

นิพนธ์ต้นฉบับ

การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสนสามใบ
หน่วยจัดการต้นน้ำป่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่Biomass Carbon Stocks of Trees in Pine Plantations at Boa Kaew
Watershed Management Station, Chiang Mai Provinceสมชาย นองเนื่อง¹Somchai Nongnuang¹สุนทร คำยอง¹Soontorn Khamyong¹เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง²Kriangsak Sri-ngernyung²นิวัต อนงค์รักษ์¹Niwat Anongrak¹¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

E-mail: somchai46@gmail.com

² คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

Faculty of Architecture and Environmental Design, Mae Jo University, Chiang Mai 50200, Thailand

รับต้นฉบับ 25 กรกฎาคม 2554

รับลงพิมพ์ 5 ตุลาคม 2554

ABSTRACT

Biomass carbon stocks of *Pinus kesiya* and other tree species in 14 - 34 years-old pine plantations were studied at the Boa Kaew watershed management station, Chiang Mai province. In total, 63 sample plots, 40 x 40 m² in size (3 plots/age class) were established. Stem diameter at 1.30 m above ground and the height of all trees were measured to calculate the aboveground biomass. The biomass of *P. kesiya* was calculated from an allometric equation constructed using a stratified-clip technique from plantations in four age classes (20, 26, 30 and 33 years old). The amount of organic carbon of *P. kesiya* was analyzed by wet oxidation. The forest biomass and organic carbon of other tree species were estimated using the equation of Tsutsumi *et al.* (1983). It was found that the aboveground biomass varied among plantations (12,490 - 37,253 kg/rai) including 3,003 - 27,491 kg/rai for *P. kesiya* and 1,582 - 19,238 kg/rai for other tree species. The carbon stocks varied between 6,228 and 18,709 kg/rai, of which 1,523 - 13,883 kg/rai was for pine and 785 - 9,540 kg/rai was for the other species. The carbon stocks of pine tended to increase with stand age, but great fluctuations were observed. The other tree species in the pine plantation played an important role in the carbon stock, contributing from 6 to 80% of the total carbon stock in the pine plantation. The majority of these other species was in the families Fagaceae, Theaceae, Myrtaceae, Leguminosae, Euphorbiaceae, Rubiaceae and Lauraceae.

Keywords: *Pinus kesiya* plantation, plant succession, forest biomass, carbon stocks

บทคัดย่อ

ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของสนสามใบและพรรณไม้ที่ขึ้นทดแทนในสวนป่าสนสามใบของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ อายุ 14-34 ปี โดยวางแผนตัวอย่างขนาด 40 x 40 เมตร ทุกชั้นอายุๆ ละ 3 แปลง รวมทั้งหมด 63 แปลง วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูงของต้นไม้ทุกต้นในแปลงเพื่อหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพรรณไม้ในสวนป่า มวลชีวภาพของไม้สนสามใบคำนวณจากสมการ allometric ที่สร้างขึ้นโดยใช้ stratified-clip technique โดยสุ่มตัดตัวแทนต้นสนสามใบในสวนป่าอายุ 20, 26, 30 และ 33 ปี นำตัวแทนชิ้นส่วนต่างๆ ของสนสามใบทั้ง 4 ชั้นอายุไปวิเคราะห์หาอินทรีย์คาร์บอนโดยวิธี wet oxidation ส่วนมวลชีวภาพและการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ชนิดอื่น คำนวณโดยใช้สมการของ Tsutsumi *et al.* (1983) ผลการวิจัยพบว่า มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ในสวนป่าแปรผันระหว่าง 12,490 - 37,253 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นมวลชีวภาพสนสามใบ 3,003 - 27,491 กิโลกรัมต่อไร่ และพรรณไม้ชนิดอื่นๆ 1,582 - 19,238 กิโลกรัมต่อไร่ การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่าแปรผันระหว่าง 6,228 - 18,709 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพสนสามใบ 1,523 - 13,883 กิโลกรัมต่อไร่ และในพันธุ์ไม้ชนิดอื่นๆ 785-9,540 กิโลกรัมต่อไร่ การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของสนสามใบมีความแปรผันระหว่างชั้นอายุ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มเพิ่มตามอายุของสวนป่า พรรณไม้ที่ขึ้นทดแทนในสวนป่ามีบทบาทมากต่อการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพ โดยมีค่าระหว่างร้อยละ 6 - 80 ของคาร์บอนที่สะสมทั้งหมดในสวนป่า ส่วนใหญ่เป็นไม้วงศ์ก่อ วงศ์เมี่ยง วงศ์ชมพู วงศ์ถั่ว วงศ์มะขามป้อม วงศ์เข็ม และวงศ์อบเชย เป็นต้น

คำสำคัญ: สวนป่าสนสามใบ การทดแทนของพรรณไม้ มวลชีวภาพป่าไม้ การสะสมคาร์บอน

คำนำ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมบนพื้นที่สูงในภาคเหนือของประเทศไทย ทำให้การกักเก็บธาตุคาร์บอนในระบบนิเวศลดลงอย่างมาก การปลูกป่าของกรมป่าไม้บนพื้นที่ต้นน้ำส่วนใหญ่เป็นสวนป่าไม้สนสามใบ ซึ่งมีอยู่ทั้งหมดประมาณ 150,000 เฮกตาร์ (Royal Forest Department, 1993) สวนป่าสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเปลี่ยนสภาพให้สารประกอบคาร์โบไฮเดรตสะสมในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของพืช (biomass) กระบวนการนี้เรียกว่า การสะสมคาร์บอน หรือการกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในป่าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิด อัตราการเจริญเติบโต อายุพรรณไม้ ปริมาณ

