การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพสวนป่าสนคาริเบีย

Estimating Stem Volume and Biomass of *Pinus caribaea* Plantation

สมชาย นองเนือง[1], อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ และ จุฑารัตน์ แสงเสถียร

Somchai Nongnuang, Ampai Pornleesangsuwan, Pongsak Chattecha and Jutarat Sangsathien

บทคัดย่อ

การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพของสวนป่าสนคาริเบีย อายุ 29 ปี ที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ โดยศึกษา 1) ผลผลิตและมวลชีวภาพของสวนป่าสนคาริเบีย และ 2) การสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในสวนป่าสนคาริเบีย ดำเนินการโดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตด้านความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ทุกต้น เพื่อหามวลชีวภาพจากสมการ allometric ที่สร้างขึ้นโดยใช้ stratified-clip technique จากการตัดตัวแทนไม้ในสวนป่า และเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนพืชนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์บอนและธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่า ไม้สนคาริเบียมีอัตราความเพิ่มพูนทางความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.73 เมตร/ปี และ 0.88 เซนติเมตร/ปี คิดเป็นปริมาตรไม้ 1.3 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี มีมวลชีวภาพ 1,239 กิโลกรัม/ไร่/ปี โดยมีปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่สะสมในไม้สนคาริเบียเท่ากับ 569.34, 2.87, 0.18, 1.13, 0.78 และ 0.25 กิโลกรัม/ไร่/ปี ตามลำดับ

คำสำคัญ: สนคาริเบีย ปริมาตรไม้ มวลชีวภาพ ธาตุอาหาร

Abstract

Estimating the stem volume and biomass of *Pinus caribaea* Morelet at 29 year-old were studied in progeny trial 1981 at Huey Bong Silvicultural Research Station, Chiang Mai province. The objectives of the studies were to determine 1) production and biomass of *Pinus caribaea* plantation, and 2) carbon and other nutrient stocks in *Pinus caribaea* plantation. The data of stem diameter at breast high and tree height of pine will be used for biomass calculation. The sample trees were cut and measured for biomass according to a stratified-clip technique. Carbon and

[1] กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

nutrient accumulations in organs of plants were taken and analyzed for chemical properties in laboratory. The result revealed that average growth increments of *Pinus caribaea* were determined: height, 0.73 m/yr; diameter at breast height, 0.88 cm/yr; and volume, 1.3 m^3/ha/yr. Forest biomass was 1,239 kg/rai/yr. The accumulations of carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium were 569.34, 2.87, 0.18, 1.13, 0.78 and 0.25 kg/rai/yr respectively.

Keywords: Stem volume, value, nutrient, *Pinus caribaea* Morelet

บทนำ (Introduction)

