

ผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิต
ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส
ที่ปลูกเพื่อการประยุกต์ระบบวนเกษตร

EFFECTS OF PLANTING DENSITY ON PRODUCTION OF
EUCALYPTUS CAMALDULENSIS DEHNH. PLANTATIONS FOR
THE AGROFORESTRY SYSTEM APPLICATION

พงษ์ศักดิ์ สหุนาฟู^๑/
จักรพล จักรพลวรฤทธิ^๓

Pongsak Sahunalu
Chakrapol Chakrapolwararit

พิทยา เพ็ชรมา^๒/
ปรีชา ธรรมานนท์^๑

Pitaya Petmak
Pricha Dhanmanonda

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตทางชีวภาพและปริมาณของลำต้นในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ที่ปลูกเพื่อการประยุกต์ระบบวนเกษตรได้ดำเนินการที่แปลงวิจัยและสถานีการจัดการพื้นที่โดยระบบวนเกษตร อำเภอกันทรารมย์ จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งประกอบด้วยแปลงทดลองปลูกไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ที่มีความหนาแน่นต่างกัน ๔ ระดับ คือ ๑,๒๕๐ ต้น/เฮกตาร์ (ระยะปลูก ๒×๔ เมตร) ๖๒๕ ต้น/เฮกตาร์ (ระยะปลูก ๔×๔ เมตร) ๔๑๗ ต้น/เฮกตาร์ (ระยะปลูก ๔×๖ เมตร) และ ๒๗๘ ต้น/เฮกตาร์ (ระยะปลูก ๖×๖ เมตร) แต่ละระดับความหนาแน่นประกอบด้วยแปลงทดลอง ขนาด ๒๐×๒๐ เมตร จำนวน ๓ แปลง ทำการสำรวจนับไม้ และวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตรจากพื้นดินของต้นไม้ทุกต้นในแปลงทดลองแต่ละระดับความหนาแน่น (ยกเว้นต้นที่อยู่ขอบแปลง) เมื่อเดือนเมษายน ๒๕๒๔ (อายุ ๒ ปี) เดือนพฤษภาคม ๒๕๒๕ (อายุ ๓ ปี) และเดือนพฤษภาคม ๒๕๒๖ (อายุ ๔ ปี) เลือกไม้ตัวอย่างจากแปลงทดลองทั้ง ๔ ระดับความหนาแน่นตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ที่อายุ ๔ ปี รวม ๑๒ ต้น ตัดไม้ตัวอย่างทั้งหมดที่ระดับขีดดิน วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่างๆ ที่วัดได้จากต้นไม้กับมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ เนื้อไม้ (ลำต้น+กิ่ง) ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (ลำต้น+กิ่ง+ใบ) และปริมาณลำต้น ในรูปของ allometric relation แล้วนำสมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดของแต่ละส่วนไปประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาณลำต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ในสวนป่าทุกระดับความหนาแน่น เมื่ออายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น

๑/ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ๑๐๕๐๐

๒/ ศูนย์วิจัยและสถานีการจัดการพื้นที่โดยระบบวนเกษตร กองบำรุง กรมป่าไม้ จังหวัดศรีสะเกษ ๓๓๑๓๐

๓/ ศูนย์ปฏิบัติการกลางและฝึกอบรมการปลูกป่า กองบำรุง กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ ๑๐๕๐๐

ของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูกกับปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ ตลอดจนปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้น และต่อหน่วยพื้นที่มาตรฐานของไม้ยูคาลิปตัส กามาลดูลินซิส แยกตามอายุของสวนป่า

ผลการศึกษาพบว่ามวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ และปริมาตรลำต้นของไม้ ยูคาลิปตัส กามาลดูลินซิส ในสวนป่าทั้ง ๔ ระดับความหนาแน่น ที่อายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี สามารถประมาณหาได้อย่างถูกต้องจากสมการความสัมพันธ์ในรูป allometric relation ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตรจากพื้นดิน ยกกำลังสองคูณด้วยความสูงทั้งหมด (D^2H) เป็นตัวแปรอิสระ ปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของสวนป่าลดลง และมีปริมาณลดลงเมื่อความหนาแน่นของสวนป่าเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์กันในรูปของ Competition-Density effect เปลี่ยนแปลงไปตามอายุของสวนป่า ในทางกลับกันผลผลิตมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่ ทั้งที่ศึกษารวมทุกส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน และที่แยกออกเป็นส่วนต่าง ๆ รวมทั้งผลผลิตทางปริมาตรของลำต้นต่อหน่วยพื้นที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามความหนาแน่นของสวนป่าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง และมีความสัมพันธ์กันในรูปของ Yield-Density effect เปลี่ยนแปลงไปตามอายุของสวนป่า และสวนป่า ยูคาลิปตัส กามาลดูลินซิส อายุ ๔ ปี เมื่อปลูกด้วยความหนาแน่น ๑,๒๕๐, ๖๒๕, ๔๑๗ และ ๒๗๘ ต้นต่อเฮกตาร์ จะให้ผลผลิตมวลชีวภาพทุกส่วนรวมกันเฉลี่ย และปริมาตรเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ ๖๓.๐๔, ๘๖.๑๗, ๑๒๖.๖๓, ๑๕๒.๘๗ กิโลกรัม/ต้น และ ๐.๐๙, ๐.๑๔, ๐.๑๙, ๐.๒๒ ลบ.เมตร ต่อต้น ตามลำดับ และได้ผลผลิตรวมต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ ๗๕.๕๒, ๕๗.๘๙, ๔๙.๘๙, ๔๒.๕๐ ตัน/เฮกตาร์ และ ๑๐๙.๐๒, ๘๔.๒๘, ๗๒.๘๙ และ ๖๒.๒๗ ลบ.เมตร/เฮกตาร์ ตามลำดับ