น้ำฝน อุณหภูมิและลักษณะพื้นที่ ฯลฯ การกักเก็บคาร์บอนจะมีประสิทธิภาพมากในระยะที่เป็นไม้หนุ่มและจะลดลงเมื่อสวนป่ามีอายุมากขึ้น (Ciesla, 1995) ป่าธรรมชาติมีศักยภาพการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของระบบนิเวศแตกต่างกัน ป่าดิบเขาในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน มีปริมาณการเก็บกักคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสูงกว่าป่าเบญจพรรณและป่าดงดิบแล้ง คิดเป็น $20,638 \pm 5,232$, $14,899 \pm 6,898$ และ $5,664 \pm 880$ กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ศักยภาพการสะสมคาร์บอนในรูปผลผลิตปฐมภูมิสุทธิเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าธรรมชาติในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานมีค่าต่ำกว่าระบบนิเวศป่าที่กำลังฟื้นสภาพ ในขณะที่ระบบนิเวศป่าที่กำลังฟื้นสภาพอาจจำเป็นต้องพึ่งพาการจัดการที่เหมาะสมเพื่อให้การฟื้นฟูสภาพป่าและการเก็บกักคาร์บอนของระบบนิเวศป่ามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (สนธิฯ, 2547)

สวนป่ามีบทบาทในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพแตกต่างกันไปตามชนิดพรรณไม้ ปริมาณการสะสมคาร์บอนในส่วนเหนือไม้สักระยะหนึ่งเหนือพื้นดินในพื้นที่สวนป่าสัก อำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี อายุ 10, 14, 18, 27 และ 28 ปี มีค่าเท่ากับ 1,802; 3,093; 2,931; 9,741 และ 12,674 กิโลกรัมต่อไร่ (นาฏสุตา, 2550) ในขณะที่ไม้กระถินเทพา กระถินณรงค์ ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส แดง พะยุง และประดู่ป่า ที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 14,792; 9,078; 8,906; 6,702; 6,154 และ 3,955 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (เสริมพงศ์, 2544) ส่วน ชลาทร และคณะ (2547) ได้ศึกษามวลชีวภาพของไม้ซ้อ ที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาดินน้ำลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา อายุ 10 ปี มีความหนาแน่น 158 ต้นต่อไร่ มีมวลชีวภาพของลำต้น กิ่งและใบเท่ากับ 8,920, 1,097 และ 9,214 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ ได้ปลูกสร้างสวนป่าไม้สนสามใบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2518 จนถึง 2538 คิดเป็นพื้นที่ 14,280 ไร่ เพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศต้นน้ำ โดยกำหนดระยะปลูก 4x4 เมตร ในสวนป่าทุกชั้นอายุ ซึ่งต่อมาไม้สนสามใบในสวนป่าล้มตายลงทั้งจากภัยธรรมชาติ เช่น ไฟป่า และบางส่วนถูกชาวบ้านตัดฟันไปใช้ประโยชน์ จึงเกิดการทดแทนตามธรรมชาติในพื้นที่ว่างของสวนป่ามากขึ้นแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ในพื้นที่ที่ไม้สนสามใบถูกทำลายมากจะเกิดพรรณไม้ทดแทนขนาดเล็กขึ้นหนาแน่น ส่วนแปลงปลูกที่ไม่มีไม้สนสามใบรอดตายมากทำให้มีช่องว่างสำหรับการทดแทนของพรรณไม้อื่นน้อย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้สนสามใบในสวนป่าแต่ละชั้นอายุ และการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ที่ขึ้นทดแทนแปรผันตามอายุของสวนป่าเพื่อใช้เป็นแนวทางจัดการป่าไม้ในพื้นที่ลุ่มน้ำบนที่สูงให้มีประสิทธิภาพสูงในการกักเก็บคาร์บอน

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยดำเนินการในพื้นที่หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ $18^{\circ}04'5'' - 21^{\circ}00'0''N$ เส้นลองจิจูดที่ $98^{\circ}02'5'' - 98^{\circ}04'0''E$ ไปทางทิศเหนือของจังหวัดเชียงใหม่ 82 กิโลเมตร (Figure 1) สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นภูเขาสูงชันสลับกับพื้นที่ราบในหุบเขา ประกอบด้วย 2 กลุ่มน้ำย่อยของแม่น้ำขาน คือ กลุ่มน้ำแม่น้ำเประและกลุ่มน้ำบ่อแก้ว มีอุณหภูมิเฉลี่ย 20.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 25.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 16.4 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,894 มิลลิเมตรต่อปี ทำการวางแผนแปลงสุ่มตัวอย่างขนาด 40×40 ตารางเมตร ในสวนป่าไม้สนสามใบ อายุ 14-34 ปี จำนวน 21 ชั้นอายุๆ ละ 3 แปลง บันทึกตำแหน่งแปลงตัวอย่างด้วย GPS เก็บข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูงของต้นไม้และไม้พุ่มที่สูง ≥ 1.50 เมตรทุกต้น เพื่อใช้คำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนต่อพื้นที่ ดังนี้

มวลชีวภาพ

1) มวลชีวภาพไม้สนสามใบคำนวณจากสมการที่สร้างขึ้นโดยการเลือกตัดตัวแทนไม้สนสามใบที่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามอายุจำนวน 4 ชั้นอายุๆ ละ 1 ต้น ได้แก่ สวนป่าอายุ 20, 26, 30 และ 33 ปี วัดมิติ (dimension) ต่างๆ และชั่งน้ำหนักของต้นไม้ตลอดความยาวลำต้น แยกส่วนของกิ่งและใบตามระดับความสูงของต้นไม้ โดยใช้วิธีการศึกษาแบบ stratified clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) เก็บตัวอย่างส่วนต่างๆ ของต้นไม้ไปอบให้แห้ง เพื่อเปลี่ยนน้ำหนักสดให้เป็นน้ำหนักแห้งเพื่อคำนวณค่ามวลชีวภาพ (biomass) ของต้นไม้ทั้งต้นและมวลชีวภาพของแต่ละส่วน (ลำต้น ใบ และกิ่ง) จากมวลชีวภาพของต้นไม้ตัวอย่างนี้สามารถจะนำไปสร้างสมการมวลชีวภาพของต้นไม้ทั้งแปลงได้