สนคาริเบีย มีลักษณะเนื้อไม้ละเอียดสีขาวอมเหลือง เสี้ยนตรง การไสตกแต่งและขัดง่าย ความแน่นหรือน้ำหนักของไม้ผึ่งแห้ง 0.468 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จัดเป็นไม้ที่มีน้ำหนักเบา ไม้แห้งมีการหดตัวปานกลาง เนื้อไม้ใช้ทำเครื่องเรือนได้ดีมาก ทำไม้ประสานใช้งานทั่วไปหรือใช้กลึงและแกะสลักได้ดี ทำไม้วงกบ ไม้วงกบประสาน หรือไม้กรอบและบานหน้าต่างได้พอใช้ (สุธี และภิรมย์, 2531) นอกจากนี้ สนคาริเบียยังมีลักษณะของเส้นใยยาว ปริมาณเซลลูโลสสูง ใช้ทำกระดาษเหนียวได้ดี มีความต้านทานต่อแรงฉีกและการหักพับงอสูงกว่าไม้สนสามใบและสนสองใบ (ทัศนีย์และคณะ, 2529) ประเทศไทยต้องนำเข้าไม้สนแปรรูปและไม้ท่อน ในปี พ.ศ. 2553 ถึง 187,602 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นเงิน 1,282.5 ล้านบาท และนำเข้าเยื่อกระดาษถึง 14,824 ล้านบาท (สำนักแผนงานและสารสนเทศ, 2553) ดังนั้น ควรส่งเสริมให้มีการปลูกสร้างสวนป่าไม้สน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสนคาริเบียซึ่งมีการเจริญเติบโตดีกว่าไม้สนสามใบและสนสองใบซึ่งเป็นไม้ท้องถิ่นของไทย สนคาริเบียสามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ระดับสูงและระดับต่ำ หากมีการจัดการสวนป่าอย่างดี สนคาริเบียสามารถให้ผลผลิตถึง 0.96-1.92 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี (Granhof and Homjeen, 1983) นอกจากนี้ สนคาริเบียที่ปลูกในจังหวัดชุมพรซึ่งมีปริมาณน้ำฝนสูง (2,070 มิลลิเมตร/ปี) โตเร็วกว่าจังหวัดเชียงใหม่ (ปริมาณน้ำฝน 1,191 มิลลิเมตร/ปี) ถึง 6.67 เท่า เมื่อต้นไม้มีอายุ 7 ปี (Granhof, 1983)

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณปริมาตรและมวลชีวภาพไม้สนคาริเบียอายุ 29 ปี ซึ่งปลูกที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ และศึกษาการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพป่าไม้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการส่งเสริมการปลูกสร้างสวนป่าสนคาริเบียต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

การวิจัยดำเนินการที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $18^0 45' - 21^0 00'$ N เส้นแวงที่ $98^0 25' - 98^0 40'$ E ห่างจากจังหวัดเชียงใหม่ไปทางทิศเหนือ 82 กิโลเมตร โดยเก็บข้อมูลในแปลงทดสอบสายพันธุ์ไม้สนคาริเบียปี 2524 เนื้อที่ 24 ไร่ ระยะปลูก 3 x 3 ตารางเมตร จำนวนต้นไม้เมื่อเริ่มปลูก 4,224 ต้น โดยมีวิธีการศึกษา ดังนี้

1. เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นไม้ โดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.3 เมตร จากพื้นดิน (DBH) และความสูงของต้นไม้ทุกต้น

2. จัดชั้นความสูงและความโตของต้นไม้ เพื่อทำการสุ่มตัวแทนต้นไม้ที่มีขนาดต่างๆ กัน ทั้งขนาดเล็ก กลาง และขนาดใหญ่ จำนวน 12 ต้น เพื่อใช้ศึกษาปริมาตรและมวลชีวภาพของไม้สนคาริเบีย โดยวัดมิติ (dimension) ต่างๆ ของตัวแทนต้นไม้ที่คัดเลือกไว้ทุกต้น ได้แก่ ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (H) ความสูงถึงระดับกิ่งสดกิ่งแรก (H_B) ซึ่งปกติมักจะถือว่าระดับของเรือนยอดของต้นไม้จะลงมาถึงระดับใต้กิ่งสดกิ่งแรกนี้โดยประมาณ ดังนั้น ความลึกของเรือนยอด (crown depth) จึงเท่ากับ $H - H_B = H_k$ วัดความกว้างของเรือนยอด (R) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับชิดดิน (D_0) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูงจากพื้นดิน 30 เซนติเมตร ($D_{0.3}$) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับใต้กิ่งสดกิ่งแรก (D_B) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับสูงเพียงอก (DBH) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ความยาว 0.3 เมตร 1.3 เมตร 2.3 เมตร ไปตลอดความยาวของลำต้น เพื่อสร้างสมการปริมาตรไม้

