ต้น ซึ่งทั้งหมดเป็นต้นไม้ที่ยืนต้นตายล้มเองตามธรรมชาติ และได้รับผลกระทบจากต้นข้างเคียงล้ม ที่ขนาดเส้นรอบวง 15-40 เซนติเมตร มีอัตราการตายที่ 3.42% ต่อปี และมีอัตราการเพิ่มพูนที่ 4.92% ต่อปี ที่เกิดจากไม้ระยะรุ่นที่ขึ้นมาทดแทนเป็นไม้ต้นที่สามารถตรวจวัดได้ และการที่ต้นไม้บางต้นมีการแตกต้นใหม่ (forking stem) จากตอเดิมออกมาที่มีขนาดความโตที่สามารถวัดได้ ทั้งนี้การที่อัตราการตายในช่วงสองระหว่างปี พ.ศ. 2563 - 2567 ที่มีค่าสูงนั้น อาจเนื่องมาจากสังคมป่าเบญจพรรณดังกล่าว เป็นป่าที่กำลังพัฒนาตัวเรื่องการแก่งแย่งปัจจัยแวดล้อม จึงเกิดการแข่งขันระหว่างการขึ้นของต้นไม้ และอาจเป็นช่องทางลมพายุ ซึ่งป่าเบญจพรรณที่พบเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขา จึงทำให้เกิดการล้มเองตามธรรมชาติจากลมพายุได้ง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุให้ต้นไม้ข้างเคียงขนาดเล็กได้รับผลกระทบจากต้นใหญ่ที่ล้ม และตายในที่สุด

จากผลการศึกษาพบว่าอัตราการเพิ่มพูนของพื้นที่ป่าทั้งสองชนิดป่าในช่วงการวัดซ้ำแรก พ.ศ. 2563 - 2565 สูงกว่าในช่วงที่การวัดซ้ำที่สอง พ.ศ. 2565 - 2567 แต่จะเห็นได้ว่าพื้นที่ป่าเต็งรังมีจำนวนต้นไม้ที่ตายมากกว่าต้นไม้ที่เป็นไม้ระยะรุ่นที่เติบโตขึ้นเป็นระยะไม้ใหญ่ เนื่องจากช่วงปีก่อนการวัดซ้ำในปี พ.ศ. 2565 มีรายงานจากหน่วยป้องกันรักษาป่าที่ ลพ.3 (แม่อาว) และหน่วยป้องกันและพัฒนาป่าไม้ป่าซาง จังหวัดลำพูน ที่มีหน้าที่ควบคุมไฟป่าในเขตพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ รายงานว่ามีไฟป่าเกิดขึ้นในพื้นที่ทุกปี และค่อนข้างรุนแรงเนื่องจากก่อนหน้าการเก็บข้อมูลครั้งแรกปี พ.ศ. 2563 พื้นที่ศึกษาในปีนั้นไม่มีไฟป่าเกิดขึ้นในพื้นที่ อย่างไรก็ตามในช่วงการวัดซ้ำครั้งที่สอง พ.ศ. 2565 - 2567 ผลรวมอัตราการตายของทั้งสองชนิดป่ามีร้อยละที่มากกว่าอัตราการเพิ่มพูน ทั้งสองชนิดป่ามีจำนวนต้นไม้ตายที่เท่า ๆ กัน คือ ป่าเต็งรัง 15 ต้น ป่าเบญจพรรณ 16 ต้น ช่วงนี้จากการสังเกตของการลงพื้นที่เป็นการล้มของไม้ขนาดใหญ่ในพื้นที่ป่าเบญจพรรณและล้มทับไม้ขนาดกลางทำให้ป่าเบญจพรรณมีจำนวนต้นตายมากกว่าต้นที่เพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่จำนวนต้นของไม้ระยะรุ่นที่มีขนาดเส้นรอบวงที่สามารถวัดได้ทั้งสองชนิดป่าก็มีการเพิ่มพูนขึ้นในปริมาณที่เท่ากัน และจากการเปรียบเทียบการศึกษาอัตราการตายและอัตราการเพิ่มพูนในพื้นที่ป่าเต็งรังภาคเหนือ พบว่าพื้นที่ศึกษามีอัตราการตายน้อยกว่าการศึกษาของธเนศและคณะ (2556) ที่ศึกษาในอำเภองาว จังหวัดลำปาง ที่มีการใช้ประโยชน์จากชุมชนอย่างเข้มข้นมีการลักลอบตัดไม้ในแปลงสำรวจ แต่เมื่อเปรียบเทียบในพื้นที่อนุรักษ์มีอัตราการตายที่มากกว่าการศึกษาของ Marod *et al*. (2025) ที่ศึกษาในป่าเต็งรังระดับสูง (2.18% ต่อปี) ของอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ และมีอัตราการเพิ่มพูนที่ไม่แตกต่างกันมาก (3 - 4% ต่อปี) การที่อัตราการ