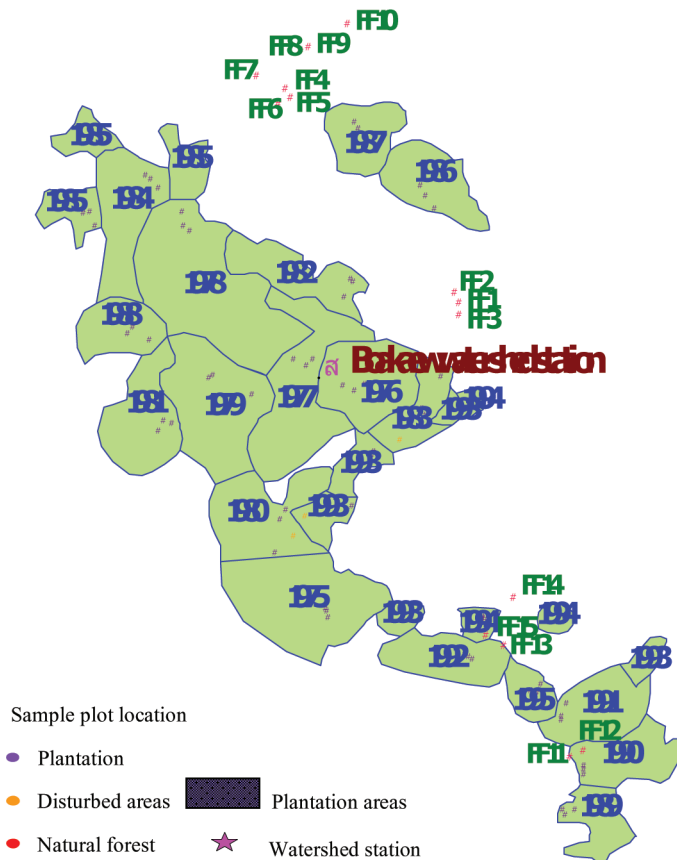


Figure 1 Location of study area.

2) มวลชีวภาพของพรรณไม้ชนิดอื่นใช้สมการ allometry ของ Tsutsumi *et al.* (1983) ดังนี้

$$\begin{aligned} W_S \text{ (ลำต้น)} &= 0.0509 (D^2H)^{0.919} & R^2 &= 0.978 \\ W_B \text{ (กิ่ง)} &= 0.00893 (D^2H)^{0.977} & R^2 &= 0.890 \\ W_L \text{ (ใบ)} &= 0.0140 (D^2H)^{0.669} & R^2 &= 0.714 \end{aligned}$$

เมื่อ W_S = มวลชีวภาพลำต้น (กิโลกรัม)
 W_B = มวลชีวภาพกิ่ง (กิโลกรัม)
 W_L = มวลชีวภาพใบ (กิโลกรัม)
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งนอก (เซนติเมตร)
 H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

คาร์บอนในมวลชีวภาพ

1) คาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สนสามใบ ได้จากการสุ่มชิ้นส่วนต่างๆ ของต้นไม้ (ลำต้น กิ่ง และใบ) ทั้ง 4 ชั้นอายุมาผสมกันเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการหาความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนในห้องปฏิบัติการโดยวิธี Wet oxidation ของ Walkley and Black (1947) แล้วคำนวณหาการสะสมคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของต้นสนสามใบต่อพื้นที่

2) ความเข้มข้นของคาร์บอนในลำต้น กิ่ง และใบของพรรณไม้อื่น ใช้ผลการศึกษาของ Tsutsumi *et al.* (1983) ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 49.9, 48.7 และ 48.3 ตามลำดับ

ผลและวิจารณ์

การเจริญเติบโตและการทดแทนของพรรณไม้ ในสวนป่าสนสามใบ (Growth and succession in pine plantations)

สวนป่าสนสามใบของหน่วยจัดการต้นน้ำ
บ่อแก้ว มีอายุ 14 - 34 ปี (21 ชั้นอายุ) มีความสูง
ระหว่าง 15.31 - 23.15 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง

เพียงอกระหว่าง 24.15-34.30 เซนติเมตร (Table 1)
พรรณไม้ชนิดอื่นที่เข้ามาทดแทน พบว่า มีความแปรผัน
17 - 72 ชนิด และความหนาแน่น 87 - 361 ต้นต่อไร่
(Table 2) พรรณไม้ที่เข้ามาทดแทนที่พบมากที่สุดคือ
วงศ์ถั่ว (Leguminosae) วงศ์ก่อ (Fagaceae) วงศ์มะขามป้อม
(Euphorbiaceae) วงศ์อบเชย (Lauraceae) และวงศ์เมี่ยง
(Theaceae)

Table 1 Growth of *Pinus kesiya* and other tree species.

Age (year)	<i>Pinus kesiya</i>				Other tree species			
	DBH (cm)		H (m)		DBH (cm)		H (m)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
14	31.35	5.14	16.13	1.56	13.43	8.48	8.61	3.89
15	28.69	5.01	15.31	2.84	5.24	8.28	4.12	3.50
16	27.61	5.60	17.59	1.86	3.24	5.06	3.25	3.31
17	26.44	5.08	15.87	1.78	5.66	7.06	4.61	3.53
18	29.08	6.11	17.00	1.59	9.99	5.85	8.51	4.10
19	26.08	5.35	17.32	1.47	11.63	7.86	10.11	4.65
20	26.89	5.20	16.98	1.52	9.25	7.84	7.59	5.32
21	26.76	5.88	18.85	1.60	2.61	1.48	2.56	1.88
22	24.75	5.82	16.70	2.31	7.49	4.68	6.73	3.17
23	25.70	6.46	18.41	3.05	7.70	6.47	6.28	3.96
24	24.15	4.87	18.16	2.01	11.50	14.81	7.86	6.48
25	24.95	5.00	18.25	2.51	10.81	8.54	8.40	4.54
26	29.81	5.68	19.72	2.44	16.18	15.15	9.96	5.95
27	26.46	6.05	20.26	2.93	5.10	7.31	5.67	5.59
28	33.44	5.75	18.91	2.02	8.78	9.97	6.00	4.96
29	28.53	6.51	15.13	2.27	11.32	9.81	7.04	4.40
30	32.17	5.71	19.20	1.62	14.71	11.16	10.10	5.26
31	33.70	6.48	20.47	3.44	14.26	10.49	10.13	5.17
32	31.85	5.99	20.16	2.48	17.15	16.04	10.18	6.94
33	34.30	5.78	23.15	2.33	5.05	4.57	3.16	2.24
34	31.91	6.53	21.33	3.10	11.71	11.41	7.41	4.84

Table 2 Species richness and plant density in pine plantations over time.

