

ผลของไฟป่าต่อสมบัติดินและการกักเก็บคาร์บอน บริเวณศูนย์เรียนรู้การพัฒนาอมก๋อย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่

Effects of Forest Fires on the Soil Properties and Carbon Storage at the Omkoi
Development Learning Center under the Royal Initiative, Omkoi District, Chiang Mai Province

ศิริรัตน์ สุขช่วย^{1*}, ธนากร ลัทธิดีระสุวรรณ¹, จักรพงษ์ ไชยวงศ์², ภัทรพร ผูกคล้าย³,
ธัญญรัตน์ เชื้อสะอาด^{4,5}, สินีนาฏ สองศรี⁵, พิศุทธิ์ ลักษะวุธ⁶, ณัฐวดี ช็อคคำ¹
Sirirat Sukchuai^{1*}, Thanakorn Lattirasuvan¹, Chackapong Chaiwong², Pattaporn Pukklay³,
Thanyarat Chuesaard^{4,5}, Sineenard Songsri⁵, Pisut Lugsawut⁶, Nattawadee Khorkha¹

¹สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ โครงการจัดตั้งวิทยาลัยการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

¹Master of Science Program in Forest Management, The Established Project of College of Forestry, Maejo University Phrae Campus. Phrae 54140, Thailand

²สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

²Division of Soil Science Faculty of Agricultural Production, Maejo University. Chiang Mai 50290, Thailand

³สาขาวิชาการป่าไม้ โครงการจัดตั้งวิทยาลัยการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

³Bachelor of Science Program in Forestry, The Established Project of College of Forestry, Maejo University Phrae Campus. Phrae 54140, Thailand

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

⁴Crop Production Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140, Thailand

⁵สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

⁵Basic Science, Maejo University Phrae Campus. Phrae 54140, Thailand

⁶โครงการอนุรักษ์ต้นรักและการพัฒนาภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้ประโยชน์จากยางรักอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เชียงใหม่ กรมป่าไม้ 50100

⁶The Lac Tree Conservation and Local Wisdom Development Project for Utilizing Lac Resin under the Royal Initiative, Chiang Mai, Royal Forest Department, 50100, Thailand

*Corresponding author. E-mail address: siriratsukchuai@gmail.com

รับต้นฉบับ 18 มีนาคม 2568

Received: 18 March 2025

รับแก้ไข 27 พฤษภาคม 2568

Revised: 27 May 2025

รับลงพิมพ์ 23 มิถุนายน 2568

Accepted: 23 June 2025

ABSTRACT

This study aimed to examine the soil properties and amount of carbon storage in order to determine the relationship between soil factors and the occurrence of plant species. Soil samples were collected from the topsoil (at depths between 0–5 cm) and subsoil layers (at depths between 20–25 cm) across three different area types: regular fire areas, fuel management areas, and fire protection areas, for at least 10 years. In total, nine plots, measuring 40 meters x 40 meters were established to collect data related to tree species composition, while three soil samples were collected in each area.

The results indicated that the areas classified under regular fire and fuel management were characterized by physical soil properties, including proportions of silt particles, clay particles, and soil moisture. The relevant chemical properties included phosphorus and magnesium. The amount of carbon stored in the biomass of all plant species was around 255.9936 and 230.1698 tons of carbon per hectare in the fire and fuel management areas, respectively. In the fire protection areas, for at least 10 years, the soil was characterized by presence of sand particles and soil hardness, with the absence of any significant chemical factors. Carbon stored in the biomass of all plant species in these areas was 196.6003 tons of carbon per hectare. Soils in fire-affected areas exhibited favorable soil texture in terms of silt and clay particle content, which contributed to better plant growth and a higher carbon storage compared to the fire protection areas, with at least 10 years of fire prevention. Therefore, it is recommended that continuous monitoring of dynamic soil and vegetation characteristics be conducted. This should include comparisons of biomass and carbon storage, as well as assessments of wildfire frequency in the study areas, to identify trends in environmental changes and native tree species. Such efforts will support a sustainable and appropriate management of forest areas

Keywords: Forest fire; Fuel management; Soil Properties; Carbon sequestration assessment

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติดินและปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยดินที่มีผลต่อการปรากฏของพรรณไม้ โดยเก็บข้อมูลดินชั้นบน (0–5 เซนติเมตร) ดินชั้นล่าง (20–25 เซนติเมตร) บริเวณพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี เก็บตัวอย่างดินพื้นที่ละ 3 จุด วางแปลงขนาด 40 เมตร x 40 เมตร เก็บข้อมูลองค์ประกอบชนิดต้นไม้ รวมทั้งสิ้น 9 แปลง

ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำและพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง ถูกกำหนดด้วยสมบัติดินทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง อนุภาคดินเหนียว และความชื้นดิน สมบัติทางเคมี ได้แก่ ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ทุกชนิด เทียบกับ 255.9936 และ 230.1698 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ พื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี พบปริมาณอนุภาคดินทรายและความแข็งดิน ไม่พบปัจจัยทางด้านเคมี ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ทุกชนิด เทียบกับ 196.6003 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ดินพื้นที่ที่มีไฟเป็นองค์ประกอบมีเนื้อดินดี (ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง และปริมาณอนุภาคดินเหนียว) ส่งผลให้พืชเติบโตและกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่าในพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี ดังนั้นควรติดตามลักษณะทางพลวัตของดินและพืช เปรียบเทียบมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน ระดับของความถี่ของไฟป่าในพื้นที่อย่างต่อเนื่อง เพื่อทราบถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม้พื้นถิ่น เพื่อให้เกิดการบริหารพื้นที่ป่าให้มีความเหมาะสมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ไฟป่า การบริหารจัดการเชื้อเพลิง สมบัติของดิน การประเมินคาร์บอน

คำนำ

ปัจจุบันความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศของโลก โดยเฉพาะความแห้งแล้งที่ผิดปกติจากปรากฏการณ์ El Niño–Southern Oscillation (ENSO) มีแนวโน้มที่จะเกิดบ่อยครั้งขึ้นและมีความรุนแรงที่สูงขึ้น (Forest Fire Control Division, 2014) ซึ่งเกิดจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (IPCC, 2021) ปัจจุบันโลกของเราได้สิ้นสุด ‘ยุคโลกร้อน’ (global warming) และกำลังเข้าสู่ ‘ยุคโลกเดือด’ (global boiling) และผลกระทบจากไฟป่าเป็นอีกหนึ่งประการซึ่งก่อให้เกิดสภาพก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการดูดกลืนและแผ่รังสีความร้อนเอาไว้ในโลกมากขึ้นอีกด้วย ก่อให้เกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change) หรือปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effects) ซึ่งกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ การเติบโตของต้นไม้ในป่าซึ่งสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเปลี่ยนสภาพให้เป็นมวลชีวภาพ (biomass) กระบวนการนี้ เรียกว่า การสะสมหรือการกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) (Creedy and Wurzbacher, 2001) และ ดิน ถือว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของแหล่งความอุดมสมบูรณ์แก่ป่าไม้และเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศ ซึ่งเรียกว่าระบบนิเวศ ประกอบด้วยส่วนของโครงสร้าง ได้แก่ สิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตในโครงสร้างของระบบนิเวศดิน ซึ่งในโครงสร้างของระบบนิเวศดินจะทำหน้าที่และความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างชัดเจน บทบาทที่สำคัญในระบบนิเวศดิน คือ ช่วยกักเก็บน้ำตามช่องว่างของดิน ความชื้นดินในดินช่วยในการควบคุมอุณหภูมิทั้งในดินและบริเวณรอบ ๆ ให้เย็นลง โดยสภาพธรรมชาติของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นพลวัตร ทั้งกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งสมบัติดิน

เหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กับการเติบโตของต้นไม้ และการกระจายของชนิดพันธุ์ไม้ในป่า และพันธุ์พืชเองก็มีส่วนช่วยในเรื่องการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในดิน การรักษาความชื้นในดิน การลดการเกิด การชะล้างพังทลายของดินและความเสื่อมโทรม เพราะฉะนั้นพืชและดินจึงมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในระบบนิเวศจนไม่สามารถแยกออกจากกันได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อระบบนิเวศถูกรบกวนด้วยปัจจัยภายนอกมักส่งผลต่อโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมลง การสำรวจดินและวิเคราะห์คุณภาพดินในระบบนิเวศป่าไม้จึงถือเป็นการตรวจสอบถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศดินเพื่อช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพของดินในปัจจุบัน และเพื่อสามารถนำมาใช้ในการวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรดินต่อไปได้ (Rathakette, 1992) รวมถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในเนื้อไม้ โดยป่าแต่ละประเภทนั้นมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนที่แตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้างและชนิดพรรณไม้ที่ขึ้นอยู่ภายในพื้นที่ป่า ป่าเต็งรัง ป่าผสมผลัดใบ และป่าสน ที่มีไม้ป่าเต็งรังเป็นองค์ประกอบจัดเป็นระบบนิเวศพึ่งไฟ มักจะขึ้นในพื้นที่แห้งแล้ง 5 – 6 เดือนต่อปี ได้รับปริมาณน้ำฝน 900 – 1,200 มิลลิเมตรต่อปี ในภาคเหนือป่าเต็งรังมักจะขึ้นตามภูเขาที่มีโขดหินดินตื้น และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีหินลูกรังปะปนต้นไม้ที่พบและกระแสรันคดงขึ้นกระจายอยู่ห่าง ๆ ในพื้นที่ค่อนข้างราบจะเป็นดินทราย ต้นไม้ที่ขึ้นอยู่มีลำต้นตรงและเติบโตค่อนข้างดี พรรณไม้เด่น คือ ไม้วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) โดยสังคมป่าเหล่านี้มีการปรับตัว เช่น การมีเปลือกลำต้นที่หนาของไม้เต็ง (*Shorea obtusa*) รัง (*Shorea siamensis*) พะยอม (*Shorea roxburghii*) สัก (*Tectona grandis*) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*)

และสนสองใบ (*Pinus merkusii*) เป็นต้น เมล็ดที่มีเปลือกหุ้ม เมล็ดที่แข็งของไม้มะค่าโมง (*Azizelia xylocarpa*) สัก (*Tectona grandis*) รวมทั้งการโปรยเมล็ดหลังผ่านฤดูไฟป่าไปแล้วของไม้เต็ง รัง และพะยอม การคงอยู่ของระบบนิเวศป่าไม้เหล่านี้ จำเป็นต้องมีไฟเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาความถี่ที่เหมาะสม หากไม่มีไฟระบบนิเวศเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไป แต่หากเกิดไฟไหม้บ่อยเกินไประบบนิเวศเหล่านี้ก็จะเสื่อมโทรมลงได้เช่นกัน (Wanthongchai, 2011) บริเวณศูนย์เรียนรู้การพัฒนาอมก๋อย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ได้ก่อตั้งขึ้นเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนในถิ่นทุรกันดารควบคู่ไปกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งพื้นที่ป่าโดยส่วนใหญ่ นั้นเป็นพื้นที่ป่าเต็งรังผสมสน (The Conservation and Restoration Project of Forests in Omkoi National Reserved Forest, Omkoi District, Chiang Mai Province and Maejo University Phrae Campus, 2014) ดังนั้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีความสำคัญโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าเต็งรังผสมสน เปรียบเทียบระหว่างพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง พื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี เพื่อเป็นข้อมูลในการบริหารจัดการด้านไฟป่าในพื้นที่ป่าเต็งรังผสมสนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่การศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาในพื้นที่ศูนย์เรียนรู้การพัฒนาอมก๋อยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอมก๋อย

จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ (FF) (≥ 7 ครั้ง/ 10 ปี) พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง (FMA) เริ่มปี พ.ศ. 2564 (1 ครั้ง/ปี) และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี (PF) (Figure 1) ซึ่งมีพื้นที่อยู่ในอำเภอมก๋อยตั้งอยู่ทางใต้สุดของจังหวัดเชียงใหม่ อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,000 เมตร พื้นที่ประมาณร้อยละ 80 มีลักษณะเป็นภูเขา สลับซับซ้อน และเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำลำธาร พ.ศ. 2551 มีพระราชดำริให้จัดตั้ง “ศูนย์เรียนรู้การพัฒนาอมก๋อย” ขึ้นในพื้นที่อำเภอมก๋อย กรมป่าไม้ได้จัดพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติอมก๋อย ตำบลอมก๋อย จำนวน 1,905 ไร่ เพื่อเป็นที่ตั้งของศูนย์เรียนรู้การพัฒนาอมก๋อย แบ่งเป็นพื้นที่สาธิต ทดลอง และบริการ 70 ไร่ พื้นที่ป่าพื้นที่ 1,835 ไร่ ศูนย์อยู่ในพิกัดที่ตั้ง 47 QMV 336 720 X: 433550 Y: 1972040 ระดับความสูง 960 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ตั้งอยู่บนถนนฮอด-อมก๋อย หมายเลข 1099 ระหว่างหลักกิโลเมตรที่ 44 และ 45 ระหว่างบ้านทุ่งจำเริง หมู่ที่ 3 ตำบลอมก๋อยและบ้านหลิม หมู่ที่ 1 ตำบลอมก๋อย สภาพพื้นที่เป็นที่ราบไหล่เขา พื้นที่ป่าส่วนใหญ่เป็นป่าเต็งรัง สภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปร้อนชื้น โดยมีอุณหภูมิต่ำสุด ประมาณ 6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด ประมาณ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ย ประมาณ 25 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ประมาณ 4 มิลลิเมตร ภายในพื้นที่มีโครงการสร้างป่าสร้างรายได้และมีกิจกรรมขยายผลด้านการจัดการของป่าอย่างยั่งยืน (มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) สมอไทย (*Terminalia chebula* var. *chebula*) สมอพิเภก (*Terminalia bellirica*)) (The Conservation and Restoration Project of Forests in Omkoi National Reserved Forest. and Maejo University Phrae Campus, 2012)

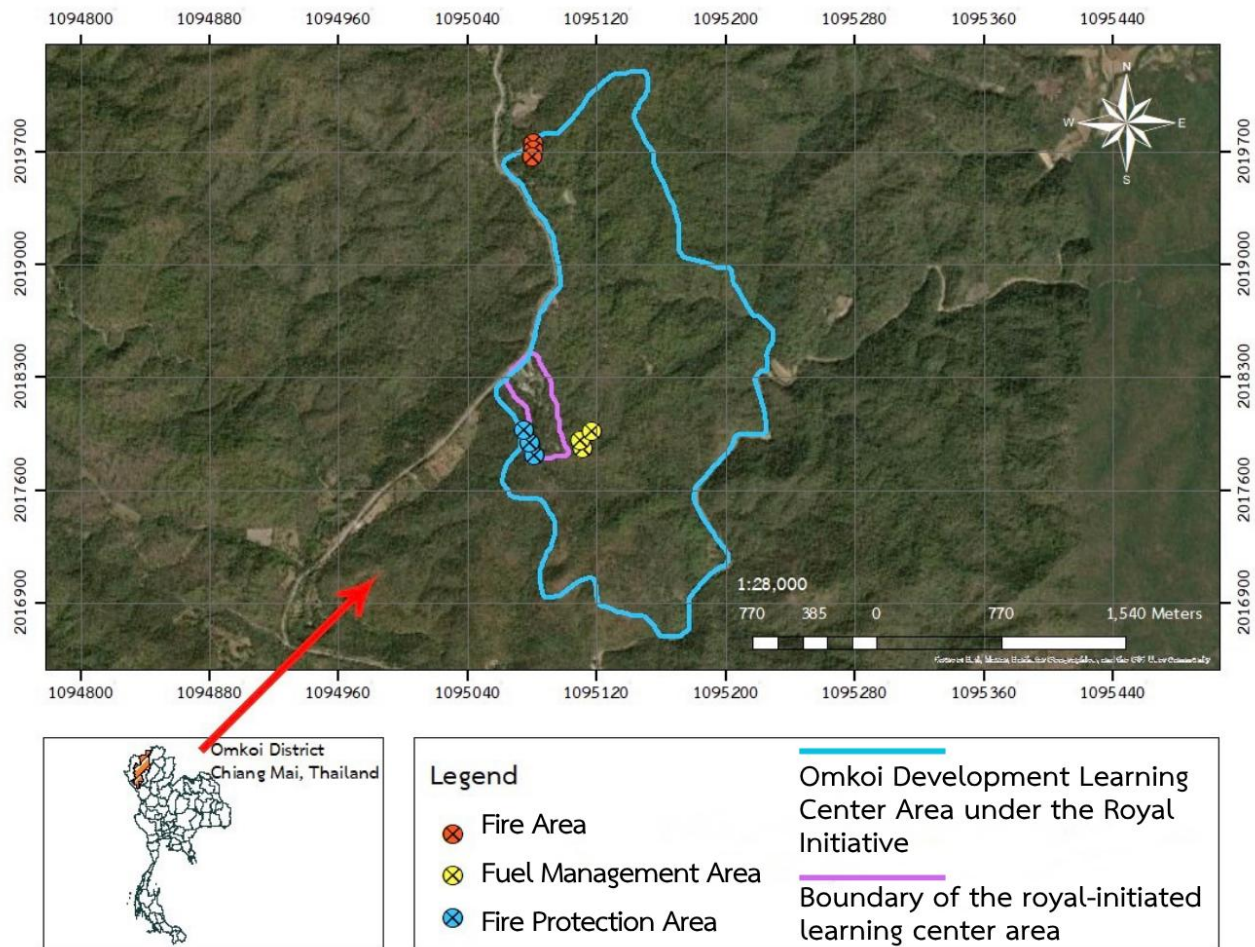


Figure 1 Study locations in Fire Area (FF), Fuel Management Area (FMA) and Fire Protection Area (PF)

