

นิพนธ์ต้นฉบับ

พลวัตป่าไม้และการกักเก็บคาร์บอนในช่วงเวลา 10 ปี ใน
พื้นที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน จังหวัดอุตรดิตถ์และจังหวัดแพร่Forest Dynamics and Carbon Stock over a 10-year Period
at Lam Nam Nan National Park in Uttaradit and Phrae Provincesจุฑาพร ทองนุ่น^{1,2}พิชิต ลำไย^{1*}สันติ สุขสอาด¹ศุภศิษย์ ศรีอักษรินทร์¹Jutaporn Thongnun^{1,2}Pichit Lumyai^{1*}Santi Suksard¹Supasit Sriarkarin¹¹คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

² สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: fforpcl@ku.th

รับต้นฉบับ 3 พฤษภาคม 2565

รับแก้ไข 29 พฤษภาคม 2565

รับลงพิมพ์ 15 มิถุนายน 2565

ABSTRACT

This research aimed to monitor the changes in forest dynamics such as species diversity, density of trees, sapling and seedling stages, tree volume, periodic annual increment (PAI), biomass, and carbon dioxide absorption in each forest type. Twenty-three concentric sample plots were established in 2010 for tree census and were measured again in 2020. The four forest types were classified as mixed deciduous forest (MDF), dry evergreen forest (DEF), dry dipterocarp forest (DDF), and hill evergreen forest (HEF). The number of plots in each forest type were 17, 3, 2, and 1. The tree density decreased from 73.04 ± 67.89 tree/rai to 72.77 ± 96.54 tree/rai; sapling decreased from 7.03 ± 12.90 tree/rai to 3.27 ± 1.71 tree/rai and seedling decreased from 17.32 ± 5.39 to 7.93 ± 8.96 tree/rai. The tree volume however increased from 12.28 ± 7.04 to 13.81 ± 6.55 m³/rai. A paired-samples t-test was used to compare the change in tree volume between the two years and indicated that the change was non-significant. In terms of stand volume growth, the gross growth increased by 2.92 ± 3.14 m³/rai. The net growth increased by 1.51 ± 4.02 m³/rai. The biomass increased from 10.23 ± 6.45 tons/rai to 13.25 ± 3.36 tons/rai. The periodic annual increment in biomass was 0.308 ± 0.750 tons/rai/year. The total carbon dioxide absorption by each forest type was 3,348,865.83 tC and carbon dioxide sequestration was 12,279,895.09 tCO_{2eq}. Forest type with the highest carbon dioxide sequestration potential was found to be mixed deciduous forest followed by dry evergreen forest, deciduous dipterocarp forest, and hill evergreen forest.

Keywords: Biomass; Carbon stock; Dynamics; Growth; Periodic annual increment

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงพลวัตของป่าซึ่งประกอบด้วย การศึกษาความหลากหลาย ความหนาแน่นของไม้ต้น ไม้ร่น และกล้าไม้ การเติบโตของหมู่ไม้ ปริมาตรไม้ ปริมาณมวลชีวภาพ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบของมวลชีวภาพ และศักยภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละสังคมป่า จากข้อมูลแปลงตัวอย่างวงกลมซ้อนกันช่วงที่ 1 (พ.ศ. 2553) และช่วงที่ 2 (พ.ศ. 2563) จำนวน 23 แปลงตัวอย่าง ผลการศึกษาพบป่า 4 ชนิด ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขา จำนวน 17, 3, 2, และ 1 แปลง ตามลำดับ มีความหนาแน่นของไม้ต้นจำนวนลดลงจาก 73.04 ± 67.89 ต้น/ไร่ เป็น 72.77 ± 96.54 ต้น/ไร่ ไม้ร่นมีจำนวนลดลงจาก 7.03 ± 12.90 ต้น/ไร่ เป็น 3.27 ± 1.71 ต้น/ไร่ และกล้าไม้มีจำนวนลดลงจาก 17.32 ± 5.39 ต้น/ไร่ เป็น 7.93 ± 8.96 ต้น/ไร่ ปริมาตรไม้ในช่วงที่ 1 เท่ากับ 12.28 ± 7.04 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และช่วงที่ 2 เพิ่มขึ้นเป็น 13.81 ± 6.55 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ผลการทดสอบสมมติฐาน Paired-samples t-test เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรไม้ทั้งสองช่วงเวลา พบว่า ปริมาตรไม้ทั้งสองช่วงเวลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.05$) การเติบโตทั้งหมด 2.92 ± 3.14 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และการเติบโตสุทธิ 1.51 ± 4.02 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ย 10.23 ± 6.45 ตัน/ไร่ และเพิ่มขึ้นเป็น 13.25 ± 3.36 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบของมวลชีวภาพ 0.308 ± 0.750 ตัน/ไร่/ปี ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดในพื้นที่ป่าอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน $3,348,865.83$ ตันคาร์บอน และปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ $12,279,895.09$ ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า สังคมป่าที่มีศักยภาพดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด คือ ป่าเบญจพรรณ รองลงมาคือ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขาตามลำดับ

คำสำคัญ: มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน พลวัต การเติบโต ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบ

คำนำ

การเพิ่มพื้นที่ป่าและพื้นที่สีเขียวให้ได้ร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศหรือประมาณ 128 ล้านไร่ เพื่อเพิ่มปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นหนึ่งในเป้าหมายที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 รวมถึงยุทธศาสตร์กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 20 ปี และจากเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) หนึ่งในเป้าหมายที่สำคัญเพื่อการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเมืองและชุมชน การบริหารจัดการป่าไม้ทุกประเภท หักยัดการทำลายป่า การฟื้นฟูสภาพป่า และการเพิ่มพื้นที่ปลูกป่าทั่วโลก สอดคล้องกับเจตนารมณ์ของไทยที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคป่าไม้ ดังให้ไว้กับสำนักงานเลขาธิการอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ให้ได้ร้อยละ 20 - 25 ภายในปี พ.ศ. 2573

จากสถานการณ์และระดับการปล่อย ณ ปัจจุบัน (Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation: DNP, 2020)

อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่านเป็นป่านุรักษ์เชื่อมต่อระหว่างจังหวัดอุดรธานีและจังหวัดแพร่ สภาพป่าสมบูรณ์ ผืนป่าเชื่อมต่อกับอุทยานแห่งชาติขุนสถาน อุทยานแห่งชาติศรีน่าน และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลำน้ำน่านฝั่งขวา อยู่ในกลุ่มป่าดอยภูคา - แม่ยม ส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำยม และลุ่มน้ำน่าน เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารของเขื่อนสิริกิติ์ พื้นที่มีความเจริญและการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีศักยภาพด้านการท่องเที่ยวและความหลากหลายชีวภาพ (Forest and Plant Conservation Research Office, 2021) การติดตามการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ด้วยการสำรวจทรัพยากรป่าไม้อย่างต่อเนื่อง (Continuous Forest Inventory: CFI) เป็นการเก็บข้อมูลซ้ำในพื้นที่เดิมในช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อประเมินการเจริญเติบโตและความเพิ่มพูนของป่าภายใต้การจัดการพื้นที่ป่าไม้ ทำให้เกิดความตระหนักในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ ลดการ

ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้ชุมชนปรับตัวและรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้เป็นอย่างดีหากมีการทำลายสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรป่าไม้ในช่วงเวลา 10 ปี ของอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน จากการวางแผนตัวอย่างวงกลมซ้อนกัน เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผน การตัดสินใจ การบริหารจัดการพื้นที่ด้านการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรป่าไม้ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอนเพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่านประกาศจัดตั้งเป็นอุทยานแห่งชาติ ลำดับที่ 84 เมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2541 ตามพระราชกฤษฎีกา เดิมเป็นป่าสงวนแห่งชาติป่าลำน้ำน่านฝั่งขวา ป่าจirim ป่าน้ำปาด ป่าแม่แคม ป่าแม่ก้อน และป่าแม่สาย ภายหลังประกาศเป็นอุทยานแห่งชาติ ตั้งอยู่ในอำเภอน้ำปาด อำเภอท่าปลา อำเภอบ้านโคก จังหวัดอุตรดิตถ์ และอำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,440 มิลลิเมตร/ปี ฤดูร้อนอยู่ในช่วงเดือนมีนาคม - พฤษภาคม ฤดูฝนอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายน - กันยายน และฤดูหนาวอยู่ในช่วงเดือนตุลาคม - กุมภาพันธ์ จากข้อมูลสถิติป่าไม้ พ.ศ. 2563 มีพื้นที่ 622,839.33 ไร่ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) พื้นที่ป่า 499,690.75 ไร่ จำแนกชนิดป่าได้ดังนี้ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง และป่าดิบเขา และ 2) พื้นที่ไม่ใช่ป่า 123,148.58 ไร่ จำแนกพื้นที่ได้ดังนี้ พื้นที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ พื้นที่สวนป่า และพื้นที่อื่นๆ ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ฝั่งอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ มีความลาดชันไม่มาก แต่พื้นที่ป่าฝั่งจังหวัดอุตรดิตถ์และจังหวัดแพร่ มีสภาพเป็นเทือกเขาสูง โดยมีความสูงของพื้นที่ตั้งแต่ 220 เมตร ถึง 1,350 เมตรจากระดับน้ำทะเล การศึกษาได้รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิการสำรวจทรัพยากรป่าไม้

ในช่วงที่ 1 (พ.ศ. 2553) ได้รับสนับสนุนข้อมูลจากส่วนสำรวจและวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้ และเก็บข้อมูลซ้ำในช่วงที่ 2 (พ.ศ. 2563) (Forest and Plant Conservation Research Office, 2021)

การรวบรวมข้อมูล

ใช้วิธีวางแผนตัวอย่างถาวรอย่างเป็นระบบ (systematic sampling) ในพื้นที่ป่าจากการแปลภาพถ่ายทางดาวเทียม ระยะห่างแปลงวงกลม 5x5 กิโลเมตร หาจุดศูนย์กลางแปลงใช้ระบบพิกัดแบบพื้นหลักฐานสากล (World Geodetic System 1984) ของแปลงตัวอย่างที่ต้องการ ใส่ในเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) และใช้แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 ช่วยในการค้นหาเส้นทางไปยังจุดศูนย์กลางแปลงตัวอย่าง จำนวน 23 แปลงตัวอย่าง และเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสำรวจแบบ fixed-grid ในแต่ละแปลงตัวอย่างวงกลมซ้อนกัน (concentric sample plot) โดยแปลงตัวอย่างวงกลมรัศมี 17.84 เมตร เก็บข้อมูลไม้ต้น (tree) วัดต้นไม้ทุกต้นทุกชนิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height: DBH) มากกว่าหรือเท่ากับ 4.50 เซนติเมตร และความสูงมากกว่า 1.30 เมตร แปลงวงกลมรัศมี 12.62 เมตร เก็บข้อมูลไม้ (bamboo) โดยนับจำนวนไม้ทุกกอ นับจำนวนลำและส้อมวัดขนาด DBH ของไม้ที่มีขนาดเล็ก กลาง และใหญ่อย่างละ 1 ลำ เพื่อเป็นตัวแทนแต่ละกอ แปลงวงกลมรัศมี 3.99 เมตร เก็บข้อมูลไม้รุ่น (sapling) โดยนับจำนวนไม้รุ่นทุกชนิดที่มีความสูงมากกว่า 1.30 เมตร แต่ขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร แปลงวงกลมรัศมี 0.631 เมตร อยู่บนแปลงวงกลมรัศมี 3.99 เมตร จำนวน 4 แปลง ตามทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก นับจำนวนกล้าไม้ (seedling) ทุกชนิดที่มีความสูงน้อยกว่า 1.30 เมตร แสดงดัง Figure 1 (Forest and Plant Conservation Research Office, 2021)

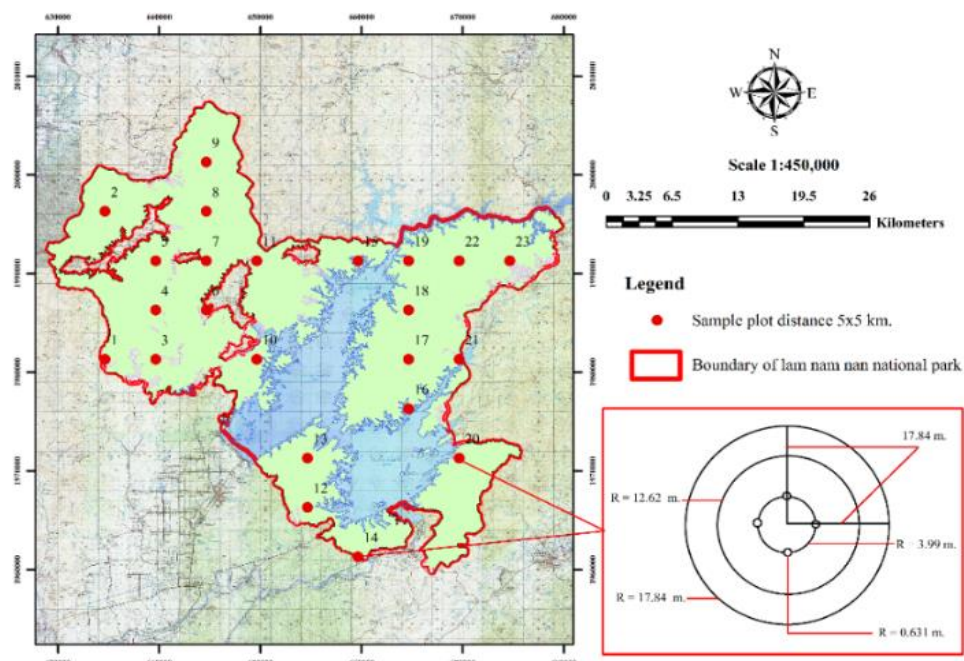


Figure 1 The location of study area in Lam Nam Nan national park.