Age (year)	Altitude (m)	Number of			Plant density (tree/rai)		
		Species	Genus	Family	<i>Pinus</i>	Other tree	Total
14	1 410	36	30	20	23	77	100
15	1 561	54	47	31	12	237	249
16	1 655	33	29	24	53	148	200
17	1 561	61	51	34	17	344	361
18	1 389	46	40	26	40	165	205
19	1 393	38	32	22	62	81	142
20	1 361	17	16	13	66	21	87
21	1 314	41	31	22	65	151	216
22	1 202	61	46	29	57	373	430
23	1 204	50	37	25	49	222	271
24	1 368	46	42	26	54	72	126
25	1 362	39	33	23	69	85	154
26	1 463	31	25	19	63	51	114
27	1 358	72	56	29	46	314	360
28	1 410	35	30	21	36	58	93
29	1 606	32	30	16	37	58	96
30	1 376	36	30	22	38	62	100
31	1 409	39	35	26	20	105	125
32	1 362	34	29	23	45	41	86
33	1 453	53	46	32	53	126	179
34	1 393	50	45	26	33	137	170

มวลชีวภาพพรรณไม้ในสวนป่าสนสามใบ (Tree biomass in pine plantations)

ผลการตัดฟันตัวแทนไม้สนสามใบ จำนวน 4 ต้น ใน 4 ชั้นอายุที่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามอายุ ได้แก่ สวนป่าอายุ 20, 26, 30 และ 33 ปี (Figure 2) โดยใช้วิธีการศึกษาแบบ stratified clip technique และนำมาสร้างสมการมวลชีวภาพของ ลำต้น กิ่ง และใบของสนสามใบในสวนป่า ดังนี้

$$W_S (\text{ลำต้น}) = 0.0503 (D^2H)^{0.8775} \quad R^2 = 0.9749$$

$$W_B (\text{กิ่ง}) = 0.0012 (D^2H)^{1.0996} \quad R^2 = 0.4982$$

$$W_L (\text{ใบ}) = 0.4536 (W_B)^{0.7933} \quad R^2 = 0.6324$$

เมื่อ W_S = มวลชีวภาพลำต้น (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพกิ่ง (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพใบ (กิโลกรัม)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

มวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบของไม้สนสามใบทั้งแปลงคำนวณจากสมการมวลชีวภาพที่สร้างขึ้น พบว่า สวนป่าสนสามใบมีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพรรณไม้ทุกชนิดในสวนป่าอายุ 14 - 34 ปี มีค่า 12,490 - 37,253 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นมวลชีวภาพสนสามใบ 3,003 - 27,491 กิโลกรัมต่อไร่ และพรรณไม้ชนิดอื่นๆ 1,582 - 19,238 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 3 และ Figure 3) พรรณไม้ที่ขึ้นทดแทนในสวนป่านั้น พบไม้ในวงศ์ก่อ (Fagaceae) มีการสะสมมวลชีวภาพมากที่สุด รองลงมา คือ วงศ์เมี่ยง (Theaceae) วงศ์หว่า (Myrtaceae) วงศ์ถั่ว (Leguminosae) วงศ์มะขามป้อม

(Euphorbiaceae) วงศ์เข็ม (Rubiaceae) และวงศ์อบเชย (Lauraceae) เป็นต้น มวลชีวภาพรวมของสวนป่าสนสามใบในทุกชั้นอายุมีค่าต่ำกว่ามวลชีวภาพของป่าดิบเขา

ธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ที่สุดที่เหลือเป็นหย่อมบริเวณข้างเคียง ที่มีค่าเท่ากับ 40,535 กิโลกรัมต่อไร่ (สมชายและคณะ, 2553)

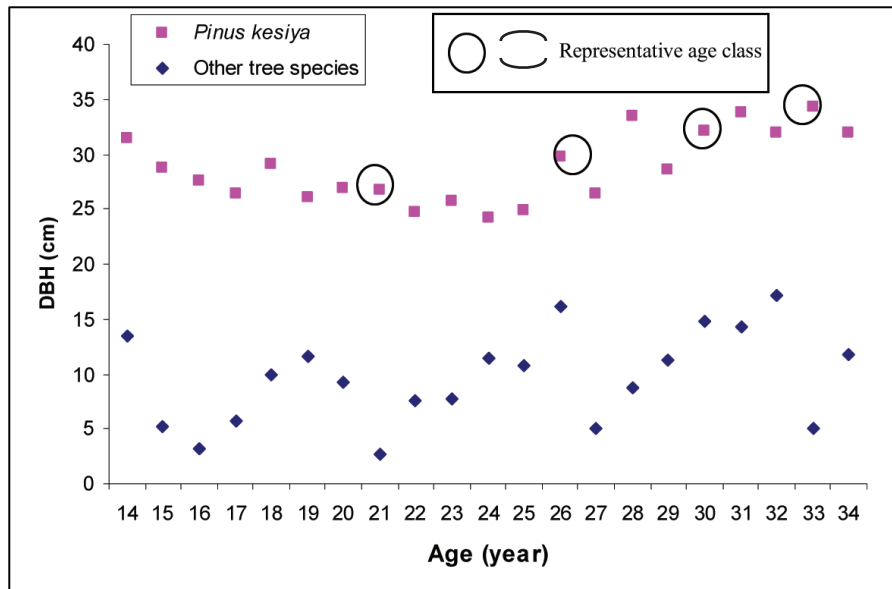


Figure 2 Representative samples of *Pinus kesiya* from four age classes.