การเก็บข้อมูลภาคสนามการวิเคราะห์ข้อมูล การศึกษาสมบัติดิน

เลือกพื้นที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี พื้นที่ละ 3 แปลง เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีและกายภาพ (Figure 2)

การเก็บข้อมูลทางเคมีของดิน

เก็บตัวอย่างดินชั้นบน (0–5 เซนติเมตร) และดินชั้นล่าง (20–25 เซนติเมตร) โดยเก็บแบบทำลายโครงสร้างดินแล้วทำการคลุกเคล้าตัวอย่างดินทั้ง 5 จุดให้เข้ากัน น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม/ตัวอย่างดิน/แปลง (Figure 2a)

การเก็บข้อมูลทางกายภาพของดิน

1. เก็บข้อมูลความแข็งดินในแนวนอน โดยวัดค่าความแข็งแนวนอนที่ระดับดินชั้นบน (0–5 เซนติเมตร) และดินชั้นล่าง (20–25 เซนติเมตร) ด้วยเครื่องมือวัดค่าความแข็งของดินในแนวนอน (Yamanaka-type push cone penetrometer)

2. เก็บตัวอย่างดิน 3 หลุมต่อแปลง หลุมละ 3 ซ้ำ ที่ระดับดินชั้นบนและดินชั้นล่าง ด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน (soil core) เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้นและความหนาแน่นของดิน (Sakurai *et al.*, 1995) (Figure 2b)

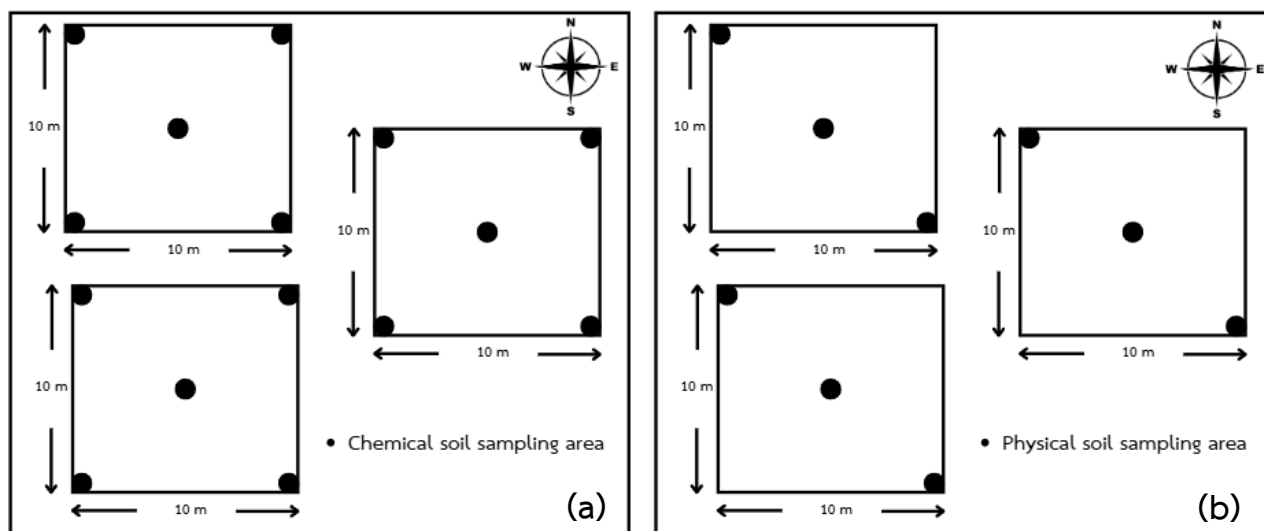


Figure 2 Soil samples collection schematic: (a) chemical soil sampling area and (b) physical soil sampling area

การวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีและทางกายภาพ

1. วิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีของตัวอย่างดิน จำนวน 18 ตัวอย่าง ในห้องปฏิบัติการกลาง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ โดยวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คาร์บอนในดิน (OC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และวิเคราะห์หาอนุภาคดิน ได้แก่ อนุภาคดินทราย (sand) ดินทรายแป้ง (silt) ดินเหนียว (clay)

2. วิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพ ได้แก่ ความแข็งดิน แนวนอน (soil hardness) ความชื้น (soil moisture) และความหนาแน่น (soil bulk density) วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรม Excel

3. วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธีการเปรียบเทียบหลายตัวแปร เพื่อจัดกลุ่มที่มีความคล้ายคลึงกัน (Duncan's multiple comparison test) ด้วยโปรแกรม SPSS Statistics Version 20

การศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้

คัดเลือกพื้นที่ที่เป็นตัวแทนที่ดี คือ บริเวณที่พบการกระจายของพรรณไม้ที่มีความหลากหลายชนิดและความหนาแน่นของหมู่ไม้ เพื่อวางแผนตัวอย่างทำการเก็บข้อมูลพรรณไม้ในพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง พื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลายาวนาน้อย 10 ปี

1. ทำการวางแผนในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลายาวนาน้อย 10 ปี ขนาด 40 เมตร x 40 เมตร จำนวน 3 แปลงต่อ 1 พื้นที่ และในแปลงย่อยมีขนาด 10 เมตร x 10 เมตร จำนวน 16 แปลงย่อยต่อ 1 แปลง เพื่อเก็บข้อมูลไม้ยืนต้น พร้อมทั้งแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 4 เมตร x 4 เมตร (TGO, 2016) (Figure 3)

2. วัดไม้ใหญ่ (tree) แปลงย่อยขนาด 10 เมตร x 10 เมตร ที่มีขนาดความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ 1.30 เมตร (diameter at breast height, DBH) มากกว่าหรือเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร แปลงย่อยขนาด 4 เมตร x 4 เมตร ลูกไม้ (sapling) ที่มี DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร มีความสูงมากกว่า 1.3 เมตร (Shewchenko *et al.*, 2018)

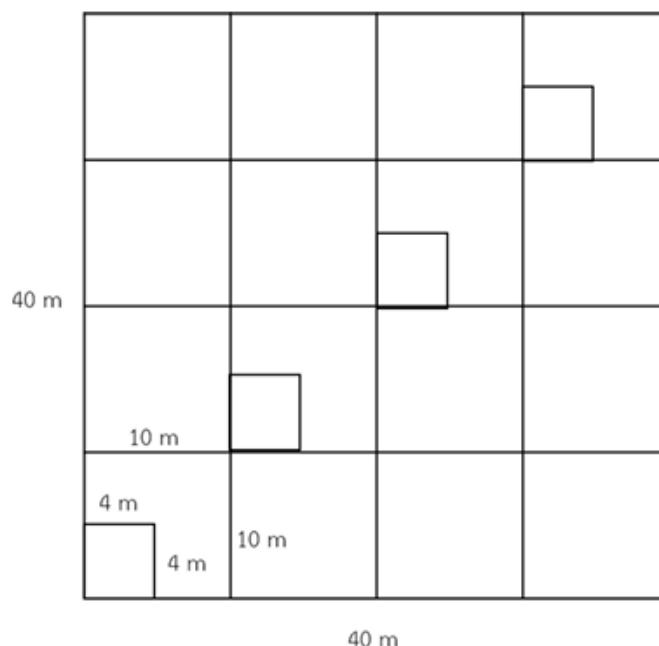


Figure 3 Grid sampling procedure (in plots of size 40 m x 40 m).

