# การประมาณปริมาตรไม้และมูลค่าของไม้สนคาริเบีย

## Estimating the Stem Volume and the Valuation of *Pinus caribaea* Morelet


**อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์**[1] Ampai Pornleesangsuwan

**พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ**[2] Pongsak Chattecha

**สมชาย นองเนือง**[2] Somchai Nongnuang

**คณิต รัตนวัฒน์กุล**[2] Kanit Rattanawatkul


## บทคัดย่อ


การประมาณปริมาตรไม้และมูลค่าของไม้สนคาริเบีย อายุ 29 ปี ที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ โดยศึกษา 1) การเจริญเติบโตและปริมาตรลำต้นของไม้สนคาริเบีย 2) มวลชีวภาพเหนือพื้นดินและการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพของไม้สนคาริเบีย 3) การประเมินมูลค่าเนื้อไม้และมูลค่าด้านสิ่งแวดล้อมของไม้สนคาริเบีย พบว่า ไม้สนคาริเบีย อายุ 29 ปี มีความสูงเฉลี่ย 21.08 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 25.63 เซนติเมตร คิดเป็นปริมาตรไม้ 245.07 ลูกบาศก์เมตร/เฮกแตร์ มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 147.9 เมกกะกรัม/เฮกแตร์ แยกเป็นมวลชีวภาพลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 127.2, 14.4 และ 6.3 เมกกะกรัม/เฮกแตร์ ตามลำดับ โดยมีปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ที่สะสมในไม้สนคาริเบียเท่ากับ 61,904, 235.07, 47.06, 193.10, 115.13, 35.56 และ 8.02 กิโลกรัม/เฮกแตร์ ตามลำดับ มูลค่าของเนื้อไม้คิดเป็นเงิน 30,042 บาท/เฮกแตร์/ปี และมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมในด้านการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในเนื้อไม้คิดเป็นเงิน 256 บาท/เฮกแตร์/ปี รวมมูลค่าทั้งหมดเท่ากับ 30,298 บาท/เฮกแตร์/ปี สนคาริเบียเป็นไม้ที่มีการเจริญเติบโตดีควรส่งเสริมให้เป็นไม้เศรษฐกิจของไทย



**คำหลัก:** ปริมาตรไม้ มูลค่า ธาตุอาหาร สนคาริเบีย


## Abstract


Estimating the stem volume and the valuation of *Pinus caribaea* Morelet at 29 year-old were studied in progeny trial 1981 at Huey Bong Silvicultural Research Station, Chiang Mai



[1] นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ E-mail: p.ampai44@gmail.com

[2] นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

province. The objectives of the studies were to determine 1) growth and stem volume of *Pinus caribaea*, 2) aboveground biomass and carbon and other nutrient stocks in biomass of *Pinus caribaea*, and 3) the valuation of wood and nutrient products of *Pinus caribaea*. The result revealed that *Pinus caribaea* at 29 year–old were determined; average height, 21.08 m; average diameter at breast height, 25.63 cm; and average stem volume, 245.07 $m^3.ha^{-1}$. Aboveground biomass was 147.9 $Mg.ha^{-1}$ which composed of stem, branch, and leaf biomass as 127.2, 14.4 and 6.3 $Mg.ha^{-1}$, respectively. Carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sodium in aboveground biomass were 61,904, 235.07, 47.06, 193.10, 115.13, 35.56 and 8.02 $kg.ha^{-1}$, respectively. The valuation of stem value was 30,042 $baht.ha^{-1}.yr^{-1}$ and the valuation of nutrient products was 256 $baht.ha^{-1}.yr^{-1}$. The total value was calculated as 30,298 $baht.ha^{-1}.yr^{-1}$. *P. caribaea* grows well in Thailand, therefore; it should be promoted for economic plantations.

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

## บทนำ (Introduction)

สนคาริเบีย เป็นไม้สนเขตร้อนที่นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2507 พบว่ามีการเจริญเติบโตดี สนคาริเบียที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ช่วง 7 ปีแรก พบว่า มีความเพิ่มพูนทางความสูงเฉลี่ย 1 เมตร/ปี และความเพิ่มพูนทางเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2–1.4 เซนติเมตร/ปี (สาโรจน์ และคณะ, 2544) ส่วนที่จังหวัดสุรินทร์ พบว่า มีความเพิ่มพูนทางความสูงเฉลี่ย 0.99 เมตร/ปี และความเพิ่มพูนทางเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.1 เซนติเมตร/ปี (ประดิษฐ์, 2540) และจากการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของสนคาริเบียที่สถานีวนวัฒนวิจัยดงลาน จังหวัดขอนแก่น พบว่า มีความเพิ่มพูนทางความสูงเฉลี่ย 1.1 เมตร/ปี และความเพิ่มพูนทางเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.1 เซนติเมตร/ปี สนคาริเบียสามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ระดับสูงและระดับต่ำ หากมีการจัดการสวนป่าอย่างดีสนคาริเบียสามารถให้ผลผลิตถึง 6–12 ลูกบาศก์เมตร/เฮกแตร์/ปี (0.96–1.92 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี) (Granhof and Homjeen, 1983) นอกจากนี้สนคาริเบียที่ปลูกในจังหวัดชุมพรซึ่งมีปริมาณน้ำฝนสูง (2,070 มิลลิเมตร/ปี) โตเร็วกว่าจังหวัดเชียงใหม่ (ปริมาณน้ำฝน 1,191 มิลลิเมตร/ปี) ถึง 6.67 เท่า เมื่อต้นไม้มีอายุ 7 ปี (Granhof, 1983)