มวลชีวภาพของสวนป่ามีความแปรผันระหว่างชั้นอายุ ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอายุสวนป่า (Figure 3) ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของไม้สนสามใบที่คงอยู่ในสวนป่า และพรรณไม้ที่ขึ้นทดแทนซึ่งมีอย่างน้อยแปดชนิดแตกต่างกัน การทดแทนของพรรณไม้มีอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ในพื้นที่เป็นตัวกำหนด ได้แก่ ความแปรผันของสภาพภูมิประเทศ เช่น ความสูงจากระดับน้ำทะเล ลักษณะดิน เป็นต้น ซึ่งสวนป่าทั้ง 21 ชั้นอายุครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างถึง 14,280 ไร่ มีระดับความสูงตั้งแต่ 1,202 - 1,655 เมตรจากระดับน้ำทะเล สวนป่าที่มีการทดแทนของพรรณไม้ใบกว้างมากมีส่วนช่วยให้การสะสมมวลชีวภาพในสวนป่าเพิ่มขึ้น ไม้ใบกว้างที่ขึ้นทดแทนในสวนป่ามีการสะสมมวลชีวภาพในใบมากกว่าสนสามใบ (Figure 4)

ซึ่งใบจะร่วงหล่นเป็นเศษซากพืชในดินและผลิใบใหม่หมุนเวียนในระบบนิเวศ ดังนั้น หากมีการทดแทนของพรรณไม้ใบกว้างเข้าไปในสวนป่ามากขึ้น สวนป่าสนสามใบจะมีการสะสมมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น

มวลชีวภาพของไม้ในสวนป่ามีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความหนาแน่นของต้นไม้ (Figure 5) สวนป่าที่มีความหนาแน่นของต้นไม้ต่ำ มีการสะสมมวลชีวภาพมากกว่าสวนป่าที่มีความหนาแน่นมาก เนื่องจากสวนป่าที่มีความหนาแน่นของต้นไม้ต่ำ ต้นไม้มีขนาดใหญ่ทำให้มีการสะสมมวลชีวภาพมาก ในขณะที่สวนป่าที่มีความหนาแน่นของต้นไม้สูงซึ่งเกิดจากขบวนการทดแทนและต้นไม้ยังขนาดเล็กจึงมีการสะสมมวลชีวภาพน้อยกว่า

Table 3 Tree biomass in pine plantations over time.

Age (year)	Biomass of <i>Pinus kesiya</i> (kg/rai)				Biomass of other tree species (kg/rai)								Total	
	Stem	SD	Branch	Leaf	SD	Total	Stem	SD	Branch	SD	Leaf	SD	Total	Total (kg/rai)
14	6 068	1 953	1 295	382	251	81	6 722	1 059	1 973	333	214	22	8 909	16 522
15	2 415	801	489	175	100	33	7 123	2 288	2 158	638	206	91	9 487	12 490
16	12 666	4 131	2 681	700	523	171	1 631	1 051	465	300	60	39	2 156	18 026
17	2 479	862	478	191	103	36	9 170	1 125	2 724	421	299	9	12 193	15 252
18	9 442	749	1 956	125	390	31	7 903	1 163	2 252	419	290	11	10 445	22 233
19	11 919	2 401	2 357	458	493	99	5 604	2 650	1 638	806	184	78	7 427	22 196
20	13 367	695	2 662	89	553	29	1 197	462	345	131	41	17	1 582	18 165
21	13 814	2 993	2 822	652	571	124	9 702	4 087	2 912	1 169	293	139	12 907	30 114
22	9 102	1 866	1 768	281	377	78	8 374	2 343	2 292	639	368	110	11 034	22 281
23	7 158	624	1 424	50	296	26	7 332	3 170	2 111	936	264	103	9 707	18 586
24	8 820	3 297	1 692	651	365	136	10 415	4 467	3 391	1 598	220	52	14 026	24 904
25	11 496	1 621	2 242	401	476	67	6 196	1 759	1 872	457	186	76	8 254	22 467
26	18 484	5 744	4 080	1 338	763	237	10 363	3 003	3 336	1 090	228	30	13 926	37 253
27	11 324	2 090	2 400	467	468	86	10 136	1 359	2 982	418	318	41	13 437	27 629
28	12 905	971	3 000	289	532	40	3 574	2 088	1 072	632	103	57	4 749	21 185
29	7 208	1 575	1 458	306	298	65	4 553	208	1 363	40	136	23	6 052	15 016
30	12 783	4 645	2 915	1 018	527	192	8 124	7 575	2 530	2 473	213	169	10 867	27 091
31	7 386	2 626	1 723	719	304	108	14 415	7 155	4 441	2 298	382	149	19 238	28 651
32	14 509	3 392	3 232	744	598	140	9 791	5 642	3 145	1 911	213	100	13 149	31 488
33	21 512	2 730	5 093	710	886	112	1 338	602	382	192	56	11	1 777	29 268
34	9 876	5 547	2 239	1 160	407	229	12 238	2 778	3 760	915	325	56	16 323	28 844

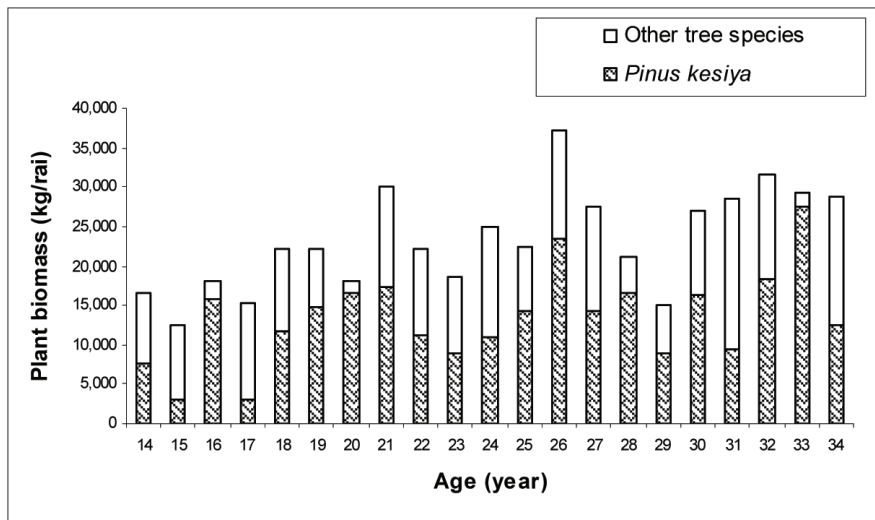


Figure 3 Tree biomass by species in pine plantations versus stand age.