ตายของพื้นที่ศึกษามากกว่า อาจเนื่องมาจากพื้นที่อุทยานแห่งชาติฯ มีมาตรการในการดูแลและป้องกันไฟป่าที่ไม่ให้เกิดถี่เกินไป เป็นต้น

ตารางที่ 2 พลวัตของป่าไม้บริเวณในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลำพูน

สังคมพืช	ค่าเชิงปริมาณ	2563	2565	2567	2563 - 2565	2565 – 2567
ป่าเต็งรัง	พื้นที่หน้าตัด (ตร. ม.)	5.60	5.38	6.13	+0.02, -0.24	+0.90, -0.15
	ความหนาแน่น	484	439	448	+15, -30	+24, -15
ป่าเบญจพรรณ	พื้นที่หน้าตัด (ตร. ม.)	6.22	6.57	6.88	+0.35, -0.22	+0.51, -0.22
	ความหนาแน่น	266	242	251	+16, -8	+25, -16
ภาพรวม	พื้นที่หน้าตัด (ตร. ม.)	11.82	11.95	13.01	+0.37 (+0.20),	+1.41 (+0.75),
		(6.30)	(6.37)	(6.94)	-0.46 (-0.25)	-0.37 (-0.20)
	ความหนาแน่น	750	681	739	+31 (+17),	+51 (+28),
		(400)	(364)	(395)	-38 (-0.20)	-31 (-17)

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ + คือ ค่าที่เพิ่มขึ้น และ - คือ ค่าที่ลดลง และค่าใน (-) คือ หน่วยต่อไร่

3. การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสังคมพืช

การประเมินมวลชีวภาพป่า (forest biomass) รวมของพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาวฯ จากข้อมูลแปลงสำรวจทั้งหมด 6 แปลงตัวอย่าง (พื้นที่ป่าเต็งรัง 3 แปลง และพื้นที่ป่าเบญจพรรณ 3 แปลง) โดยมีค่าร้อยละของ CV ของป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ เท่ากับ 19.56 และ 15.77 ตามลำดับ เพื่อพิจารณาถึงการกักเก็บคาร์บอน (carbon stock) ภาพรวมของพื้นที่ของปี พ.ศ. 2563 มีการสะสมมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมเท่ากับ 70.96 ตัน (37.84 ตันต่อไร่ หรือ 236.52 ตันต่อเฮกแตร์) คิดเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 33.35 ตัน (17.79 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือ 111.16 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์) ในส่วนของปี พ.ศ. 2565 มีการสะสมมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมเท่ากับ 71.93 ตัน (38.08 ตันต่อไร่ หรือ 237.73 ตันต่อเฮกแตร์) คิดเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 33.35 ตัน (17.79 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือ 111.16 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์) และปี พ.ศ. 2567 มีการสะสมมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมเท่ากับ 54.72 ตัน (29.18 ตันต่อไร่ หรือ 182.39 ตันต่อเฮกแตร์) คิดเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 32.66 ตัน (17.42 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือ 108.87 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์) (ตารางที่ 3)