สนคาริเบีย มีลักษณะเนื้อไม้ละเอียดสีขาวอมเหลือง เสี้ยนตรง การไสตกแต่งและขัดง่าย ความแน่นหรือน้ำหนักของไม้ผึ่งแห้ง 0.468 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จัดเป็นไม้ที่มีน้ำหนักเบา ไม้แห้งมีการหดตัวปานกลาง เนื้อไม้ใช้ทำเครื่องเรือนได้ดีมาก ทำไม้ประสานใช้งานทั่วไปหรือใช้กลึงและแกะสลักได้ดี ทำไม้วงกบ ไม้วงกบประสาน หรือไม้กรอบและบานหน้าต่างได้พอใช้ (สุธี และ ภิรมย์,

2531) นอกจากนี้ สน คาริเบียยังมีลักษณะของเส้นใยยาว ปริมาณเซลลูโลสสูง ใช้ทำกระดาษเหนียวได้ดี มีความต้านทานต่อแรงฉีกและการหักพับงอสูงกว่าไม้สนสามใบและสนสองใบ (ทัศนีย์ และคณะ, 2529) ประเทศไทยต้องนำเข้าไม้สนแปรรูปและไม้ท่อน ในปี พ.ศ. 2553 ถึง 187,602 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นเงิน 1,282.5 ล้านบาท และนำเข้าเยื่อกระดาษถึง 14,824 ล้านบาท (สำนักแผนงานและสารสนเทศ, 2553) ดังนั้น ควรส่งเสริมให้มีการปลูกสร้างสวนป่าไม้สน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสนคาริเบีย ซึ่งมีการเจริญเติบโตดีกว่าไม้สนสามใบและสนสองใบซึ่งเป็นไม้ท้องถิ่นของไทย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณปริมาตรไม้สนคาริเบียอายุ 29 ปี ซึ่งปลูกที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ พร้อมทั้งประเมินมูลค่าของเนื้อไม้และมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมในด้านการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในเนื้อไม้ 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

3. ศึกษาคาร์บอนและธาตุอาหารที่กักเก็บในไม้สนคาริเบีย โดยสุ่มตัวอย่างชิ้นส่วนของไม้สนคาริเบียที่ศึกษามวลชีวภาพ 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ โดยแยกออกเป็น ลำต้น กิ่ง และใบ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและธาตุอาหารที่เก็บสะสมในพืชในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

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

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมนำตัวอย่างที่บดแล้วมาทำการย่อยด้วยวิธี 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)

4. การประเมินมูลค่าของเนื้อไม้และมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมในด้านการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในไม้สนคาริเบีย

4.1 การประเมินมูลค่าของเนื้อไม้ พิจารณาจากปริมาตรเนื้อไม้ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปไม้ซุงและไม้ฟืน และคำนวณมูลค่าของผลผลิตไม้ โดยประเมินจากราคาของเนื้อไม้ ดังนี้ ไม้ซุงใช้ราคาไม้กระยาเลย จำแนกขนาดตามเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับอก (GBH) ขนาด 30–50, 50–100 และ > 100 เซนติเมตร ขึ้นไป ราคา 1,000, 3,000 และ 5,000 บาท/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และขนาดเล็กกว่า 30 เซนติเมตร ใช้ประโยชน์เป็นไม้ฟืน ราคา 600 บาท/ลูกบาศก์เมตร (ขนิษฐา และคณะ, 2554)