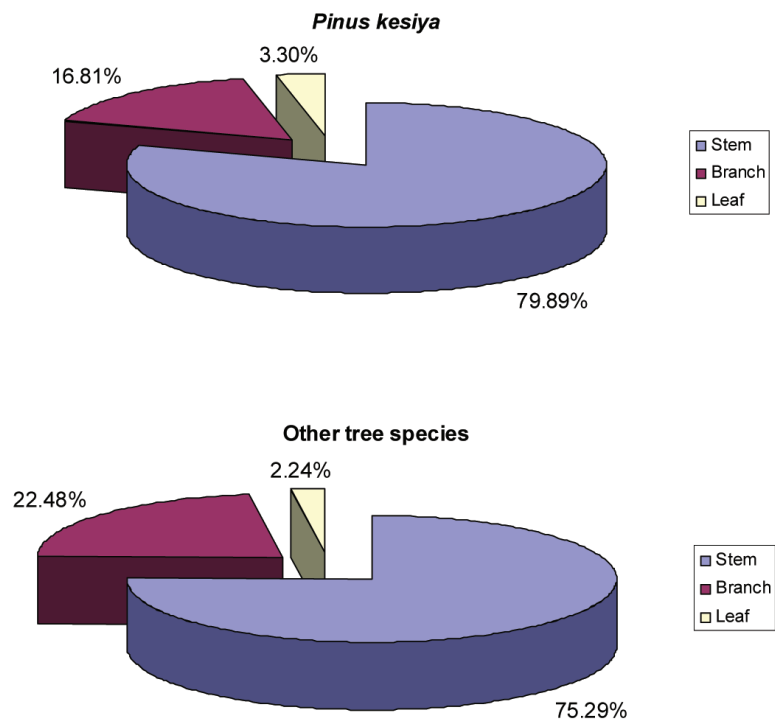


Figure 4 Average percentage proportion of aboveground biomass of *Pinus kesiya* and other tree species.

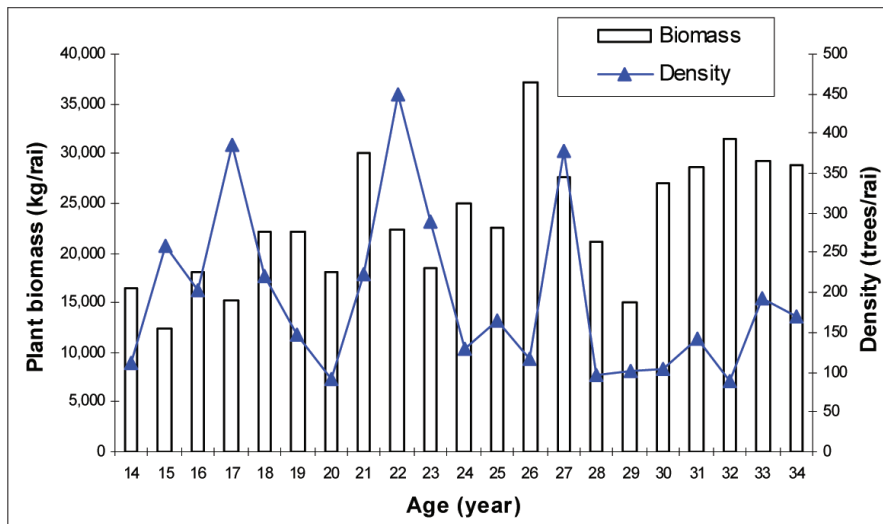


Figure 5 Relationships between plant biomass and tree densities in plantations versus age.

การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพในสวนป่าสนสามใบ (Biomass carbon stocks in *Pinus kesiya* plantations)

1) สนสามใบ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของคาร์บอนในเนื้อเยื่อของลำต้น กิ่ง และใบของสนสามใบเท่ากับร้อยละ 52.58, 42.78 และ 44.4 ตามลำดับ เมื่อนำไปคำนวณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพได้ผลดัง Table 4

การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของสนสามใบแปรผันตามปริมาณมวลชีวภาพ มีค่าระหว่าง 1,523 - 13,883 กิโลกรัมต่อไร่ การสะสมมีมากที่สุดในส่วนของลำต้น รองลงมาคือ ราก กิ่ง และใบ

จากการศึกษานี้ พบว่า ไม้สนสามใบในสวนป่ามีความหนาแน่น 12 - 69 ต้นต่อไร่ ส่วนใหญ่เป็นไม้ขนาดเล็กที่มีเส้นรอบวง 50 - 150 เซนติเมตร ทำให้มีการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพมากกว่าพรรณไม้ชนิดอื่น

2) พรรณไม้ที่ขึ้นทดแทน

การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ชนิดอื่นๆ มีค่า 785 - 9,540 กิโลกรัมต่อไร่ พรรณไม้

ที่ขึ้นมาทดแทนแม้จะมีความหนาแน่นต้นไม้มาก แต่ส่วนใหญ่เป็น ไม้ขนาดเล็ก การสะสมคาร์บอนของพรรณไม้ที่ขึ้นทดแทนมีแนวโน้มผกผันกับความหนาแน่นต้นไม้ แต่แปรผันตามพื้นที่หน้าตัดลำต้น (สมชาย และคณะ, 2553) ชนิดพรรณไม้ที่ขึ้นทดแทนซึ่งมีขนาดเส้นรอบวงของลำต้น 50 - 100 เซนติเมตร มีการกักเก็บคาร์บอนได้มาก เช่น ก่อเดือย (*Castanopsis acuminatissima*) ก่อติ (*C. purpurea*) ก่อแป้น (*C. diversifolia*) ก่อหมาก (*Quercus brandisiana*) ก่อถั่ว (*Lithocarpus polystachyus*) ทะโล้ (*Schima wallichii*) มั่นปลา (*Glochidion sphaerogynum*) หม่อนอ่อน (*Myrica esculenta*) สารภีป่า (*Anneslea fragrans*) มะนูนแดง (*Elaeocarpus sphaericus*) เป็นต้น นอกจากนี้ ยังพบ ไม้ขนาดเล็กจำนวนมากที่ขึ้นมาทดแทนและสามารถกักเก็บคาร์บอน ได้แก่ ก่อแป้น ก่อเดือย ก่อติ ก่อหมาก ก่อแอบ (*Q. vestita*) ทะโล้ มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) ส้มปี้ (*Vaccinium sprengelii*) แข็งกวาว (*Wendlandia tinctoria*) มั่นปลา ฯลฯ

3) สังคมพืชทั้งหมดในสวนป่า

ปริมาณรวมของการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่า ที่ประกอบด้วยสนสามใบและ

Table 5 Analysis of variance for carbon stock of *Pinus kesiya*.