ABSTRACT

This study was carried out at the Agroforestry Research and Demonstration Plots in Kantrarom, Srisaket. The stands were planted with four different grades of ; 1,250 (2x4 m spacing), 625 (4x4 m spacing), 417 (4x6 m spacing) and 278 (6x6 m spacing) trees per hectare. There were three 20x20 m plots for each grade of density. All trees of every plot (except border trees) for each stand density were enumerated and their stem diameter at 1.30 m aboveground was measured in April 1981 (2-year old), May 1982 (3-year old) and May 1983 (4-year old). Twelve sample trees from various diameter size classes at 4-year old of four different grades of density were cut down at the ground level. The relationships between various dimensions of sample trees and dry matter of stem, branch, leaf, wood (stem+branch), total aboveground (stem+branch+leaf) and stem volume were calculated by using allometric relation. The best one of the relationships of each tree part were selected to estimate the biomass of various parts and stem volume of 2-3-and 4-year old *Eucalyptus camaldulensis* plantations planted with four different grades of density. Competition-Density effect and Yield-Density effect were investigated.

The results revealed that biomass of various parts and stem volume of 2-3-and-4 year old *Eucalyptus camaldulensis* plantations planted with four different grades of density could be estimated appropriately by using the square of diameter at 1.30 m aboveground multiplied by total height of tree (D^2H) as the independent variable of the allometric relation. Mean biomass of each part and mean stem volume per tree of *Eucalyptus camaldulensis* plantations were inversely correlated to stand density, following the C-D effect and varying to stand age. Dry matter yield of each part and stem volume yield of *Eucalyptus camaldulensis* plantations were directly correlated to stand density, following the Y-D effect and varying to stand age. Four-year old *Eucalyptus camaldulensis* planted with the density of 1,250, 625, 417 and 278 trees/ha produced the mean total aboveground biomass of 63.04, 96.17, 126.63 and 152.87 kg/tree and mean stem volume of 0.09, 0.14, 0.19 and 0.22 m³/tree respectively and the total aboveground biomass yielded 75.52, 57.89, 49.89 and 42.50 ton/ha and total stem volume of 109.02, 84.28, 72.89 and 62.27 m³/ha respectively.

คำนำ

จากสภาวะการขาดแคลนไม้และผลิตภัณฑ์จากป่าเพื่อใช้สอย รวมทั้งวิกฤตการณ์ทางธรรมชาติที่ยังทวีความรุนแรง และที่จะเกิดต่อไปอันเนื่องมาจากเนื้อที่ป่าไม้ของประเทศได้ลดน้อยลงอย่างรวดเร็ว การปลูกสร้างสวนป่าจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่ามาใช้แก้ไขสภาวะการดังกล่าว ดังจะเห็นได้จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติทุกฉบับ ตั้งแต่ฉบับที่ ๑ (พ.ศ. ๒๕๐๔-๒๕๐๙) ถึงฉบับที่ ๕ (พ.ศ. ๒๕๒๕-๒๕๒๙) ได้กำหนดให้มีการปลูกสร้างสวนป่าเป็นนโยบายที่สำคัญประการหนึ่ง แต่การปลูกสร้างสวนป่าเป็นงานที่ต้องลงทุนสูงและใช้เวลานานกว่าจะได้รับผลตอบแทน นอกจากนี้ยังมีการเสี่ยงภัยในหลายๆ ด้าน ดังนั้นในการดำเนินงานปลูกสร้างสวนป่าจะต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อลดการเสี่ยงภัย และให้ได้รับผลตอบแทนสูงสุดสนองความต้องการอย่างต่อเนื่อง นั่นคือจะต้องเลือกชนิดไม้ และกำหนดวิธีการปลูกบำรุงอย่างถูกต้องเหมาะสม จึงจะบรรลุเป้าหมายดังกล่าว