4.2 การประเมินมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมในด้านการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในพืช โดยประยุกต์ใช้วิธี Market valuation และ Cost replacement method (พงษ์ศักดิ์ และ พิณทิพย์, 2552) ทั้งนี้มูลค่าของคาร์บอน ประเมินจากการซื้อขายคาร์บอนในตลาดโลก โดยเป็นการซื้อขายในตลาดแบบสมัครใจ (Voluntary carbon market : VCM) (Katherine, *et al.* 2008.) มูลค่าการซื้อขายคาร์บอนเท่ากับ 0.05 US$ $tonC^{-1}$ หรือ 1.52 บาทต่อตันคาร์บอน (อัตราแลกเปลี่ยน 30.42 บาทต่อดอร์ล่าสหรัฐ) และการประเมินมูลค่าของธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โปแตสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) จากปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในพืช ประเมินจากราคาของปุ๋ยยูเรีย (สำหรับธาตุไนโตรเจน) ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (ฟอสฟอรัส) ปุ๋ยโปแตสเซียมคลอไรด์ (โปแตสเซียม) ปูนโดโลไมต์ (แคลเซียมและแมกนีเซียม) และเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (โซเดียม) ซึ่งราคาของปุ๋ยเคมีต่อราคา 1 กระสอบน้ำหนัก 50 กิโลกรัม มีดังนี้ ราคาปุ๋ยยูเรีย (46% N สำหรับธาตุไนโตรเจน) 600 บาท ราคาปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (46% $P_2O_5$ สำหรับธาตุฟอสฟอรัส) 600 บาท ราคาปุ๋ยโปแตสเซียมคลอไรด์ (60% $K_2O$ สำหรับธาตุโปแตสเซียม) 400 บาท ปูนโดโลไมต์ (31% CaO, 21% MgO สำหรับธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียม) 1,500 บาทต่อตัน และเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ บริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (39% Na สำหรับธาตุโซเดียม) 923.45 บาทต่อตัน เมื่อคำนวณเปรียบเทียบราคาปุ๋ยต่อน้ำหนักธาตุอาหารพืช 1 หน่วย (กิโลกรัม) พบว่า มูลค่าของธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โปแตสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) เท่ากับ 26.09, 26.09, 13.33, 5.77, 5.77 และ 2.37 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้การประเมินมูลค่าธาตุอาหารสะสมในพืชพิจารณาจากธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Readily available form) โดยเปลี่ยนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและธาตุอาหารที่อยู่ในรูปที่สกัดได้ (Exchangeable forms) ณ ช่วงเวลาที่ศึกษาให้มาอยู่ในรูปธาตุอาหารที่ปลดปล่อยและพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้ค่าคงที่ (factor) ของ C, N, P, K, Ca , Mg และ Na เท่ากับ 1.00, 0.02, 2.29, 1.20, 1.40, 1.70 และ 1.00 เป็นตัวคูณ (ขนิษฐา และคณะ, 2553)

## ผลการศึกษา (Results)

### 1. ผลผลิตและมวลชีวภาพของไม้สนคาริเบีย

จากการวัดการเจริญเติบโตของต้นสนคาริเบียอายุ 29 ปี พบต้นไม้ทั้งหมดจำนวน 2,106 ต้น (88 ต้น/ไร่; รอดตาย 49.86%) มีความสูงเฉลี่ย 15.90 เมตร (สูงสุด 25 เมตร ต่ำสุด 4 เมตร) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 25.63 เซนติเมตร (สูงสุด 46.23 เซนติเมตร ต่ำสุด 10.12 เซนติเมตร)

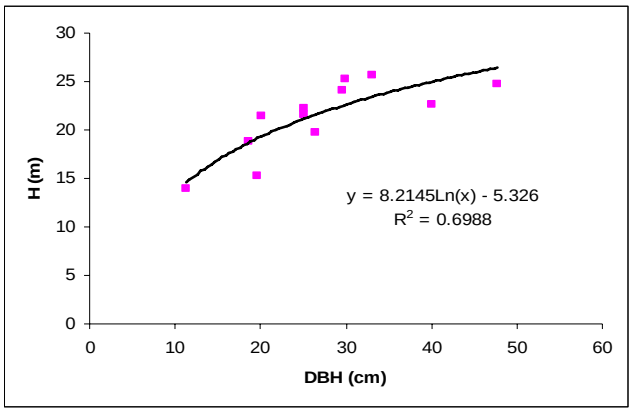
ผลจากการสุ่มตัดตัวแทนต้นไม้ที่มีขนาดต่างๆ กัน ทั้งขนาดเล็ก กลาง และขนาดใหญ่ จำนวน 12 ต้น เพื่อนำมาสร้างสมการปริมาตรไม้และมวลชีวภาพของไม้สนคาริเบีย มีดังนี้

(1) สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไม้สนคาริเบีย ดังนี้

$$H = 8.2145 \ln(DBH) - 5.326 \qquad R^2 = 0.6988$$

เมื่อ H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

DBH = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)




**ภาพที่ 1** ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกของไม้สนคาริเบีย

เนื่องจากความสูงของต้นไม้ที่วัดก่อนโค่นล้มต้นไม้ มีความคลาดเคลื่อนมากเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงจริงจากการวัดหลังโค่นล้มต้นไม้ลงมาแล้ว จึงใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก ประเมินหาค่าความสูงของต้นไม้ในแปลงใหม่ พบว่ามีความสูงเฉลี่ย 21.08 เมตร (สูงสุด 26.17 เมตร ต่ำสุด 13.69 เมตร)