เมื่อพิจารณาแต่ละชนิดสังคมพืชพบว่าพื้นที่ป่าเบญจพรรณมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมากกว่าพื้นที่ป่าเต็งรัง สอดคล้องกับขนาดความโต (เส้นผ่านศูนย์กลาง) และความสูงของต้นไม้ในพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีลำต้นขนาดใหญ่กว่าและมีความสูงมากกว่าสังคมป่าเต็งรัง การเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2567 พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในภาพรวมลดลง 7.63 ตันคาร์บอน คิดเป็น 4.06 ตันคาร์บอนต่อไร่ (25.43 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์) การที่การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพป่าไม้ลดลงนั้นในป่าธรรมชาติที่ปล่อยให้เกิดการแข่งขันของการตั้งตัวของหมู่ไม้ถือว่าเป็นเรื่องปกติ ซึ่งการลดลงของคาร์บอนในมวลชีวภาพของพื้นที่ศึกษาเกิดจากการที่ชนิดไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ได้ยืนต้นตายหลายต้นในปี พ.ศ. 2567 โดยเฉพาะกลุ่มไม้ยางพลวง ซึ่งขึ้นเป็นกลุ่มชนิดไม้ที่หนาแน่นในกระบวนการฟื้นฟูตามธรรมชาติ และมีการแข่งขันกันเองตามธรรมชาติทำให้ต้นที่อ่อนแอกว่านั้นยืนต้นตายลงไป สอดคล้องกับการศึกษาของ San-José *et al*. (2021) ที่ศึกษาพลวัตป่าไม้จากแปลงถาวรป่าฝนเขตร้อนประเทศคอสตาริกา พบว่าการยืนต้นตายของชนิดไม้ที่มีขนาดเส้นรอบวงใหญ่ จะส่งผลทางตรงต่อการสะสมมวลชีวภาพลดลง และส่งผลต่อเนื่องกับการคำนวณมวลชีวภาพ อย่างไรก็ตามอนาคตหากไม่มีการรบกวนโดยมนุษย์ ป่าฝืนนั้นจะสามารถฟื้นตัวจากกระบวนการทดแทนของไม้ระยะรุ่น ที่จะเติบโตเป็นไม้ขนาดใหญ่และการสะสมมวลชีวภาพจะกลับมาได้

(Gora and Esquivel-Muelbert, 2021) ซึ่งเป็นรูปแบบการทดแทนธรรมชาติของป่าเขตร้อน อนึ่งการที่ปล่อยให้ป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติ วัตถุประสงค์หลักของพื้นที่ไม่ได้เป็นไปเพื่อการเพิ่มพูนการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเป็นหลัก แต่เพื่อเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพเพื่อรองรับการเป็นแหล่งอาศัยของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ และรองรับกับการใช้ประโยชน์จากป่าในด้านผลผลิตรองจากป่าไม้ที่ไม่ใช่เนื้อไม้ (non-timber forest products) ให้กับชุมชน ซึ่งแสดงให้เห็นจากการเข้าสำรวจพื้นที่ที่ชุมชนให้ความหวงแหนกับพื้นที่ในด้านการเป็นแหล่งบริการผลผลิตดังกล่าวจากพื้นที่ป่า และเมื่อนำค่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพทั้ง 3 ช่วงปีมาเปรียบเทียบกับการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่อื่น ๆ พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบของมวลชีวภาพพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาวฯ นั้น มีค่าน้อยกว่าป่าธรรมชาติไม่มากกับป่าชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ (ณิชาภัทร์และคณะ, 2559) แต่เมื่อเทียบกับป่าปลูกหรือสวนป่า พื้นที่ศึกษามีการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าสวนป่าที่เกิดจากการปลูกของมนุษย์ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2561) อย่างไรก็ตามหากมีการปลูกเสริมป่าในพื้นที่ที่พบชนิดไม้ที่ยืนต้นตายตามธรรมชาติ ตลอดจนดูแลรักษาชนิดกลุ่มหมู่ไม้ที่มีการขึ้นร่วมกันหลายชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อาจทำให้เป็นการย่นระยะเวลาการฟื้นฟูป่าให้มีค่าการกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามขนาดความโต และความสูงของต้นไม้ได้อีกในอนาคต และสามารถเพิ่มความหลากหลายทางชนิดไม้ได้อีกนัยหนึ่ง

ตารางที่ 3 มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (above-ground biomass) และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในพื้นที่ศึกษา