ทำการตัดทอนลำต้นออกตามช่วงต่างๆ ตั้งแต่ความยาว 0.3 เมตร 1.3 เมตร 2.3 เมตร ไปตลอดความยาวของลำต้น ชั่งน้ำหนักสดของส่วนต่างๆ ตามลำดับ เพื่อศึกษาปริมาณการกระจายของมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง และใบ ตามระดับความสูงของลำต้นไม้ โดยใช้วิธีการศึกษาแบบ stratified clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) เก็บตัวอย่างย่อยของส่วนต่างๆ ของต้นไม้นั้นมาทำการอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80-90 ^{0}C เพื่อเปลี่ยนน้ำหนักสด (fresh weight) ของต้นไม้ในแปลงให้เป็นน้ำหนักแห้ง (oven-dried weight) เพื่อหามวลชีวภาพ (biomass) ของต้นไม้แต่ละต้นทั้งต้น และมวลชีวภาพของแต่ละส่วน (ลำต้น ใบ กิ่ง) ของต้นไม้ นำข้อมูลมวลชีวภาพของต้นไม้ตัวอย่างไปสร้างสมการหามวลชีวภาพของต้นไม้ทั้งแปลง

สุ่มตัวอย่างจากไม้ที่ตัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเพียงอก (DBH) เท่ากับค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางทั้งแปลง จำนวน 1 ต้น ทำการขุดรากเพื่อศึกษาระบบรากและมวลชีวภาพของราก แล้วนำไปหามวลชีวภาพของรากทั้งแปลง

3. ศึกษาคาร์บอนและธาตุอาหารที่กักเก็บในไม้สนคาริเบีย โดยสุ่มตัวอย่างชิ้นส่วนของไม้สนคาริเบียที่ศึกษามวลชีวภาพ โดยแยกออกเป็น ลำต้น กิ่ง ใบ และราก เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและธาตุอาหารที่เก็บสะสมในพืชในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช นำเอาตัวอย่างที่บดแล้วมาทำการย่อยด้วยวิธี Wet ashing โดยใช้กรดซัลฟูริคเข้มข้น (H_2SO_4) แล้วใช้วิธีการกลั่นแบบ Micro kjeldhal method ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้น (Bremner and Mulvaney, 1982)

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม นำตัวอย่างที่บดแล้วมาทำการย่อยด้วยวิธี Wet ashing ด้วยกรดผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) และกรดซัลฟูริคเข้มข้น ในอัตราส่วน 6 : 1 ต่อจากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ดังนี้

(1) Total P ทำการวิเคราะห์โดยใช้ Ammonium vanadate และ Colorimeter method (Olsen and Sommers, 1982)

(2) Total K และ Na หาได้จากการอ่านค่าด้วยเครื่อง Flame photometer (Knudsen *et al.*, 1982)

(3) Total Ca และ Mg หาได้จากการอ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic absorption (Lanyon and Heald, 1982)

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในชิ้นส่วนพืช โดยวิธี Wet oxidation ของ Walkley and Black (1947)

ผลการศึกษา (Results)

การเจริญเติบโตของไม้สนคาริเบียอายุ 29 ปี มีความสูงเฉลี่ย 21.08 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 25.63 เซนติเมตร คิดเป็นอัตราความเพิ่มพูนทางความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.73 เมตร/ปี และ 0.88 เซนติเมตร/ปี เมื่อนำการเจริญเติบโตทั้งแปลงมาจัดชั้นความสูงและความโตเพื่อสุ่มตัดตัวแทนต้นไม้ที่มีขนาดต่างๆ กัน ทั้งขนาดเล็ก กลาง และขนาดใหญ่ จำนวน 12 ต้น เพื่อสร้างสมการปริมาตรไม้และมวลชีวภาพของไม้สนคาริเบีย และนำไปประมาณปริมาตรและมวลชีวภาพของสวนป่าทั้งแปลง ได้ผลดังนี้

