การกักเก็บคาร์บอนของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน

Carbon Sequestration of *Pinus* spp. Plantation in Various Age Class

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ทำให้ทราบอัตราการเติบโต ปริมาตรไม้ มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน การร่วงหล่นและการย่อยสลายของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างๆ ที่ปลูกในพื้นที่ต่างกันในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย อัตราการเติบโตของไม้สกุลสนเขาค่อนข้างเร็วในช่วงแรก สนคาริเบีย มีอัตราความเพิ่มพูนด้านความสูง 1.10–1.14 เมตรต่อปี และความเพิ่มพูนด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 1.17–1.36 เซนติเมตรต่อปี อัตราความเพิ่มพูนของปริมาตรลำต้นใต้เปลือกที่อายุ 6, 9, 18 และ 29 ปี เฉลี่ย 0.004, 0.001, 0.017 และ 0.018 ลูกบาศก์เมตรต่อต้นต่อปี มีการสะสมมวลชีวภาพเฉลี่ย 2.7, 4.6, 12.5 และ 14.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ความเข้มข้นของคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ของไม้สนคาริเบียที่อายุ 6, 9, 18 และ 29 ปี มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 46.4, 43.1, 47.5 และ 43.5 ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพเฉลี่ย 1.9, 2.2, 6.8 และ 7.0 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ตามลำดับ การร่วงหล่นของซากพืชในไม้สกุลสนเขาเกิดขึ้นตลอดทั้งปี โดยพบมากที่สุดประมาณช่วงเดือนสิงหาคม–ธันวาคม ส่วนอัตราการย่อยสลายมีความแปรผันไปตามพื้นที่ระหว่างร้อยละ 33.0–78.6 อัตราการย่อยสลายของซากพืชจะเร็วในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมไปจนถึงเดือนพฤศจิกายน และจะช้าลงในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมิถุนายน

คำสำคัญ: ปริมาตรไม้ มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน ไม้สกุลสนเขา อายุ

Abstract

The study of carbon sequestration of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus urophylla* plantations in various age class was conducted in the north and northeast of Thailand. The results revealed that growth annual increments of *P. caribaea* were high in the first stage. Height annual increment was 1.10–1.14 $m.yr^{-1}$ and DBH annual increment was 1.17–1.36 $cm.yr^{-1}$. Bark thickness increased with stand age of 6, 9, 18 and 29 year–old at respectively as 0.87, 1.29, 1.64 and 1.87 cm. Stem volume under bark increments of 6, 9, 18 and 29 year–old were 0.004, 0.001, 0.017 and 0.018 m^3 $individual^{-1}$ yr^{-1}. Plant biomass storages were 2.7, 4.6, 12.5 and 14.3 kg $individual^{-1}$ yr^{-1}. The average of carbon contents in stem, branch, leaf and root of 6, 9, 18 and 29 year–old were reported as 46.4 , 43 .1 , 47 .5 and 4 3 . 5 % while the average of carbon accumulations in biomass were 1.9, 2.2, 6.8 and 7.0 kg $tree^{-1}$ yr^{-1}, respectively. The litterfall

occurred throughout the year but they were found higher during August–December. Litter decomposition throughout a year in different sites were varied during 33.0–78.6%. The rate of litter decomposition increased during rainy season in July to November after that it decreased during December to June.

Keywords: Stem volume, biomass, carbon storage, *Pinus* spp., age

คำนำ

ป่าไม้มีบทบาทในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและเปลี่ยนสภาพเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต เกิดการสะสมในมวลชีวภาพ (Biomass) ส่วนต่างๆ ของพืช บางส่วนจะเคลื่อนย้ายไปสะสมในสัตว์ผู้บริโภคพืชและสัตว์ ซากอินทรีย์ของพืชและสัตว์ที่ร่วงหล่นลงบนดินจะถูกย่อยสลายเป็นอินทรียวัตถุในดิน (พงษ์ศักดิ์, 2538) คาร์บอนจึงเป็นธาตุอาหารหลักในองค์ประกอบของอินทรียสารที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้นับว่ามีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในบรรยากาศ เมื่อปี 2537 การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากกิจกรรมทางด้านป่าไม้มีประมาณ 60.5 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นปริมาณคาร์บอนประมาณ 16.5 ล้านตันต่อปี (OEPP, 2000) แต่ปริมาณการปลดปล่อยในปี 2537 นี้คิดเป็นเพียงร้อยละ 70 ของปริมาณการปลดปล่อยในปี 2533 เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่สวนป่าและการลดลงของการตัดไม้ทำลายป่า ทั้งนี้ต้นไม้สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ (Carbon sequestration) ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เพื่อนำมาเก็บกักไว้ในรูปของมวลชีวภาพ (Biomass) จากรายงานการสำรวจปริมาณก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยเมื่อปี 2537 พบว่าพื้นที่สวนป่าและป่าธรรมชาติที่กำลังเจริญเติบโตสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 39.1 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นเกือบ 4 เท่าของปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อปี 2533 (OEPP, 2000) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ระบบนิเวศป่าไม้แต่ละประเภทมีความผันแปรค่อนข้างสูง ขึ้นอยู่กับลักษณะของสังคมพืช และประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบของสังคมพืชนั้นๆ

การปลูกสร้างสวนป่าไม้สนในประเทศไทยได้เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2506 ทั้งหมดเป็นการปลูกสร้างสวนป่าไม้ไม้สนสามใบ ซึ่งต่อมาได้มีการจัดตั้งโครงการปรับปรุงพันธุ์ไม้สนในปี พ.ศ. 2512 โดยดำเนินการศึกษาวิจัยด้านการปรับปรุงพันธุ์ไม้สนท้องถิ่นของไทยซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya* Rolye ex Gordon) และสนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) นอกจากนี้ยังมีการนำไม้สนต่างประเทศเข้ามาทดลองปลูกทดลองร่วมด้วย และพบว่ามีไม้สนต่างถิ่นอีก 3 ชนิด ที่มีถิ่นดั้งเดิมอยู่ในแถบอเมริกากลาง จัดเป็นไม้สนเขตร้อนที่น่าส่งเสริมในการปลูกสร้างสวนป่าไม้สนของประเทศไทย คือ สนคาริเบีย (*Pinus caribaea* Morelet) สนโอคาร์ปา (*Pinus oocarpa* Schiede)

และสนเทคูนูมานี่ (*Pinus patula* ssp. *tecunumanii*) เนื่องจากมีการเติบโตดี รูปทรงสวยงาม โดยเฉพาะสนคาริเบียเป็นไม้ที่สามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ระดับต่ำและระดับสูงสามารถปรับตัวได้ดีในหลายสภาพพื้นที่ ที่ผ่านมามีการศึกษาวิจัยด้านต่างๆ เช่น การปลูกทดสอบชนิดไม้ การปลูกทดสอบถิ่นกำเนิด การปลูกเพื่อทดสอบสายพันธุ์ การปลูกแหล่งผลิตเมล็ดไม้ และสวนผลิตเมล็ดไม้ มีการรวบรวมสายพันธุ์มาปลูกเป็นสวนอนุรักษ์พันธุ์ นอกจากนี้ ยังมีการปลูกเพื่อศึกษาวิจัยด้านวนวัฒนวิทยา เช่น การทดลองระยะปลูกที่เหมาะสม เป็นต้น ซึ่งการศึกษาวิจัยเน้นผลลัพธ์ด้านปรับปรุงพันธุ์เป็นหลัก แต่จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวยังมีผลประโยชน์ด้านอื่นๆ อีกหลายประการ ทั้งผลผลิตเนื้อไม้และคุณค่าทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งแปลงทดลองดังกล่าวเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนและธาตุอาหารที่สำคัญในรูปของเนื้อไม้ การวิจัยครั้งนี้จึงต้องการที่จะศึกษามวลชีวภาพ และการสะสมธาตุอาหารและคาร์บอนในระบบนิเวศสวนป่าไม้สน ทั้งส่วนที่อยู่บนดิน ในดิน และเศษซากพืชที่ร่วงหล่น เพื่อส่งผลต่อการลดก๊าซเรือนกระจกที่เป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบันต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การดำเนินงานแบ่งเป็น 4 ตอน คือ

1. การศึกษาการเติบโตของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน
2. การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน
3. การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน
4. การศึกษาการร่วงหล่นของซากพืชของไม้สกุลสนเขา
5. การศึกษาการย่อยสลายของซากพืชของไม้สกุลสนเขา

สถานที่ดำเนินการ

ดำเนินการคัดเลือกแปลงปลูกไม้สนเขาในสถานีวนวัฒนวิจัย ในภูมิภาคต่างๆ ได้แก่

1) สถานีวนวัฒนวิจัยอินทขิล จังหวัดเชียงใหม่
2) สถานีวนวัฒนวิจัยแม่สะนาม จังหวัดเชียงใหม่
3) สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่
4) สถานีวนวัฒนวิจัยบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่
5) สถานีวนวัฒนวิจัยดงลาน จังหวัดขอนแก่น
6) สถานีวนวัฒนวิจัยโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี
7) สถานีวนวัฒนวิจัยหนองคู จังหวัดสุรินทร์
8) สถานีวนวัฒนวิจัยทรายทอง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

วิธีการวิจัย

1) การวางแปลงตัวอย่าง

วางแปลงทดลองขนาด 40x40 เมตร ในแต่ละชั้นอายุและระยะปลูก แล้วทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงเพียงอก (DBH) และความสูง (H) ของต้นไม้ทุกต้นที่อยู่ในแปลง จัดชั้นความสูงและความโตของต้นไม้ เพื่อทำการสุ่มตัวแทนต้นไม้ที่มีขนาดต่างๆ กัน ทั้งขนาดเล็ก กลาง และขนาดใหญ่ จำนวน 12 ต้น เพื่อใช้ศึกษาปริมาตรและมวลชีวภาพของไม้สกุลสนเขา

2) การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

หาปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้โดยใช้วิธี Harvesting method ทำการสุ่มตัวแทนต้นไม้ที่มีขนาดต่างๆ กัน ทั้งขนาดเล็ก กลาง และขนาดใหญ่ จำนวน 12 ต้น เพื่อใช้ศึกษาปริมาตรและมวลชีวภาพของไม้สกุลสนเขา โดยวัดมิติ (dimension) ต่างๆ ของตัวแทนต้นไม้ที่คัดเลือกไว้ทุกต้น ได้แก่ ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (total height, H) ความสูงถึงระดับกิ่งสดกิ่งแรก (H_B) ซึ่งปกติมักจะถือว่าระดับของเรือนยอดของต้นไม้จะลงมาถึงระดับใต้กิ่งสดกิ่งแรกนี้โดยประมาณ ดังนั้น ความลึกของเรือนยอด (crown depth) จึงเท่ากับ $H - H_B = H_k$ วัดความกว้างของเรือนยอด (R) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับชิดดิน (D_0) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับสูงจากพื้นดิน 30 เซนติเมตร ($D_{0.3}$) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับสูงเพียงอก (diameter at breast height, DBH) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ความยาว 0.3, 1.3, 2.3,.... เมตร ไปตลอดความยาวของลำต้น เพื่อสร้างสมการปริมาตรไม้

ทำการตัดทอนลำต้นออกตามช่วงต่างๆ ตั้งแต่ความยาว 0.3, 1.3, 2.3,.... เมตร ไปตลอดความยาวของลำต้น ชั่งน้ำหนักสดของส่วนต่างๆ ตามลำดับ เพื่อศึกษาปริมาณการกระจายของมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง และใบ ตามระดับความสูงของลำต้นไม้ โดยใช้วิธีการศึกษาแบบ stratified clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) เก็บตัวอย่างย่อยของส่วนต่างๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ มาทำการอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนน้ำหนักสด (fresh weight) ของต้นไม้ในแปลงให้เป็นน้ำหนักแห้ง (oven–dried weight) เพื่อหามวลชีวภาพ (biomass) แต่ละส่วน (ลำต้น กิ่ง และใบ) ของต้นไม้แต่ละต้น ซึ่งใช้เป็นตัวแทนในการสร้างสมการมวลชีวภาพ เพื่อนำไปประมวลหามวลชีวภาพของต้นไม้ทั้งแปลง

จากนั้นนำค่าน้ำหนักแห้งที่ได้มาสร้างสมการที่ใช้ประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของไม้ในสวนป่า โดยหาได้จากความสัมพันธ์ในรูปแอลโลเมตรี ดังสูตร

$$y = Ax^h$$

หรือ $\log y = \log A + h \log x$

เมื่อ y คือ ปริมาตรลำต้นหรือมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ของต้นไม้

x คือ มิติที่วัดได้จากต้นไม้ (Dimension)

A และ h คือ ค่าคงที่ของสมการ

3) การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพใต้พื้นดิน

ทำการศึกษาโดยใช้ต้นเดียวกันกับต้นที่ศึกษามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยขุดดินให้ครอบคลุมส่วนที่เป็นรากกิ่ง หรือรากแขนง (Lateral root) ทั้งหมดของไม้ตัวอย่าง จากนั้นขุดไปตามความยาวของรากกิ่งหรือรากแขนงจนถึงปลายราก แยกเอาเศษดินออกให้หมดแล้วนำใส่ถุงพลาสติก โดยระมัดระวังไม่ให้มีรากของต้นอื่นปนเข้ามา เมื่อขุดรากจนถึงปลายรากแก้วจึงนำส่วนที่เป็นตอ (Stump) ขึ้นมาจากพื้นดินจากนั้นนำรากที่ได้ทั้งหมดมาทำความสะอาด โดยรากขนาดเล็กล้างด้วยน้ำแล้วรินผ่านตะแกรง ส่วนของตอไม้ให้ใช้น้ำฉีดและใช้แปรงสีฟันทำความสะอาด จากนั้นนำรากผึ่งในที่ร่มให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักสด และสุ่มตัวอย่างเพื่อหาน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างมาอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำค่าน้ำหนักแห้งที่ได้มาสร้างสมการที่ใช้ประมาณมวลชีวภาพของไม้ในสวนป่า โดยหาได้จากความสัมพันธ์ในรูปแอลโลเมตรี

4) การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของพืช

การศึกษาคาร์บอนและธาตุอาหารที่กักเก็บในไม้สกุลสนเขา โดยสุ่มตัวอย่างชิ้นส่วนของไม้สน แยกออกเป็น ลำต้น กิ่ง ใบ และราก เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและธาตุอาหารที่เก็บสะสมในเนื้อเยื่อพืช ได้แก่ คาร์บอน (Walkley and Black, 1947) ไนโตรเจน (Bremner and Mulvaney, 1982) ฟอสฟอรัส (Olsen and Sommers, 1982) โพแทสเซียม (Knudsen *et al.*, 1982) แคลเซียม และแมกนีเซียม (Lanyon and Heald, 1982) ในห้องปฏิบัติการ จากค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ และมวลชีวภาพ จะสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ ของต้นไม้ต่อพื้นที่ได้

ปริมาณคาร์บอน = มวลชีวภาพ x ความเข้มข้นของคาร์บอน

5) การศึกษาการร่วงหล่นของซากพืช

5.1 ดำเนินการวางกระบะรองรับซากพืชที่ทำจากเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความกว้าง 1 เมตร ความยาว 1 เมตร และความสูงของตาข่ายไนล่อนสีฟ้าที่อยู่ด้านล่าง 0.30 เมตร ด้านบนของกรอบเปิดโล่งไว้ โดยตั้งกระบะอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 0.50 เมตร จำนวน 12 กระบะต่อแปลงทดลอง โดยดำเนินการทุกแปลง

5.2 ทำการเก็บรวบรวมซากพืชทั้งหมดจากกระบะรองรับซากพืชจำนวน 12 กระบะต่อแปลง ที่ตั้งวางไว้ในสวนป่าทุกเดือน เป็นระยะเวลา 1 ปี

5.3 จากนั้นนำซากพืชที่เก็บมาทุกเดือนไปผึ่งลมให้แห้ง เพื่อเตรียมการคัดแยกประเภทของซากพืชจากทุกกระบะรองรับซากพืช โดยกำหนดให้เป็น 4 ประเภท กล่าวคือ (1) ซากพืชส่วนที่เป็นใบ (2) ส่วนที่เป็นกิ่ง (3) ส่วนที่เป็นดอกและผล และ (4) ส่วนอื่นๆ

5.4 นำซากพืชที่คัดแยกออกเป็นประเภทต่างๆ ใส่ถุงกระดาษ หลังจากนั้นนำตัวอย่างดังกล่าวในแต่ละถุงไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของซากพืชแต่ละประเภทและนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแต่ละตัวอย่างที่ได้ไปเปลี่ยนน้ำหนักสดของปริมาณซากพืชทั้งหมดของแต่ละประเภทที่ชั่งไว้แล้วเป็นน้ำหนักแห้ง ตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

$$\text{น้ำหนักแห้ง} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสด}}{100 + \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}}$$

6) การศึกษาการย่อยสลายของซากพืช

6.1 นำผ้าพลาสติคขนาดใหญ่รองรับเศษซากใบที่ร่วงหล่นในแต่ละแปลงทดลอง แต่ละแปลงทดลองให้บรรจุซากใบลงในถุงที่ทำจากตาข่ายไนล่อนสีฟ้าขนาด 50 x 50 เซนติเมตร ปริมาณ 200 กรัมต่อถุง จำนวน 36 ถุง

6.2 ในแต่ละแปลงทดลองบรรจุซากใบในถุงกระดาษจำนวน 3 ถุงๆ ละ 200 กรัม นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48–72 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของซากใบและนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแต่ละตัวอย่างที่ได้ไปเปลี่ยนน้ำหนักสดของปริมาณซากใบทั้งหมดของแต่ละประเภทที่ชั่งไว้แล้วเป็นน้ำหนักแห้งตามสูตรในข้อ 1.4

6.3 วางถุงซากพืชที่บรรจุใบซากพืชในถุงตาข่ายจำนวน 36 ถุง ลงบนพื้นแปลงทดลองที่เลือกไว้ โดยกำหนดจุดที่จะวางจำนวน 3 พื้นที่ๆ ละ 12 ถุง ต่อแปลงทดลอง

6.4 ทำการเก็บรวบรวมถุงซากพืชพื้นที่ละ 1 ถุง (รวม 3 ถุงต่อแปลงทดลอง) ที่วางไว้ในแปลงทดลองทุกเดือน เป็นระยะเวลา 1 ปี จากนั้นนำซากใบที่เหลือในถุงไปอบเพื่อหาน้ำหนักแห้งที่เหลือ

6.5 การศึกษาอัตราการสลายตัวของซากพืชแต่ละเดือน คิดเป็นร้อยละ โดยคำนวณจาก

$$\text{อัตราการสลายตัวของซากพืชแต่ละเดือน} = \frac{(\text{น.น. แห้งของซากพืชเมื่อเริ่มวางทิ้งไว้} - \text{น.น. แห้งของซากพืชที่เก็บในแต่ละเดือน}) \times 100}{\text{น.น. ของซากพืชเมื่อเริ่มวางทิ้งไว้}}$$