(2) สร้างสมการปริมาตรไม้สนคาริเบีย เพื่อนำไปประมวลหาปริมาตรของต้นไม้ทั้งแปลง คือ

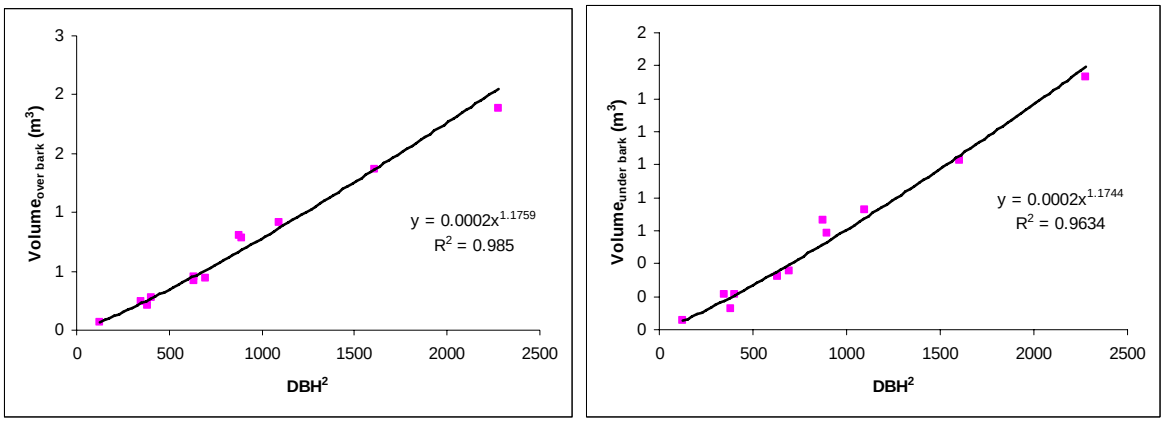
$$V_{over\ bark} = 0.0002\ (DBH^2)^{1.1759} \qquad R^2 = 0.9850$$

$$V_{under\ bark} = 0.0002\ (DBH^2)^{1.1744} \qquad R^2 = 0.9634$$

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

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

DBH = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)




**ภาพที่ 2** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกของไม้สนคาริเบีย

จากสมการปริมาตรไม้สามารถคำนวณหาปริมาตรไม้ทั้งแปลงของสนคาริเบียได้ ดังนี้ ปริมาตรไม้เหนือเปลือกเท่ากับ 941.07 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นปริมาตร 39.21 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (245.07 ลูกบาศก์เมตร/เฮกแตร์) และปริมาตรไม้ใต้เปลือก 931.70 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นปริมาตร 38.82 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (242.63 ลูกบาศก์เมตร/เฮกแตร์) ส่วนใหญ่ต้นไม้มีขนาดเส้นรอบวง 50–100 เซนติเมตร (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** ปริมาตรเหนือเปลือกของไม้สนคาริเบียจำแนกตามขนาดเส้นรอบวง

| 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 |

(3) สร้างสมการมวลชีวภาพของแต่ละส่วน (ลำต้น กิ่ง ใบ) เพื่อนำไปประมวลหามวลชีวภาพของต้นไม้ทั้งแปลง คือ

$$W_S = 0.1177\ (DBH^2)^{1.1571} \qquad R^2 = 0.9575$$

$$W_B = \frac{0.0007}{(DBH^2)^{1.5958}} \qquad R^2 = 0.9382$$

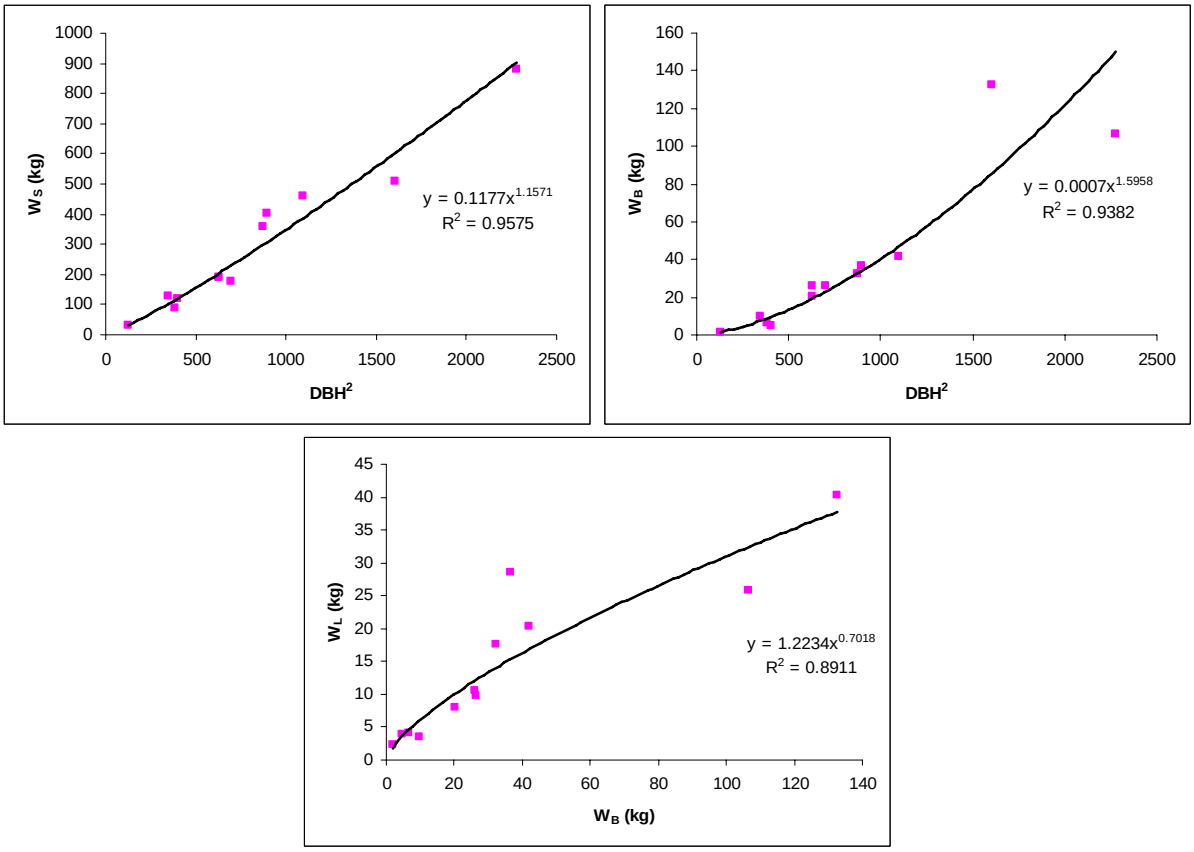
$$W_L = 1.2234\ (W_B)^{0.7018} \qquad R^2 = 0.8911$$