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ค่าความหลากหลาย (species diversity) ใช้วิธี Shannon-wiener's index (Krebs, 1999 ดังสมการที่ 1

$$H' = -\sum p_i \times \ln(p_i) \quad (1)$$

โดยที่ H' = ค่าความหลากหลายของชนิดพรรณไม้
 p' = สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม้ชนิดที่ i ต่อจำนวนต้นไม้ทั้งหมด ดังสมการที่ 2

2. วิเคราะห์ค่าความร่ำรวย (richness indices)

ใช้วิธี Margale index (Margalef, 1958)

$$richness\ indices = \frac{(S-1)}{\ln(n)} \quad (2)$$

โดยที่ s = จำนวนชนิดทั้งหมดในสังคม

n = จำนวนต้นทั้งหมดที่สำรวจพบ

3. วิเคราะห์ค่าความสม่ำเสมอ (evenness indices) ใช้วิธีของ Pielou (1975) ดังสมการที่ 3

$$\begin{aligned} evenness\ indices &= \frac{H'}{\ln(S)} \\ &= \frac{\ln(N_1)}{\ln(N_0)} \end{aligned} \quad (3)$$

โดยที่ H' = ค่าความหลากหลายของ Shannon-wiener's index

s = จำนวนชนิดทั้งหมด

$$N_1 = e^H$$

2. วิเคราะห์ปริมาตรไม้รายต้นด้วยวิธี volume based approach ใช้สมการของ Nakanorn (1992) ดังสมการที่ 4 – 10

สกุล *Dipterocarpus*

$$\begin{aligned} \ln V &= 2.372083 + 2.44384 \ln \frac{(DBH)}{100} \\ R^2 &= 0.94, n = 188 \end{aligned} \quad (4)$$

สกุล *Dalbergia*

$$\begin{aligned} \ln V &= 2.134494 + 2.363034 \ln \frac{(DBH)}{100} \\ R^2 &= 0.91, n = 135 \end{aligned} \quad (5)$$

สกุล *Terminalia*

$$\begin{aligned} \ln V &= 1.880578 + 2.053321 \ln \frac{(DBH)}{100} \\ R^2 &= 0.89, n = 186 \end{aligned} \quad (6)$$

สกุล *Azizelia*

$$\ln V = 1.789563 + 2.025666 \ln \frac{(DBH)}{100}$$

$$R^2 = 0.90, n = 36 \quad (7)$$

สกุล *Pterocarpus*

$$\ln V = 2.037096 + 2.299618 \ln \frac{(DBH)}{100}$$

$$R^2 = 0.94, n = 99 \quad (8)$$

สกุล *Tectona*

$$\ln V = 2.119907 + 2.296511 \ln \frac{(DBH)}{100}$$

$$R^2 = 0.94, n = 186 \quad (9)$$

สกุลอื่นๆ

$$\ln V = 2.250111 + 2.414209 \ln \frac{(DBH)}{100}$$

$$R^2 = 0.93, n = 138 \quad (10)$$

3. วิเคราะห์การเติบโตทั้งหมดรายแปลง (gross growth: G_g) และการเติบโตสุทธิรายแปลง (net growth: G_n) ใช้สูตรของ Bertram *et al.* (1972) ดังสมการที่ 11 และ 12

$$G_g = V_2 + M + C - I - V_1 \quad (11)$$

$$G_n = V_2 + C - I - V_1 \quad (12)$$

โดยที่ G_g = การเติบโตทั้งหมดของปริมาตรไม้ที่สนใจในช่วงเวลาหนึ่ง

G_n = การเติบโตสุทธิของปริมาตรไม้ที่สนใจในช่วงเวลาหนึ่ง

V_1 = ค่าของปริมาตรไม้ที่ได้ศึกษา ณ ช่วงเวลาที่ 1

V_2 = ค่าของปริมาตรไม้ที่ได้ศึกษา ณ ช่วงเวลาที่ 2

M = การตายในช่วงเวลาที่ศึกษา (periodic mortality)

C = การตัดฟันในช่วงเวลาที่ศึกษา (periodic cut)

I = ไม้เลื้อยขึ้นในช่วงเวลาที่ศึกษา (periodic ingrowth)

4. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายแปลงตั้งแต่ข้อมูลเชิงปริมาณของต้นไม้ ไม้รุ่น กล้าไม้ ไม้ และต่อไม้

ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรไม้และมวลชีวภาพทดสอบสมมติฐานด้วยวิธี Paired-samples t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในสองช่วงเวลา

5. วิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรายต้นของไม้ต้นที่มี DBH มากกว่า 4.50 เซนติเมตรและความสูงมากกว่า 1.30 เมตร ใช้สมการแอลโลเมตรีตามสังคมป่า กรณีป่าดิบแล้งและป่าดิบเขา ใช้สมการของ Tsutsumi *et al.*, (1983) ดังสมการที่ 13

$$W_s = 0.0509(DBH^2H)^{0.919}$$

$$W_b = 0.00893(DBH^2H)^{0.977}$$

$$W_l = 0.0140(DBH^2H)^{0.669} \quad (13)$$

กรณีป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง ใช้สมการของ Ogawa *et al.*, (1965) ดังสมการที่ 14

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

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

$$W_l = \left(\frac{28.0}{W_{tc}} + 0.025\right)^{-1} \quad (14)$$

6. วิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพใต้พื้นดินรายต้นของไม้ต้น หาได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้พื้นดินและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (root/shoot ratio) ตามค่ากลาง (default value) ของ Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) กำหนดค่าสัดส่วนในแต่ละสังคมป่า ดังนี้ ป่าดิบแล้งและป่าดิบเขา เท่ากับ 0.28 และป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง เท่ากับ 0.20 ดังสมการที่ 15

$$W_r = (RS)(W_t) \quad (15)$$

โดยที่ W_s = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

W_b = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม)

W_l = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนของใบ (กิโลกรัม)

W_{tc} = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนของลำต้นและกิ่ง (กิโลกรัม)

W_r = มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (กิโลกรัม)

W_t = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

RS = อัตราส่วนมวลชีวภาพใต้ดิน/มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในแต่ละสังคมป่า

H = ความสูงของต้นไม้ถึงปลายยอด (เมตร)

DBH = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

7. วิเคราะห์ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบ (periodic annual increment: PAI) ของต้นไม้ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ใช้สมการของ Prasomsin and Duangsathaporn (2005) ดังสมการที่ 16

ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบ (ตัน/ไร่/ปี)

$$= \frac{\text{ความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพต้นไม้รายคาบ}}{\text{จำนวนปีหรือระยะเวลาคาบนั้น}} \quad (16)$$

8. วิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ คำนวณจากมวลชีวภาพของไม้ต้นรายต้นในรูปของปริมาณน้ำหนักของธาตุคาร์บอน (C) ที่อยู่ในรูปของมวลชีวภาพและน้ำหนักของธาตุคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จาก IPCC (2006) ได้กำหนดค่าประมาณ เท่ากับ 0.47 และ 3.67 ดังสมการที่ 17 และ 18

การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอน/ไร่)

$$= \text{มวลชีวภาพของไม้ต้น} \times 0.47 \quad (17)$$

การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์/ไร่)

$$= \text{การกักเก็บคาร์บอน} \times 3.67 \quad (18)$$

ผลและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงความหลากหลายชนิด

จากการสำรวจพื้นที่ป่าไม้ จำนวน 23 แปลง ตัวอย่าง จำแนกเป็นป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขา พบว่า ช่วงที่ 1 พบพรรณไม้ จำนวน 87 สกุล 106 ชนิด และ 36 วงศ์ และช่วงที่ 2 สำรวจซ้ำในแปลงตัวอย่างเดิมพบพรรณไม้เพิ่มขึ้นเป็น 114 สกุล 141 ชนิด และ 44 วงศ์ การเปลี่ยนแปลงความหลากหลายชนิดพบว่า ช่วงที่ 1 ป่าที่มีความหลากหลายชนิดสูงสุดคือ ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขา เท่ากับ 3.52 ± 0.52 , 3.49 ± 1.09 ,