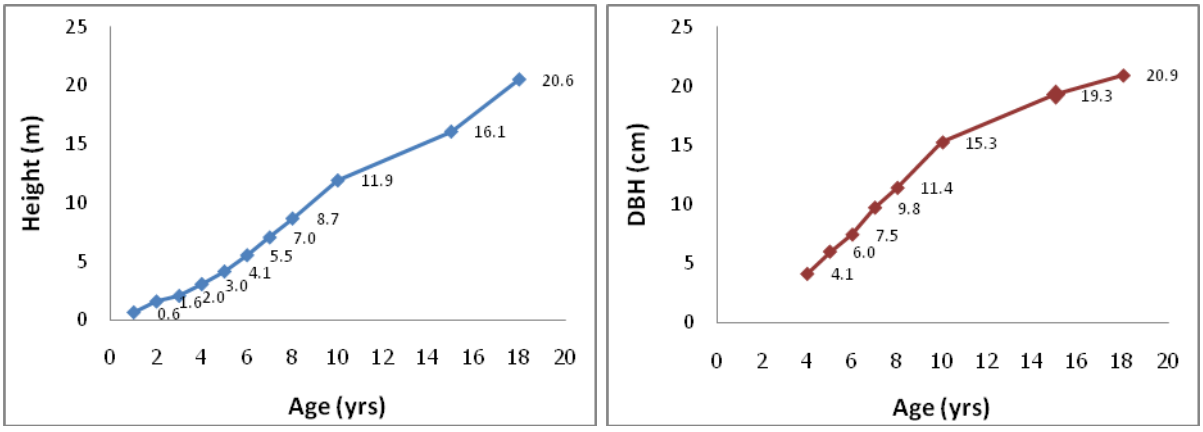
ผลและวิจารณ์ผล

สนคาริเบียเป็นไม้สนเขตร้อนมีการกระจายพันธุ์อย่างกว้างขวาง และมีความหลากหลายของถิ่นกำเนิด สามารถขึ้นได้ในหลายสภาพภูมิอากาศและลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกัน (Robbins, 1983) สนคาริเบียจึงเหมาะที่จะส่งเสริมให้มีการปลูกสร้างเป็นสวนป่าเศรษฐกิจ ผลการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นศึกษาสนคาริเบียเป็นหลัก

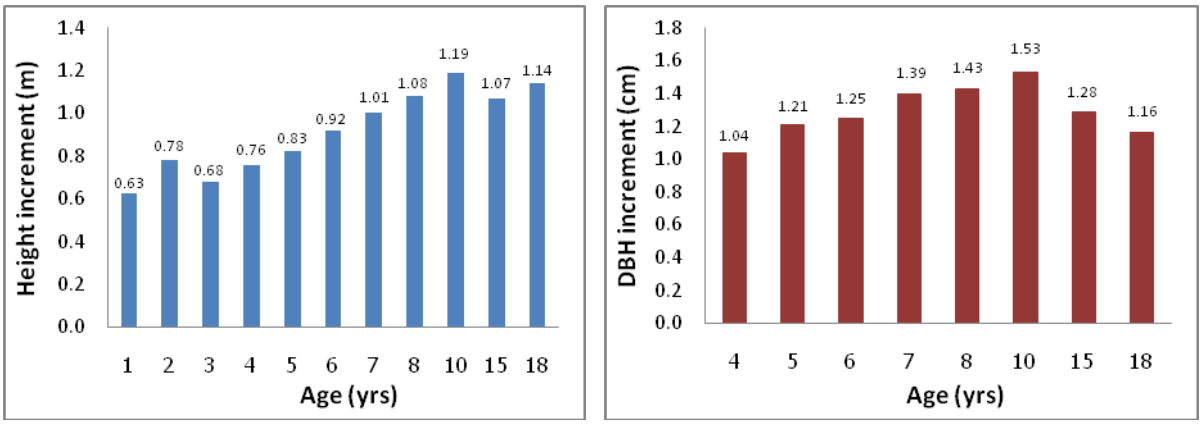
1. การเติบโตของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน

การวัดมิติต่างๆ ของต้นไม้ที่ตัดในแปลงปลูกไม้สกุลสนเขาพื้นที่ต่างๆ ที่อายุต่างกัน สามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของไม้สกุลสนแต่ละชั้นอายุ และสมการรวม (ตารางที่ 1) ซึ่งสามารถใช้เป็นสมการตัวแทนในการหาความสูงของไม้สกุลสนเขาในพื้นที่อื่นได้

สนคาริเบียที่นำเข้ามาปลูกในประเทศไทย มีการปรับตัวและเติบโตดีกว่าสนสามใบและสนสองใบซึ่งเป็นไม้ท้องถิ่น สนคาริเบียที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ช่วง 7 ปีแรก พบว่า มีความเพิ่มพูนทางความสูงเฉลี่ย 1 เมตรต่อปี และความเพิ่มพูนทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 1.2–1.4 เซนติเมตรต่อปี (สาโรจน์ และคณะ, 2544) ความเพิ่มพูนด้านความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเริ่มลดลงหลังอายุ 10 ปี (ภาพที่ 1 และ 2) ส่วนที่จังหวัดสุรินทร์ พบว่า มีความเพิ่มพูนทางความสูงเฉลี่ย 0.99 เมตรต่อปี และความเพิ่มพูนทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 1.1 เซนติเมตรต่อปี (ประดิษฐ์, 2540) และจากการเก็บข้อมูลการเติบโตของสนคาริเบียที่ดงลาน จังหวัดขอนแก่น พบว่า มีความเพิ่มพูนทางความสูงเฉลี่ย 1.1 เมตรต่อปี และความเพิ่มพูนทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 1.1 เซนติเมตรต่อปี นอกจากนี้ สนคาริเบียที่ปลูกในจังหวัดชุมพรซึ่งมีปริมาณน้ำฝนสูง (2,070 มิลลิเมตรต่อปี) โตเร็วกว่าจังหวัดเชียงใหม่ (ปริมาณน้ำฝน 1,191 มิลลิเมตรต่อปี) ถึง 6.67 เท่า เมื่อต้นไม้มีอายุ 7 ปี (Granhof, 1983b)



ภาพที่ 1 การเติบโตด้านความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกของสนคาริเบียชั้นอายุต่างกัน



ภาพที่ 2 ความเพิ่มพูนของการเติบโตด้านความสูงและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกของสนคาริเบียชั้นอายุต่างกัน

จากการศึกษาการเติบโตของสนคาริเบียในหลายพื้นที่ของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าสนคาริเบียมีอัตราการเติบโตค่อนข้างเร็วในช่วงแรก เมื่ออายุ 6 ปี มีอัตราความเพิ่มพูนทางความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 1.1 เมตรต่อปี และ 1.4 เซนติเมตรต่อปี และอายุ 9 ปี เฉลี่ย 1.5 เมตรต่อปี และ 1.5 เซนติเมตรต่อปี แนวโน้มการเติบโตมีอัตราลดลงเมื่อต้นไม้มีอายุเพิ่มขึ้น เมื่ออายุ 18 ปี มีอัตราความเพิ่มพูนทางความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 1.1 เมตรต่อปี และ 1.2 เซนติเมตรต่อปี และอายุ 29 ปี เฉลี่ย 0.7 เมตรต่อปี และ 0.9 เซนติเมตรต่อปี ตามลำดับ (ตารางที่ 2) หลังอายุ 6 ปี พบว่าเรือนยอดของสนคาริเบียเริ่มเบียดชิดกัน จึงเกิดการแก่งแย่งแสงแดด น้ำ และธาตุอาหาร ทำให้อัตราการเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเริ่มลดลง ในขณะที่ต้นไม้ยังคงเพิ่มอัตราการเติบโตด้านความสูงเพื่อแก่งแย่งแสง แต่เมื่ออายุมากขึ้นต้นไม้เติบโตเต็มที่ เรือนยอดเบียดชิดกันมากขึ้น มีการแก่งแย่งน้ำและธาตุอาหารมากขึ้น ทำให้อัตราการเติบโตของต้นไม้ลดลงทั้งด้านความสูงและความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนั้น ระยะปลูกจึงมีผลต่อความกว้างเรือนยอดและการเติบโตของต้นไม้ การปลูกสวนป่าสนคาริเบียที่ระยะปลูกเริ่มแรก 3 x 3 เมตร ควรมีการตัดสางขยายระยะครั้งแรกเมื่อต้นไม้มีอายุ 6 ปี โดย จักรพันธ์ และขวัญชัย (2543) พบว่า สนสามใบที่ตัดสางขยายระยะเมื่ออายุ 6 ปี มีความโตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าไม้ที่ไม่มีการตัดสางขยายระยะถึง 10.13 เซนติเมตร Whitmore and Liegel (1980) กล่าวว่า หากปลูกสนคาริเบียที่มีรอบตัดฟันสั้นควรใช้ระยะปลูก 2 x 2 ถึง 3 x 3 เมตร จะให้ผลผลิตเนื้อไม้สูง

การนำสนคาริเบียไปปลูกในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทยพบว่าเติบโตดีในหลายพื้นที่ ดังตารางที่ 2 พบว่า การเติบโตของสนคาริเบียที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ ที่อายุ 29 ปี มีความแตกต่างกัน โดยสนคาริเบียที่ ดงลาน จังหวัดขอนแก่น โตดีที่สุด (H = 28.65 เมตร, DBH = 30.63 เซนติเมตร, ความหนาแน่น 85 ต้น/ไร่) รองลงมาคือ อินทขิล เชียงใหม่ (H = 23.79 เมตร, DBH = 28.07 เซนติเมตร,

ความหนาแน่น 66 ต้น/ไร่) โขงเจียม อุบลราชธานี (H = 21.19 เมตร, DBH = 29.96 เซนติเมตร, ความหนาแน่น 47 ต้น/ไร่) และ ห้วยบง เชียงใหม่ (H = 21.08 เมตร, DBH = 25.63 เซนติเมตร, ความหนาแน่น 88 ต้น/ไร่) การเติบโตของสนคาริเบียแตกต่างกันเนื่องจากสภาพแวดล้อม ได้แก่ ดิน และภูมิอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้พันธุ์และการจัดการที่ต่างกัน (ระยะปลูก) ก็มีผลให้การเติบโตแตกต่างกันด้วย