เมื่อ $W_S$ = มวลชีวภาพลำต้น (กิโลกรัม)

$W_B$ = มวลชีวภาพกิ่ง (กิโลกรัม)

$W_L$ = มวลชีวภาพใบ (กิโลกรัม)

DBH = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)




**ภาพที่ 3** ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพลำต้น กิ่ง ใบ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไม้สนคาริเบีย

จากสมการมวลชีวภาพลำต้น กิ่ง และใบ ของไม้สนคาริเบีย สามารถคำนวณหามวลชีวภาพของไม้สนคาริเบียทั้งแปลงได้ 23.7 เมกกะกรัม/ไร่ (147.9 เมกกะกรัม/เฮกแตร์) แยกเป็นมวลชีวภาพลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 20.4, 2.3 และ 1.0 เมกกะกรัม/ไร่ (127.2, 14.4 และ 6.3 เมกกะกรัม/เฮกแตร์) ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 2** มวลชีวภาพของไม้สนคาริเบีย

| Area | WS (Mg) | WB (Mg) | WL (Mg) | Total (Mg) |
|---|---|---|---|---|
| 24 rai | 488.5 | 55.1 | 24.2 | 567.9 |
| 1 rai | 20.4 | 2.3 | 1.0 | 23.7 |
| 1 ha | 127.2 | 14.4 | 6.3 | 147.9 |

**2. ธาตุอาหารที่สะสมในไม้สนคาริเบีย**

ผลการวิเคราะห์คาร์บอนและธาตุอาหารต่างๆ ในลำต้น กิ่ง และใบ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ที่สะสมในไม้สนคาริเบีย ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อคำนวณหาปริมาณการสะสมธาตุอาหารพืชของไม้สนคาริเบียทั้งแปลงคิดเป็นปริมาณ

คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ที่สะสมในไม้สนคาริเบีย เท่ากับ 9,905, 37.61, 7.53, 30.90, 18.42, 5.69 และ 1.28 กิโลกรัม/ไร่ (61,904, 235.07, 47.06, 193.10, 115.13, 35.56 และ 8.02 กิโลกรัม/เฮกแตร์) ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 3** ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารของไม้สนคาริเบีย

| Nutrient | | Stem | Branch | Leaf |
|---|---|---|---|---|
| OC | g/100g | 42.6 | 34.9 | 42.8 |
| N | g/100g | 0.10 | 0.41 | 0.79 |
| P | mg/kg | 235.97 | 650.23 | 1,222.37 |
| K | mg/kg | 1,012.33 | 2,095.33 | 5,429.00 |
| Ca | mg/kg | 477.27 | 2,975.60 | 1,852.73 |
| Mg | mg/kg | 149.60 | 685.03 | 1,062.03 |
| Na | mg/kg | 48.87 | 93.93 | 71.43 |

**ตารางที่ 4** ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารของไม้สนคาริเบียต่อพื้นที่

| Nutrient | | per 1 rai | | | | per 1 ha | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Stem | Branch | Leaf | **Total** | Stem | Branch | Leaf | **Total** |
| OC | (kg) | 8,671 | 802 | 431 | **9,905** | 54,196 | 5,012 | 2,696 | **61,904** |
| N | (kg) | 20.29 | 9.36 | 7.96 | **37.61** | 126.80 | 58.49 | 49.78 | **235.07** |
| P | (kg) | 4.80 | 1.49 | 1.23 | **7.53** | 30.02 | 9.34 | 7.71 | **47.06** |
| K | (kg) | 20.61 | 4.81 | 5.48 | **30.90** | 128.79 | 30.09 | 34.22 | **193.10** |
| Ca | (kg) | 9.71 | 6.84 | 1.87 | **18.42** | 60.72 | 42.73 | 11.68 | **115.13** |
| Mg | (kg) | 3.05 | 1.57 | 1.07 | **5.69** | 19.03 | 9.84 | 6.70 | **35.56** |
| Na | (kg) | 0.99 | 0.22 | 0.07 | **1.28** | 6.22 | 1.35 | 0.45 | **8.02** |

### 3. การประเมินมูลค่าของเนื้อไม้และมูลค่าทางสิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลปริมาตรเนื้อไม้ มวลชีวภาพ และปริมาณการสะสมธาตุอาหารในไม้สนคาริเบีย สามารถประเมินหามูลค่าของเนื้อไม้และมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมในด้านการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในไม้สนคาริเบีย ดังนี้