1. การประมาณปริมาตรไม้สนคาริเบีย

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก ได้สมการปริมาตรไม้เหนือเปลือกและสมการปริมาตรไม้ใต้เปลือก ดังนี้

$$V_{over\ bark} = 0.0002\ (DBH)^{2.3519} \qquad R^2 = 0.9850$$

$$V_{under\ bark} = 0.0002\ (DBH)^{2.3488} \qquad R^2 = 0.9634$$

เมื่อ $V_{over\ bark}$ = ปริมาตรเหนือเปลือก (ลูกบาศก์เมตร)

$V_{under\ bark}$ = ปริมาตรใต้เปลือก (ลูกบาศก์เมตร)

DBH = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

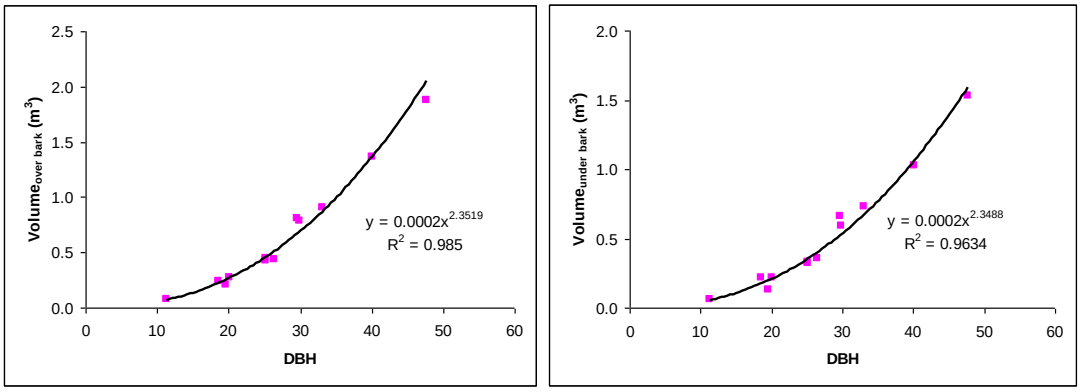


Figure 1 The relation between tree volume and DBH of *Pinus caribaea* by using a power equation

ผลการประเมินปริมาตรไม้สนคาริเบียอายุ 29 ปี โดยใช้สมการปริมาตรไม้ที่สร้างขึ้น ได้ปริมาตรไม้เหนือเปลือกเท่ากับ 39.21 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และปริมาตรไม้ใต้เปลือก 38.82 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (ตารางที่ 1)

Table 1 Wood production of *Pinus caribaea* with different stem-girth classes in plantation

GBH_Class (cm)	$V_{over\ bark}$ (m^3)			$V_{under\ bark}$ (m^3)		
	24 rai	1 rai	1 ha	24 rai	1 rai	1 ha
30-50	11.19	0.47	2.91	11.10	0.46	2.89
50-100	657.55	27.40	171.24	651.17	27.13	169.57
100-150	272.34	11.35	70.92	269.43	11.23	70.17
Total	941.07	39.21	245.07	931.70	38.82	242.63
Mean annual increment	32.45	1.35	8.45	32.13	1.34	8.37

2. การประมาณมวลชีวภาพไม้สนคาริเบีย

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ของไม้สนคาริเบียกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก ได้สมการมวลชีวภาพของส่วนลำต้น กิ่ง และใบ ดังนี้