Source	DF	SS	MS	F	P
Replication	2	993 598	496 799	21.85	0.000
Age	20	26 675 546	1333 777	58.65	0.000
Error	2 810	63 898 137	22 740		
Total	2 832	91 567 282			

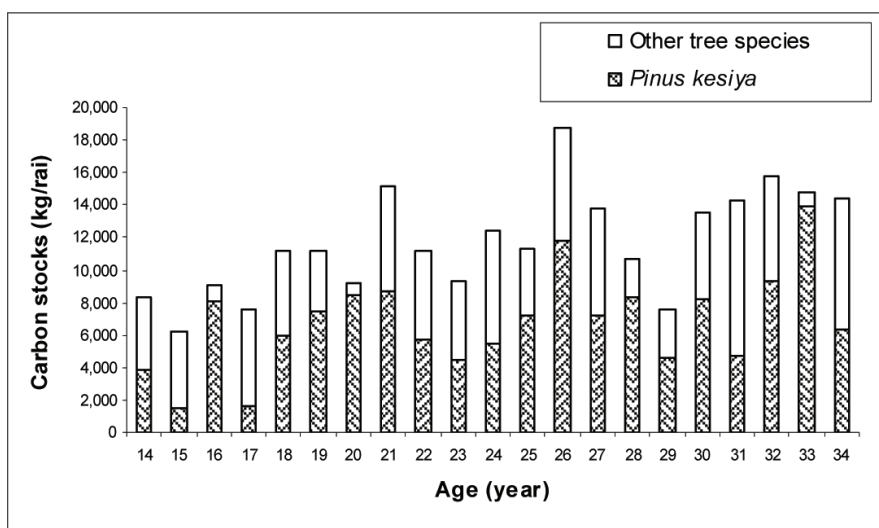
Table 6 Analysis of variance for carbon of other tree species.

Source	DF	SS	MS	F	P
Replication	2	56 267	28 134	0.51	0.603
Age	20	30 313 961	1 515 698	27.26	0.000
Error	9 374	521 149 390	55 595		
Total	9 396	551 519 618			

พรรณไม้ชนิดอื่นๆ ที่ขึ้นทดแทน พบว่ามีความแปรผันระหว่าง 6,228 - 18,709 กิโลกรัมต่อไร่ (Figure 6) การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพไม้สนสามใบคิดเป็นร้อยละ 20-94 และการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพพรรณไม้อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 6-80 (Figure 7) การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สนสามใบและพรรณไม้ชนิดอื่นๆ มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชั้นอายุ

ไม้ใบกว้างที่ขึ้นทดแทนในสวนป่ามีการ

สะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของกิ่งและใบมากกว่าสนสามใบ ซึ่งจะมีการผลิใบใหม่หมุนเวียนทุกปี ทำให้สวนป่าที่มีการทดแทนของพรรณไม้ใบกว้างมีการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศเพิ่มขึ้น ดังนั้น หากมีการตัดขยายระยะไม้สนสามใบในสวนป่าบางชั้นอายุที่มีไม้สนสามใบขึ้นอยู่หนาแน่น เช่น ชั้นอายุ 16, 20, 28 และ 33 ปี เพื่อให้มีการทดแทนของพรรณไม้ใบกว้างมากขึ้น จะช่วยให้สวนป่าสนสามใบมีประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนมากขึ้น

**Figure 6** Biomass carbon stocks of plants in pine plantations versus stand age.

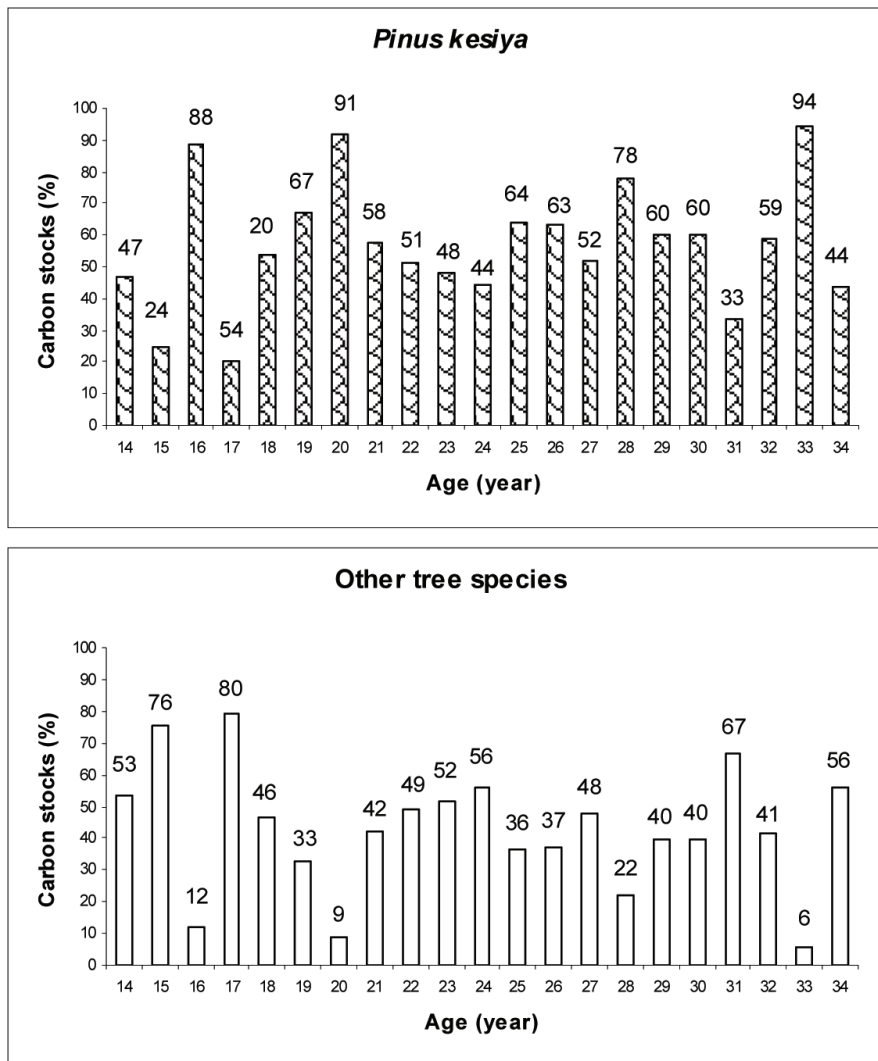


Figure 7 Percentage of carbon stocks of *Pinus kesiya* and other broad leaved trees versus stand age.

การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมของสวนป่าสนสามใบในทุกชั้นอายุมีค่าต่ำกว่าการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าดิบเขาธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ที่สุดที่เหลือเป็นหย่อมบริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีค่า 20,026 กิโลกรัมต่อไร่ (สมชาย และคณะ, 2553) และต่ำกว่าการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ที่มีค่า 39,360 กิโลกรัมต่อไร่ (สุนทร และคณะ, 2551) เปรียบเทียบกับการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในสวนป่าสนสามใบของดอย

บ่อหลวง จังหวัดเชียงใหม่ ที่อายุ 7-37 ปี มีการสะสมคาร์บอน แปรผันระหว่าง 4,101 - 14,272 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (สุนทร, 2544) ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่าสวนป่าสนสามใบของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว มีการสะสมคาร์บอนมากกว่าสวนป่าดอยบ่อหลวง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่เดิมของสวนป่าดอยบ่อหลวงเป็นป่าเต็งรังผสมสน สภาพพื้นที่ค่อนข้างแห้งแล้งกว่า และความอุดมสมบูรณ์ของดินน้อยกว่าบริเวณหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้วที่สภาพพื้นที่เป็นป่าดิบเขาผสมสน การเจริญ

เติบโตของไม้สนสามใบบริเวณหน่วยจัดการต้นน้ำ บ่อแก้วจึงคิดว่า ทำให้มีมวลชีวภาพและการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพมากกว่า

สนสามใบในสวนป่าของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้วมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมากกว่าไม้ชนิดอื่นๆ เนื่องจากต้นไม้มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม พบพรรณไม้หลายชนิดที่ขึ้นทดแทนสนสามใบและมีการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพมาก ได้แก่ ไม้วงศ์ก่อ (Fagaceae) วงศ์เมี่ยง (Theaceae) วงศ์ชมพู่ (Myrtaceae) วงศ์ถั่ว (Leguminosae) วงศ์มะขามป้อม (Euphorbiaceae) วงศ์เข็ม (Rubiaceae) และวงศ์อบเชย (Lauraceae) เป็นต้น

สรุป

สวนป่าสนสามใบของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว 21 ชั้นอายุ ระหว่าง 14-34 ปี มีมวลชีวภาพในสวนป่าแปรผันระหว่างอายุ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่า การทดแทนของพรรณไม้ใบกว้างในสวนป่าทำให้มวลชีวภาพของสวนป่าเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้การสะสมคาร์บอนในสวนป่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการจัดการสวนป่าสนสามใบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการสะสมคาร์บอนสูงสุด ควรมีการตัดขยายระยะไม้สนสามใบที่ใบขึ้นอยู่หนาแน่นออก เพื่อปล่อยให้มีการทดแทนของพรรณไม้อื่น นอกจากนี้ การปลูกเสริมป่าด้วยไม้ใบกว้างในสวนป่าสนสามใบจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสะสมคาร์บอนในสวนป่าเพิ่มขึ้น

คำนิยม

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัยนี้ คุณนิรันดร์ คำทอง หัวหน้าหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ และเจ้าหน้าที่ทุกคนที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ชลาทกร ศรีตุลานนท์, มนตรี พุทธรังษี และสมาน รวยสูงเนิน. 2547. มวลชีวภาพของสวนป่าซ้อ อายุ 10 ปี, น. 118. ใน **บทคัดย่องานวิจัยต้นน้ำ 2520 - 2547**. ส่วนวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- นาฏสุตา ภูมิงานงค์. 2550. ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในราก และคาร์บอนในดินของสวนป่าไม้สัก. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, จังหวัดนครปฐม.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. 2538. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สนธยา จำปานิล. 2547. การเปรียบเทียบผลผลิตและการย่อยสลายของเศษซากพืช เพื่อประเมินการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศป่าในเขตอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมชาย นองเนื่อง, สุนทร คำของ, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินขวง และนิวัติ อนงค์รักษ์. 2553. ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพของป่าดิบเขาที่เหลือเป็นหย่อมบนพื้นที่ต้นน้ำที่สูง หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่, น. 131 - 141. ใน **การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนครสวรรค์ ครั้งที่ 6**. ระหว่างวันที่ 1 - 2 สิงหาคม 2553. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนครสวรรค์, จังหวัดพิจิตร.
- เสริมพงษ์ นวลงาม. 2544. บทบาทของการปลูกสร้างสวนป่าต่อการเก็บกักคาร์บอนและคุณสมบัติของดินบางประการที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุนทร คำทอง. 2544. ผลกระทบทางนิเวศวิทยาของการปลูกป่าไม้สนสามใบเป็นสวนป่าบนพื้นที่ต้นน้ำที่สูงในภาคเหนือ. รายงานการวิจัย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่.
- _____, ตฤณ เสรมะชากุล และเสวียน เปรมประสิทธิ์. 2551. การสะสมของคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ชนิดต่างๆ บริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่, น. 126 - 136. ใน การประชุมทางวิชาการสิ่งแวดล้อมนครสวรรค์ ครั้งที่ 4. ระหว่างวันที่ 26 - 27 พฤษภาคม 2551. ณ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ วิทยาเขตพะเยา, จังหวัดพะเยา.
- Ciesla, W. 1995. **Climate Change, Forests and Forest Management**. FAO Forest Paper. Food and Agriculture Organization.
- Royal Forest Department. 1993. **Statistics of Forest in Thailand**. Planning Division, RFD, Bangkok.
- Tsutsumi, T., K. Yoda, P. Sahunaru, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. 1983. Forest: burning and regeneration. In K. Kyuma and C. Pairintra eds. **Shifting Cultivation, An Experiment at Nam Phrom, Northeast Thailand, and Its Implications for Upland Farming in the Monsoon Tropics**. A report of a cooperative research between Thai-Japanese universities.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. **Soil Science** 63: 257.
-