(1) การประเมินมูลค่าของเนื้อไม้ ปริมาตรไม้สนคาริเบียที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปไม้ซุง เมื่อคำนวณมูลค่าของผลผลิตไม้ เมื่ออายุ 29 ปี คิดเป็นเงิน 139,396 บาท/ไร่ (871,227 บาท/เฮกแตร์) เฉลี่ย 4,807 บาท/ไร่/ปี (30,042 บาท/เฮกแตร์/ปี) (ตารางที่ 5)

**ตารางที่ 5** การประเมินมูลค่าเนื้อไม้ของไม้สนคาริเบีย อายุ 29 ปี

| GBH_Class (cm) | Price (bath/$m^3$) | Value (bath/ 24 rai) | Value (bath/rai) | Value (bath/ha) |
|---|---|---|---|---|
| 30–50 | 1,000 | 11,189 | 466 | 2,914 |
| 50–100 | 3,000 | 1,972,649 | 82,194 | 513,711 |
| 100–150 | 5,000 | 1,361,675 | 56,736 | 354,603 |
| Total | | 3,345,513 | 139,396 | 871,227 |
| Value of timber production (bath/year) | | 115,363 | 4,807 | 30,042 |

(2) การประเมินมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมในด้านการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในเนื้อไม้ เมื่ออายุ 29 ปี มีมูลค่า 1,186 บาท/ไร่ (7,415 บาท/เฮกแตร์) เฉลี่ย 41 บาท/ไร่/ปี (256 บาท/เฮกแตร์/ปี) (ตารางที่ 6)

**ตารางที่ 6** การประเมินมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมของไม้สนคาริเบีย อายุ 29 ปี

| Nutrient | | Nutrient storages (24 rai) | Factor | Available form (24 rai) | Price | | Value (bath) 24 rai | 1 rai | 1 ha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | (Mg) | 237.71 | 1.00 | 237.71 | 1.52 | bath/Mg | 361.3 | 15.1 | 94.1 |
| N | (kg) | 902.67 | 0.02 | 18.05 | 26.09 | bath/kg | 471.0 | 19.6 | 122.7 |
| P | (kg) | 180.72 | 2.29 | 413.85 | 26.09 | bath/kg | 10,797 | 450 | 2,812 |
| K | (kg) | 741.51 | 1.20 | 889.82 | 13.33 | bath/kg | 11,861 | 494 | 3,089 |
| Ca | (kg) | 442.09 | 1.40 | 618.92 | 5.77 | bath/kg | 3,571 | 149 | 930 |
| Mg | (kg) | 136.57 | 1.70 | 232.16 | 5.77 | bath/kg | 1,340 | 56 | 349 |
| Na | (kg) | 30.78 | 1.00 | 30.78 | 2.37 | bath/kg | 73 | 3 | 19 |
| | | | | | Total | (bath) | 28,475 | 1,186 | 7,415 |
| | | | | | | (bath/year) | 982 | 41 | 256 |

เมื่อคิดมูลค่ารวมของผลผลิตไม้ในรูปไม้ซุงและการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในไม้สนคาริเบีย อายุ 29 ปี เท่ากับ 140,583 บาท/ไร่ (878,643 บาท/เฮกแตร์) เฉลี่ย 4,848 บาท/ไร่/ปี (30,298 บาท/เฮกแตร์/ปี) เมื่อคิดเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 1,598 บาท/ต้น (55 บาท/ต้น/ปี) (ตารางที่ 7)

**ตารางที่ 7** มูลค่ารวมของไม้สนคาริเบีย อายุ 29 ปี

| Value | | 24 rai | 1 rai | 1 ha | 1 tree |
|---|---|---|---|---|---|
| Timber production | (bath) | 3,345,513 | 139,396 | 871,227 | 1,584 |
| | (bath/year) | 115,363 | 4,807 | 30,042 | 54.6 |
| Nutrient production | (bath) | 28,475 | 1,186 | 7,415 | 13.5 |
| | (bath/year) | 982 | 41 | 256 | 0.5 |
| Total | (bath) | 3,373,987 | 140,583 | 878,643 | 1,598 |
| | (bath/year) | 116,344 | 4,848 | 30,298 | 55 |