	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน			การกักเก็บคาร์บอน		
	(ตัน)	(ตัน/เฮกแตร์)	(ตัน/ไร่)	(ตัน)	(ตัน/เฮกแตร์)	(ตัน/ไร่)
2563						
ป่าเบญจพรรณ	40.68	135.61	21.70	19.12	63.74	10.20
ป่าเต็งรัง	30.27	100.91	16.15	14.23	47.43	7.59
รวม	70.96	236.52	37.84	33.35	111.16	17.79
2565						
ป่าเบญจพรรณ	41.66	138.73	22.22	19.58	65.20	10.44
ป่าเต็งรัง	29.73	99.00	15.86	13.97	46.53	7.45
รวม	71.39	237.73	38.08	33.55	111.73	17.89
2567						
ป่าเบญจพรรณ	30.58	101.93	16.31	18.25	60.84	9.74
ป่าเต็งรัง	24.14	80.45	12.87	14.41	48.02	7.68
รวม	54.72	182.39	29.18	25.72	85.73	13.72

4. สมบัติดินและทางเคมีของดิน

จากการศึกษาลักษณะเนื้อดินทั้ง 2 พื้นที่ ได้แก่ ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณพบว่า ลักษณะเนื้อดินของป่าเต็งรังเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ส่วนป่าเบญจพรรณเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ด้านคุณสมบัติดินของทั้ง 2 พื้นที่มีรายละเอียดคือ พื้นที่ป่าเต็งรังมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) เป็นกรดอ่อน ปริมาณทรียวัตถุในดิน (OM) และร้อยละของไนโตรเจน (N) น้อยเมื่อเทียบกับป่าเบญจพรรณที่มีค่า pH ที่ค่อนข้างเป็นกลาง ค่า OM และร้อยละของ N ที่มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ ในดิน เช่น ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K) และปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ทั้ง 2 ชนิดป่าก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามอีกสองธาตุอาหารในดินคือ ฟอสฟอรัสที่แลกเปลี่ยนได้ (P) และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในสองชนิดป่า (ตารางที่ 4)

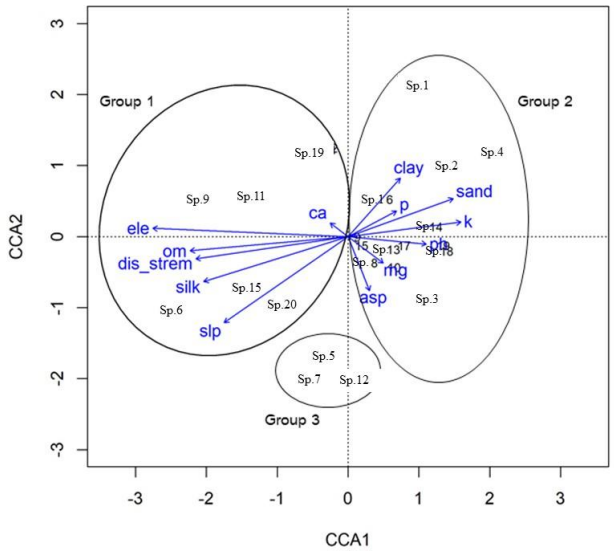
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ทางสถิติของสมบัติเคมีบางประการของดินในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่	pH	OM (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
DDF	5.94 ± 0.1	0.96 ± 0.2	0.05 ± 0.1	1.67 ± 0.6	42 ± 28.58	100.33 ± 24.83	50.67 ± 12.34	67.52 ± 2	24 ± 2	24 ± 0
MDF	6.45 ± 0.2	5.47 ± 0.8	0.27 ± 0.1	19.33 ± 10.26	233 ± 33.15	2481.33 ± 337.65	245.67 ± 28.45	46.85 ± 9.45	28.67 ± 2.31	28.67 ± 2.31
t-test	47.9***	3.122*	3.13*	2.20^{ns}	3.11*	2.39^{ns}	3.34*	10.89***	20.13***	4.15**