$$W_S = 0.1009\,(DBH)^{2.3642} \qquad R^2 = 0.9669$$

$$W_B = 0.0003\,(DBH)^{3.3987} \qquad R^2 = 0.9273$$

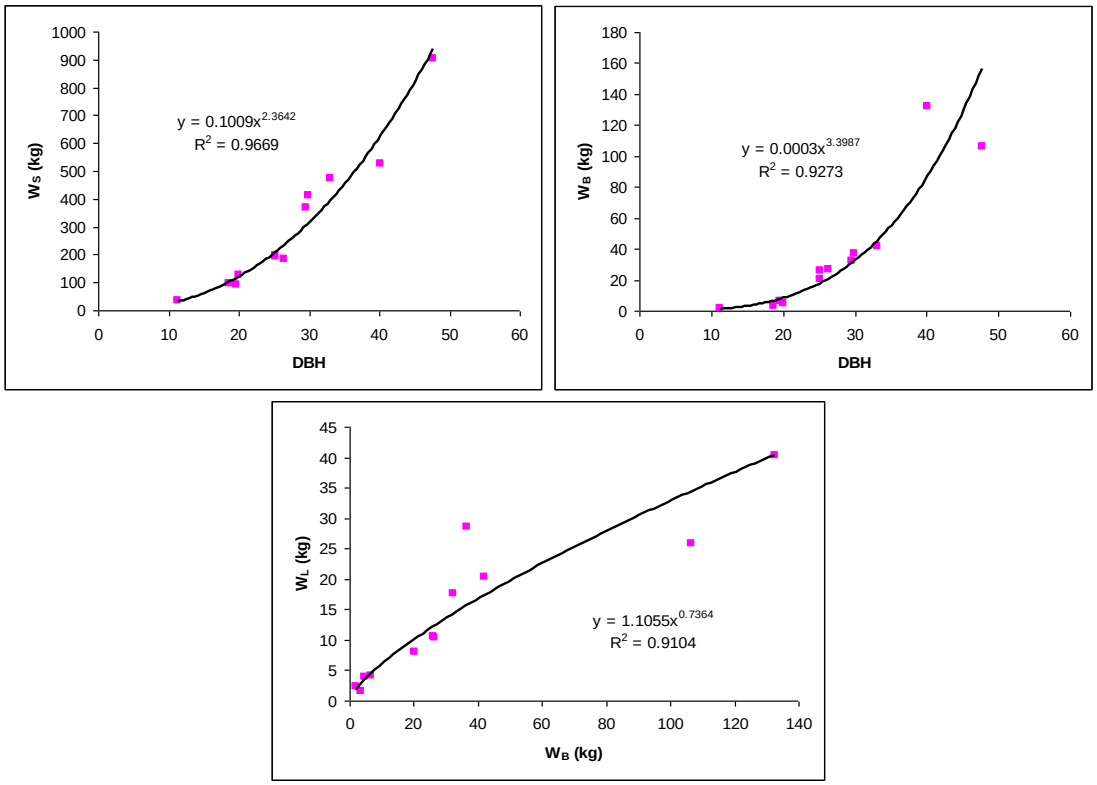
$$W_L = 1.1055\,(W_B)^{0.7364} \qquad R^2 = 0.9104$$

เมื่อ W_S = มวลชีวภาพลำต้น (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพกิ่ง (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพใบ (กิโลกรัม)

DBH = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)



Fifure 2 Allometric equations of above-ground biomass of *Pinus caribaea*

ผลการประมาณมวลชีวภาพลำต้น กิ่ง และใบ ของไม้สนคาริเบีย โดยใช้สมการที่สร้างขึ้น เท่ากับ 20.62, 1.98 และ 0.91 เมกกะกรัม/ไร่ คิดเป็น 711, 68 และ 31 กิโลกรัม/ไร่/ปี ตามลำดับ ส่วนการประมาณมวลชีวภาพของรากโดยใช้ตัวแทนรากที่เป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.43 เมกกะกรัม/ไร่ คิดเป็น 429 กิโลกรัม/ไร่/ปี ดังนั้น มวลชีวภาพของสนคาริเบียทั้งหมดเท่ากับ 35.94 เมกกะกรัม/ไร่ คิดเป็น 1,239 กิโลกรัม/ไร่/ปี (ตารางที่ 2)

Table 2 Total forest biomass of *Pinus caribaea* in plantation

Area	WS (Mg)	WB (Mg)	WL (Mg)	WR (Mg)	Total (Mg)
24 rai	494.83	47.56	21.93	298.35	862.67
1 rai	20.62	1.98	0.91	12.43	35.94
1 ha	128.86	12.39	5.71	77.69	224.65
%	57.4	5.5	2.5	34.6	100