การเติบโตของต้นไม้ในสวนป่าแต่ละพื้นที่มักแตกต่างกัน สาเหตุจากพันธุกรรม และสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากนี้ การวางแผนปลูกและดูแลรักษาที่ดีก็มีส่วนในการเพิ่มอัตราการเติบโตของต้นไม้ด้วย การเติบโตของไม้สนคาริเบียที่ห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ อายุ 29 ปี (ความสูงเฉลี่ย 21.08 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25.63 เซนติเมตร, ระยะปลูก 3 x 3 เมตร, ระดับความสูง 800 เมตรจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน 1,256 มิลลิเมตรต่อปี) ต่ำกว่าสนคาริเบียที่ดงลาน จังหวัดขอนแก่น อายุ 26 ปี (ความสูงเฉลี่ย 28.76 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 28.96 เซนติเมตร, ระยะปลูก 3 x 3 เมตร, ระดับความสูง 330 เมตรจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน 1,353 มิลลิเมตรต่อปี) ส่วนสนคาริเบียที่อินทขิล จังหวัดเชียงใหม่ อายุ 31 ปี (ความสูงเฉลี่ย 23.87 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 40.53 เซนติเมตร, ระยะปลูก 6.4 x 6.4 เมตร, ระดับความสูง 400 เมตรจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน 1,353 มิลลิเมตรต่อปี) การเติบโตของสนคาริเบียทั้งสามพื้นที่แตกต่างกันเนื่องจากปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ระดับความสูง ดิน และปริมาณน้ำฝนแตกต่างกัน ระยะปลูกก็มีผลต่อการเติบโตด้วยเพราะเมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้น เรือนยอดเบียดชิดกัน เกิดการแก่งแย่งแสงและธาตุอาหาร ทำให้การเติบโตของต้นไม้ไม่ดีเท่าที่ควร การจัดการสวนป่าที่ดีควรทำการตัดขยายระยะไม้ในแปลงเมื่อเรือนยอดเริ่มชิดกัน (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2555)

พันธุกรรมและถิ่นกำเนิดก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึง จากการนำไม้สนคาริเบียถิ่นกำเนิดต่างกันไปปลูกในพื้นที่เดียวกันมีผลให้การเติบโตแตกต่างกัน โดยสนคาริเบียจากถิ่นกำเนิด Bowenia, Queensland, Australia และ Mountain Pine Ridge, Belize ซึ่งนำมาปลูกที่ห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ระยะปลูก 3 x 3 เมตร พบว่า เมื่ออายุ 28 ปี มีการเติบโตทางความสูงเฉลี่ย 32.80 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 19.77 เซนติเมตร (สาโรจน์, 2544) ส่วนสนคาริเบียที่ห้วยบงในแปลงทดลองถิ่นกำเนิดปี 2515 อายุ 25 ปี พบว่า มีความสูงและความโตทางเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 20.32 เมตร และ 21.29 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยถิ่นกำเนิด Brus ประเทศ Honduras มีการเติบโตทางความสูงดีที่สุดเฉลี่ย 22.11 เมตร และถิ่นกำเนิด Limones ประเทศ Honduras มีการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางดีที่สุดเฉลี่ย 24.32 เซนติเมตร (สาโรจน์ และคณะ, 2540)

ดังนั้น การปลูกสนคาริเบียในระยะแรกควรใช้ระยะปลูก 2 x 2 ถึง 3 x 3 เมตร และควรตัดขยายระยะครั้งแรกเมื่ออายุ 6 ปี จะให้ผลผลิตเนื้อไม้เพิ่มขึ้น การปลูกเพื่อใช้ประโยชน์เนื้อไม้ควรมีรอบตัดฟันไม่เกิน 20 ปี การปลูกสร้างสวนป่าโดยใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีผ่านการปรับปรุงพันธุ์และมีถิ่นกำเนิดที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่จะช่วยเพิ่มอัตราการเติบโตของต้นไม้ในสวนป่า

2. การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน

2.1 การประมาณปริมาตรลำต้นของไม้สนเขาชั้นอายุต่างกัน

การประมาณปริมาตรลำต้นใต้เปลือกของสนคาริเบียที่ชั้นอายุต่างๆ ได้แก่ 6, 9, 18 และ 29 ปี ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ขอนแก่น และอุบลราชธานี โดยใช้สมการปริมาตรลำต้นที่จัดสร้างขึ้นและมีการปรับค่าเพื่อให้ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นดังแสดงผลในตารางที่ 3 โดยพบว่าอัตราความเพิ่มพูนของปริมาตรลำต้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับอายุที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว การจัดการสวนป่าโดยกำหนดระยะปลูกถี่ในช่วงแรกของแปลงอายุ 6 ปี (ระยะปลูก 1.5 x 3 เมตร มีปริมาตร 2.51 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) ทำให้มีปริมาตรมากกว่าแปลงอายุ 9 ปี (ระยะปลูก 3 x 3 เมตร มีปริมาตร 0.99 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเปรียบเทียบแปลงอายุ 18 ปี (อัตราความเพิ่มพูนของปริมาตร 0.015 ลูกบาศก์เมตรต่อต้นต่อปี) กับแปลงอายุ 29 ปี (อัตราความเพิ่มพูนของปริมาตร 0.014 ลูกบาศก์เมตรต่อต้นต่อปี) ที่ปลูกในพื้นที่ใกล้เคียงกันที่ห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าต้นไม้เติบโตเต็มที่เมื่ออายุ 18 ปี หากยังไม่มีการตัดขยายระยะหรือตัดฟันมาใช้ประโยชน์ จะทำให้ต้นไม้เบียดชิดกัน อัตราการเติบโตลดลง มีผลให้ความเพิ่มพูนของปริมาตรลดลงด้วย อย่างไรก็ตาม อัตราการรอดตายหรือความหนาแน่นของต้นไม้ในแปลงมีผลต่อผลผลิตสวนป่าด้วย

ดังได้กล่าวแล้วว่า พันธุกรรมและถิ่นกำเนิดมีผลต่อการเติบโตของต้นไม้ สนคาริเบียที่ห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ อายุ 18 ปี ปลูกโดยใช้เมล็ดพันธุ์ดี (ถิ่นกำเนิด Limones ประเทศ Honduras) ที่ผ่านการทดสอบแล้วว่าเติบโตดีในพื้นที่ระดับสูงของประเทศไทย (Granhof, 1983b) นอกจากจะเป็นพันธุ์ที่มีการเติบโตดีและมีลักษณะทั่วไปดีแล้วยังผ่านการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดีด้วย ซึ่งต่างจากแปลงสนคาริเบียอายุ 29 ปี ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ที่นำเมล็ดจากต่างประเทศหลายถิ่นกำเนิดเข้ามาปลูกโดยตรง แม้ว่าจะผ่านการคัดเลือกพันธุ์มาแล้วแต่บางถิ่นกำเนิดอาจไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อมในประเทศไทย ดังนั้น การปลูกสร้างสวนป่าสนคาริเบียควรใช้พันธุ์ที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์มาแล้ว ร่วมกับการจัดการสวนป่าที่ดีจะสามารถเพิ่มผลผลิตเนื้อไม้

สภาพแวดล้อมก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สนคาริเบียเติบโตแตกต่างกัน ส่งผลต่อผลผลิตเนื้อไม้ จากการเปรียบเทียบแปลงสนคาริเบียอายุ 29 ปี ที่ปลูกในพื้นที่ต่างกัน พบว่า สนคาริเบียที่ดงลาน ขอนแก่น โตดีที่สุด (อัตราความเพิ่มพูนของปริมาตร 0.030 ลูกบาศก์เมตรต่อต้นต่อปี) รองลงมาคือ โขงเจียม อุบลราชธานี (อัตราความเพิ่มพูนของปริมาตร 0.024 ลูกบาศก์เมตรต่อต้นต่อปี) อินทชิลและห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ (อัตราความเพิ่มพูนของปริมาตร 0.023 และ 0.014 ลูกบาศก์เมตรต่อต้นต่อปี) ตามลำดับ

ดังนั้น การปลูกสนคาริเบียเพื่อต้องการใช้ประโยชน์เนื้อไม้ควรมีรอบตัดฟันไม่เกิน 20 ปี จะให้ผลผลิต 1.12–2.56 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อปี ที่ระยะปลูก 3 x 3 เมตร (เริงชัย, 2527) ทั้งนี้ ขึ้นกับการคัดเลือกพันธุ์ที่ดี มีการจัดการดี และปลูกในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงจะให้ผลผลิตสูง

2.2 การประมาณมวลชีวภาพของไม้สนเขาชั้นอายุต่างกัน

การประมาณผลผลิตสวนป่าในรูปมวลชีวภาพหรือน้ำหนักแห้ง มักใช้ในการประมาณการการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าเพื่อขายคาร์บอนเครดิต การประมาณมวลชีวภาพสวนป่า เป็นการหาน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ต่อหน่วยพื้นที่ โดยใช้วิธี stratified clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) เพื่อจัดสร้างสมการซึ่งเป็นสูตรสำเร็จที่ใช้ในการประมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ของลำต้น และคำนวณหามวลชีวภาพรวมต่อพื้นที่โดยใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกเป็นตัวแปร และในกรณีที่ต้องการความแม่นยำเพิ่มขึ้น อาจใช้ความสูงของต้นไม้ที่วัดอย่างถูกต้องเป็นตัวแปรร่วมด้วย ผลการตัดตัวแทนสนคาริเบียในหลายชั้นอายุและหลายพื้นที่ได้นำมาจัดสร้างสมการมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ของลำต้น ดังแสดงในตารางที่ 3

การประมาณมวลชีวภาพของสนคาริเบียที่ชั้นอายุต่างๆ ได้แก่ 6, 9, 18 และ 29 ปี ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ขอนแก่น และอุบลราชธานี โดยใช้สมการมวลชีวภาพที่จัดสร้างขึ้น และมีการปรับค่าเพื่อให้ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นได้แสดงผลในตารางที่ 5 ซึ่งเห็นได้ว่าอัตราความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอายุ สนคาริเบียที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ อายุ 6, 9, 18 และ 29 ปี มีอัตราความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพรวมเฉลี่ย 2.7, 4.6, 12.5 และ 14.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี และเมื่อเปรียบเทียบที่อายุ 29 ปี แต่ปลูกต่างพื้นที่พบว่า สนคาริเบียที่ดงลาน ขอนแก่น มีความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุด (22.5 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) รองลงมาคือ อินทขิล จังหวัดเชียงใหม่ (14.8 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) โขงเจียม อุบลราชธานี (13.8 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) และห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ (9.4 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) ตามลำดับ มวลชีวภาพของสวนป่าขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นของต้นไม้ ดังนั้น การเลือกพันธุ์และสิ่งแวดล้อมที่ดี ย่อมส่งผลให้ต้นไม้มีการเติบโตดีและอัตรารอดตายสูง อีกทั้งการจัดการสวนป่าดีจะสามารถเพิ่มพูนมวลชีวภาพสวนป่าได้มากยิ่งขึ้น

3. การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของคาร์บอนและธาตุอาหารของสนคาริเบียในหลายชั้นอายุและหลายพื้นที่ได้แสดงผลในตารางที่ 6 ซึ่งพบว่าผลวิเคราะห์ที่ได้มีความแปรปรวนระหว่างอายุและพื้นที่ จากค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ และมวลชีวภาพ จะสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ ของต้นไม้ต่อพื้นที่ได้ (ตารางที่ 7)

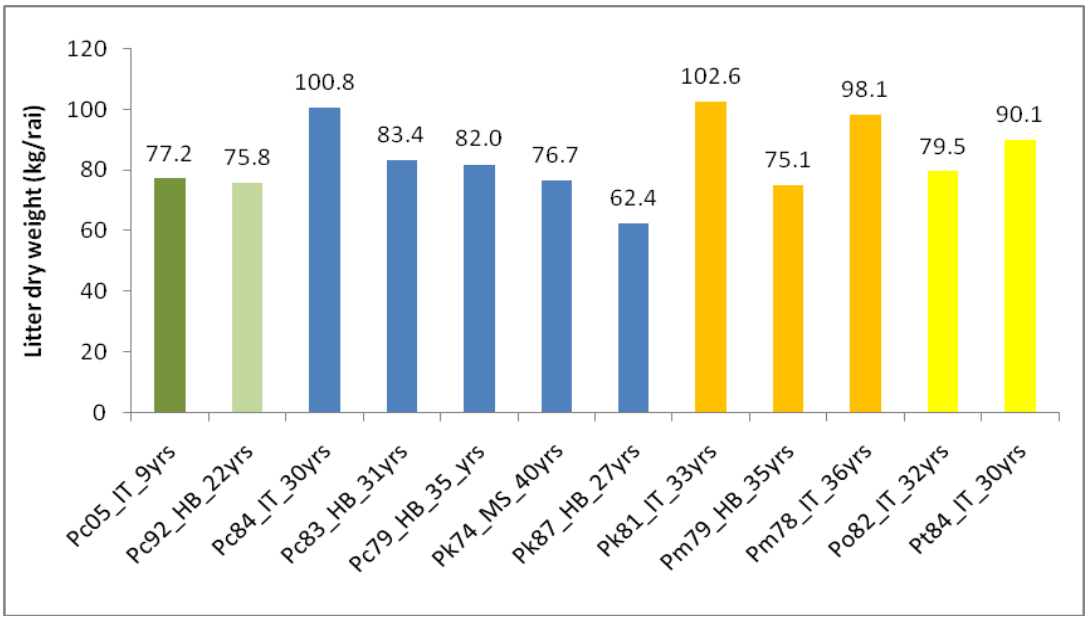
การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพป่าไม้ของสวนป่าสนคาริเบีย อายุ 6, 9, 18 และ 29 ปี ในจังหวัดเชียงใหม่ เฉลี่ย 1.9, 2.2, 6.8 และ 7.0 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี (อำไพ และคณะ, 2557) พบการสะสมคาร์บอนพบในมวลชีวภาพลำต้นมากที่สุด รองลงมาคือ ราก กิ่ง และใบ ตามลำดับ การกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดพรรณไม้ อัตราการเติบโต อายุพันธุ์ไม้

ปริมาณน้ำฝน ฤดูกาลและลักษณะพื้นที่ ฯลฯ การกักเก็บคาร์บอนจะมีประสิทธิภาพมากในระยะที่เป็นไม้หนุ่มและจะลดลงเมื่อสวนป่ามีอายุมากขึ้น (Ciesla, 1995)

ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหาร (N, P, K, Ca, Mg) ในชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช พบความเข้มข้นในใบมากที่สุด การที่ต้นไม้ทิ้งใบและร่วงหล่นลงสู่ดินเป็นการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับลงสู่ดิน ในป่าธรรมชาติดินจึงมีความอุดมสมบูรณ์มาก แต่ในสวนป่าจะมีการเก็บริบและแผ้วถางวัชพืชเพื่อป้องกันไฟป่า ซึ่งเป็นการทำลายอินทรียวัตถุและธาตุอาหารที่จะกลับลงสู่ดิน ดังนั้น หากมีการนำเศษใบไม้และเศษซากพืชอื่นๆ มาทำปุ๋ยหมักและนำกลับไปใส่ในสวนป่าจะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารลงสู่ดินได้เช่นกัน

4. การศึกษาการร่วงหล่นของซากพืชของไม้สกุลสนเขา

การร่วงหล่นของซากพืชในแปลงไม้สกุลสนเขาอายุต่างกันในพื้นที่ต่างๆ แสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 3 การร่วงหล่นของซากพืชในแปลงไม้สนเขาเกิดขึ้นตลอดทั้งปี ทั้งนี้ เนื่องจากสนเขามีการแตกใบใหม่และผลัดใบทั้งปี โดยมีการร่วงหล่นของซากพืชมากที่สุดในประมาณเดือนสิงหาคม–ธันวาคม และพบการร่วงหล่นของใบมากที่สุด ปริมาณการร่วงหล่นของใบขึ้นกับความหนาแน่นของต้นไม้ในแปลง



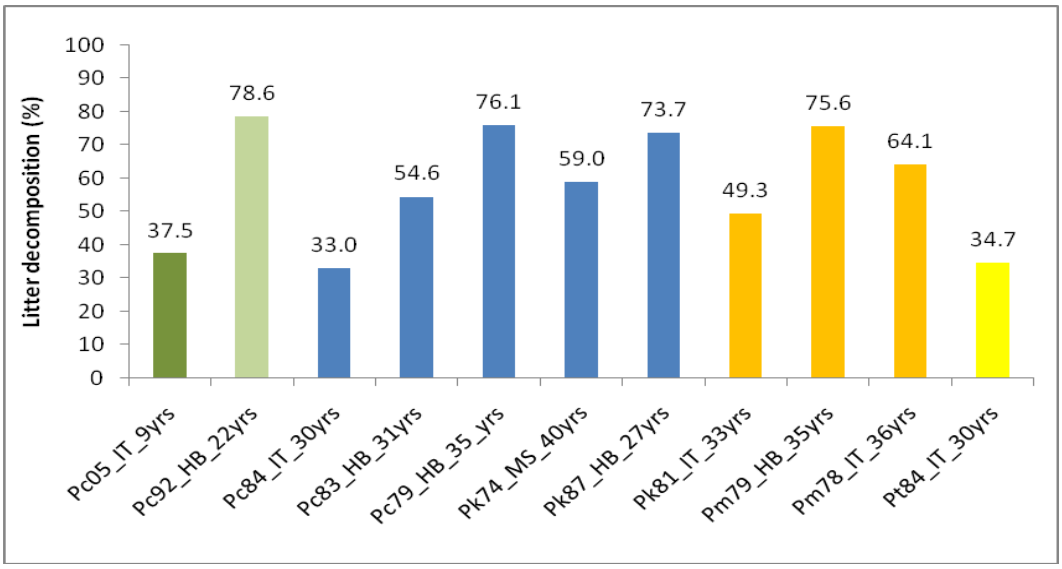
ภาพที่ 3 การร่วงหล่นของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกันในพื้นที่ต่างๆ

5. การศึกษาการย่อยสลายของซากพืชของไม้สกุลสนเขา

อัตราการย่อยสลายของซากใบสนเขา มีความแปรผันไปตามพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 8 และ ภาพที่ 4 อัตราการย่อยสลายของซากพืชอยู่ระหว่างร้อยละ 33.0–78.6 อัตราการย่อยสลายของ

ซากพืชจะเร็วในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมไปจนถึงเดือนพฤศจิกายน และอัตราการย่อยสลายค่อนข้างช้าในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมิถุนายน

การย่อยสลายของซากพืชสนเขาในรอบปีจากผลการศึกษานี้มีความแปรปรวนระหว่างเดือน ทั้งนี้เพราะถุงซากพืชมีจำนวนมาก การวางบนพื้นป่าเป็นบริเวณกว้างซึ่งมีปัจจัยแวดล้อมบริเวณถุงซากพืชที่วางบนพื้นป่าในแต่ละจุดผันแปรแตกต่างกัน ทำให้อัตราการย่อยสลายของซากพืชแตกต่างกันด้วย



ภาพที่ 4 อัตราการย่อยสลายของไม้สนเขาในรอบปีที่ชั้นอายุต่างกันในพื้นที่ต่างๆ

ตารางที่ 1 สมการประมาณความสูงของไม้สนเขาชั้นอายุต่างกันในท้องที่ต่าง ๆ

Species	Age (yrs)	Spacing (m)	Station	Equation	R^2
Pinus caribaea	**All**		**Age & Spacing**	**H = 11.37 ln(DBH) – 15.3**	**0.7676**
	6	1.5 x 3	In Takin, Chiang Mai	H = 3.0797 ln(DBH) + 0.2256	0.8185
	9	3 x 3	Baw Kaew, Chiang Mai	H = 5.8075 ln(DBH) – 5.5089	0.8611
	18	3 x 3	Huey Bong, Chiang Mai	H = 7.2469 ln(DBH) – 4.2733	0.7996
	29	3 x 3	Huey Bong, Chiang Mai	H = 9.0659 ln(DBH) – 7.8324	0.7425
	29	3 x 3	In Takin, Chiang Mai	H = 9.091 ln(DBH) – 5.2636	0.8352
	29	3 x 3	Dong Lan, Khon Kaen	H = 10.108 ln(DBH) – 6.9066	0.7222
Pinus oocarpa	29	3 x 3	In Takin, Chiang Mai	H = 10.883 ln(DBH) – 13.552	0.8756
Pinus patula ssp. *tecunumanii*	29	3 x 3	In Takin, Chiang Mai	H = 9.1139 ln(DBH) – 5.4565	0.7986