5. ปัจจัยที่ผลต่อการปรากฏของหมู่ไม้ในพื้นที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับของหมู่ไม้รวมในแปลงสำรวจด้วยวิธีการ CCA พบว่ามีค่า Eigenvalues ของ แกนที่ 1 (Axis 1) แกน 2 (Axis 2) และแกน 3 (Axis 3) เท่ากับ 0.50 0.27 และ 0.23 ตามลำดับ ค่าความสหสัมพันธ์ของ Pearson Correlation ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับชนิดไม้อยู่ในระดับสูงในแกน 1 (Axis 1) มีค่า 0.90 และแกน 2 (Axis 2) มีค่า 0.82 ดังนั้นการใช้ผลการวิเคราะห์แกนที่ 1 และแกนที่ 2 จึงมีความเหมาะสมสำหรับการใช้อธิบายปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการปรากฏของชนิดไม้เด่นในพื้นที่ศึกษา โดยพบว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อม 13 ปัจจัย มีผลต่อการปรากฏของชนิดไม้เด่นในพื้นที่โครงการฯ ทั้งนี้สามารถจัดกลุ่มความสัมพันธ์ได้เป็น 3 กลุ่มตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมกำหนด (รูปที่ 2) กล่าวคือ ระดับความสูงจากน้ำทะเล (ele) เป็นปัจจัยหลักที่มีความสัมพันธ์กับการปรากฏของชนิดไม้ โดยพบว่า กลุ่มที่ 1 (Group 1) ปัจจัยด้านความสูงจากระดับน้ำทะเล (ele) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (dis_strem) ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt) ความลาดชัน (slp) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca) มีความสัมพันธ์ต่อปรากฏของชนิดไม้ในป่าเบญจพรรณเป็นหลักที่เป็นไม้เด่น 6 ชนิด ได้แก่ สัก (Sp. 6) ขะเจ๊าะ (Sp. 9) ตะแบกแดง (Sp. 11) กระพี้จั่น (Sp. 15) ยมหิน (Sp. 19) และตะคร้ำ (Sp. 20) ซึ่งพบเป็นพื้นที่มีความสูงตามไหล่เขาของแปลงสำรวจทั้งหมด และเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นสันเขาที่ไกลจากแหล่งน้ำ กลุ่มที่ 2 (Group 2) กลุ่มปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดการปรากฏของชนิดไม้ คือ ปัจจัยด้านปริมาณอนุภาคขนาดทราย (sand) ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) ทิศด้านลาด (aspect) และสมบัติบางประการทางเคมีของดิน ได้แก่ ฟอสฟอรัสในดิน (P) โพแทสเซียมในดิน (K) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Mg) และความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) มีความสัมพันธ์ต่อการปรากฏของชนิดไม้ป่าเต็งรังเป็นหลักที่เป็นไม้เด่น 10 ชนิด ได้แก่ ยางพลวง (Sp. 1) เต็ง (Sp. 2) เก็ดแดง (Sp. 3) มะม่วงหัวแมงวัน (Sp. 4) ส้านใหญ่ (Sp. 8) มะขามป้อม (Sp. 10) คำมอกน้อย (Sp. 13) ยอป่า (Sp. 14) เหมือดโลด (Sp. 16) และกระบก (*Irvingia malayana*) (Sp. 18) เป็นพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 250 - 300 เมตร เป็นที่ราบที่อยู่บนสันเขา มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายมากกว่าร้อยละ 60 ทุกแปลงสำรวจย่อยของป่าเต็งรัง ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกรดอ่อน pH = 5 และมีความใกล้แหล่งน้ำซึ่งบางพื้นที่เป็นหุบห้วยค่อนข้างชื้น และกลุ่มที่ 3 (Group 3) เป็นกลุ่มที่เป็นอิสระต่อทุกปัจจัย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าไม่สามารถระบุปัจจัยกำหนดในการกระจายได้ชัดเจน ประกอบไปด้วยชนิดไม้ที่ขึ้นร่วมกันทั้งสองชนิดป่า และส่วนใหญ่เป็นชนิดไม้ที่มีขนาดใหญ่ในพื้นที่ที่หลงเหลือ 3 ชนิดไม้ ได้แก่ รัง (Sp. 5) แดง (Sp. 7) และปอแก่นเทา (Sp. 12) โดยทั้งสามชนิดนี้พบทั้งสองชนิดป่า และเป็นไม้เด่นระดับกลางในค่าดัชนีความสำคัญของสองชนิดป่า ดังรายงานในผลการศึกษาข้อที่ 1