3. ธาตุอาหารที่สะสมในสวนป่าสนคาริเบีย

ผลการวิเคราะห์คาร์บอนและธาตุอาหารต่างๆ ในไม้สนคาริเบีย ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่สะสมในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อคำนวณหาปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในสนคาริเบีย คิดเป็นปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 16,511, 83.22, 5.15, 32.79, 22.72 และ 7.37 กิโลกรัม/ไร่ คิดเป็น 569.34, 2.87, 0.18, 1.13, 0.78 และ 0.25 กิโลกรัม/ไร่/ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

Table 3 Nutrient contents in forest biomass of *Pinus caribaea*

Nutrient		Stem	Branch	Leaf	Root
OC	g/100g	49.28	46.20	48.52	40.16
N	g/100g	0.21	0.26	1.06	0.20
P	mg/kg	32.6	102.5	933.9	275.3
K	mg/kg	437	631	5,539	1,405
Ca	mg/kg	617	2,573	2,498	211
Mg	mg/kg	227	394	1,558	39

Table 4 Nutrient accumulations in forest biomass of *Pinus caribaea*

Nutrient	kg per rai					kg per ha				
	Stem	Branch	Leaf	Root	**Total**	Stem	Branch	Leaf	Root	**Total**
OC	10,160	916	443	4,992	**16,511**	63,503	5,723	2,771	31,200	**103,196**
N	43.08	5.23	9.67	25.24	**83.22**	269.27	32.68	60.44	157.72	**520.11**
P	0.67	0.20	0.85	3.42	**5.15**	4.21	1.27	5.33	21.39	**32.20**
K	9.02	1.25	5.06	17.46	**32.79**	56.35	7.82	31.63	109.13	**204.92**
Ca	12.71	5.10	2.28	2.63	**22.72**	79.46	31.87	14.27	16.41	**142.00**
Mg	4.68	0.78	1.42	0.49	**7.37**	29.25	4.87	8.90	3.05	**46.08**

สนคาริเบียมีการเจริญเติบโตดีกว่าสนสามใบซึ่งเป็นไม้สนพันธุ์พื้นเมืองของไทย สนคาริเบียที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ ให้ผลผลิตเนื้อไม้มากกว่าไม้สนสามใบถึงร้อยละ 74 เมื่ออายุ 15 ปี (Granhof and Homjeen, 1983) โดยสนคาริเบียให้ผลผลิต 1.12-2.56 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ที่ระยะปลูก 3 x 3 เมตร (เริงชัย, 2527) ไม้สนสามใบในสวนป่าของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ มีความเพิ่มพูนปริมาตรลำต้นเฉลี่ย 0.91 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ในช่วงอายุ 34 ปี (อำไพ และคณะ, 2553) ซึ่งต่ำกว่าสนคาริเบียจากการศึกษานี้ที่มีความเพิ่มพูนเฉลี่ย 1.35 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี เมื่ออายุ 29 ปี การปลูกสร้างสวนป่าโดยใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีผ่านการปรับปรุงพันธุ์และมีถิ่นกำเนิดที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้ในสวนป่า

สนสามใบในสวนป่าของหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ อายุ 29 ปี มีมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ 555 และ 274 กิโลกรัม/ไร่/ปี (Nongnuang *et al*., 2012) ในขณะที่ไม้สนคาริเบียจากผลการศึกษานี้มีมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ 1,239 และ 569 กิโลกรัม/ไร่/ปี มวลชีวภาพในสวนป่าที่แตกต่างกันนั้นขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่น ปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ดิน เป็นต้น นอกจากนี้ ชนิดพันธุ์ไม้ อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ตลอดจนการดูแลรักษาสวนป่าก็เป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญเช่นเดียวกัน