วิเคราะห์การประเมินการกักเก็บคาร์บอน

สมการแอลโลเมตรีของป่าเบญจพรรณและเต็งรัง (Ogawa *et al.*, 1965) ในการประเมินมวลชีวภาพของต้นไม้มีสมการดังนี้

$$W_S = 0.0396 (DBH^2H)^{0.9326}$$

$$W_B = 0.003487 (DBH^2H)^{1.0270}$$

$$W_L = (28.0/(W_{sb} + 0.025))^{-1}$$

จากนั้นคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้ค่ากลาง (default value) ซึ่ง (IPCC, 2021) ได้กำหนดให้ มีค่าเท่ากับร้อยละ 47 ของน้ำหนักแห้ง และคำนวณปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากค่าสัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคาร์บอน คือ 44/12

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติดินกับมวลชีวภาพในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี

โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Detrended Correspondence Analysis (DCA) วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม PCOR Version 6 (McCune and Mefford, 2011)

ผลและวิจารณ์

สมบัติดินทางเคมีและกายภาพในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี

เมื่อจำแนกเนื้อดินตามสามเหลี่ยมดิน พบว่า ดินชั้นบน (ความลึกที่ระดับ 0–5 เซนติเมตร) และดินชั้นล่าง (ความลึกที่ระดับ 20–25 เซนติเมตร) พบเป็นดินร่วนทราย (sandy loam) ของทั้งสามพื้นที่ ขณะเดียวกันดินชั้นบนของพื้นที่ป้องกันไฟ

เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี พบเป็นดินทรายร่วน (loamy sand) ซึ่งเนื้อดินทั้งสองจัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soils) คุณสมบัติดินทางเคมี ในระดับดินชั้นบน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน อินทรีย์วัตถุ คาร์บอนในดิน โพแทสเซียมที่สกัดได้ แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ของทั้งสามพื้นที่ที่มีค่าใกล้เคียงกันจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากการไม่มีไฟช่วยกระตุ้นกระบวนการปลดปล่อยแร่ธาตุ ฟอสฟอรัสจึงยังคงถูกกักเก็บอยู่ในรูปแบบที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ อย่างไรก็ตาม ธาตุอาหารบริเวณผิวหน้าดินมีแนวโน้มถูกชะล้างได้ง่ายจากฝนตก ไฟป่า การสูญเสียอินทรีย์วัตถุ และความลาดชันของพื้นที่ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลทำให้ดินเสื่อมคุณภาพในระยะยาว หากไม่มีการฟื้นฟูหรือจัดการที่เหมาะสม (Certini, 2005) (Table 1)

ในระดับดินชั้นล่าง ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า พื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี มีค่า (กรดเล็กน้อย) 6.16 เนื่องจากอินทรีย์วัตถุจะสะสมมากขึ้นในดินชั้นบนและค่อย ๆ ย่อยสลายลงสู่ชั้นล่างกระบวนการย่อยสลายดังกล่าวทำให้เกิด สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นกลางหรือเบส และเกิด ไอออนเบสที่ช่วยปรับ pH ของดินให้สูงขึ้น (Certini, 2005) อย่างไรก็ตามเบสเหล่านี้สามารถถูกชะล้างออกจากหน้าดินได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีไฟเกิดซ้ำบ่อยส่งผลให้ดิน

สูญเสียสารที่มีฤทธิ์ด้านความเป็นกรด ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงเรื่อย ๆ และดินกลายเป็นกรดในระยะยาว (Boerner *et al.* 2009) ในส่วนของอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนในดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งทั้งสองพื้นที่พบว่าพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำมีค่าสูงสุดเนื่องจากพื้นที่นี้มีไฟไหม้เป็นประจำมีกระบวนการเผาไหม้ที่ช่วยเร่งการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุบางส่วนและปลดปล่อยธาตุอาหารที่ตกค้างจากการเผา เช่น คาร์บอนและธาตุอาหารสำคัญ (Certini, 2005) และไฟที่เกิดขึ้นทำให้เศษซากพืชถูกแปรสภาพเป็นเถ้าถ่าน ซึ่งสามารถสะสมอยู่ในดินชั้นล่างและช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนในดิน นอกจากนี้ การเกิดไฟเป็นประจำช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ชั่วคราวของดินส่งผลให้ดินสามารถกักเก็บอินทรีย์วัตถุได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการสะสมนี้มักเกิดในช่วงสั้น ๆ ก่อนที่จะถูกชะล้างหรือย่อยสลายไปตามกาลเวลา (Pausas and Keeley, 2009) ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่สกัดได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งสองธาตุนี้พบว่าพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงมีค่าสูงสุด เนื่องจาก พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงมีการควบคุมการเผาไหม้เพื่อกำจัดเชื้อเพลิงสะสมบนดิน ซึ่งการเผาไหม้ดังกล่าวทำให้เกิดการสะสมของเถ้าถ่านในชั้นบนผิวดินและชั้นล่างดิน เถ้าถ่านประกอบด้วยธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ซึ่งถูกพัดพาและสะสมในดินชั้นล่างผ่านการชะล้างของน้ำฝน (Certini, 2005; Wanthongchai, 2008) นอกจากนี้ การจัดการเชื้อเพลิงอาจช่วยลดปริมาณการสะสมของเชื้อเพลิงที่อาจทำให้เกิดไฟป่ารุนแรง ส่งผลให้ธาตุอาหารเหล่านี้ไม่สูญเสียไปในรูปของก๊าซหรือถูกทำลายจากอุณหภูมิสูงในไฟป่าที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Pausas and Keeley, 2009) ในส่วนของแคลเซียมนั้นมีค่าใกล้เคียงกันจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แมกนีเซียม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงมีค่าสูงสุดเนื่องจากการเผาไหม้ที่ควบคุมได้ช่วยลดปล่อยธาตุอาหารจากเศษซากพืชเข้าสู่ดิน ในขณะที่พื้นที่ป้องกันไฟมีแมกนีเซียมต่ำที่สุด

เนื่องจากไม่มีการเผาไหม้ที่ช่วยลดปล่อยธาตุอาหารและธาตุอาหารบางส่วนอาจสูญเสียจากการชะล้างหรือจับตัวในรูปแบบที่ไม่พร้อมในการใช้งาน (DeBano, 2000; Certini, 2005) โซเดียม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงมีโซเดียมต่ำที่สุดนั้นเกิดจากการเผาไหม้ที่ควบคุมได้จึงลดการสะสมของโซเดียมในดินชั้นล่าง (DeBano, 2000; Certini, 2005) จากการศึกษาที่กล่าวมามีความใกล้เคียงกับกับการศึกษาของ Chanasuk (1990) จากการศึกษาผลผลิตของไฟต่อคุณสมบัติของดินของป่าเต็งรังสะแกราช พบว่า ไฟป่าที่เกิดขึ้นเป็นเวลา 5 ปี มีปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินเพิ่มขึ้น และเมื่อจำแนกเนื้อดิน พบว่า อนุภาคดินเหนียวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงมีค่าสูงสุด เนื่องจาก กระบวนการเผาไหม้ที่ควบคุมได้ส่งผลต่อการสะสมและการเคลื่อนย้ายอนุภาคดินเหนียวในชั้นดินผ่านกระบวนการแปรสภาพทางเคมีและกายภาพ เช่น การเผาไหม้ช่วยเพิ่มอุณหภูมิในดินทำให้ดินเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียวที่อาจจับตัวแน่นมากขึ้นและไม่ถูกชะล้างออกไปง่ายเหมือนในพื้นที่ป้องกันไฟที่มีการสะสมอินทรีย์วัตถุและเศษซากพืชในปริมาณมากส่งผลให้ดินมีความโปร่งและเกิดการชะล้างสูงกว่า (DeBano, 2000; Certini, 2005) ขณะที่สมบัติดินทางกายภาพในส่วนของความแข็งดินในแนวนอน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ทั้งในระดับดินชั้นบนและดินชั้นล่าง ความชื้นของดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในระดับดินชั้นบนและดินชั้นล่าง โดยในระดับดินชั้นล่าง (20–25 เซนติเมตร) ค่าเฉลี่ยความชื้นมากกว่าดินชั้นบน (0–5 เซนติเมตร) ซึ่งพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงที่สุด เนื่องจากในพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงมีการเผาไหม้ที่มีการควบคุมเพื่อกำจัดวัชพืชหรือเศษใบไม้ที่สะสมมากเกินไป กระบวนการนี้ช่วยลดปล่อยแร่ธาตุและสารอาหารสู่ดินทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และกักเก็บความชื้นได้ดีขึ้น (Certini, 2005) (Table 1)

Table 1 Soil properties under various land use types

Soil properties	FF	Rating	FMA	Rating	PF	Rating	p – value
<u>Surface soil (0–5 cm)</u>							
1. pH	5.63±0.17	strongly acid	5.14±0.63	moderately acid	5.87±0.05	moderately acid	0.132 ^{ns}
2. Organic Carbon (OC) (%)	1.61±0.42		1.55±0.29		1.52±0.64		0.971 ^{ns}
3. Organic Matter (OM) (%)	2.78±0.72	MH	2.68±0.50	MH	2.62±1.10	MH	0.972 ^{ns}
4. Available Phosphorus (P) (mg/kg)	12.15±1.67 a	VH	54.05±20.10 b	M	10.16±2.48 a	L	0.006***
5. Exchangeable Potassium (K) (mg/kg)	85.90±15.57 a	M	83.73±18.23 a	M	126.48±24.77 b	VH	0.067 ^{ns}
6. Exchangeable Calcium (Ca) (mg/kg)	416.5±60.01	L	425.33±75.98	L	427±84.88	L	0.983 ^{ns}
7. Exchangeable Magnesium (Mg) (mg/kg)	113.67±19.96	M	131±17.78	L	107.83±9.31	L	0.272 ^{ns}
8. Exchangeable Sodium (Na) (mg/kg)	7.20±2.48 a	L	7.27±6.13 a	L	20.12±7.81 b	L	0.058 ^{ns}
9. Sand (%)	75.01±2.31 a		76.77±1.89 a		81.68±2.00 b		0.019**
10. Silt (%)	14.67±2.31 b		14.43±1.41 b		10.00±2.00 a		0.044**
11. Clay (%)	10.32±0.00 b		8.80±1.35 b		8.32±0.00 a		0.045**
12. Soil hardness (mm)*	21.63±1.52		23.00±4.46		19.70±2.01		0.441 ^{ns}
13. Soil moisture (%)**	1.09±0.31 a		3.07±0.80 b		0.89±0.29 a		0.004**
14. Soil bulk density (g/cm ³)	1.28±0.04		1.48±0.39		1.32±0.06		0.572 ^{ns}