ความหนาแน่นของหมักไม้ก็คือจำนวนต้นต่อพื้นที่ของหมักไม้ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีมนุษย์ควบคุมได้ และเป็นข้อพิจารณาอันดับแรกในการดำเนินงานปลูกสร้างสวนป่า เพราะความหนาแน่นเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อ

การเจริญเติบโต ขนาด รูปทรง คุณภาพของเนื้อไม้ และที่สำคัญคือต่อผลผลิตของสวนป่า นอกจากนี้การกำหนดความหนาแน่นของพรรณไม้ที่จะปลูก ยังเป็นวิธีการที่ประหยัด และสะดวกในทางปฏิบัติ การกำหนดความหนาแน่นที่เหมาะสมกับชนิดพันธุ์ไม้ สภาพแวดล้อมและวัตถุประสงค์จึงเป็นแนวทางสำคัญที่จะพาไปสู่ความสำเร็จในการปลูกสร้างสวนป่า ในปัจจุบันนี้ไม้ยูคาลิปตัสคามีลดยุติลงเป็นไม้โตเร็วที่มีคุณสมบัติที่สำคัญหลายประการ สามารถขึ้นได้แม้แต่ในที่แห้งแล้งและดินเลว กำลังได้รับความสนใจนำมาปลูกเป็นสวนป่ากันอย่างกว้างขวาง เพราะตามเป้าหมายในการปลูกสร้างสวนป่าตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ ๕ นั้น ได้เน้นการส่งเสริมให้เอกชนเป็นผู้ปลูก ซึ่งย่อมต้องการไม้ที่ให้ผลตอบแทนในระยะเวลาอันสั้น และยังส่งเสริมให้มีการปลูกไม้โตเร็วเพื่อใช้ประโยชน์ในการทำไม้ฟืน ทำถ่านและไม้ใช้สอยในครัวเรือนในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งการช่วยในการปรับปรุงสภาพความเสื่อมโทรมของพื้นที่ดินที่รกร้างว่างเปล่าอีกด้วย

การศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการทราบถึงปริมาณผลผลิต ทั้งทางด้านชีวภาพ และด้านปริมาตรของไม้ยูคาลิปตัส

คามาลคูลเลนซีส์ ในสวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่นระดับต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตจึงกล่าวในสวนป่าแต่ละระดับความหนาแน่น เมื่อมีการเจริญเติบโตและพัฒนาขึ้นตามอายุของหมู่ไม้ โดยเน้นเฉพาะกรณีการปลูกสร้างสวนป่าที่ต้องการที่ว่างเพื่อการปลูกพืชแทรกกระหว่างแถวของต้นไม้ ในรูปแบบของการปลูกป่าโดยใช้ระบบ

วนเกษตรกล่าวคือ ระยะปลูก ๒x๔, ๔x๔, ๔x๖ และ ๖x๖ เมตร หรือมีความหนาแน่น ๑,๒๕๐ ๖๒๕, ๔๑๗ และ ๒๗๘ ต้น/เฮกตาร์ ตามลำดับเท่านั้น ซึ่งความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้จะมีส่วนช่วยให้การวางแผนการดำเนินการปลูกสร้างสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลคูลเลนซีส์ประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสได้ดำเนินการที่แปลงวิจัยและสาธิตการจัดการพื้นที่โดยระบบวนเกษตร ในบริเวณศูนย์ปรับปรุงป่าสงวนแห่งชาติที่ ๔ อำเภอกันทรารมย์ จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งมีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบที่เคยเป็นป่าเต็งรังมาก่อน แต่ได้ถูกบุกรุกทำลายเพื่อทำไร่เลื่อนลอย มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ ๑๓๐ เมตร สภาพของดินโดยทั่วไปมีปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างต่ำ วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นพวกหินทราย และหินตะกอน เนื้อดินเป็นพวก sandy loam มี pH ประมาณ ๕.๓ ดินผิวหน้ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุประมาณ ๑.๕ เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ได้แก่ P, K, Ca และ Mg ประมาณ ๗.๔, ๓๕.๘, ๒๕๑ และ ๕๖.๘

ppm ตามลำดับ (Petmak, 1983) สภาพอากาศโดยทั่วไปร้อน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ๑,๓๐๐ มิลลิเมตร/ปี โดยมีวันที่มีฝนตกในรอบปีประมาณ ๑๑๔ วัน เดือนมิถุนายนเป็นเดือนที่มีฝนตกมากที่สุด ประมาณ ๓๒๓.๗ มิลลิเมตร ช่วงที่มีฝนตกมากบางครั้งทำให้เกิดน้ำท่วม ช่วงแล้งมีระยะเวลายาวนานประมาณ ๖ เดือน คือตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนเมษายน อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ ๒๖.๑ องศาเซลเซียส เดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ ๓๖ องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนธันวาคม ประมาณ ๑๔.๘ องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณ ๘๖.๖ เปอร์เซ็นต์