ตารางที่ 2 การเติบโตด้านความสูง ความโต และขนาดเรือนยอดของสนคาริเบียอายุต่างกัน

Age (yrs)	H (m)			DBH (cm)			Crown diameter (m)		Crown depth (m)	
	Mean	SD	MAI	Mean	SD	MAI	Mean	SD	Mean	SD
6	6.6	1.8	1.1	8.1	2.3	1.4	2.8	1.1	5.0	2.1
9	13.2	2.6	1.5	13.7	5.8	1.5	2.4	0.9	6.5	3.4
18	20.6	3.3	1.1	21.0	4.6	1.2	4.5	1.6	8.4	2.9
29	21.1	2.0	0.7	25.6	6.0	0.9	4.9	2.3	8.9	3.1

Note: SD = Standard deviation, Min = Minimum, Max = Maximum, MAI = Mean annual increment

ที่มา: อำไพ และคณะ (2557)

ตารางที่ 3 สมการประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพของไม้สนคาริเบียชั้นอายุต่างกันในท้องที่ต่าง ๆ

Age (yrs)	Station	Status	Equation		R^2	Adjust value	Equation	R^2	Adjust value
6	In Takin, Chiang Mai	Spacing: 1.5 x 3 m	**Stem volume**	$V_{over\ bark} = 0.0003\ (DBH)^{2.0588}$	0.9876	1.0008	$V_{over\ bark} = 0.0002\ (D^2H)^{0.7842}$	0.9883	0.9963
		Height: 6.58 ± 1.75 m		$V_{under\ bark} = 0.0002\ (DBH)^{2.0062}$	0.9806	1.1645	$V_{under\ bark} = 0.0002\ (D^2H)^{0.7655}$	0.9846	0.7727
		DBH: 8.14 ± 2.31 cm	**Biomass**	$W_S = 0.0628\ (DBH)^{2.2693}$	0.9846	1.0159	$W_S = 0.04\ (D^2H)^{0.8644}$	0.9854	1.0146
		Density: 149 trees/rai		$W_B = 0.2305\ (WS)^{1.092}$	0.9705	1.0833			
				$W_L = 1.2668\ (WB)^{0.9737}$	0.9746	1.0511			
				$W_R = 0.0445\ (DBH)^{1.9099}$	0.9907	1.0180			
9	Baw kaew, Chiang Mai	Spacing: 3 x 3 m	**Stem volume**	$V_{over\ bark} = 0.00005\ (DBH)^{2.1197}$	0.9961	1.0053	$V_{over\ bark} = 0.00004\ (D^2H)^{0.7757}$	0.9967	0.9948
		Height: 13.20 ± 2.64 m		$V_{under\ bark} = 0.00003\ (DBH)^{2.2002}$	0.9784	0.9163	$V_{under\ bark} = 0.00002\ (D^2H)^{0.808}$	0.9857	1.0527
		DBH: 12.80 ± 4.10 cm	**Biomass**	$W_S = 0.0274\ (DBH)^{2.5541}$	0.9703	1.0210	$W_S = 0.0199\ (D^2H)^{0.9401}$	0.9822	1.0122
		Density: 114 trees/rai		$W_B = 0.0021\ (DBH)^{2.8966}$	0.9440	1.0494			
				$W_L = 0.0059\ (DBH)^{2.6181}$	0.9471	1.0549			
				$W_R = 3.2649\ (WS)^{0.634}$	0.9850	0.8299			
18	Huey Bong, Chiang Mai	Spacing: 3 x 3 m	**Stem volume**	$V_{over\ bark} = 0.0002\ (DBH)^{2.474}$	0.9798	0.7979	$V_{over\ bark} = 0.00004\ (D^2H)^{0.9962}$	0.9950	0.9711
		Height: 20.59 ± 3.32 m		$V_{under\ bark} = 0.00009\ (DBH)^{2.5729}$	0.9760	1.0586	$V_{under\ bark} = 0.00002\ (D^2H)^{1.037}$	0.9930	1.0852
		DBH: 20.97 ± 4.62 cm	**Biomass**	$W_S = 0.1004\ (DBH)^{2.3852}$	0.9432	1.0186	$W_S = 0.0244\ (D^2H)^{0.9669}$	0.9707	1.0087
		Density: 138 trees/rai		$W_B = 0.0003\ (DBH)^{3.5713}$	0.9426	1.1001			
				$W_L = 0.4527\ (WB)^{0.8048}$	0.9235	1.1226			
29	Huey Bong, Chiang Mai	Spacing: 3 x 3 m	**Stem volume**	$V_{over\ bark} = 0.0002\ (DBH)^{2.3519}$	0.9850	1.1633	$V_{over\ bark} = 0.00005\ (D^2H)^{0.9677}$	0.9924	0.9421
		Height: 21.08 ± 2.01 m		$V_{under\ bark} = 0.0002\ (DBH)^{2.3488}$	0.9634	0.9197	$V_{under\ bark} = 0.00004\ (D^2H)^{0.9708}$	0.9795	0.8925
		DBH: 25.63 ± 5.97 cm	**Biomass**	$W_S = 0.1009\ (DBH)^{2.3642}$	0.9669	1.0131	$W_S = 0.0193\ (D^2H)^{0.9781}$	0.9851	1.0065
		Density: 88 trees/rai		$W_B = 0.0003\ (DBH)^{3.3987}$	0.9273	1.0865			
				$W_L = 1.1055\ (WB)^{0.7364}$	0.9104	1.1265			

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Age (yrs)	Station	Status	Equation		R^2	Adjust value	Equation	R^2	Adjust value
29	Dong Lan, Khon Kaen	Spacing: 3 x 3 m	**Stem volume**	$V_{over\ bark} = 0.0008\ (DBH)^{2.0729}$	0.9676	1.0037	$V_{over\ bark} = 0.0001\ (D^2H)^{0.8711}$	0.9733	1.3858
		Height: 28.65 ± 2.86 m		$V_{under\ bark} = 0.0007\ (DBH)^{2.0584}$	0.9639	1.0624	$V_{under\ bark} = 0.0001\ (D^2H)^{0.8632}$	0.9656	1.3243
		DBH: 30.63 ± 5.20 cm	**Biomass**	$W_S = 0.2833\ (DBH)^{2.2285}$	0.9285	1.0115	$W_S = 0.0404\ (D^2H)^{0.9423}$	0.9456	1.0093
		Density: 85 trees/rai		$W_B = 0.0741\ (W_S)^{0.9308}$	0.9431	0.9655			
				$W_L = 1.914\ (W_B)^{0.5876}$	0.8772	1.0229			
				$W_R = 0.0616\ (DBH)^{2.2855}$	0.9745	1.0071			
29	Khong Chiam, Ubon Ratchathani	Spacing: 3 x 6 m	**Stem volume**	$V_{over\ bark} = 0.0007\ (DBH)^{2.079}$	0.9606	0.9447	$V_{over\ bark} = 0.00007\ (D^2H)^{0.9326}$	0.9804	1.0184
		Height: 21.19 ± 3.37 m		$V_{under\ bark} = 0.0006\ (DBH)^{2.0811}$	0.9499	0.9414	$V_{under\ bark} = 0.00006\ (D^2H)^{0.937}$	0.9765	0.9773
		DBH: 29.96 ± 7.01 cm	**Biomass**	$W_S = 0.1705\ (DBH)^{2.1959}$	0.9453	1.0102	$W_S = 0.0161\ (D^2H)^{0.9859}$	0.9665	1.0083
		Density: 47 trees/rai		$W_B = 0.003\ (W_S)^{1.6761}$	0.9123	1.0685			
				$W_L = 2.7412\ (W_B)^{0.5622}$	0.8429	1.0661			
29	In Takin, Chiang Mai	Spacing: 3 x 3 m	**Stem volume**	$V_{over\ bark} = 0.0003\ (DBH)^{2.357}$	0.9801	0.9194	$V_{over\ bark} = 0.00004\ (D^2H)^{0.9897}$	0.9885	1.0060
		Height: 23.79 ± 4.00 m		$V_{under\ bark} = 0.0002\ (DBH)^{2.4539}$	0.9651	0.8605	$V_{under\ bark} = 0.00002\ (D^2H)^{1.0326}$	0.9775	1.1340
		DBH: 28.07 ± 6.63 cm	**Biomass**	$W_S = 0.0946\ (DBH)^{2.4488}$	0.9516	1.0079	$W_S = 0.0129\ (D^2H)^{1.0276}$	0.9586	1.0069
		Density: 66 trees/rai		$W_B = 0.034\ (W_S)^{1.1854}$	0.8888	1.1921			
				$W_L = 1.2451\ (W_B)^{0.6667}$	0.8310	1.1167			
All			**Stem volume**	$V_{over\ bark} = 0.00004\ (DBH)^{2.87}$	0.8573	1.1448	$V_{over\ bark} = 0.00003\ (D^2H)^{1.0092}$	0.8990	1.1068
				$V_{under\ bark} = 0.00002\ (DBH)^{2.9907}$	0.8453	1.3133	$V_{under\ bark} = 0.00002\ (D^2H)^{1.0546}$	0.8915	0.9055
			Biomass	$W_S = 0.0208\ (DBH)^{2.8575}$	0.9554	1.0778	$W_S = 0.0173\ (D^2H)^{0.9951}$	0.9826	1.0319
				$W_B = 0.007\ (DBH)^{2.5098}$	0.9061	1.1288			
				$W_L = 1.2752\ (W_B)^{0.699}$	0.8314	1.1746			