## วิจารณ์ผล (Discussion)

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

การเจริญเติบโตของต้นไม้ในสวนป่าแต่ละพื้นที่มักแตกต่างกัน สาเหตุจากพันธุ์และสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากนี้ การวางแผนปลูกและดูแลรักษาที่ดีก็มีส่วนในการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้ด้วย จากผลการศึกษานี้ การเจริญเติบโตของไม้สนคาริเบีย (ความสูงเฉลี่ย 21.08 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 25.63 เซนติเมตร เมื่ออายุ 29 ปี, ระยะปลูก 3 x 3 เมตร, ระดับความสูง 800 เมตรจากระดับน้ำทะเล) ต่ำกว่าสนคาริเบียที่สถานีวนวัฒนวิจัยดงลาน จังหวัดขอนแก่น (ความสูงเฉลี่ย 28.76 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 28.96 เซนติเมตร เมื่ออายุ 26 ปี, ระยะปลูก 3 x 3 เมตร, ระดับความสูง 330 เมตรจากระดับน้ำทะเล) หรือสนคาริเบียที่สถานีวนวัฒนวิจัยอินทขิล จังหวัดเชียงใหม่ (ความสูงเฉลี่ย 23.87 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 40.53 เซนติเมตร เมื่ออายุ 31 ปี, ระยะปลูก 6.4 x 6.4 เมตร, ระดับความสูง 400 เมตรจากระดับน้ำทะเล) การเจริญเติบโตของสนคาริเบียทั้งสามพื้นที่แตกต่างกันเนื่องจากปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ระดับความสูง ดิน และปริมาณน้ำฝนแตกต่างกัน ระยะปลูกก็มีผลต่อการเจริญเติบโตด้วยเพราะเมื่อเมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้น เรือนยอดเบียดชิดกัน เกิดการแก่งแย่งแสงและธาตุอาหาร ทำให้การเจริญเติบโตของต้นไม้ไม่ดีเท่าที่ควร การจัดการสวนป่าที่ดีควรทำการตัดสางขยายระยะไม้ในแปลงเมื่อเรือนยอดเริ่มชิดกัน โดยการศึกษาของ จักรพันธ์ และขวัญชัย (2543) พบว่า ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการตัดสางขยายระยะของสวนป่าไม้สนสามใบคืออายุ 6 ปี โดยไม้สนสามใบที่ตัดสางขยายระยะมีความโตของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่าไม้ที่ไม่มีการตัดสางขยายระยะถึง 10.13 เซนติเมตร ในทำนองเดียวกันการตัดสางขยายระยะไม้สนคาริเบียน่าจะอยู่ในช่วงอายุใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ สายพันธุ์และถิ่นกำเนิดก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึง การนำไม้สนถิ่นกำเนิดต่างกันไปปลูกในพื้นที่เดียวกันทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยสนคาริเบียจากถิ่นกำเนิด Bowenia, Queensland, Austrialia และ Mountain Pine Ridge, Belize ซึ่งนำมาปลูกที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง ที่ระยะปลูก 3 x 3 เมตร พบว่า เมื่ออายุ 28 ปี มีการเจริญเติบโตทางความสูงเฉลี่ย 32.80 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 19.77 เซนติเมตร (สาโรจน์, 2544) ส่วนไม้สนคาริเบียในแปลงทดลองถิ่นกำเนิดปี 2515 ที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง พบว่า เมื่ออายุ 25 ปี มีความสูงและความโตทาง

เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 20.32 เมตร และ 21.29 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยถิ่นกำเนิด Brus ประเทศ Honduras มีการเจริญเติบโตทางความสูงดีที่สุดเฉลี่ย 22.11 เมตร และถิ่นกำเนิด Limones ประเทศ Honduras มีการเจริญเติบโตทางเส้นผ่าศูนย์กลางดีที่สุดเฉลี่ย 24.32 เซนติเมตร (สาโรจน์ และคณะ, 2540) ดังนั้น การปลูกสร้างสวนป่าโดยใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีผ่านการปรับปรุงพันธุ์และมีถิ่นกำเนิดที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้ในสวนป่า

การประเมินมูลค่าของไม้สนคาริเบียในการศึกษานี้ เป็นการประเมินมูลค่าเนื้อไม้ในรูปไม้ซุง และมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมเฉพาะการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้สน คาริเบีย ซึ่งในความเป็นจริงยังมีการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในส่วนที่เป็นราก และในดินซึ่งมีมากกว่าในพืช (สมชาย และคณะ, 2553; สมชาย และคณะ, 2554; สาโรจน์ และคณะ, 2554) นอกจากนี้ ยังมีมูลค่าด้านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงในการศึกษานี้ เช่น มูลค่าที่เกิดจากผลิตผลของป่า เช่น เห็ด แมลง ฯลฯ มูลค่าด้านการท่องเที่ยวและนันทนาการ มูลค่าด้านการรักษาดุลยภาพของระบบนิเวศ ควบคุมสภาพภูมิอากาศโดยการดูดซับความร้อนและช่วยลดอุณหภูมิ ควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน เป็นต้น ซึ่งมูลค่าเหล่านี้ไม่สามารถใช้หลักทางเศรษฐศาสตร์มาเป็นข้อพิจารณาแต่เพียงอย่างเดียว เพราะมีคุณค่าด้านจิตใจเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

## **สรุปผลการวิจัย** (Conclusion)

ไม้สนคาริเบีย อายุ 29 ปี มีความสูงเฉลี่ย 21.08 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 25.63 เซนติเมตร มีปริมาตรไม้ทั้งแปลง 941.07 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นปริมาตร 245.07 ลูกบาศก์เมตร/เฮกแตร์ มีมวลชีวภาพ 147.9 เมกกะกรัม/เฮกแตร์ แยกเป็นมวลชีวภาพลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 127.2, 14.4 และ 6.3 เมกกะกรัม/เฮกแตร์ ตามลำดับ โดยมีปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ที่สะสมในไม้สนคาริเบียต่อพื้นที่ เท่ากับ 61,904, 235.07, 47.06, 193.10, 115.13, 35.56 และ 8.02 กิโลกรัม/เฮกแตร์ ตามลำดับ