2.63 ± 0.08 และ 0.68 ตามลำดับ ป่าที่มีความสม่ำเสมอสูงสุด คือ ป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง เท่ากับ 0.98 , 0.93 ± 0.06 , 0.81 ± 0.10 และ 0.72 ± 0.03 ตามลำดับ และป่าที่มีความร่ำรวยสูงสุด คือ ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขา เท่ากับ 11.30 ± 1.10 , 8.84 ± 3.21 , 6.80 ± 0.35 และ 0.34 ตามลำดับ และช่วงที่ 2 ป่าที่มีความหลากหลายชนิดสูงสุดคือ ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขา เท่ากับ 4.05 ± 0.76 , 3.33 ± 0.85 , 2.73 ± 0.18 และ 1.55 ตามลำดับ ป่าที่มีความสม่ำเสมอสูงสุด คือ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขา เท่ากับ 0.95 ± 0.04 , 0.85 ± 0.23 , 0.79 ± 0.10 และ 0.56 ตามลำดับ และป่าที่มีความร่ำรวยสูงสุด คือ ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขา เท่ากับ 18.12 ± 1.67 , 7.77 ± 1.96 , 5.81 ± 0.08 และ 2.95 ตามลำดับ (Table 1) ผลการสำรวจในภาพรวมพบว่า ความหลากหลายชนิด ความสม่ำเสมอ และความร่ำรวย ช่วงที่ 1 เท่ากับ 3.90 ± 0.36 , 0.82 ± 0.10 และ 16.50 ± 1.60 และช่วงที่ 2 เพิ่มขึ้นเป็น 4.24 ± 0.72 , 0.84 ± 0.21 และ 22.49 ± 1.57 ตามลำดับ โดยค่าความหลากหลายชนิดและความร่ำรวยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วงระยะเวลาทั้งสองแต่ความสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นเพียง 0.02 เนื่องจากการกระจายตัวของพรรณพืชในแต่ละแปลงลดลงจากการเปลี่ยนแปลงชนิดป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชนิดป่าต่าง ๆ

ชนิดป่าที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของไม้ต้นสูงสุดคือ ป่าดิบเขา รองลงมาคือ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบแล้ง ตามลำดับ มีจำนวน 73.04 ± 67.89 ต้น/ไร่ และลดลงเป็น 72.77 ± 96.54 ต้น/ไร่ พรรณไม้ที่มีความหนาแน่นสูงสุดที่พบทั้งสองช่วงเวลา ได้แก่ คอแลน (*Nephelium hypoleucum* Kurz) รัง (*Shorea siamensis* Miq) ตั้วขน (*Cratogeomys formosum* (Jacq.) Benth. & Hook. f.) แดง (*Xylocarpus* (Roxb.) W.Theob. var. *kerrii* (Craib & Hutch.) I.C.Nielsen) และสัก (*Tectona grandis* L. f.) ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติค่าความหนาแน่นของไม้ต้นพบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.62 แสดงว่า

ความหนาแน่นของไม้ต้นในสองช่วงเวลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของไม้รุ่นพบว่า ป่าที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ ป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าเต็งรัง ตามลำดับ มีจำนวน 7.03 ± 12.90 ต้น/ไร่ และลดลงเป็น 3.27 ± 1.71 ต้น/ไร่ ตามลำดับ พรรณไม้ที่มีความหนาแน่นสูงสุดที่พบทั้งสองช่วงเวลา ได้แก่ คอแลน แหหลน (*Phoebe lanceolata* Nees) ลาย (*Microcos paniculata* L.) ตะคร้อ (*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr.) และเข็มป่า (*Ixora cibdela* Craib) ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติค่าความหนาแน่นของไม้รุ่นในสองช่วงเวลาพบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.38 แสดงว่าความหนาแน่นของไม้รุ่นทั้งสองช่วงเวลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.05$) เนื่องจากไม้รุ่นส่วนใหญ่ช่วงปี 1 พบในป่าดิบเขาเดิมมีสภาพป่าที่เสื่อมโทรมตามธรรมชาติ ไม่สมบูรณ์ เมื่อเวลาผ่านไปไม้รุ่นบางส่วนเติบโตเลื่อนขึ้นเป็นไม้ต้น (ingrowth) และช่วงที่ 2 พบว่า ป่าเบญจพรรณบางแปลงมีพรรณบางส่วนตายตามธรรมชาติจากพืชที่แกร่งกว่าหรือมีความทนทาน (tolerance) เช่น คอแลน ลาย และตะคร้อ สามารถแผ่เรือนยอดปกคลุมออกไปส่งผลให้ไม้รุ่นที่อ่อนแอ (susceptible) เช่น สัก ชิงชัน (*Dalbergia oliveri* Gamble ex Prain) และตะเคียนหนู (*Anogeissus acuminata* (Roxb. ex DC.) Guill. & Perr.) โดยชนิดไม้ได้หายไปจากพื้นที่ด้วยปัจจัยคุกคาม เช่น ภัยแล้ง ไฟป่า โรค แมลง การล่าสัตว์ และเก็บหาของป่าสอดคล้องกับวิจัยของ Chaisuntornkitti *et al.*, (2013) พบว่า ไม้รุ่นในพื้นที่ศึกษาลดลงจากปัจจัยคุกคามเหล่านี้

การเปลี่ยนแปลงของกล้าไม้พบว่า ป่าที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นสูงสุด คือ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบเขา ตามลำดับ มีจำนวน 17.32 ± 5.39 ต้น/ไร่ และลดลงเป็น 7.93 ± 8.96 ต้น/ไร่ ตามลำดับ พรรณไม้ที่มีความหนาแน่นสูงสุดที่พบทั้งสองช่วงเวลา ได้แก่ ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) ขี้ฮ้าย (*Terminalia nigrovenulosa* Pierre) แดง มะเกลือเลือด (*Terminalia mucronata* Craib & Hutch.) และคอแลน ตามลำดับ จากการทดสอบค่าทางสถิติค่าความหนาแน่นของกล้า

ไม้พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.89 แสดงว่าความหนาแน่นของกล้าไม้ทั้งสองช่วงเวลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p=0.05$) เนื่องจากกล้าไม้ส่วนใหญ่ที่พบในช่วงที่ 2 สรรวจในช่วงฤดูแล้ง มีไฟป่า ส่งผลให้ระยะเวลาที่สำรวจพบชนิดและความหนาแน่นที่ไม่แน่นอน โดยเฉพาะป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรังมีไฟป่าเข้าทั้งพื้นที่ในขณะที่ป่าดิบเขามีไฟเข้าเพียงบางส่วน หลังจากไฟเข้ากล้าไม้บางส่วนถูกทดแทนด้วยสังคมไฟ โดยช่วงที่ 1 พบว่า ความหนาแน่นของไม้เฉลี่ยมีจำนวน 133.43 ± 88.61 ลำ/ไร่ และช่วงที่ 2 เพิ่มขึ้นเป็น 157.57 ± 24.76 ลำ/ไร่ ตามลำดับ เมื่อไฟสามารถยึดครองพื้นที่ ไม้ต้นที่ขึ้นในป่าไฟจะมีความหนาแน่นต่ำลงส่วนหนึ่งเกิดจากผลกระทบของการเติบโตภายใต้ร่มเงาหนาที่บดบังของกอไม้ที่ยังการเติบโตของกล้าไม้และไม้รุ่น จึงทำให้แนวโน้มของเรือนยอดป่าเป็นรูปแบบที่ไม่แน่นอนหรือเรือนยอดเปิดมากขึ้น (Marod *et al.*, 1999) และต่อไม้ช่วงที่ 1 มีความหนาแน่นเฉลี่ยมีจำนวน 0.83 ± 5.69 ต่อ/ไร่ และช่วงที่ 2 เพิ่มขึ้นเป็น 1.25 ± 13.35 ต่อ/ไร่ (Table 1) ชนิดของต่อไม้สูงสุดที่พบในช่วงเวลาที่ 2 คือ สัก รัง ตีนนก (*Vitex pinnata* L.) แดง และประดู่ ตามลำดับ ซึ่งเป็นชนิดพรรณไม้เด่นในป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง จากความหนาแน่นของไม้รุ่น ไม้รุ่น และกล้าไม้แสดงให้เห็นว่าการทดแทนของพรรณไม้ทั้งสองช่วงในสังคมป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรังถึงจุดที่ค่อนข้างเสถียรภาพ (stability) ปรากฏพรรณไม้เด่นเพียงไม่กี่ชนิดและไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยทั้งทางด้านชนิดพรรณไม้และความหนาแน่น แต่ในป่าดิบแล้งและป่าดิบเขาพบว่าป่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่า เนื่องจากชนิดป่าทั้งสองบริเวณที่พบเป็นชนิดป่าที่อยู่ติดกันเรียกว่า รอยต่อของป่า (ecotone forest) เมื่อเวลาผ่านไปป่าในแต่ละชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงสภาพไปเป็นป่าอีกชนิดหนึ่งได้ และการเปลี่ยนแปลงของพรรณไม้ที่หายไปเกิดจากการตายหรือลดลงจากการทดแทน การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เป็นไปอย่างช้าหรือเร็วแตกต่างกันออกไปลักษณะดังกล่าวจึงเป็นรูปแบบหนึ่งของพลวัตหรือเรียกว่า การทดแทนของสังคมพืช (succession) (Marod and Kutaintara, 2009)