แปลงทดลองเพื่อวิจัยและสาธิตการจัดการพื้นที่โดยระบบวนเกษตรของฝ่ายวน-

วัฒนวิชัย กองบำรุง กรมป่าไม้ นี้ได้เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. ๒๕๒๒ ประกอบด้วยการแปลงทดลองปลูกไม้ยูคาลิปตัส กามาล-
 กุลเลนซีส ขนาด 20×20 เมตร จำนวน ๑๒ แปลง ไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกมีความหนาแน่นต่างกัน ๔ ระดับ คือ ๑,๒๕๐ ต้น/เฮกตาร์ (ระยะปลูก 2×4 เมตร) ๖๒๕ ต้น/เฮกตาร์ (ระยะปลูก 4×4 เมตร) ๔๑๗ ต้น/เฮกตาร์ (ระยะปลูก 4×6 เมตร) และ ๒๗๘ ต้น/เฮกตาร์ (ระยะปลูก 6×6 เมตร) แต่ละระดับความหนาแน่นประกอบด้วยแปลงทดลองจำนวน ๓ ซ้ำ และทุกแปลงทดลองปลูกพืชเกษตรชนิดต่าง ๆ ควบคู่ไปด้วยโดยในปีที่ ๑ และปีที่ ๒ ปลูกพืชเกษตร ปีละ ๒ ครั้ง (ยกเว้นบางแปลง) ส่วนปีที่ ๓ ปลูกพืชเกษตรเพียงครั้งเดียว

ทำการสำรวจนับไม้ทุกต้นในแปลงทดลองทุกแปลงของแต่ละระดับความหนาแน่น (ยกเว้นต้นที่อยู่ขอบแปลง) พร้อมทั้งวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตรจากพื้นดินด้วย diameter tape ครั้งแรก ในเดือนเมษายน ๒๕๒๔ ครั้งที่ ๒ ในเดือนพฤษภาคม ๒๕๒๕ และครั้งที่ ๓ ในเดือนพฤษภาคม ๒๕๒๖ เมื่อต้นไม้มีอายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี ตามลำดับ รายละเอียดบางประการของสภาพสวนป่าทั้ง ๔ ระดับความหนาแน่นของการปลูกป่า

แสดงไว้ใน Table 1. เลือกไม้ตัวอย่างจากแปลงทดลองที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑,๒๕๐ และ ๖๒๕ ต้น/เฮกตาร์ ตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้น ไม้ในแปลงทดลองที่ได้จากการวัดครั้งสุดท้าย (อายุ ๔ ปี) ชั้นขนาดละ ๑ ต้น โดยเลือกต้นที่มีขนาดใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยในแต่ละชั้นขนาดที่จำแนกไว้ ระดับความหนาแน่นละ ๕ ชั้นและเลือกเพิ่มเติมจากแปลงที่มีความหนาแน่น ๔๑๗ และ ๒๗๘ ต้น/เฮกตาร์ มาแปลงละ ๑ ต้น เพื่อให้ได้ไม้ตัวอย่างที่มีการกระจายของขนาด และเป็นตัวแทนของต้นไม้ทุกระดับความหนาแน่น รวมไม้ตัวอย่างทั้งหมด ๑๒ ต้น ทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเรือนยอดของไม้ตัวอย่างในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน แล้วหาค่าเฉลี่ย ($\bar{R}$) จากนั้นตัดไม้ตัวอย่างที่ระดับซิดิติน แล้ววัดมิติ (dimension) ต่าง ๆ ของไม้ตัวอย่างทั้งนี้ คือ ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (H) ความสูงถึงระดับใต้กิ่งสกกิ่งแรก (H_B) เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับซิดิติน (D_0) เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๓๐ เซนติเมตร จากพื้นดิน ($D_{.30}$) เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตร จากพื้นดิน (D) เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูงใต้กิ่งสกกิ่งแรก (D_B) และเส้นผ่าศูนย์กลางทุกระยะ ๑ เมตร ถัดจากระดับความสูง ๑.๓๐ เมตร จากพื้นดิน

Table 1. Stand characteristics of 2-, 3 - and 4-year old *Eucalyptus camaldulensis* in 4 different stand densities