ตารางที่ 4 ปริมาตรลำต้นของไม้สนคาริเบียชั้นอายุต่างกันในท้องที่ต่างๆ

Status		In Takin, Chiang Mai	Baw Kaew, Chiang Mai	Huey Bong, Chiang Mai	Huey Bong, Chiang Mai	In Takin, Chiang Mai	Dong Lan, Khon Kaen	Khong Chiam, Ubon Ratchathani
Age (yrs)		6	9	18	29	29	29	29
Spacing (m)		1.5 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 6
Area (rai)		5	14.445	13.78	24	2	2	2
Density (individuals.rai^{-1})		149	114	138	88	66	85	48
Volume under bark (m^3)		10.8	15.7	473.2	931.7	103.84	140.59	71.54
Adjust value		1.1645	0.9163	1.0586	0.9197	0.8605	1.0624	0.9414
Adjust stem volume under bark	(m^3)	12.56	14.37	500.89	856.92	89.35	149.37	67.35
	(m^3.rai^{-1})	2.51	0.99	36.35	35.71	44.67	74.68	33.68
	(m^3.rai^{-1}.yr^{-1})	0.42	0.11	2.02	1.23	1.54	2.58	1.16
	(m^3.individual^{-1})	0.017	0.009	0.263	0.406	0.677	0.879	0.702
	(m^3.individual^{-1}.yr^{-1})	0.003	0.001	0.015	0.014	0.023	0.030	0.024

ตารางที่ 5 มวลชีวภาพของไม้สนคาริเบียชั้นอายุต่างกันในท้องที่ต่างๆ

Status		In Takin, Chiang Mai	Baw Kaew, Chiang Mai	Huey Bong, Chiang Mai	Huey Bong, Chiang Mai	In Takin, Chiang Mai	Dong Lan, Khon Kaen	Khong Chiam, Ubon Ratchathani
	Age (yrs)	6	9	18	29	29	29	29
	Spacing (m)	1.5 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 6
	Area (rai)	5	14.445	13.78	24	2	2	2
	Density (individuals.rai^{-1})	149	114	138	88	66	85	48
Biomass (kg)	Stem	6,059	37,531	293,322	494,832	48,263	102,640	30,331
	Branch	1,721	7,314	36,665	47,562	5,058	4,861	5,152
	Leaf	2,123	9,617	8,955	21,927	1,784	2,300	2,260
	Root	1,942	14,949	77,468	298,346	*	27,201	*
Adjust value	Stem	1.0159	1.0210	1.0186	1.0131	1.0079	1.0115	1.0102
	Branch	1.0833	1.0494	1.1001	1.0865	1.1921	0.9655	1.0685
	Leaf	1.0511	1.0549	1.1226	1.1265	1.1167	1.0229	1.0661
	Root	1.0180	0.8299	*	*	*	1.0071	*
Adjust biomass	Stem	6,155	38,320	298,781	501,335	48,643	103,822	30,640
	Branch	1,865	7,676	40,336	51,679	6,030	4,694	5,505
	Leaf	2,231	10,145	10,054	24,701	1,993	2,353	2,409
	Root	1,977	12,406	77,468	298,346	*	27,395	*
	Total above ground biomass (kg)	10,251	56,141	349,170	577,715	56,665	110,868	38,554
	Total biomass (kg)	12,228	68,546	426,639	876,061	*	138,262	*
	Total above ground biomass (kg.rai^{-1})	2,050	3,887	25,339	24,071	28,333	55,434	19,277
	Total biomass (kg.rai^{-1})	2,446	4,745	30,961	36,503	*	69,131	*
	Total above ground biomass (kg.rai^{-1}.yr^{-1})	342	432	1,408	830	977	1,912	665
	Total biomass (kg.rai^{-1}.yr^{-1})	408	527	1,720	1,259	*	2,384	*
	Total above ground biomass (kg.individual^{-1})	14	34	184	274	429	652	402
	Total biomass (kg.individual^{-1})	16	42	224	415	*	813	*
	Total above ground biomass (kg.individual^{-1}.yr^{-1})	2.3	3.8	10.2	9.4	14.8	22.5	13.8
	Total biomass (kg.individual^{-1}.yr^{-1})	2.7	4.6	12.5	14.3	*	28.0	*

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของคาร์บอนและธาตุอาหารของไม้สนคาริเบียชั้นอายุต่างกันในท้องที่ต่างๆ

Age (yrs)	Provenance	Organ	Nutrient (g/100g)					
			C	N	P	K	Ca	Mg
6	In Takin, Chiang Mai	Stem	46.74	0.277	0.012	0.107	0.093	0.029
		Branch	45.70	0.441	0.055	0.216	0.247	0.074
		Leaf	48.67	1.065	0.094	0.657	0.418	0.159
		Root	46.96	0.278	0.285	0.406	0.671	0.064
9	Baw Kaew, Chiang Mai	Stem	46.88	0.202	0.014	0.028	0.137	0.026
		Branch	45.57	0.264	0.023	0.137	0.145	0.042
		Leaf	50.12	0.844	0.053	0.574	0.280	0.089
		Root	45.74	0.396	0.042	0.292	0.095	0.061
18	Huey Bong, Chiang Mai	Stem	49.28	0.209	0.003	0.044	0.062	0.023
		Branch	46.20	0.264	0.010	0.063	0.257	0.039
		Leaf	48.52	1.058	0.093	0.554	0.250	0.156
		Root	41.32	0.263	0.028	0.207	0.021	0.004
29	Huey Bong, Chiang Mai	Stem	41.50	0.079	0.023	0.101	0.054	0.014
		Branch	37.10	0.167	0.019	0.102	0.135	0.027
		Leaf	43.90	0.683	0.089	0.473	0.184	0.101
		Root	40.16	0.203	0.036	0.140	0.016	0.005
29	Dong Lan, Khon Kaen	Stem	57.89	0.150	0.002	0.102	0.095	0.018
		Branch	55.35	0.420	0.022	0.231	0.479	0.056
		Leaf	53.85	1.260	0.042	0.528	0.392	0.131
		Root	52.75	0.260	0.011	0.301	0.213	0.043
29	In Takin, Chiang Mai	Stem	58.76	0.106	0.009	0.126	0.100	0.028
		Branch	58.08	0.416	0.088	0.361	0.319	0.080
		Leaf	56.08	0.939	0.137	0.715	0.270	0.140
29	Khong Chiam, Ubon Ratchathani	Stem	52.85	0.136	0.005	0.035	0.050	0.023
		Branch	54.41	0.307	0.008	0.070	0.116	0.037
		Leaf	49.64	0.834	0.065	0.314	0.239	0.128

ตารางที่ 7 การสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารของไม้สนคาริเบียชั้นอายุต่างกันในท้องที่ต่างๆ

Status	In Takin, Chiang Mai	Baw Kaew, Chiang Mai	Huey Bong, Chiang Mai	Huey Bong, Chiang Mai	In Takin, Chiang Mai	Dong Lan, Khon Kaen	Khong Chiam, Ubon Ratchathani
Age (yrs)	6	9	18	29	29	29	29
C ($Mg.rai^{-1}$)	1.15	2.23	14.71	15.08	16.60	39.21	9.98
N ($kg.rai^{-1}$)	10.90	16.09	75.54	62.95	47.68	138.16	37.96
P ($kg.rai^{-1}$)	1.90	1.23	3.24	12.08	6.21	3.60	1.76
K ($kg.rai^{-1}$)	6.66	8.00	27.03	48.71	48.65	105.81	10.71
Ca ($kg.rai^{-1}$)	6.58	7.19	23.91	20.33	36.63	94.08	13.32
Mg ($kg.rai^{-1}$)	1.60	2.05	7.43	6.27	10.62	18.03	5.95
C ($kg.rai^{-1}.yr^{-1}$)	191.4	247.8	817.5	520.1	572.4	1,352	344.1
N ($kg.rai^{-1}.yr^{-1}$)	1.82	1.79	4.20	2.17	1.64	4.76	1.31
P ($kg.rai^{-1}.yr^{-1}$)	0.32	0.14	0.18	0.42	0.21	0.12	0.06
K ($kg.rai^{-1}.yr^{-1}$)	1.11	0.89	1.50	1.68	1.68	3.65	0.37
Ca ($kg.rai^{-1}.yr^{-1}$)	1.10	0.80	1.33	0.70	1.26	3.24	0.46
Mg ($kg.rai^{-1}.yr^{-1}$)	0.27	0.23	0.41	0.22	0.37	0.62	0.21
C ($kg.individual^{-1}.yr^{-1}$)	1.28	2.17	5.92	5.91	8.67	15.91	7.17
N ($kg.individual^{-1}.yr^{-1}$)	0.012	0.016	0.030	0.025	0.025	0.056	0.027
P ($kg.individual^{-1}.yr^{-1}$)	0.002	0.001	0.001	0.005	0.003	0.001	0.001
K ($kg.individual^{-1}.yr^{-1}$)	0.007	0.008	0.011	0.019	0.025	0.043	0.008
Ca ($kg.individual^{-1}.yr^{-1}$)	0.007	0.007	0.010	0.008	0.019	0.038	0.010
Mg ($kg.individual^{-1}.yr^{-1}$)	0.002	0.002	0.003	0.002	0.006	0.007	0.004

ตารางที่ 8 ปริมาณการร่วงหล่นและการย่อยสลายของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกันในพื้นที่ต่างๆ

Species	Station	Spacing (m)	Age (yrs)	Code	Litter dry weight (kg/yr)	Litter decomposition (%)
Pinus caribaea	In Takin	1.5 x 3	9	Pc05_IT_9yrs	77.2	37.5
Pinus caribaea	Hyey Bong	3 x 3	22	Pc92_HB_22yrs	75.8	78.6
Pinus caribaea	In Takin	3 x 3	30	Pc84_IT_30yrs	100.8	33.0
Pinus caribaea	Hyey Bong	3 x 3	31	Pc83_HB_31yrs	83.4	54.6
Pinus caribaea	Hyey Bong	3 x 3	35	Pc79_HB_35_yrs	82.0	76.1
Pinus kesiya	Mae Sanaam	1.5 x 6	40	Pk74_MS_40yrs	76.7	59.0
Pinus kesiya	Hyey Bong	3 x 3	27	Pk87_HB_27yrs	62.4	73.7
Pinus kesiya	In Takin	3 x 3	33	Pk81_IT_33yrs	102.6	49.3
Pinus merkusii	Hyey Bong	3 x 3	35	Pm79_HB_35yrs	75.1	75.6
Pinus merkusii	In Takin	3 x 3	36	Pm78_IT_36yrs	98.1	64.1
Pinus oocarpa	In Takin	3 x 3	32	Po82_IT_32yrs	79.5	–
Pinus patula ssp. *tecunumanii*	In Takin	3 x 3	30	Pt84_IT_30yrs	90.1	34.7