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

ไม้สนคาริเบีย อายุ 29 ปี มีอัตราความเพิ่มพูนทางความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.73 เมตร/ปี และ 0.88 เซนติเมตร/ปี มีปริมาตรไม้คิดเป็นปริมาตรไม้เหนือเปลือก 1.35 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี และปริมาตรไม้ใต้เปลือก 1.34 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี มีมวลชีวภาพทั้งหมด 1,239 กิโลกรัม/ไร่/ปี แยกเป็นมวลชีวภาพลำต้น กิ่ง ใบ และรากเท่ากับ 711, 68, 31 และ 429 กิโลกรัม/ไร่/ปี ตามลำดับ โดยมีการสะสมคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในสวนป่าสนคาริเบีย เท่ากับ 569.34, 2.87, 0.18, 1.13, 0.78 และ 0.25 กิโลกรัม/ไร่/ปี ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง (References)

ทัศนีย์ รัติวานิช, อรรณพ อภิชาตบุตร์, เพ็ญศรี นามประเสริฐ, วิชิต สนธิวนิช และ รัตนา หม้อมณี. 2529. เยื่อกระดาษไม้สนคาริเบียและไม้สนโอคาปา. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. 21 หน้า.

พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ. 2538. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 557 น.

เริงชัย เผ่าสัจจ. 2527. การทดลองชนิดพันธุ์และถิ่นกำเนิดไม้สนเพื่อทำเยื่อกระดาษ, น. 432-459. *ใน* การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2527 เล่ม 3 กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ.

สำนักแผนงานและสารสนเทศ. 2553. ข้อมูลสถิติกรมป่าไม้ปี 2553. กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 147 น.

สุธี วิสุทธิเทพกุล และ ภิรมย์ ห่อตระกูล. 2531. คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ไม้โตเร็ว (3). เอกสารการประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2531 สาขาวนผลิตภัณฑ์ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 13 หน้า.

อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, สุนทร คำยอง, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และ นิวัติ อนงค์รักษ์. 2553. การเจริญเติบโต ผลผลิตและการทดแทนของพรรณไม้ในสวนป่าสนสามใบ พื้นที่ต้นน้ำในภาคเหนือ. การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 2. วันที่ 26 พฤศจิกายน 2553. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่. 10 น.

Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. “Nitrogen-total”, p: 595-622. *In*: A.L. Page (ed), *Methods of Soil Analysis Part 2 (Chemical and Microbiological Properties)* 2th ed. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.

Granhof, J.J. 1983. “Growth and variation in *Pinus kesiya* at high elevation in Thailand”, p: 2A1-2A27. *In*: *Thai-Danish Cooperation on Eucalyptus and Pine Improvement 1969-1980*. Vol. II. Forest Research Paper. Silvicultural Research Sub-Division, Royal Forest Department, Bangkok; and Danish International Development Agency (DANIDA), Copenhagen.

Granhof, J.J. and P. Homjeen. 1983. Growth of 5 coniferous species at high elevation in northern Thailand, p: 1A1-1A44. *In*: Thai-Danish cooperation on Eucalyptus and Pine Improvement 1969-1980. Vol II: Research papers. Silvicultural Research Sub-division, Royal Forest Department, Bangkok and Danish International Development Ageney, Copenhagen.

Knudsen, D., G.A. Peterson and P.F. Pratt. 1982. “Lithium, Sodium and potassium”, p: 225-245. *In*: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 2 (Chemical and Microbiological Properties)* 2th ed. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.

Lanyon, L.E. and W.R. Heald. 1982. "Magnesium, calcium, strontium and barium", p: 247-260. *In*: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 2 (Chemical and Microbiological Properties)* 2th ed. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.

Nongnuang, S., S. Khamyong, K. Sri-ngernyuang and N. Anongrak. 2012. Ecosystem Carbon Stocks in *Pinus kesiya* Plantations at Boa Kaew Watershed Station, Northern Thailand. Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. 6 p.

Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. "Phosphorus", p: 403-427. *In*: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 2 (Chemical and Microbiological Properties)*, 2th ed. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.

Walkley, A. and I.A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil Science* 63: 257.