Table 1 Species diversity and plant density in Lam Nam Nan national park.

Year : 2010												
Forest type	Number of plot	Genus	Species	Family	Diversity	Evenness	Richness	Density				
								Tree (tree/rai)	Sapling (tree/rai)	Seedling (tree/rai)	Bamboo (clump/rai)	Stump (stump/rai)
DEF	3	37	37	17	3.49±1.09	0.93±0.06	8.84±3.21	59.73±75.75	2.67±4.26	11.20±9.73	46.93±58.16	1.60±0.92
DDF	2	33	38	16	2.63±0.08	0.72±0.03	6.80±0.35	184.00±85.98	0.80±1.13	22.40±6.79	0.00	4.80±3.39
MDF	17	63	71	32	3.52±0.52	0.81±0.10	11.30±1.10	64.85±81.19	7.25±15.35	18.82±18.37	172.24±178.44	12.80±1.40
HEF	1	2	2	2	0.68	0.98	0.34	30.40	28.80	0.00	0.00	0.00
Mean					3.90±0.63	0.82±0.10	16.50±1.61	73.04±67.89	7.03±12.90	17.32±5.39	133.43±88.61	0.83±5.69
Year : 2020												
Forest type	Number of plot	Genus	Species	Family	Diversity	Evenness	Richness	Density				
								Tree (tree/rai)	Sapling (tree/rai)	Seedling (tree/rai)	Bamboo (clump/rai)	Stump (stump/rai)
DEF	3	33	34	23	3.33±0.85	0.95±0.04	7.77±1.96	36.80±39.32	5.33±4.03	19.73±9.64	147.20±76.61	0.00
DDF	2	27	31	14	2.73±0.18	0.79±0.10	5.81±0.08	127.20±78.06	1.60±2.26	0.00	42.40±59.96	1.60±1.13
MDF	17	85	110	33	4.05±0.76	0.85±0.23	18.12±1.67	62.12±65.33	3.01±3.34	7.06±11.16	182.21±150.11	27.20±2.99
HEF	1	15	15	13	1.55	0.56	2.95	252.80	4.80	3.20	0.00	0.00
Mean					4.24±0.72	0.84±0.21	22.49±1.57	72.77±96.54	3.27±1.71	7.93±8.96	157.57±24.76	1.25±13.35
P-value					0.36 ^{ns}	0.45 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.62 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.89 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.59 ^{ns}

Remarks: ^{ns} = non-significant (at a level of 95% confidence interval).

Hill evergreen forest has one plot in the study area.

DEF = dry evergreen forest, DDF = dry dipterocarp forest, MDF = mixed deciduous forest, and HEF = hill evergreen forest.

ปริมาตรของหมุ่ไม้ และการเติบโตของหมุ่ไม้

ชนิดป่าที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรไม้สูงสุด คือ ป่าดิบแล้ง รองลงมาคือ ป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ตามลำดับ ปริมาตรไม้เฉลี่ยช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2 เท่ากับ 12.28 ± 7.04 และ 13.81 ± 6.55 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ไม้เพิ่มขึ้นเป็น 1.53 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ผลการทดสอบ ค่าทางสถิติการเปลี่ยนแปลงปริมาตรไม้ พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.21 แสดงว่าปริมาตรของหมุ่ไม้ทั้งสอง ช่วงเวลาไม่แตกต่างทางสถิติ ($p=0.05$) และการเติบโต ของหมุ่ไม้ คำนวณจากสมการการเติบโตทั้งหมด (gross growth) และการเติบโตสุทธิ (net growth) ใช้ ข้อมูลปริมาตรไม้ช่วงที่ 1 (volume in 2010) และ ปริมาตรไม้ช่วงที่ 2 (volume in 2020) ปริมาตรไม้ ตาย (mortality) การตัดฟันของไม้ต้น (cut) และไม้ เลื่อนชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกมากกว่า 4.5 เซนติเมตร (ingrowth) พบว่า สังคมป่าที่มีการเติบโต สุทธิสูงสุดคือ ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง มีค่าเป็น 8.39 ± 15.27 , 4.23 , 0.35 ± 7.08 และ -0.33 ± 5.59 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ (Table 2) จะเห็นว่าการเติบโตสุทธิของ ป่าเต็งรังมีค่าเป็นลบ เนื่องจากสังคมป่าเต็งรังมี ปัจจัยแวดล้อมทางด้านไฟป่าและการลดลงของ จำนวน รวมถึงการทดแทนของสังคมไฟใน

ป่าเบญจพรรณส่งผลให้ไม้ต้นและไม้รุ่นไม่เติบโตหรือ เติบโตน้อยกว่าสังคมป่าชนิดอื่น เมื่อเทียบกับสังคม ป่าดิบเขาเดิมสภาพเสื่อมโทรมถูกปล่อยให้ฟื้นตัวเอง ตามธรรมชาติและมีการเติบโตสุทธิเพิ่มขึ้นในเวลา ต่อมาการเติบโตเฉลี่ย 2.92 ± 3.14 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และการเติบโตสุทธิเฉลี่ย 1.51 ± 4.02 ลูกบาศก์เมตร/ ไร่ แสดงค่าโดยรวมเป็นบวก แสดงว่าไม้ต้นในพื้นที่ ศึกษามีการเติบโตสุทธิเพิ่มพูนขึ้นจากช่วงที่ 1 การ เติบโตของไม้เลื่อนชั้น 0.02 ± 0.02 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ส่วนปริมาตรไม้ตายตามธรรมชาติ 1.41 ± 1.17 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ พรรณไม้ที่มีอัตราการตายสูงสุดคือ ตัวขน คอแลน กระทุ่ม (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser) กระทุ่มเนิน (*Mitragyna rotundifolia* (Roxb.) Kuntze) และสัก ตามลำดับ ชนิดไม้ที่ตาย เหล่านี้จัดเป็นไม้เบิกนำ (pioneer species) อยู่ที่ยุทธ ะดับต่ำและมีความชื้นสูง และไม้ดั้งเดิม (native species) ในพื้นที่แห้งแล้ง หากสังคมป่าถูกทดแทนไม่ ถูกรบกวนก็จะสามารถคืนสภาพได้ดั้งเดิม ทำให้ป่ามี โครงสร้างและองค์ประกอบของชนิดพรรณพืชที่ ค่อนข้างซับซ้อนยิ่งขึ้น มีระบบเรือนรากที่แผ่ซ้อนทับ กันทั้งกลุ่มพืชที่รากตื้นและรากลึก เป็นโครงสร้างที่ เหมาะสมในการช่วยยึดดิน (Marod, 2012) เนื่องจาก พื้นที่มีปริมาณน้ำฝนค่อนข้างเพียงพอและพรรณไม้เดิม ยังกระจายอยู่ทั่วไป

Table 2 Volume of gross growth and net growth of trees between 2010 - 2020.