Characteristics	Stand age (yr.)	Initial planting density (tree/ha)			
		1,250	625	417	278
Stand density (tree/ha)	2	1,198	625	417	278
	3	1,198	625	417	278
	4	1,198	602	394	278
Mean DBH (cm)	2	7.62	8.18	9.57	10.45
	3	10.69	12.40	14.49	15.78
	4	12.72	15.49	17.56	19.24
Mean height (m)	2	11.83	12.29	13.35	14.03
	3	14.15	15.32	16.64	17.42
	4	15.50	17.22	18.40	19.33

ขึ้นไปจนถึงปลายยอด ชั่งน้ำหนักสดของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง และใบ ของไม้ตัวอย่างแต่ละต้น พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างของส่วนต่างๆ ดังกล่าว ไปอบในอุณหภูมิ ๘๕ องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่เพื่อเปลี่ยนน้ำหนักสดของส่วนต่างๆ ของไม้ตัวอย่างแต่ละต้นให้เป็นน้ำหนักแห้ง

คำนวณหาปริมาตรลำต้นของไม้ตัวอย่างโดยใช้ Smalian formula คำนวณปริมาตรของลำต้นที่แต่ละช่วง โดยเริ่มจากโคนต้นช่วงแรกยาว ๓๐ เมตร ช่วงต่อไปยาวช่วงละ ๑ เมตร จนถึงช่วงสุดท้ายของลำต้น

ใช้สูตรการคำนวณปริมาตรของรูปกรวย หาปริมาตรของทุกช่วงมารวมกันเป็นปริมาตรของลำต้นทั้งต้นแล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่วัดได้จากต้นไม้กับมวลชีวภาพของแต่ละส่วนแยกกัน มวลชีวภาพของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด และปริมาตรลำต้น โดยใช้ allometric relation ในรูปของสมการ $y = Ax^h$ หรือ $\log y = \log A + h \log x$ ในเมื่อ y คือปริมาณมวลชีวภาพหรือปริมาตรลำต้น x คือ มิติที่วัดได้จากต้นไม้ A และ h คือค่าคงที่ของสมการ เลือกสมการความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่วัดได้จากต้นไม้

กับปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และ ปริมาตรลำต้นที่ให้ความสัมพันธ์ดีที่สุดไป ประเมินหาปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น ส่วนที่เป็นกิ่ง ส่วนที่เป็นใบ และ ปริมาตรลำต้น จากมิติที่วัดได้จากต้นไม้ แต่ละต้นในแปลงทดลองของแต่ละระดับความหนาแน่น เมื่อต้นไม้มีอายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี สำหรับปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นเนื้อไม้ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด ได้จากผลรวมของปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้นกับส่วนที่เป็นกิ่ง และผลรวมของปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นเนื้อไม้กับส่วนที่เป็นใบตามลำดับ สำหรับปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ที่อยู่เหนือพื้นดินและปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ ที่อายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี ของสวนป่าแต่ละระดับความหนาแน่น ได้จากผลคูณของปริมาณมวลชีวภาพของส่วนนั้นๆ หรือ ปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นที่อายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี กับความหนาแน่น (จำนวนต้นต่อหน่วยพื้นที่ที่มีอยู่จริง) ของสวนป่าที่อายุดังกล่าว

สำหรับความสูงของต้นไม้ในแปลงทดลองนั้น เนื่องจากไม่สามารถทำการวัดความสูงของไม้ยืนต้นได้ถูกต้องแม่นยำ จึงได้นำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตร จากพื้นดิน กับความสูงทั้งหมด

ของต้นไม้ ของไม้ตัวอย่างทั้ง ๑๒ ต้น มาหาความสัมพันธ์โดยอาศัยรูปแบบของสมการ allometry แบบเดียวกันกับสมการที่ใช้ในการประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพหรือ ปริมาตรของลำต้น และใช้สมการความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นมานี้ ประมาณหาความสูงของไม้ยูคาลิปตัส กามาลคูลินเซียส แต่ละต้นที่อายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้น ของส่วนที่เป็นลำต้น (w_S) ส่วนที่เป็นกิ่ง (w_B) ส่วนที่เป็นใบ (w_L) ส่วนที่เป็นเนื้อไม้ (w_C) ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (w_T) และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้น (v_S) ของไม้ยูคาลิปตัส กามาลคูลินเซียสกับความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูก เมื่อสวนป่ามีอายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี โดยใช้สมการ reciprocal equation of the C-D effect ของ Kira และคณะ (1953 a, b, 1956) คือ $\frac{1}{w} = A\rho + B$ ในเมื่อ w คือ ปริมาณมวลชีวภาพ หรือ ปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้น ρ คือ ความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูก A และ B คือค่าคงที่ของสมการ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่ของส่วนที่เป็นลำต้น (y_S) ส่วนที่เป็นกิ่ง (y_B) ส่วนที่เป็นใบ (y_L) ส่วนที่เป็นเนื้อไม้ (y_C) ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (y_T) และ

ปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ (v_s) ของ
สวนป่าไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันซึ่งสัมพันธ์กับ
ความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูก เมื่อ
สวนป่ามีอายุ ๒, ๓, และ ๔ ปี โดยใช้สมการ
reciprocal equation of the Y-D effect

ของ Shinozaki และ Kira (1956) คือ
 $\frac{1}{y} = A + \frac{B}{\rho}$ ในเมื่อ y คือ ปริมาณมวลชีวภาพ
หรือปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ ρ คือ
ความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูก A
และ B คือค่าคงที่ของสมการ

ผลและวิจารณ์ผล

๑. การประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพ และปริมาตรลำต้นของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันซึ่งสัมพันธ์กับสวนป่าที่ปลูกด้วย ความหนาแน่นระดับต่าง ๆ

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์
ระหว่างมิติต่างๆ ของต้นไม้ตัวอย่างที่ตัดพื้น
ลง ๑๒ ต้น กับปริมาณมวลชีวภาพของส่วน
ต่างๆ ของต้นไม้ซึ่งได้แก่ ลำต้น (w_s) กิ่ง
(w_B) ใบ (w_L) ส่วนที่เป็นเนื้อไม้ (w_C)
ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (w_T) และ
ปริมาตรลำต้น (v_s) โดยอาศัยรูปแบบของ
สมการ allometric relation แสดงไว้ใน
Table 2 ซึ่งจะเห็นว่าการใช้ D^2H เป็นตัว
แปรอิสระ (independent variable) ในการ
ประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของส่วน
ต่างๆ ของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันซึ่งสัมพันธ์กับ
ความเหมาะสมและให้ความถูกต้องแม่นยำ
มากกว่าการใช้มิติตรงส่วนอื่นๆ ของต้นไม้
แม้แต่การประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพ

ของกิ่งและใบ ซึ่งตามทฤษฎี pipe model
ของ Shinozaki และคณะ (1964) กล่าวว่า
ปริมาณมวลชีวภาพของกิ่งและใบจะมี
ความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับขนาดเส้นผ่า-
ศูนย์กลางของลำต้นตรงส่วนที่อยู่ใต้ระดับ
กิ่งสัดกิ่งแรก แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า
ความสัมพันธ์นี้ไม่ดีไปกว่าความสัมพันธ์
ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพของส่วนกิ่งกล่าว
กับ D^2H แม้ว่าความสัมพันธ์ในกรณีหลัง
จะให้ความสัมพันธ์เป็นที่น่าพอใจน้อยกว่า
ความสัมพันธ์ระหว่าง D^2H กับปริมาณมวล-
ชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น ส่วนที่เป็น
เนื้อไม้ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด
ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งสามกรณีนี้ให้ค่า h ใกล้
เคียงกับ ๑ มากที่สุด และค่า r (correlation
coefficient) และ r^2 (coefficient of deter-
mination) สูงสุด เมื่อเทียบกับความสัมพันธ์
ของปริมาณมวลชีวภาพของส่วนดังกล่าวกับ
มิติตรงส่วนต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามความ

Table 2. Constant parameters of the allometric relation ($y = Ax^h$ or $\log y = \log A + h \log x$) for the estimation of biomass of stem (w_S), branch (w_B), leaf (w_L), wood (w_C), aboveground biomass (w_T) and stem volume (v_S) from various tree dimensions of *Eucalyptus camaldulensis* as derived from 12 sample trees of different size classes, r^2 and r are coefficient of determination and correlation coefficient respectively.