จากผลการศึกษาสามารถระบุได้ว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะสมบัติดินด้านสภาพภูมิประเทศ เนื้อดิน และเคมีดินที่มีความแตกต่างกันของทั้งสองชนิดป่าที่ส่งผลต่อการปรากฏได้แตกต่างของพรรณไม้ทั้งสองชนิดป่า ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานในประเทศไทยที่ระบุว่า ชนิดไม้เด่นของป่าเต็งรังจะปรากฏเฉพาะในพื้นที่ที่เป็นดินทรายถึงดินร่วนปนทราย ที่มีร้อยละของอนุภาคขนาดทรายเป็นตัวกำหนด (สุธีระและคณะ 2564; Marod *et al*., 2019) และเป็นชนิดที่มีการปรากฏในพื้นที่ที่มีสมบัติทางเคมีในดินค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะอินทรียวัตถุและไนโตรเจนในดิน ด้วยป่าเต็งรังมีไฟป่าเกิดขึ้นประจำอาจส่งผลต่อการที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ของอินทรียวัตถุทำให้หลงเหลือน้อย (Duangon *et al*., 2024; Yatar *et al*., 2024) เป็นต้น ในส่วนของป่าเบญจพรรณนั้นมักมีสมบัติดินที่ดีกว่าป่าเต็งรัง และปรากฏหมู่ไม้เด่น เช่น สัก ตะแบกแดง และกลุ่มไม้วงศ์ถั่ว (กระพี้จั่น ขะเจ๊าะ ประดู่ป่าและแดง) ที่มักพบในป่าเบญจพรรณที่มีอนุภาคทรายแป้ง ถึงอนุภาคเหนียว และค่าความเป็นกรด-ด่างที่ค่อนข้างเป็นกรดอ่อนถึงกลาง และสมบัติทางเคมีของดินค่อนข้างสูงกว่าป่าเต็งรัง เช่น ปริมาณอินทรียวัตถุ เป็นต้น (Marod *et al*., 2021; Phumphuang *et al*., 2024)



รูปที่ 2 การจัดลำดับหมู่ไม้ด้วยวิธีการ CCA ตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษา

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบสามารถจำแนกสังคมพืชได้เป็น 2 สังคมพืชหลักพบชนิดไม้ทั้งหมด 68 ชนิด 58 สกุล ใน 29 วงศ์ มีค่าความหลากชนิดเฉลี่ยตามค่าดัชนี Shannon-Wiener index (H') ระดับปานกลางเท่ากับ 2.23 ± 0.52 โดยพื้นที่ป่าเต็งรังมียางพลวงเป็นชนิดไม้เด่นจากค่าดัชนีความสำคัญ ส่วนป่าเบญจพรรณ มีสาธรเป็นชนิดไม้เด่น เมื่อพิจารณาพลวัตของป่าไม้ตลอดระยะเวลาการวัดทุก ๆ 2 ปี คือ ปี พ.ศ. 2563 2565 และ 2567 ของทุกสังคมพืชพบว่าพื้นที่หน้าตัดรวมเพิ่มขึ้นจากในช่วงที่ 1 (พ.ศ. 2563 - 2565) และช่วงที่ 2 (พ.ศ. 2565 - 2567) เท่ากับ 0.37 และ 1.41 ตารางเมตร ตามลำดับ ในส่วนของจำนวนต้นไม้ใหญ่นั้น มีการเพิ่มขึ้นและลดลงแตกต่างกันไปแต่ละช่วงเวลา โดยภาพรวมเพิ่มขึ้นทั้งหมด 82 ต้น และลดลงจากการยืนต้นตายรวมทั้งสองช่วงการสำรวจ 69 ต้น ในส่วนของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพพบว่า ปี พ.ศ. 2567 มีการสะสมมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมเท่ากับ 54.72 ตัน คิดเป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 25.72 ตัน โดยการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในช่วงระยะเวลาสำรวจ พบว่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในภาพรวมลดลง 7.63 ตัน คิดเป็น 4.06 ตันต่อไร่ (25.43 ตันต่อเฮกแตร์) และการระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปรากฏของชนิดพรรณไม้พบว่า ความสูงจากระดับน้ำทะเล อนุภาคทรายแป้ง เป็นปัจจัยหลักของการปรากฏกลุ่มไม้ป่าเบญจพรรณ เช่น สัก สาธร และตะคร้ำ เป็นต้น ในส่วนของอนุภาคทราย อนุภาคดินเหนียว และสมบัติเคมีของดิน เช่น โพแทสเซียม และแคลเซียมนั้น มีผลต่อการปรากฏของชนิดไม้ป่าเต็งรัง เช่น ยางพลวง เต็ง และมะม่วงหัวแมงวัน เป็นต้น