Forest Type	Volume in 2010 (m ³ /rai)	Volume in 2020 (m ³ /rai)	Mortality (m ³ /rai)	Cut (m ³ /rai)	Ingrowth (m ³ /rai)	Gross growth (m ³ /rai)	Net growth (m ³ /rai)
DEF	13.76±10.91	22.16±25.80	0.42±0.69	0.00	0.01±0.03	8.80±14.86	8.39±15.27
DDF	24.30±5.26	24.01±10.80	2.83±2.27	0.00	0.04±0.05	2.50±3.32	-0.33±5.59
MDF	10.84±8.37	11.22±9.35	1.49±2.45	0.00	0.03±0.04	1.84±7.85	0.35±7.08
HEF	8.27	12.50	0.34	0.00	0.01	4.57	4.23
Mean	12.28±7.04	13.81±6.55	1.41±1.17	0.00	0.02±0.02	2.92±3.14	1.51±4.02
P-value	0.21 ^{ns}						

Remark: ^{ns} = non-significant (at a level of 95% confidence interval) Hill evergreen forest has only one plot in the study area.

ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน ในมวลชีวภาพ

ชนิดป่าที่มีปริมาณมวลชีวภาพสูงสุดช่วงที่ 1 คือ ป่าเต็งรัง รองลงมาคือ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา มีปริมาณเท่ากับ 17.86 ± 5.58 , 13.02 ± 9.91 , 9.29 ± 6.77 และ 2.57 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 10.23 ± 6.45 ตัน/ไร่ แบ่งออกเป็นมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก มีปริมาณเท่ากับ 6.67 ± 4.32 , 1.57 ± 0.96 , 0.19 ± 0.15 และ 1.80 ± 1.15 ตัน/ไร่ ตามลำดับ พรรณไม้ที่มีมวลชีวภาพสูงสุดคือ รัง มังตาน (*Schima wallichii* (DC.) Korth.) ประดู่ ตะแบกเปลือกบาง (*Lagerstroemia dupperreana* Pierre ex Gagnep) และมะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum* Guillauimin) ตามลำดับ และช่วงที่ 2 สังคมป่าที่มีปริมาณมวลชีวภาพสูงสุด คือ ป่าเต็งรัง รองลงมาคือ ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา และป่าเบญจพรรณ มีปริมาณเท่ากับ 18.67 ± 2.78 , 18.61 ± 25.05 , 15.95 และ 11.52 ± 10.15 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยทั้งพื้นที่ 13.25 ± 3.36 ตัน/ไร่ แบ่งออกเป็น มวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก มีปริมาณเท่ากับ 8.57 ± 2.03 , 2.07 ± 0.76 , 0.24 ± 0.10 และ 2.37 ± 0.91 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (Table 3) พรรณไม้ที่มีมวลชีวภาพสูงสุด คือ ตะแบกเปลือกบาง สารภีป่า (*Anneslea fragrans* Wall.) รัง สัก และ กระบก (*Irvingia malayana* Oliv. ex A. W. Benn.) ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณมวลชีวภาพพบว่ามีเพิ่มขึ้นเป็น 3.02 ตัน/ไร่ และคาร์บอนกักเก็บเพิ่มขึ้น

เป็น 1.42 ตันคาร์บอน/ไร่ เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาปริมาณมวลชีวภาพพบว่า ป่าดิบแล้งมีปริมาณ 13.02 ± 9.91 ตัน/ไร่ และเพิ่มขึ้นเป็น 18.61 ± 25.05 ตัน/ไร่ น้อยกว่าป่าดิบแล้งในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน มีปริมาณ 33.23 ตัน/ไร่ (Nuanurai, 2005) ป่าเต็งรังมีปริมาณ 17.86 ± 5.58 ตัน/ไร่ และเพิ่มขึ้นเป็น 18.67 ± 2.78 ตัน/ไร่ น้อยกว่าป่าเต็งรังผสมป่าสนบริเวณสวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ จังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณ 26.49 ตัน/ไร่ (Marknoi and Khumbai, 2015) ป่าเบญจพรรณมีปริมาณ 9.29 ± 6.77 ตัน/ไร่ และเพิ่มขึ้นเป็น 11.52 ± 10.15 ตัน/ไร่ มากกว่ามวลชีวภาพป่าเบญจพรรณในพื้นที่ป่าอนุรักษ์พันธุ์พืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริบริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ (อพ.สธ.) มีปริมาณ 5.74 ตัน/ไร่ (Papakchan et al., 2017) และป่าดิบเขามีปริมาณ 2.57 ± 2.57 ตัน/ไร่ และเพิ่มขึ้นเป็น 15.95 ± 15.95 ตัน/ไร่ ชนิดป่านี้เดิมเป็นป่าดิบเขาเสื่อมโทรมที่พื้นตัวเองตามธรรมชาติจึงมีปริมาณน้อยกว่าป่าดิบเขาต่ำในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณ 60.95 ตัน/ไร่ (Chaiudom et al., 2016) เนื่องจากในช่วงเวลา 10 ปี สังคมป่าบางส่วนของอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่านมีความสมบูรณ์ของสังคมป่าลดลง มีพื้นที่เกษตรกรรมพื้นที่สวนอื่นๆ เพิ่มขึ้น และในบางปีปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้นทำให้ป่าบริเวณใกล้เคียงกับน้ำเขื่อนสิริกิติ์เสื่อมโทรม ส่งผลให้ชนิดพรรณและความหนาแน่นของลูกไม้กล้าไม้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด และป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าเต็งรังถูกทดแทนด้วยไม้เพิ่มขึ้น

Table 3 Biomass estimation in each forest type in the Lam Nam Nan national park.

Forest type	Biomass in 2010 (ton/rai)				
	Stem	Branch	Leaf	Root	Total biomass
DEF	7.58±5.30	2.41±1.89	0.18±0.09	2.85±2.68	13.02±9.91
DDF	12.00±3.63	2.47±0.93	0.41±0.08	2.98±0.93	17.86±5.58
MDF	6.19±4.47	1.38±1.08	0.17±0.12	1.55±1.13	9.29±6.77
HEF	1.51	0.45	0.05	0.56	2.57
Mean	6.67±4.32	1.57±0.96	0.19±0.15	1.80±1.15	10.23±6.45

Forest type	Biomass in 2020 (ton/rai)				
	Stem	Branch	Leaf	Root	Total biomass
DEF	10.78±13.52	3.55±4.52	0.21±0.25	4.07±6.72	18.61±25.05
DDF	12.47±1.72	2.70±0.63	0.39±0.03	3.11±0.46	18.67±2.78
MDF	7.67±6.74	1.71±1.52	0.22±0.19	1.92±1.69	11.52±10.15
HEF	9.48	2.59	0.39	3.49	15.95
Mean	8.57±2.03	2.07±0.76	0.24±0.10	2.37±0.91	13.25±3.36
P-value	0.14 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.15 ^{ns}

Remark: ^{ns} = nonsignificant (at a level of confidence interval of 95%). Hill evergreen forest has one plot in the study area.

ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบของมวลชีวภาพ

ชนิดป่าที่มีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบของมวลชีวภาพสูงสุดคือ ป่าดิบเขา รองลงมาคือ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ มีค่าเท่ากับ 1.328, 0.788±1.030, 0.378±0.166 และ 0.155±0.711 ตัน/ไร่/ปี ตามลำดับ (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบของมวลชีวภาพพบว่า มีความเพิ่มพูนเฉลี่ย 0.308±0.750 ตัน/ไร่/ปี น้อยกว่าสังคมพืชในแปลงตัวอย่างป่าพื้นที่ชุ่มน้ำบึงป่าเขาภูหลวง

จังหวัดนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 0.773 ตัน/ไร่/ปี (Duangklang et al., 2018) เนื่องจากความสม่ำเสมอของพรรณไม้ในป่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดและป่าเบญจพรรณที่อยู่ใกล้อ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์พื้นที่แนวเขตอุทยานมีการใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ปศุสัตว์ ส่งผลให้ป่ามีความสมบูรณ์ลดลงกลายเป็นไร่ร้างเป็นสาเหตุให้ความเพิ่มพูนรายปีของมวลชีวภาพของไม้ต้นที่ช่วยในการเก็บคาร์บอนและดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

Table 4 Periodic annual increment (PAI) in each forest type between 2010 - 2020.

Forest type	PAI (ton/rai/year)		
	Biomass	Carbon stock	CO ₂ sequestration
DEF	0.788±1.030	0.371±0.484	1.360±1.775
DDF	0.378±0.166	0.177±0.078	0.649±0.286
MDF	0.155±0.711	0.073±0.334	0.267±1.225
HEF	1.328	0.624	2.288
Mean	0.308±0.750	0.145±0.353	1.292±1.292

ศักยภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในไม้ต้น

ศักยภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ต้น ณ ปีปัจจุบัน พ.ศ. 2563 พบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเฉลี่ย 6.23 ± 1.58 ตันคาร์บอน/ไร่ ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 22.84 ± 5.79 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ไร่ ป่าที่มีความหนาแน่นในการกักเก็บคาร์บอนสูงสุดคือ ป่าเต็งรัง ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา และป่าเบญจพรรณ มีปริมาณเท่ากับ 8.77 ± 1.31 , 8.75 ± 11.78 , 7.50 และ 5.41 ± 4.77 ตันคาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย มีปริมาณเท่ากับ 32.16 ± 4.79 , 32.08 ± 43.18 , 27.50 และ 19.84 ± 17.48 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ไร่ ตามลำดับ (Table 5) เมื่อเทียบการกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ทั้งหมดในป่าแต่ละชนิดโดยใช้ข้อมูลการจำแนกป่าปกคลุม พ.ศ. 2563 มาใช้ประกอบการประเมินศักยภาพพบว่า มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งพื้นที่ 3,348,865.83 ตัน คิดเป็นปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ 12,279,895.09 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ชนิดป่าที่มีศักยภาพสูงสุดคือ ป่าเบญจพรรณ รองลงมาคือ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าดิบเขา ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Chandaeng *et al.*, (2020) พบว่า ป่าดิบเขามีปริมาณคาร์บอนสูงสุด รองลงมาคือ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ตามลำดับ ทั้งนี้สาเหตุและปัจจัยที่ทำให้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ศักยภาพของพรรณไม้ สภาพภูมิอากาศ โครงสร้าง

สังคมพืช และองค์ประกอบของป่าอื่น ๆ สาเหตุหลักที่ทำให้ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่แห่งนี้ลดลง เนื่องจากโครงสร้างของป่ามีการเปลี่ยนแปลงจากการปล่อยทิ้งให้ป่ากลับมาฟื้นตัวเองตามธรรมชาติจึงต้องใช้ระยะเวลา ลักษณะทางชีวลักษณะของต้นไม้ที่มีการผลัดใบในฤดูแล้ง และการเติบโตของพรรณไม้ที่ลดลง อันเนื่องจากภัยธรรมชาติ เช่น ไฟป่า น้ำท่วม เป็นต้น พรรณไม้ที่มีศักยภาพดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์คือ ลำพูป่า (*Duabanga grandiflora* (DC.) Walp.) ทองหลวงป่า (*Erythrina subumbrans* (Hassk.) Merr.) กางหลวง (*Albizia chinensis* (Osbeck) Merr.) ตะแบก เปลือกบาง และมะค่าโมง (*Azizia xylocarpa* (Kurz) Craib) ตามลำดับ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 25.78 ± 52.64 กิโลกรัม/ตัน/ปี มากกว่าการศึกษาศักยภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต้นไม้ริมถนนของกรุงเทพมหานครมีปริมาณเท่ากับ 12.00 กิโลกรัม/ตัน/ปี (Masahiko *et al.*, 2016) แต่น้อยกว่าศักยภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต้นไม้ในสวนสันติภาพ มีปริมาณเท่ากับ 47.31 กิโลกรัม/ตัน/ปี (Kliangsard *et al.*, 2020) แสดงว่าพรรณไม้ที่ขึ้นตามป่าตามธรรมชาติมีศักยภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าต้นไม้ริมถนนในเขตเมือง แต่ยังมีศักยภาพน้อยกว่าพรรณไม้ในพื้นที่ที่มีการดูแลต้นไม้ที่ดี มีระยะห่างที่เหมาะสมเพิ่มความเพิ่มพูนรายปีของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ และชนิดพรรณไม้โตเร็วมีค่าการการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าไม้โตช้า

Table 5 Carbon stock and carbon dioxide sequestration in each forest type in 2020.

Forest type	Area (rai)	Density		Total	
		Carbon Stock (tC/rai)	CO ₂ Sequestration (tCO ₂ eq/rai)	Carbon Stock (tC)	CO ₂ Sequestration (tCO ₂ eq)
DEF	129,936.16	8.75 ± 11.78	32.08 ± 43.18	1,136,941.40	4,168,352.01
DDF	48,221.89	8.77 ± 1.31	32.16 ± 4.79	422,905.98	1,550,815.98
MDF	297,835.79	5.41 ± 4.77	19.84 ± 17.48	1,611,291.62	5,909,062.07
HEF	23,696.91	7.50	27.50	177,726.83	651,665.03
Mean		6.23 ± 1.58	22.84 ± 5.79		
Total	499,690.75			3,348,865.83	12,279,895.09