Table 1 (Continued)

Soil properties	FF	Rating	FMA	Rating	PF	Rating	p – value
<u>Subsurface soil (20–25 cm)</u>							
1. pH	5.63±0.26 a	strongly acid	5.3±0.12 a	moderately acid	6.16±0.07 b	slightly alkaline	0.002***
2. Organic Carbon (OC) (%)	0.66±0.11 b		0.32±0.05 a		0.33±0.17 a		0.023**
3. Organic Matter (OM) (%)	1.14±0.18 b	L	0.56±0.08 a	ML	0.57±0.29 a	L	0.020**
4. Available Phosphorus (P) (mg/kg)	6.19±3.13 a	H	30.04±12.58 b	L	5.81±2.70 a	L	0.013***
5. Exchangeable Potassium (K) (mg/kg)	78.75±15.05 ab	H	94.97±15.52 b	M	59.75±7.77 a	L	0.047**
6. Exchangeable Calcium (Ca) (mg/kg)	206±35.67	L	186±60.43	L	122.83±59.10	L	0.214 ^{ns}
7. Exchangeable Magnesium (Mg) (mg/kg)	83.17±8.08 ab	L	107±31.83 b	L	52.83±15.63 a	L	0.052**
8. Exchangeable Sodium (Na) (mg/kg)	10.72±0.35 b	L	1.63±2.36 a	L	8.17±2.77 b	L	0.005***
9. Sand (%)	69.01±8.33 a		68.11±3.89 a		79.68±0.00 b		0.066 ^{ns}
10. Silt (%)	15.33±4.16		13.09±2.75		10.67±1.15		0.234 ^{ns}
11. Clay (%)	15.65±4.16 ab		18.8±4.48 b		9.65±1.15 a		0.052**
12. Soil hardness (mm)*	22.74±1.51b		21.63±0.39ab		20.39±1.02a		0.090 ^{ns}
13. Soil moisture (%)**	2.73±0.80ab		4.91±1.87b		0.94±0.18a		0.018**
14. Soil bulk density (g/cm ³)	1.41±0.05		1.41±0.04		1.50±0.06		0.313 ^{ns}

Remarks: Values in same row followed by different lowercase letters are significantly different at $P < 0.05$ (Duncan's multiple comparison test). Analysis was conducted in the laboratory of Product Quality and Standards Inspection Service Institute Princess Sirindhorn Building Maejo University, Chiang Mai province. Lowercase letters indicate * = significant at 0.05 level ($p \leq 0.05$), ** = highly significant at 0.01 level ($p \leq 0.01$), *** = very highly significant at 0.001 level ($p \leq 0.001$), and ns = not significant at 0.05 level ($p > 0.05$). Soil Fertility Evaluation is indicated by the letters L = Low, ML = Medium–Low, H = High, and M = Medium.

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี

มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ

พื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ พบชนิดไม้ทั้งหมด 25 ชนิด 25 สกุล 17 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนต้นไม้ และขนาดพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 1,750 ต้นต่อเฮกตาร์ และ 13.150 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.18 ชนิด พบมวลชีวภาพรวม (total biomass) ของพรรณไม้ทุกชนิด มีค่าเท่ากับ 87.1467 ต้นต่อไร่ (หรือเท่ากับ 544.6672 ต้นต่อเฮกตาร์) พบมวลชีวภาพรวมของไม้ใหญ่ เท่ากับ 87.1254 ต้นต่อไร่ (หรือเท่ากับ 544.5339 ต้นต่อเฮกตาร์) โดยแบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น (Stem) กิ่ง (branch) ใบ (leaf) และราก (root) เท่ากับ 54.8605, 12.1896, 1.5526 และ 18.5227 ต้นต่อไร่ ตามลำดับเมื่อพิจารณาเป็นรายชนิด พบ 5 ลำดับแรก ได้แก่ พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) สนสองใบ (*Pinus merkusii*) เต็ง (*Shorea obtusa*) ก่อนก (*Lithocarpus polystachyus*) และรักใหญ่ (*Gluta usitata*) มีค่าเท่ากับ 36.3303, 15.9789, 9.9763, 7.9353 และ 7.3486 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ มวลชีวภาพรวมของลูกไม้ เท่ากับ 0.0213 ต้นต่อไร่ (หรือเท่ากับ 0.1333 ต้นต่อเฮกตาร์) แบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น (stem) กิ่ง (branch) ใบ (leaf) และราก (root) เท่ากับ 0.0145, 0.0017, 0.0006 และ 0.0045 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ (Table 2) เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรก ได้แก่ พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) สารภีป่า (*Anneslea fragrans*) แข้งกวาง (*Wendlandia tinctoria*) ก่อนก (*Lithocarpus polystachyus*) และคำมอกหลวง (*Gardenia sootepensis*) มีค่าเท่ากับ 0.0047, 0.0047, 0.0045, 0.0035 และ 0.0017 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ทุกชนิด มีค่าเท่ากับ 40.9590 ตันคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 255.9936 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์) พบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในไม้ใหญ่ เท่ากับ 40.9489 ตันคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 255.9309 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์) และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 150.1461 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรกที่มีการกักเก็บคาร์บอนได้มากที่สุด ได้แก่ พลวง สนสองใบ เต็ง ก่อนก และรักใหญ่ ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 17.0752, 7.5101, 4.6889, 3.7296 และ 3.4539 ตันคาร์บอนต่อไร่ ขณะที่ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในลูกไม้ เท่ากับ 0.0100 ตันคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 0.0627 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์) และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.0368 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ (Table 2) เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรกที่มี

การกักเก็บคาร์บอนได้มากที่สุด ได้แก่ พลวง สารภีป่า แข้งกวาง ก่อนก และคำมอกหลวง ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.0022, 0.0022, 0.0021, 0.0017 และ 0.0008 ตันคาร์บอนต่อไร่ มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Pati *et al.* (2025) พบว่า ในระดับไม้ใหญ่ป่าที่ถูกเผาไหม้ปานกลางจะกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่าป่าที่ไม่ถูกเผาไหม้ถึงร้อยละ 56.03 ในระดับความถี่ของการเกิดไฟไหม้ปานกลางและสูง

มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง

พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง พบชนิดไม้ทั้งหมด 25 ชนิด 22 สกุล 15 วงศ์ โดยมีความหนาแน่นของจำนวนต้นไม้ และขนาดพื้นที่หน้าตัด มีค่าเท่ากับ 1,100 ต้นต่อเฮกตาร์ และ 11.202 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.43 มวลชีวภาพรวม (total biomass) ของพรรณไม้ทุกชนิดในพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง (fuel management area) มีค่าเท่ากับ 78.3557 ต้นต่อไร่ (หรือเท่ากับ 489.7230 ต้นต่อเฮกตาร์) พบมวลชีวภาพรวมของไม้ใหญ่ เท่ากับ 78.3447 ต้นต่อไร่ (หรือเท่ากับ 489.6545 ต้นต่อเฮกตาร์) โดยแบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น (stem) กิ่ง (branch) ใบ (leaf) และราก (root) เท่ากับ 49.5131, 10.5752, 10.5752 และ 1.6005 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรก ได้แก่ พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) สนสองใบ (*Pinus merkusii*) เต็ง (*Shorea obtusa*) แข้งกวาง (*Wendlandia tinctoria*) และมะก่อ (*Lithocarpus ceriferus*) มีค่าเท่ากับ 25.9838, 23.5182, 8.2762, 7.4892 และ 3.6861 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ มวลชีวภาพรวมของลูกไม้ เท่ากับ 0.0110 ต้นต่อไร่ (หรือเท่ากับ 0.0685 ต้นต่อเฮกตาร์) แบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น (stem) กิ่ง (branch) ใบ (leaf) และราก (root) เท่ากับ 0.0075, 0.0009, 0.0003 และ 0.0023 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ (Table 2) พิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรก ได้แก่ เหมือดโลด (*Aporosa villosa*) มะก่อ (*Lithocarpus ceriferus*) แข้งกวาง (*Wendlandia tinctoria*) พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) ก่อนก (*Lithocarpus polystachyus*) มีค่าเท่ากับ 0.0055, 0.0027, 0.0014, 0.0010 และ 0.0004 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ทุกชนิดในพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 36.8272 ตันคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 230.1698 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์) พบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในไม้ใหญ่ เท่ากับ 36.8220 ตันคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 230.1376 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์) และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 135.0141 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรกที่มีการกักเก็บคาร์บอนได้มากที่สุด ได้แก่ พลวง สนสองใบ เต็ง แข้งกวาง และมะก่อ

ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 12.2124, 11.0535, 3.8898, 3.5199 และ 1.7325 ต้นคาร์บอนต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในลูกไม้ เท่ากับ 0.0051 ต้นคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 0.0322 ต้นคาร์บอนต่อเฮกตาร์) และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.0189 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ (Table 2) เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรกที่มีการกักเก็บคาร์บอนได้มากที่สุด ได้แก่ เหมือดโลด มะกอก แข็งกวาง พลวง และก่อนก ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.0026, 0.0013, 0.0006, 0.0005 และ 0.0002 ต้นคาร์บอนต่อไร่ Somprakon *et al.* (2024) กล่าวว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมักขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดของไม้ต้นของแต่ละพื้นที่

มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี

พื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี พบชนิดไม้ทั้งหมด 45 ชนิด 25 สกุล 41 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนต้นไม้ และขนาดพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 1,538 ต้นต่อเฮกตาร์ และ 11.046 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.45 ชนิด พบมวลชีวภาพรวม (total biomass) ของพรรณไม้ทุกชนิด มีค่าเท่ากับ 66.9277 ตันต่อไร่ (หรือเท่ากับ 418.2984 ตันต่อเฮกตาร์) พบมวลชีวภาพรวมของไม้ใหญ่ เท่ากับ 66.8938 ตันต่อไร่ (หรือเท่ากับ 418.0865 ตันต่อเฮกตาร์) โดยแบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น (stem) กิ่ง (branch) ใบ (leaf) และ ราก (root) เท่ากับ 42.3550, 8.9567, 1.3606 และ 14.2215 ตันต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรก ได้แก่ พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) รัง (*Shorea siamensis*) เต็ง (*Shorea obtusa*) ก่อนก (*Lithocarpus polystachyus*) และ มะกอก (*Lithocarpus ceriferus*) มีค่าเท่ากับ 20.5210, 11.5406, 10.0807, 5.8365 และ 5.0439 ตันต่อไร่ ตามลำดับ มวลชีวภาพรวมของลูกไม้ เท่ากับ 0.0339 ตันต่อไร่ (หรือเท่ากับ 0.2119 ตันต่อเฮกตาร์) แบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น (stem) กิ่ง (branch) ใบ (leaf) และราก (root) เท่ากับ 0.0231, 0.0027, 0.0009 และ 0.0072 ตันต่อไร่ ตามลำดับ (Table 2) เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรก ได้แก่ ก่อนก (*Lithocarpus polystachyus*) พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) มะกอก (*Lithocarpus ceriferus*) หนามแท่ง (*Catunaregam tomentosa*) และคำมอกหลวง (*Gardenia sootepensis*) มีค่าเท่ากับ 0.0118, 0.0047, 0.0040, 0.0033 และ 0.0024 ตันต่อไร่ ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Saroj *et al.* (2012) ได้ศึกษาความหลากหลายชนิดพันธุ์ไม้และการสะสมคาร์บอนในป่าเต็งรังที่มีไฟป่าและไม่มีไฟป่า บริเวณสถานีวิจัยวนวิจัยอินทขิล จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ป่าเต็งรังที่

ไม่มีไฟป่า มีพันธุ์ไม้ทั้งหมด 46 ชนิด ใน 38 สกุล 25 วงศ์ มีไม้พลวงเป็นพันธุ์ไม้เด่นที่สุด รองลงมาคือ เต็ง รังใหญ่ เหมือดหลวง และมะกอก ดัชนีความหลากหลายชนิดเท่ากับ 3.20 และกล่าวว่าหากป้องกันไม่ให้ไฟเกิดขึ้นในพื้นที่ป่าเต็งรังที่เป็นระบบนิเวศที่พึ่งพาไฟในระยะเวลานานมากกว่า 10 ปี ในระยะแรกสังคมพืชอาจจะมีการพัฒนาที่ดีขึ้นเนื่องจากมีต้นไม้เพิ่มขึ้น ดินมีความอุดมสมบูรณ์ขึ้นและสังคมพืชเริ่มมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปจากระบบนิเวศที่ทนไฟสู่ระบบนิเวศที่อ่อนไหวต่อไฟมากขึ้น จะทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงมากขึ้นและใช้เวลานานในการฟื้นฟูกายภาพมากขึ้นกว่าจะกลับมาสู่สถานะเดิมได้อีกครั้ง

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ทุกชนิด มีค่าเท่ากับ 31.4560 ต้นคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 196.6003 ต้นคาร์บอนต่อเฮกตาร์) พบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในไม้ใหญ่ เท่ากับ 31.4401 ต้นคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 196.5007 ต้นคาร์บอนต่อเฮกตาร์) และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 115.2804 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรกที่มีการกักเก็บคาร์บอนได้มากที่สุด ได้แก่ พลวง รัง เต็ง ก่อนก และมะกอก ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 9.6449, 5.4241, 4.7380, 2.7431 และ 2.3706 ต้นคาร์บอนต่อไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในลูกไม้ เท่ากับ 0.0159 ต้นคาร์บอนต่อไร่ (หรือเท่ากับ 0.0996 ต้นคาร์บอนต่อเฮกตาร์) และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.0584 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ (Table 2) เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบ 5 ลำดับแรกที่มีการกักเก็บคาร์บอนได้มากที่สุด ได้แก่ ก่อนก พลวง มะกอก หนามแท่ง และคำมอกหลวง ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.0055, 0.0022, 0.0019, 0.0015 และ 0.0011 ต้นคาร์บอนต่อไร่ มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Kumros *et al.* (2013) ทำการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าผลัดใบที่มีความถี่ของไฟแตกต่างกัน บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี พบว่า ความถี่ของไฟที่น้อยนั้นจะมีมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้รุ่นที่ค่อนข้างมากเนื่องจากในระยะยาวไม้วัยรุ่นสามารถปรับตัวและเติบโตได้ดีภายหลังจากการเกิดไฟ

จากการศึกษาข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาของ Marod *et al.* (2017) ได้ศึกษาการจัดกลุ่มหมู่ไม้และการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร พบพันธุ์ไม้ทั้งหมด 65 ชนิด 52 สกุล 29 วงศ์ จากการศึกษานี้ในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำมีความหลากหลายชนิด ค่าความหนาแน่นของหมู่ไม้และขนาด

พื้นที่หน้าตัดในไม้ใหญ่ กล้าไม้ และปริมาณคาร์บอน มีค่าสูงกว่าในพื้นที่บริเวณศูนย์เรียนรู้การพัฒนามกอ้อย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอมกน้อย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ เนื่องจากพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร มีการป้องกันไฟ และระบายน้ำเข้า ส่งผลให้พันธุ์ไม้เบิกนำเข้าไปในพื้นที่เป็นจำนวนมาก และ Somprakon *et al.* (2024) กล่าวว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมักขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดของไม้ต้นของแต่ละพื้นที่ ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืช มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Wattanasuksakul *et al.* (2012) จากการศึกษาการควบคุมไฟป่าในบริเวณดังกล่าวเพียง 10 ปี การเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชจึงยังไม่ปรากฏให้เห็นเด่นชัด ขณะเดียวกันจะเห็นได้ชัดว่าพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี ในขณะที่พื้นที่บริเวณศูนย์เรียนรู้การพัฒนามกอ้อย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอมกน้อย จังหวัดเชียงใหม่ นั้น จำนวนชนิดพันธุ์พืชของลูกไม้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีความใกล้เคียงกับการศึกษาของ (Kafle, 1996) พบว่า การป้องกันไฟปามีประโยชน์ในด้านการจัดการป่าเต็งรังโดยช่วยเพิ่มความหนาแน่นของต้นไม้ เพิ่มความมากมายของชนิดพันธุ์และการเปลี่ยนแปลงสีลักษณะของไม้ยืนต้น เนื่องจากพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี พืชเติบโตต่อเนื่องโดยที่ไม่ถูกรบกวนจากไฟทำให้มีการฟื้นตัวของลูกไม้ได้ดี (Certini, 2005)

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินและปริมาณมวลชีวภาพในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำ พื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง และพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี

จากการจัดลำดับสังคมพืชตามแนวการลดหลั่นของปัจจัยด้วยวิธี Detrended correspondence analysis (DCA) พบว่าค่า Eigenvalue บนแกนที่ 1 (axis 1) และแกนที่ 2 (axis 2) และแกนที่ 3 (axis 3) มีค่าเท่ากับ 0.41871, 0.14195, 0.02496 การใช้แกนที่ 1 และแกนที่ 2 ในการอธิบายผลความสัมพันธ์จึงให้ความถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจำแนกชนิดไม้ที่ตอบสนองต่อคุณสมบัติดินอย่างชัดเจน (Figure 4) ซึ่งพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำและพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง

ถูกกำหนดด้วยสมบัติดินทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง ปริมาณอนุภาคดินเหนียว และความชื้นในดิน ชนิดไม้เด่น ได้แก่ พลวง (DITU) เต็ง (SHOB) รักใหญ่ (GLUS) สนสองใบ (PIME) และ พลวง (DITU) สนสองใบ (PIME) ข้างขวาง (WETI) ตามลำดับ และถูกกำหนดด้วยสมบัติดินทางเคมี มีการสะสมธาตุหลักและธาตุอาหารรอง พบว่า ปัจจัยดินที่แสดงออกอย่างชัดเจน ได้แก่ ฟอสฟอรัส และ แมกนีเซียม พื้นที่ป่าเต็งรังในเขตที่มีการบริหารจัดการเชื้อเพลิงหรือเกิดไฟป่าเป็นประจำ มักมีดินร่วนและดินเหนียวช่วยลดการชะล้างธาตุอาหาร โดยการอุ้มน้ำและรักษาโครงสร้างดิน โดยลักษณะดินดังกล่าวส่งผลต่อความสามารถในการรองรับสารอาหารและการดูดซึมธาตุอาหารของรากไม้ (Brady and Weil, 2008) จากการศึกษาของ Pausas and Keeley (2009) พบว่า ชนิดไม้เด่นในพื้นที่เหล่านี้มักมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับดินที่มีสารอาหารจำกัดและทนต่อไฟได้ดี โดยชนิดของพืชสัมพันธ์กับสมบัติดินเนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารที่เฉพาะเจาะจง และพื้นที่ดังกล่าวจากการเผาอินทรีย์วัตถุในดินมักปลดปล่อยธาตุอาหารหลัก เช่น ฟอสฟอรัส (P) และธาตุอาหารรอง เช่น แมกนีเซียม (Mg) ในปริมาณสูงในพื้นที่ที่เกิดไฟบ่อยครั้ง (Certini, 2005) ในส่วนของพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี สมบัติดินทางกายภาพ พบ ปริมาณอนุภาคดินทราย และความชื้นในดิน ชนิดไม้เด่น ได้แก่ เต็ง (SHOB) กอนก (LIPO) และรัง (SHSI) พบ ปัจจัยดินที่แสดงออกอย่างชัดเจน ได้แก่ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความเป็นกรด-ด่าง ในด้านของสมบัติทางเคมีพบว่าไม่มีปัจจัยทางด้านเคมีเป็นตัวกำหนด ในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำและพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิงถูกกำหนดด้วยสมบัติดินทางเคมี มีการสะสมธาตุหลักและธาตุอาหารรองมากกว่าพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี เนื่องจากไฟช่วยกระตุ้นการปลดปล่อยธาตุอาหารจากอินทรีย์วัตถุในดิน และลดการแข่งขันของพืชพรรณ ขณะที่พื้นที่ป้องกันไฟเป็นเวลานานธาตุอาหารจะถูกตรึงอยู่ในดินหรือสูญเสียไปในรูปแบบที่ไม่พร้อมใช้สำหรับพืชทำให้การสะสมของธาตุอาหารลดลง นอกจากนั้นไฟป่าอาจปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านี้กลับสู่ดินในรูปที่พืชสามารถดูดซึมได้ หากเกิดไฟไหม้บ่อยเกินไประบบนิเวศเหล่านี้ก็จะเสื่อมโทรมลงเช่นกัน (Wanthongchai, 2011)

Table 2 Biomass and carbon stock in the Fire, Fuel Management, and Fire Protection Areas

Fire management areas		Biomass					BLG Root (t/rai)	Total biomass (t/rai)	Total biomass (t/ha)	Carbon storage (tC/rai)	Carbon storage (tC/ha)	Co ₂ (tCO ₂ eq / rai)	Co ₂ (tCO ₂ /ha)
		ABG (t/rai)											
		Stem	Branch	Leaf	ABG Total								
FF	Tree	54.8605	12.1896	1.5526	68.6027	18.5227	87.1254	544.5339	40.9489	255.9309	150.1461	938.4134	
	Sapling	0.0145	0.0017	0.0006	0.0168	0.0045	0.0213	0.1333	0.0100	0.0627	0.0368	0.2298	
FMA	Tree	49.5131	10.5752	1.6005	61.6888	16.6560	78.3447	489.6545	36.8220	230.1376	135.0141	843.8379	
	Sapling	0.0075	0.0009	0.0003	0.0086	0.0023	0.0110	0.0685	0.0051	0.0322	0.0189	0.1180	
PF	Tree	42.3550	8.9567	1.3606	52.6723	14.2215	66.8938	418.0865	31.4401	196.5007	115.2804	720.5024	
	Sapling	0.0231	0.0027	0.0009	0.0267	0.0072	0.0339	0.2119	0.0159	0.0996	0.0584	0.3652	

Remarks: (FF) Fire Area, (FMA) Fuel Management Area and (PF) Fire Protection Area,
ABG = Aboveground Biomass,
BLG = Belowground Biomass.

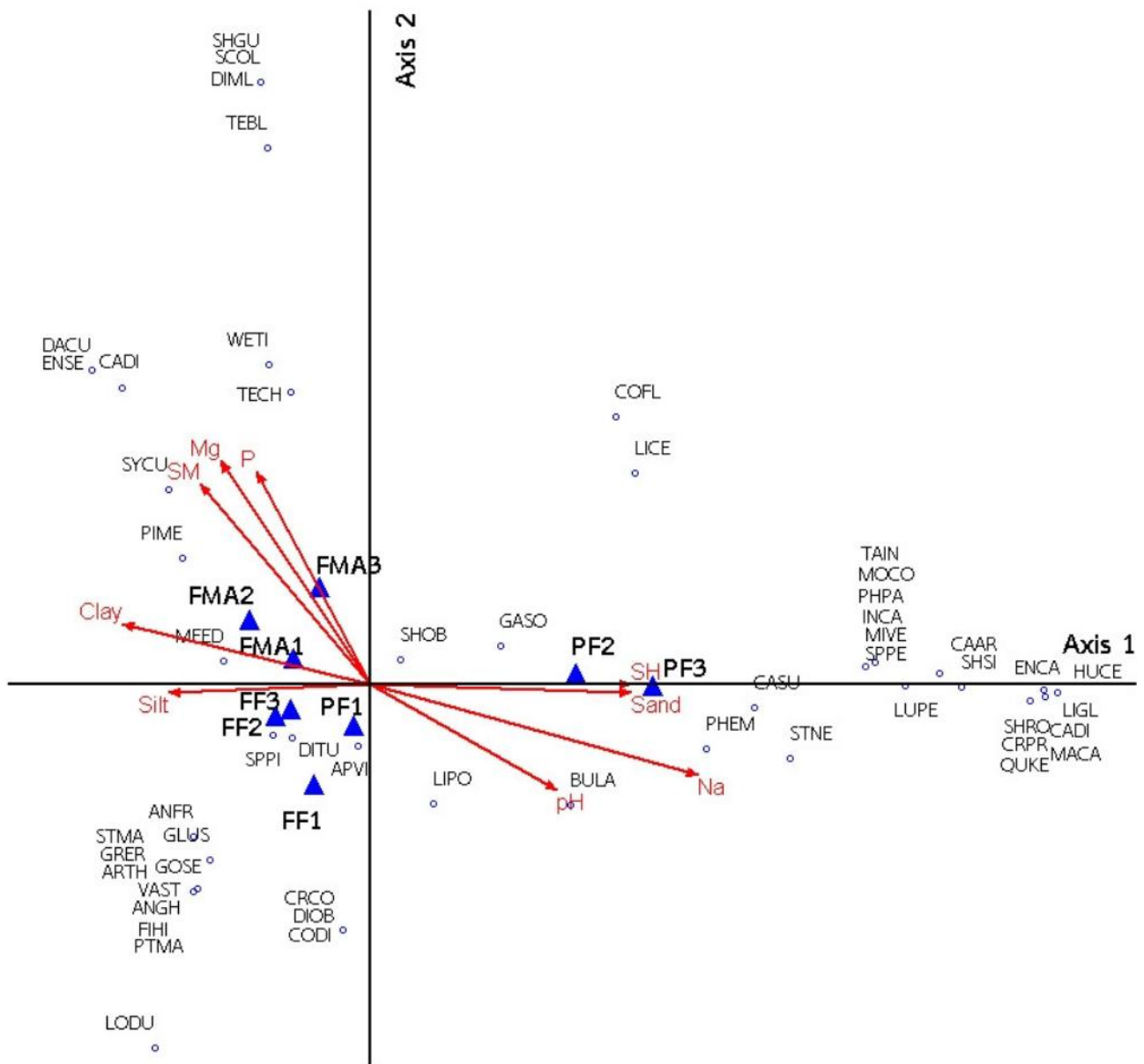


Figure 4 The DCA ordination diagram representing the relationship between edaphic factors and biomass

Remarks: pH (acidity or alkalinity of soil), organic carbon (OC), organic matter (OM), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg).