เมื่อประเมินหามูลค่าของเนื้อไม้และมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมในด้านการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในไม้สนคาริเบียอายุ 29 ปี มีมูลค่าของผลผลิตไม้ คิดเป็นเงิน 871,227 บาท/เฮกแตร์ (30,042 บาท/ เฮกแตร์/ปี) และมูลค่าทางสิ่งแวดล้อมในด้านการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 7,415 บาท/เฮกแตร์ (256 บาท/เฮกแตร์/ปี) รวมมูลค่าทั้งหมดเท่ากับ 878,643 บาท/เฮกแตร์ (30,298 บาท/ เฮกแตร์/ปี) เฉลี่ย 1,598 บาท/ต้น (55 บาท/ต้น/ปี)

สนคาริเบียเป็นไม้ต่างถิ่นที่มีการกระจายพันธุ์อย่างกว้างขวาง และมีความหลากหลายของถิ่นกำเนิด สามารถขึ้นได้ในหลายสภาพภูมิอากาศและลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกัน หากส่งเสริมให้ปลูกสร้างเป็นสวนป่าจะไม่มีปัญหาในเรื่องการตัดฟันต้นไม้ นอกจากนี้ หากมีการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีและ

ถิ่นกำเนิดที่เหมาะสมกับพื้นที่ ตลอดจนมีการจัดการสวนป่าอย่างประณีต จะทำให้สวนป่ามีอัตราการเจริญเติบโตดีผลผลิตสูงซึ่งหมายถึงการเพิ่มมูลค่าของสวนป่าด้วย

## เอกสารอ้างอิง (References)


ขนิษฐา เสถียรพีระกุล, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2553. การประเมินมูลค่าคาร์บอนและธาตุอาหารสะสมในดินป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่. การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 2. วันที่ 26 พฤศจิกายน 2553. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่. 10 น.

ขนิษฐา เสถียรพีระกุล, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2554. มูลค่าผลผลิตไม้และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่. 12 น.

จักรพันธ์ สกุลมีฤทธิ์ และ ขวัญชัย ดวงสถาพร. 2543. ผลของการตัดสางขยายระยะต่อการเจริญเติบโตของไม้สนสามใบสวนป่าดอยบ่อหลวง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิชาการป่าไม้ 2(1): 32–40.

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

ประดิษฐ์ หอมจีน. 2540. การปลูกสร้างสวนป่าไม้สนในประเทศไทย. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 161 น.

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล และ พิณทิพย์ ธิติโรจนะวัฒน์. 2552. แบบจำลองเพื่อประเมินมูลค่าป่าต้นน้ำ. เอกสารบันทึกวิจัย ที่ 1/2552. สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.

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

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

สมชาย นองเนือง, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2553. การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพสนสามใบและพันธุ์ไม้ที่ขึ้นทดแทนในสวนป่าสนสามใบ. การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 2. วันที่ 26 พฤศจิกายน 2553. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่. 8 น.

สมชาย นองเนือง, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2554. การสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในดินสวนป่าสนสามใบ หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่. การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 2. วันที่ 11–13 พฤษภาคม 2554. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่. 10 น.

สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, สมชาย นองเนือง และอำไพ พรลีแสงสุวรรณ์. 2544. การทดสอบสายพันธุ์ไม้สนคาริเบีย อายุ 7 ปี. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 19 น.

สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2554. ผลกระทบของไฟป่าต่อสมบัติทางกายภาพ–เคมีและปริมาณธาตุอาหารสะสมในดินป่าเต็งรัง สถานีวนวัฒนวิจัย อินทขิล จังหวัดเชียงใหม่. การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 2. วันที่ 11–13 พฤษภาคม 2554. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่. 10 น.

สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์ และ คณิต รัตนวัฒน์กุล. 2540. การทดสอบถิ่นกำเนิดไม้สนคาริเบียปี 2515. ศูนย์วนวัฒนวิจัยที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 14 น.

สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล. 2544. สนคาริเบีย. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 93 น.

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.

Katherine, H., M. Sjardin, T. Macello and G. Xu. 2008. Forging a frontier: State of the voluntary carbon market 2008. Ecosystem marketplace & new carbon finance. 8th May 2008. http://www.ecosystemmarketplace.com/documents/cms_documents/2008_StateofVoluntary CarbonMarket2.pdf [2011 February 10].

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.

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.

**แปลงปลูกทดสอบสายพันธุ์ไม้สนคาริเบีย ปี 2524**

**วัดมิติต่างๆ ของต้นสนคาริเบียหลังตัดฟัน**

**ตัดทอนลำต้นออกเป็นท่อนๆ ตั้งแต่ความยาว 0.3, 1.3, 2.3,.... เมตร ตลอดความยาวของลำต้น**

**แยกชิ้นส่วนต่างๆ ของสนคาริเบีย**

**ชั่งน้ำหนักสดของลำต้น กิ่ง และใบแยกแต่ละท่อน**

**เก็บตัวอย่างชิ้นส่วนต่างๆ และนำไปอบหาน้ำหนักแห้งเพื่อหามวลชีวภาพและธาตุอาหาร**