ส่วนชนิดไม้ที่สามารถปรากฏได้ทั่วไปนั้นในระบบนิเวศของทั้งสองชนิดป่า ได้แก่ รัง มะกอกป่า และแดง ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาสามารถประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกชนิดพรรณไม้เพื่อกิจกรรมการฟื้นฟูป่าของพื้นที่ต่าง ๆ ตามปัจจัยแวดล้อมที่กำหนดให้ประสบความสำเร็จได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 1 เชียงใหม่ (ผู้รับผิดชอบพื้นที่) และการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2568

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2561). การพัฒนาวิธีการประเมินการกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ภายใต้โครงการพัฒนาเครื่องมือ/วิธีการประเมินกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

ณิชาภัทร์ ดวงทิพย์, ปวีณา ไกรวิจิตร และเสวียน เปรมประสิทธิ์. (2559). การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าปกปักอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์. ใน: วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ. รายงานการประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 12. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. 99 - 112.

ดอกรัก มารอด และอุทิศ กุฏอินทร์. (2552). นิเวศวิทยาป่าไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์ กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้. กรุงเทพฯ. 540 หน้า

ธเนศ ไชยสุนทรกิตติ, ขวัญชัย ดวงสถาพร, ปัสสี ประสมสินธ์ และ Omule, A.Y. (2556). พลวัตของพืชพรรณในช่วงเวลา 10 ปี ในป่าเต็งรัง เซคเตอร์แม่หวด ป่าสาธิตงาว จังหวัดลำปาง. วารสารวนศาสตร์ไทย 32 (Supplementary): 152 - 161.

วีระภาส คุณรัตนสิริ และยุทธนา เถิงล้อม. (2566). การคาดการณ์ปริมาตรไม้สักโดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2 บริเวณสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 40(2): 130 - 145.

สถิตย์ ถิ่นกำแพง, ณพงศร พันธุเณร, ถาวร ก่อเกิด, ฤทธิไกร สายคำมูล, ชัชพิมุข ยะธา, ชัชชัย สวัสดิ์มงคล และวงศธร พุ่มพวง. (2568). โครงสร้างป่าและศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน บริเวณเขาน้ำซับ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี. วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 9(1): 73 - 92. doi: 10.34044/tferj.2025.9.1.6291.

สำนักงานการปฏิรูปที่ดินจังหวัดลำพูน. (2566). สรุปผลการดำเนินงานโครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาวอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดลำพูน. ลำพูน: สำนักงานการปฏิรูปที่ดินจังหวัดลำพูน.

สำนักงานหอพรรณไม้. (2557). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

สุธีระ เหิมฮึก และดอกรัก มารอด. (2563). การตรวจสอบและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุยจังหวัดเชียงใหม่. วารสารวนศาสตร์ไทย 39(1): 97 - 109.

สุธีระ เหิมฮึก, มาลัยพร ตาเสน, ภาณุมาศ ลาดปาละ, คณิศร โชติวุฒมากร และวงศธร พุ่มพวง. (2568). ปัจจัยที่มีอิทธิพลและรูปแบบการใช้ประโยชน์ป่าไม้ในชุมชนรอบพื้นที่สงวนชีวมณฑลป่าสัก-ห้วยทาก จังหวัดลำปาง. วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 9(1): 19 - 36. doi: 10.34044/tferj.2025.9.1.6129.

สุธีระ เหิมฮึก, วิชญ์ภาส สังพาลี, พีรพันธ์ ทองเปลว และเกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. (2564). อิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมต่อการกระจายของชนิดไม้ป่าเต็งรัง ป่าสงวนป่าสันทราย อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 5(1): 17 - 32.