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในพื้นที่เกิดไฟไหม้เป็นประจำและพื้นที่บริหารจัดการเชื้อเพลิง ถูกกำหนดด้วยสมบัติดินทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง ปริมาณอนุภาคดินเหนียว และความชื้นในดิน ถูกกำหนดด้วยสมบัติดินทางเคมี มีการสะสมธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง พบว่า ปัจจัยดินที่แสดงออกอย่างชัดเจน ได้แก่ ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ชนิดไม้เด่น ได้แก่ พลวง ก่ออก เต็ง รักใหญ่ สนสองใบ และแซ้งกวาง ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ทุกชนิด มีค่าเท่ากับ 255.9936 และ 230.1698 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ในส่วนของพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี สมบัติทาง

กายภาพ พบเป็นปริมาณอนุภาคดินทราย และความชื้นในดิน ไม่พบปัจจัยทางด้านเคมี ชนิดไม้เด่น ได้แก่ เต็ง ก่ออก และรัง ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ทุกชนิด มีค่าเท่ากับ 196.6003 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ดินในพื้นที่ที่มีไฟเป็นองค์ประกอบมีเนื้อดินดี (ปริมาณอนุภาคทรายแป้งและปริมาณอนุภาคดินเหนียว) และอุดมด้วยธาตุอาหารมากกว่าพื้นที่ที่ไม่มีไฟซึ่งขาดธาตุอาหารเด่นชัด ส่งผลให้พืชเติบโตและกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่าในพื้นที่ป้องกันไฟเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี จากการศึกษาในครั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการรองรับการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ควรมีการสำรวจและติดตามถึงลักษณะทางพลวัต

ของดินและพืช เปรียบเทียบมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน ศึกษาระดับของความถี่ของไฟป่าในพื้นที่และพื้นที่ป่าอื่น ๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อทราบถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง ทราบถึงข้อมูลของไม้พื้นถิ่น และพิจารณาถึงชนิดพรรณไม้ ที่มีความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของพื้นที่ เพื่อให้เกิด การบริหารพื้นที่ป่าอย่างเหมาะสมมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

คำนิยม

ขอขอบพระคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติทุกท่าน ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์ การเรียนรู้พัฒนามกอ้อย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอมกอ้อย จังหวัดเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์สถานที่การทำ วิจัย ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล ขอขอบคุณ เพื่อนนักศึกษาปริญญาโทสาขาการจัดการป่าไม้ โครงการจัดตั้ง วิทยาลัยการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลให้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

REFERENCES

- Brady, N.C., Weil, R.R. 2008. **The Nature and Properties of Soils**, 14th ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey, USA.
- Boerner, R.E.J., Huang, J., Hart, S.C. 2009. Impacts of fire and fire surrogate treatments on forest soil properties: A meta-analytical approach. **Ecological Applications**, 19(2), 338–358.
- Creedy, J., Wurzbacher, A.D. 2001. The economic value of a forest catchment with Timber, water and carbon sequestration benefits. **Ecological Economics**, 38: 71–73.
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. **Oecologia**, 143(1): 1–10.
- Chanasuk, U. 1990. **Effects of Fire Frequency on Soil Properties in Dry Dipterocarp Forest at Sakaerat, Nakhon Ratchasima Province** M.S. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- DeBano, L.F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellence in wildland environments: A review. **Journal of Hydrology**, 231: 195–206.
- Forest Fire Control Division. 2014. **Forest Fire Statistics Report in Thailand**. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- IPCC. 2021. Climate change 2021–the physical science basis. **Interaction**, 49(4): 44–45.
- Kafle, K.S. 1996. **Effects of Forest Fire Protection on Plant Diversity, Tree Phenology, and Soil Nutrients in a Deciduous Dipterocarp-Oak Forest in Doi Suthep-Pui National Park**. Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
- Kumros, B., Diloksumpun, S., Wanthongchai, K., Ninkhet, O. 2022. Carbon stocks in deciduous forest with different burning frequencies at Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani province. **Thai Journal of Forestry**, 32(Supplementary): 133–141.
- Marod, D., Duangkae, P., Thongsawi, J., Phumpuang, W., Thinkamphaeng, S., Hemhuk, S. 2017. Tree stands clustering and carbon stock assessment of deciduous dipterocarp forest at Kasetsart University Chalermphrakiat Sakonnakhon Province Campus, Sakon Nakhon Province. **Thai Journal of Forest Ecology Research**, 1(1), 1–9.
- McCune, B. Mefford, M.J. 2011. **PC-ORD. Multivariate analysis of Ecological Data, Version 6.0 for Windows**. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Ogawa, H., Yoda, K., Kira, T. 1965. A preliminary survey on the vegetation of Thailand. **Nature and Life in Southeast Asia**, 1: 21–157.
- Pati, P.K., Kaushik, P., Malasiya, D., Khan, M.L., Khare, P.K. 2025. Impact of fire frequencies on biomass and carbon storage in tropical moist deciduous forest community of Bandhavgarh Tiger Reserve, central India. **Discover Forests**, 1(1): 3.
- Pausas, J.G., Keeley, J.E. 2009. A burning story: The role of fire in the history of life. **BioScience**, 59(7): 593–601. DOI: 10.1525/bio.2009.59.7.10
- Rathakette, P. 1992. **Forest Soil**. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. Khon Kaen, Thailand. (in Thai)
- Sakurai, K., Puriyakorn, B., Preechapanya, P., Tanpibal, V., Muangnil, K., Prachaiyo, B. 1995. Improvement of biological productivity in degraded lands in Thailand III. **Tropics**, 4 (2/3): 151–172.

- Saroj V, Rao PS, Rao SK, Krunal S. 2012. Pharmacognostical study of *Basella alba* stem. **International Journal of Research in Pharmaceutical and Biological Sciences**, 3: 1093-1094.
- Shewchenko, O., Asanok, L., Marod, D. 2018. Forest structure and species composition of limestone forest after mining, Phrae province. **Thai Journal of Forestry**, 37(1): 73–83. (in Thai)
- Somprakon, S., Yothapakdee, T., Howpinjai, I., Painkhit, P., Yodkeaw, S., Kruama, K., Lattirasuvan, T., 2024. Soil fertility and estimation of carbon sequestration in forest restoration at age 8 years in Phrae province. **Thai Journal of Forestry**, 43(1): 167–179 (2024) (in Thai)
- TGO. 2016. Models for predicting TGO growth to rough interface in TBCs. **Surface and Coatings Technology**, 325: 219–228.
- The Conservation and Restoration Project of Forests in Omkoi National Reserved Forest and Maejo University Phrae Campus. 2012. **Plant Diversity in the Omkoi National Forest Reserve, Omkoi District, Chiang Mai Province**. The Bureau of Royal Initiative Projects and Special Affairs. Royal Forest Department. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- The Conservation and Restoration Project of Forests in Omkoi National Reserved Forest and Maejo University Phrae Campus. 2014. **Ecological Characteristic of *Gluta usitata* (Wall.) Ding Hou at Sirinthorn Princess Royal Project Center**. The Bureau of Royal Initiative Projects and Special Affairs. Royal Forest Department. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (TGO). 2016. **Thailand Voluntary Emission Reduction Program Reference Manual: Forestry and Agriculture Sector**, 3rd ed. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Wanthongchai, K. 2008. **Effects of Different Burning Frequencies on Fire Behavior, Nutrient Dynamics Soil Properties, and Vegetation Structure and Composition in Dry Dipterocarp Forest, Huay Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Thailand**. Ph.D. Thesis, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany.
- Wanthongchai, K. 2011. **Fire Ecology in Pine-related Forests and Its Effects on Vegetation and Nutrient Dynamics at Phu Koom Khaw, Nam Nao national park**. Department of Silviculture, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Wattanasuksakul, S., Khamyong, S., Anongrak, N., Sri-ngernnyuang, K. 2012. Impacts of forest fire on soil physico-chemical properties and nutrient storages in dry dipterocarp forest, **Journal of Agriculture**, 28(1): 19–29. (in Thai)