สรุป

การติดตามพลวัตของป่าไม้และการกักเก็บคาร์บอนช่วงเวลา 10 ปี พื้นที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน พบป่า 4 ชนิดคือ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา ในช่วงที่ 1 พบพรรณไม้ 87 สกุล 106 ชนิด และ 36 วงศ์ และช่วงที่ 2 พบพรรณไม้ 114 สกุล 141 ชนิด และ 44 วงศ์ ความหลากหลายชนิด ความสม่ำเสมอและความร่ำรวยช่วงที่ 1 เท่ากับ 3.90 ± 0.63 , 0.82 ± 0.10 และ 16.50 ± 1.61 ตามลำดับ และช่วงที่ 2 เพิ่มขึ้นเป็น 4.24 ± 0.72 , 0.84 ± 0.21 และ 22.49 ± 1.57 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของพรรณไม้ในสองช่วงเวลา พบว่า ความหนาแน่นของไม้ต้นมีจำนวนลดลง 0.27 ต้น/ไร่ ความหนาแน่นของไม้รุ่มมีจำนวนลดลง 3.76 ต้น/ไร่ ความหนาแน่นของกล้าไม้มีจำนวนลดลง 9.39 ต้น/ไร่ พรรณไม้ที่พบมากที่สุดช่วงที่ 1 คือ คอแล่น รัง และตัวขน และพรรณไม้ที่พบมากที่สุดช่วงที่ 2 คือ คอแล่น ก้านยาว (*Daphniphyllum beddomei* Craib) และรัง ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรไม้มีค่าเพิ่มขึ้น 1.53 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ การเติบโตทั้งหมด เท่ากับ 2.92 ± 3.14 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และการเติบโตสุทธิ เท่ากับ 1.51 ± 4.02 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ค่าเป็นบวกแสดงว่าไม้ต้นในพื้นที่มีการเติบโตสุทธิเพิ่มพูนเพิ่มขึ้นจากช่วงที่ 1 ปริมาตรไม้จากการตาย 1.41 ± 1.17 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณมวลชีวภาพ คาร์บอนกักเก็บ และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์พบว่า มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 3.02 ต้น/ไร่ 1.42 ต้นคาร์บอน/ไร่ และ 5.21 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์/ไร่ ตามลำดับ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายคาบของมวลชีวภาพ คาร์บอนกักเก็บ และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.308 ± 0.750 , 0.145 ± 0.353 และ 0.531 ± 1.292 ต้น/ไร่/ปี และศักยภาพกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ปีปัจจุบันที่ศึกษา (พ.ศ. 2563) พบว่า มีปริมาณ 6.23 ± 1.58 ต้นคาร์บอน/ไร่ และ 22.84 ± 5.79 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณคาร์บอนต่อพื้นที่ทั้งหมด เท่ากับ 3,348,865.83 ต้นคาร์บอน หรือ 12,279,895.09 ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตามลำดับ ข้อมูลการติดตามพลวัตของป่าไม้และการกักเก็บคาร์บอนในครั้งนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการวางแผนตัดสินใจและการบริหารจัดการพื้นที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่านเพื่อการประเมินแนวโน้มในการเกิดความเสื่อมโทรมของป่ามาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปลูกป่าฟื้นฟูหรือปลูกป่าทดแทนและเป็นข้อมูลสำหรับประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่อนุรักษ์ไป

REFERENCES

- Bertram, H., Charles, I.M., Thomas. W.B. 1972. **Forest Mensuration**. The Ronald Press Camp, New York.
- Chaisuntornkitti, T., Duangsathaporn, K., Prasomsin, P., Omule, A.Y. 2013. Vegetation dynamics over a 10-year period in a dry dipterocarp forest in Mae-Huad sector, Ngao demonstration forest, Lampang province. **Thai Journal of Forestry**, 7(14): 85-66. (in Thai)
- Chandaeng, W., Puangchit, L., Junkerd, N., Jumwong, N. 2020. Carbon stock of different forest communities at Wang Nam Khiao forestry research and student training station, Nakhon Ratchasima province. **Thai Journal of Forestry**, 39(1): 57-70. (in Thai)
- Chaiudom, K., Kamchanasutham, S., Nualchawee, K., Sri-ngernyuang, K., Sungpalee, W. 2016. A causal relationship model among above-ground biomass and vegetation index lower montane forest, Doi Inthanon national park, Chiangmai, Thailand. **Journal of Phranakhon Rajabhat Research (Science and Technology)**, 11(1): 27-35. (in Thai)
- Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation (DNP). 2020. Forest reference emission level and forest

- reference level Thailand. *In Forest Reference Emission Level and Forest Reference Level Thailand Report*. Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation, Bangkok.
- Duangklang, K., Teejuntuk, S., Maelim, S. 2018. Changing and carbon sequestration of plant community in forest restoration sampling plot at Pakhao-Phuluang, Nakhon Ratchasima province. *In The 19th KKU National Graduate Research Conference*. 9 March 2018. Khon Kaen University, Khon Kaen. (in Thai)
- Forest and Plant Conservation Research Office. 2021. **Forest Inventory**. Forest Inventory, Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant, Bangkok.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. International Panel on Climate Change. IGES, Japan.
- Kliangsaard, T., Puangchit, L., Suanpaga, W. 2020. Carbon dioxide sequestration and carbon storage in trees at the Santiphap park, Bangkok. **Thai Journal of Forestry**, 39(1): 86-96. (in Thai)
- Krebs, C.J. 1999. **Ecological Methodology (2nd)**. Addison Wesley Longman, California.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. **General Systematic**, 3: 36-71.
- Marknoi, C., Khumbai, T. 2015. Carbon storage and nutrient accumulation in pine-deciduous dipterocarp forest in Queen Sirikit Botanic Garden, Chiang Mai province, pp. 262-267. *In Proceedings of the 4th Thai Forest Ecological Research Network*, Naresuan University. 22-23 January 2015. Faculty of Agriculture, Natural Resource and Environment, Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- Marod, D. 2012. **Forest Restoration for Soil and Water Conservation**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok.
- Marod, D., Kutaintara, U., Yawudhi, C., Tanaka, H., Nakashisuka, T. 1999. Structural dynamics of a natural mixed deciduous forest in western Thailand. **Journal of Vegetation Science**, 10: 777-786.
- Marod, D., Kutaintara, U. 2009. **Forest Ecology Wood**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok.
- Masahiko, F., Puangchit, L., Sugaware, F., Sripraram, D., Jiamjeerakul, W., Kato, H. 2016. Carbon sequestration estimation of urban trees in parks and streets of Bangkok metropolitan. **Thai Journal of Forestry**, 35(3): 30-41. (in Thai)
- Na-nakorn, T. 1992. **The Results of the Preparation of Wood Volume Tables by Using Spiegel Relascope at Demonstration Forest, Ngao District, Lampang Province**. Forest Management Division, Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)
- Nuanurai, N. 2005. **Comparison of Leaf Area Index, Above-Ground Biomass and Carbon Sequestration of Forest Ecosystems by Forest Inventory and Remote Sensing at Kaeng Krachan National Park, Thailand**. M.Sc. thesis,

- Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., 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.
- Papakchan, N., Asanok, L., Tapyai, C. 2017. Plant community and environmental factors influence on the natural regeneration of tree in the forest edge of deciduous dipterocarp forest and mixed deciduous forest after highland maize cropping at Mae Khum Mee watershed, Phrae province, pp. 123-131. In: **Proceedings of the 6th Thai Forest Ecological Research Network, Mahodol University**. 19-20 November 2017. Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Pielou, C.E. 1975. **Ecological Diversity**. Willey and Sons, New York.
- Prasomsin, P., Duangsathaporn, K. 2005. **Forest Mensuration I**. Faculty of Forestry, Kasetsart University. (in Thai)
- Tsutsumi, T., Yoda, K., Sahunalu, P., Dhanmanonda, P., Prachaiyo, B. 1983. Forest: burning and regeneration. In Kyuma, K., Pairintra, C. (Eds). **Shifting Cultivation, An Experiment at Nam Phrom, Northeast Thailand, and It Implications for Upland Farming in the Monsoon Tropics**. A report of a cooperative research between Thai-Japanese Universities.
-