Tree part	Parameter	Values							
		$\bar{R}$ (m)	H (m)	H _B (m)	D ₀ (cm)	D ₃₀ (cm)	D (cm)	D _B (cm)	D ² H (cm. ² m)
Stem (w_S)	h	2.938	3.843	0.219	2.436	2.385	2.247	2.264	0.895
	log A	0.018	-2.905	1.625	-1.326	-1.139	-0.811	-0.698	-1.372
	r^2	0.681	0.932	0.014	0.969	0.959	0.974	0.914	0.993
	r	0.825	0.965	0.120	0.984	0.979	0.987	0.956	0.996
Branch (w_B)	h	2.806	3.121	0.149	2.146	2.138	2.043	2.030	0.794
	log A	-0.622	-2.750	0.943	-1.679	-1.558	-1.296	-1.163	-1.740
	r^2	0.660	0.652	0.007	0.799	0.819	0.855	0.781	0.831
	r	0.812	0.808	0.034	0.894	0.905	0.925	0.884	0.912
Leaf (w_L)	h	3.112	3.547	0.020	2.527	2.504	2.305	2.344	0.898
	log A	-1.140	-3.603	0.666	-2.497	-2.337	-1.933	-1.840	-2.438
	r^2	0.659	0.684	0.000	0.900	0.911	0.884	0.846	0.862
	r	0.812	0.827	0.010	0.948	0.955	0.940	0.920	0.928
Wood (w_C)	h	2.916	3.733	0.207	2.393	2.349	2.218	2.228	0.880
	log A	0.110	-2.692	1.710	-1.192	-1.016	-0.697	-0.580	-1.240
	r^2	0.695	0.911	0.013	0.969	0.964	0.983	0.918	0.994
	r	0.834	0.954	0.116	0.984	0.982	0.991	0.958	0.997
Total aboveground (w_T)	h	2.924	3.716	0.197	2.397	2.355	2.220	2.231	0.879
	log A	0.138	-2.640	1.747	-1.165	-0.991	-0.668	-0.552	-1.208
	r^2	0.700	0.903	0.012	0.973	0.970	0.986	0.921	0.995
	r	0.837	0.950	0.110	0.987	0.985	0.993	0.960	0.997
Stem volume (v_S)	h	2.935	3.854	0.194	2.447	2.397	2.256	2.276	0.898
	log A	-2.713	-5.651	-1.096	-4.073	-3.886	-3.553	-3.445	-4.116
	r^2	0.676	0.932	0.011	0.973	0.964	0.976	0.920	0.994
	r	0.822	0.965	0.106	0.986	0.982	0.988	0.959	0.997

Note : 1) The allometric relations of each dependent variable and D²H were selected and applied (eq. 1~6).

2) For the determination of total height (H) of the standing tree, the relationships of H and D ; $\log H = 0.525 \log D + 0.612$ was applied (eq.7).

สัมพันธ์ระหว่าง D^2H กับ w_B และ w_L ก็ยังคงให้ค่า h ใกล้เคียง ๑ มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่าง w_B และ w_L กับมิติตรงส่วนอื่นๆ และยังคงให้ค่า r และ r^2 ที่สูงเช่นกัน นอกจากนั้นตัวแปรอิสระ D^2H นี้สามารถวัดได้ถูกต้องและง่ายกว่าการวัด DB ทั้งยังเป็นตัวเลขชุดเดียวกับที่ใช้ประมาณหามวลชีวภาพของส่วนอื่นๆ ไม่จำเป็นต้องทำการวัดหรือคำนวณขึ้นมาใหม่ ในการศึกษาครั้งนี้ D^2H จึงเป็นตัวแปรอิสระที่เหมาะสมที่สุด ในการประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น ส่วนที่เป็นกิ่ง ส่วนที่เป็นใบ ส่วนที่เป็นเนื้อไม้ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด ความสัมพันธ์ดังกล่าวเขียนเป็นสมการสำหรับประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1.1 สำหรับมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น (w_S : กก.; D^2H : ซม.² × ม.)

$$\log w_S = 0.895 \log D^2H - 1.372 \dots\dots(1)$$

1.2 สำหรับมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นกิ่ง (w_B : กก.; D^2H : ซม.² × ม.)

$$\log w_B = 0.794 \log D^2H - 1.740 \dots\dots(2)$$

1.3 สำหรับมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นใบ (w_L : กก.; D^2H : ซม.² × ม.)

$$\log w_L = 0.898 \log D^2H - 2.438 \dots\dots(3)$$

1.4 สำหรับมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นเนื้อไม้ (w_C : กก.; D^2H : ซม.² × ม.)

$$\log w_C = 0.880 \log D^2H - 1.240 \dots\dots(4)$$

1.5 สำหรับมวลชีวภาพของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (w_T : กก.; D^2H : ซม.² × ม.)

$$\log w_T = 0.879 D^2H - 1.208 \dots\dots(5)$$

สำหรับการประมาณหาปริมาตรลำต้นก็เช่นเดียวกัน กล่าวคือสามารถใช้ D^2H เป็นตัวแปรอิสระในการประมาณหาปริมาตรลำต้นได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงไว้ใน Table 2 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้น (v_S : ม.³) กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตรยกกำลังสองคูณด้วยความสูงหมด (D^2H : ซม.² × ม.) แสดงได้โดยสมการต่อไปนี้

$$\log v_S = 0.898 \log D^2H - 4.116 \dots\dots(6)$$

การวัดความสูงของต้นไม้ (H) แต่ละต้นเพื่อนำไปหาค่า D^2H ซึ่งใช้เป็นตัวแปรอิสระในสมการดังกล่าวข้างต้นทั้งหมดนั้นมักจะวัดให้ถูกต้องได้ยาก โดยเฉพาะในหมู่ไม้ที่มีเรือนยอดสูงและอยู่ประชิดติดกัน และการวัดแต่ละครั้งจะไม่ใคร่ได้ค่าเท่ากัน นอกจากเป็นลำต้นชันวัดซึ่งไม่สะดวกในทางปฏิบัติ ประกอบกับไม่มีข้อมูลความสูงของไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส ที่อายุ ๒ ปี