Condit, R. (1995). Research in large, long-term tropical forest plots. Trends in Ecology and Evolution 10(1): 18 - 22.

Conover, W.J. (1998). Practical Nonparametric Statistics. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons.

Duangon, N., Wachrinrat, C., Ngernsaengsaruay, C., Thinkampheang, S., Hermhuk, S., Thongsawi, J., Phumphuang, W., Kullawong, A., Yarnvudhi, A. and Marod, D. (2024). Effects of long-term fire protection on Deciduous Dipterocarp Forest dynamics in Northeastern Thailand. Biodiversitas Journal of Biological Diversity 25(9): 3141 - 3135. doi: 10.13057/biodiv/d250936.

Gora, E.M. and Esquivel-Muelbert, A. (2021). Implications of size-dependent tree mortality for tropical forest carbon dynamics. Nature Plants 7(4): 384 - 391. doi: 10.1038/s41477-021-00879-0.

IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Japan: IGES.

Jia, B., Guo, W., He, J., Sun, M., Chai, L., Liu, J. and Wang, X. (2022). Topography, diversity, and forest structure attributes drive aboveground carbon storage in different forest types in Northeast China. Forests 13(3): 455. doi: 10.3390/f13030455.

Kent, M., and Coker, P. (1992). Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach. 167 - 169. New York: John Wiley & Sons.

Marod, D., Hermhuk, S., Sungkaew, S., Thinkampheang, S., Kamyo, T. and Nuipakdee, W. (2019). Species composition and spatial distribution of dominant trees in the forest ecotone of a mountain ecosystem, Northern Thailand. Environment and Natural Resources Journal 17 (3): 40 - 49.

Marod, D., Phumphuang, W. and Wachrinrat, C. (2021). Effect of environmental gradients on tree distribution in lowland dry evergreen forest, northeastern Thailand. Agriculture and Natural Resources 55(5): 795 - 805.

Marod, D., Thinkampheang, S., Phumphuang, W., Yarnvudhi, A., Thongsawi, J., Kachina, P., Nakashizuka, T., Kurokawa, H. and Hermhuk, S. (2025). Relationship Between Climate Changes and Forest Dynamics Along Altitudinal Gradients at Doi Suthep-Pui National Park, Northern Thailand. Forests 16(1): 114. doi: 10.3390/f16010114.

Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K. and Kira, T. (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.

Phumphuang, W., Sungkaew, S., Wachrinrat, C., Thinkampheang, S., Hermhuk, S., Thongsawi, J., Waengsothorn, S., Lin, L. and Marod, D. (2024). Environmental factors differentially influence species distributions across tree size classes in a dry evergreen forest in Sakaerat Biosphere Reserve, northeastern Thailand. Journal of Forest Research 29(4): 297 - 205. doi: 10.1080/13416979.2024.2314834.

San-José, M., Werden, L., Peterson, C. J., Oviedo-Brenes, F., and Zahawi, R. A. (2021). Large tree mortality leads to major aboveground biomass decline in a tropical forest reserve. Oecologia 197(3): 795 - 806. doi: 10.1007/s00442-021-05048-w.

Thammanu, S., Han, H., Marod, D., Srichaichana, J. and Chung, J. (2021). Above-ground carbon stock and REDD+ opportunities of community-managed forests in northern Thailand. PLoS One 16(8): e0256005. doi: 10.1371/journal.pone.0256005.

Trisurat, Y., Alkemade, R. and Verburg, P.H. (2010). Projecting land-use change and its consequences for biodiversity in Northern Thailand. Environmental Management 45(3): 626 - 639.

Yatar, C., Thinkampheang, S., Sungkaew, S., Wachrinrat, C., Asanok, A., Kamyo, T., Hermhuk, S., Kachina, P. Thongsawi, J., Phumphuang, W., Yarnvudhi, A., Waengsoyhorn, S., Cheysawat S. and Marod, D. (2024). The dynamics of deciduous dipterocarp forest in relation to climate variability in the Sakaerat Biosphere Reserve, Northeastern Thailand. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 25(7): 3088 - 3098. doi: 10.13057/biodiv/d250730.

❑❑❑❑❑