สรุปผล

การศึกษาไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน ในด้านการเติบโต การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การร่วงหล่นของซากพืชและการย่อยสลายของซากพืชไม้สนเขาคามาลดูเลนซีสและสนเขายูโรฟิลลา สรุปได้ดังนี้

1. การเติบโตของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน

สนคาริเบียมีอัตราการเติบโตค่อนข้างเร็วในช่วงแรก เมื่ออายุ 6 ปี มีอัตราความเพิ่มพูนทางความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 1.1 เมตรต่อปี และ 1.4 เซนติเมตรต่อปี และอายุ 9 ปี เฉลี่ย 1.5 เมตรต่อปี และ 1.5 เซนติเมตรต่อปี แนวโน้มการเติบโตมีอัตราลดลงเมื่อต้นไม้มีอายุเพิ่มขึ้น เมื่ออายุ 18 ปี มีอัตราความเพิ่มพูนทางความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 1.1 เมตรต่อปี และ 1.2 เซนติเมตรต่อปี และอายุ 29 ปี เฉลี่ย 0.7 เมตรต่อปี และ 0.9 เซนติเมตรต่อปี ตามลำดับ การเติบโตของต้นไม้ในสวนป่าแต่ละพื้นที่มักแตกต่างกัน สาเหตุจากพันธุกรรม และสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญ การปลูกสนคาริเบียในระยะแรกควรใช้ระยะปลูก 2 x 2 ถึง 3 x 3 เมตร และควรตัดขยายระยะครั้งแรกเมื่ออายุ 6 ปี จะให้ผลผลิตเนื้อไม้เพิ่มขึ้น

2. การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน

การประมาณปริมาตรลำต้นใต้เปลือกของสนคาริเบียที่ชั้นอายุต่างๆ ได้แก่ 6, 9, 18 และ 29 ปี ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ขอนแก่น และอุบลราชธานี พบว่าอัตราความเพิ่มพูนของปริมาตรลำต้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับอายุที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว การจัดการสวนป่าโดยกำหนดระยะปลูกที่เหมาะสมทำให้ความเพิ่มพูนของปริมาตรเพิ่มขึ้น การปลูกสนคาริเบียเพื่อต้องการใช้ประโยชน์เนื้อไม้ควรมีรอบตัดฟันไม่เกิน 20 ปี จะให้ผลผลิต 1.12–2.56 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อปี ที่ระยะปลูก 3 x 3 เมตร ทั้งนี้ ขึ้นกับการคัดเลือกพันธุ์ที่ดี มีการจัดการดี และปลูกในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงจะให้ผลผลิตสูง

อัตราความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอายุ สนคาริเบียที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ อายุ 6, 9, 18 และ 29 ปี มีอัตราความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพรวมเฉลี่ย 2.7, 4.6, 12.5 และ 14.3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี มวลชีวภาพของสวนป่าขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นของต้นไม้ ดังนั้น การเลือกพันธุ์และสิ่งแวดล้อมที่ดี ย่อมส่งผลให้ต้นไม้มีการเติบโตดีและอัตรารอดตายสูง อีกทั้งการจัดการสวนป่าดีจะสามารถเพิ่มพูนมวลชีวภาพสวนป่าได้มากยิ่งขึ้น

3. การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้สกุลสนเขาชั้นอายุต่างกัน

การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพป่าไม้ของสวนป่าสนคาริเบีย อายุ 6, 9, 18 และ 29 ปี ในจังหวัดเชียงใหม่ เฉลี่ย 1.9, 2.2, 6.8 และ 7.0 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี (อำไพ และคณะ, 2557) พบการสะสมคาร์บอนพบในมวลชีวภาพลำต้นมากที่สุด รองลงมาคือ ราก กิ่ง และใบ ตามลำดับ การกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดพรรณไม้ อัตราการเติบโต อายุพันธุ์ไม้

ปริมาณน้ำฝน ฤดูกาลและลักษณะพื้นที่ ฯลฯ การกักเก็บคาร์บอนจะมีประสิทธิภาพมากในระยะที่เป็นไม้หนุ่มและจะลดลงเมื่อสวนป่ามีอายุมากขึ้น

4. การศึกษาการร่วงหล่นของซากพืชของไม้สกุลสนเขา

การร่วงหล่นของซากพืชในแปลงไม้สนเขาเกิดขึ้นตลอดทั้งปี ทั้งนี้ เนื่องจากสนเขามีการแตกใบใหม่และผลัดใบทั้งปี โดยมีการร่วงหล่นของซากพืชมากที่สุดในประมาณเดือนสิงหาคม–ธันวาคม และพบการร่วงหล่นของใบมากที่สุด ปริมาณการร่วงหล่นของใบขึ้นกับความหนาแน่นของต้นไม้ในแปลง

5. การศึกษาการย่อยสลายของซากพืชของไม้สกุลสนเขา

อัตราการย่อยสลายของซากพืชอยู่ระหว่างร้อยละ 33.0–78.6 อัตราการย่อยสลายของซากพืชจะเร็วในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมไปจนถึงเดือนพฤศจิกายน และอัตราการย่อยสลายค่อนข้างช้าในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมิถุนายน

การย่อยสลายของซากพืชสนเขาในรอบปีจากผลการศึกษานี้มีความแปรปรวนระหว่างเดือน ทั้งนี้เพราะถุงซากพืชมีจำนวนมาก การวางบนพื้นป่าเป็นบริเวณกว้างซึ่งมีปัจจัยแวดล้อมบริเวณถุงซากพืชที่วางบนพื้นป่าในแต่ละจุดผันแปรแตกต่างกัน ทำให้อัตราการย่อยสลายของซากพืชแตกต่างกันด้วย

เอกสารอ้างอิง

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 กรุงเทพฯ. 21 หน้า.

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

พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ, อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, สมชาย นองเนือง และ จุฑารัตน์ แสงเสถียร. 2555. การเจริญเติบโตและสมบัติดินในสวนป่าสนคาริเบีย. เอกสารประกอบการประชุมการป่าไม้ ณ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 12–17 กันยายน 2555. 10 น.

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

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

วิโรจน์ ครองกิจศิริ สมชาย นองเนือง และ อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์. 2557. การประมาณปริมาตรไม้และมูลค่าสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 29 ปี ที่สถานีวนวัฒนวิจัยดงลาน จังหวัดขอนแก่น. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 13 น.

สมชาย นองเนือง, อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ และ จุฑารัตน์ แสงเสถียร. 2555. การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพสวนป่าสนคาริเบีย. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 10 น.

สมชาย นองเนือง, อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ และ วรพจน์ คำใบ. 2557. การประมาณปริมาตรไม้และมูลค่าสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 29 ปี ที่สถานีวนวัฒนวิจัยอินทขิล จังหวัดเชียงใหม่. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 13 น.

สมบูรณ์ กีรติประยูร และ สมหมาย นามสวาท. 2537. เทคนิคบางอย่างในการประมาณผลผลิตของสวนป่า II. การประมาณมวลชีวภาพของส่วนของลำต้นที่มีขนาดจำกัด, น. 124–137. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2537: การปลูกป่าเพื่อพัฒนาสิ่งแวดล้อม. ระหว่างวันที่ 21–25 พฤศจิกายน 2537 ณ โรงแรมวังใต้ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี.

สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, สมชาย นองเนือง และอำไพ พรลีแสงสุวรรณ์. 2544. การทดสอบสายพันธุ์ไม้สนคาริเบีย อายุ 7 ปี. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 19 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 กรุงเทพฯ. 93 น.

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

อนันต์ ประทุมชาติ, สมชาย นองเนือง และ อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์. 2557. การประมาณปริมาตรไม้และมูลค่าสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 29 ปี ที่สถานีวนวัฒนวิจัยโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 12 น.

อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, สมชาย นองเนือง, พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ และ วรพจน์ คำใบ. 2557. การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพสนคาริเบีย. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 16 น.

อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, สมชาย นองเนือง, พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ และ สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล. 2556. การประมาณมวลชีวภาพและการเก็บกักคาร์บอนในสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 18 ปี. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้

ประเทศไทย ครั้งที่ 2 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่าง วันที่ 24–26 มกราคม พ.ศ. 2556. 8 น.

อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, สมชาย นองเนือง, สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ, คณิต รัตนวัฒน์กุล และ จุฑารัตน์ แสงเสถียร. 2555. การประมาณปริมาตรไม้และมูลค่าสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 6 ปี. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 9 ระหว่างวันที่ 21–22 มิถุนายน 2555 ณ ห้องประชุมชั้น 7 อาคารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ. 14 น.

อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, สัญญา สิริบุญยะพร, ศรีศักดิ์ พุ่มพวง, สมชาย นองเนือง และ วรพจน์ คำใบ. 2556. การประมาณปริมาตรไม้และมูลค่าสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 9 ปี. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 18 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.

Ciesla, W. 1995. Climate change, forests and forest management. FAO Forest Paper. Food and Agriculture Organization.

Granhof, J.J. 1983a. “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. 1983b. “Growth and variation in *Pinus caribaea* (Morelet) at high and low elevation and latitude in Thailand”, p: 2E1–2E52. *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.

Office of Environmental Policy and Planning (OEPP). 2000. Thailand's National Greenhouse Gas Inventory 1994. Ministry of Science, Technology and Environment. Bangkok. 118 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.

Robbins, A.M.J. 1983. *Pinus caribaea* Morelet. Seed Leaflet No. 2. June 1983. DANIDAForestSeedCenter, Humlebaek, Denmark. 21 p.

Snowdon, P. 1991. A ratio estimator for bias correction in logarithmic regression. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, 21(5): 720–724, 10.1139/x91–101.

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

Whitmore, J.L. and L.H. Liegel. 1980. Spacing trial of *Pinus caribaea* var. *hondulensis*. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Pap. SO–162. South. For. Exp. Stn. New Orleans, La. 8 p.