และ ๓ ปี ดังนั้นจึงใช้วิธีประมาณหาจากค่าเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตรจากพื้นดิน ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ง่าย และนิยมใช้ในการวัดความเจริญเติบโตของต้นไม้โดยทั่วไป

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตรจากพื้นดิน (D: ซม.) กับความสูงของต้นไม้ (H: ม.) ของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลูเลนซิส จากสวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่นระดับต่างๆ โดยอาศัยรูปแบบของสมการ allometric relation เช่นเดียวกับการหาความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่วัดได้จากต้นไม้กับปริมาณมวลชีวภาพและปริมาตรลำต้นตามที่กล่าวมาแล้ว ได้สมการความสัมพันธ์สำหรับการประมาณหาความสูงของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลูเลนซิส คือ

$$\log H = 0.525 \log D + 0.612 \quad \dots\dots(7)$$

$$r^2 = 0.845 \quad r = 0.919$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวแล้วทั้งหมดจะเห็นว่าในการประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลูเลนซิส สามารถใช้ D^2H เป็นตัวแปรอิสระในการประมาณหาได้เป็นอย่างดีเช่นเดียวกับไม้ชนิดต่างๆ ในเขตร้อน เช่น ไม้โกงกาง (Aksornkoae, 1975) ไม้สัก (พิทยา, ๒๕๒๐) ไม้กระถินณรงค์

(พงษ์ศักดิ์ และคณะ, ๒๕๒๒) ไม้ซ้อ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, ๒๕๒๓) ไม้สนสามใบ (ชัชวาลย์, ๒๕๒๔) ไม้เลื้อย (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, ๒๕๒๔ ข) และไม้ *Cryptomeria japonica* (Tadaki, 1965, 1966) ในเขตอบอุ่น เป็นต้น

๒. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลูเลนซิสกับความหนาแน่นของสวนป่า

จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตรจากพื้นดิน และความสูงทั้งหมดของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลูเลนซิส แต่ละต้นเมื่อมีอายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี สามารถประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ เนื้อไม้ ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลูเลนซิส ในสวนป่าแต่ละระดับความหนาแน่นเมื่อมีอายุ ๒, ๓ และ ๔ ปีได้ โดยใช้สมการ (๑), (๒), (๓), (๔), (๕) และ (๖) ดังแสดงไว้ใน Table 3 เมื่อนำปริมาณมวลชีวภาพและปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นนี้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูก ก็คือที่ระดับความหนาแน่น ๑,๒๕๐, ๖๒๕, ๔๑๗ และ ๒๗๘

Table 3. Mean biomass of each fraction and mean stem volume of 2-, 3- and 4-year old *Eucalyptus camaldulensis* in 4 different stand densities.

Tree part		Stand age (yr)	Initial stand density (tree/ha)			
			1,250	625	417	278
Dry weight (kg/tree)	Stem	2	15.583	18.093	25.889	30.427
		3	33.226	45.870	64.414	77.228
		4	49.233	75.606	99.988	121.017
	Branch	2	3.408	3.899	5.355	6.221
		3	6.684	8.920	12.079	14.224
		4	9.477	13.905	17.830	21.187
	Leaf	2	1.364	1.585	2.270	2.669
		3	2.916	4.030	5.666	6.797
		4	4.327	6.654	8.808	10.667
	Wood	2	18.991	21.992	31.244	36.648
		3	39.910	54.790	76.493	91.452
		4	58.710	89.511	117.818	142.204
	Total aboveground	2	20.355	23.577	33.514	39.317
		3	42.826	58.820	82.159	98.249
		4	63.037	96.165	126.626	152.871
Stem volume (m ³ /tree)		2	0.029	0.033	0.048	0.056
		3	0.061	0.085	0.119	0.143
		4	0.091	0.140	0.185	0.224

ต้น/เฮกตาร์ โดยอาศัยรูปแบบของสมการ reciprocal equation of the C-D effect จะได้สมการความสัมพันธ์สำหรับการประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ เนื้อไม้ ส่วนที่

อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลენซิส เมื่อสวนป่ามีอายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี ดังแสดงไว้ใน Table 4 และภาพของความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงไว้ใน Fig. 1 (A-F)

Table 4. The reciprocal equations of the C-D effect ($1/w = A\rho + B$) for the estimation of mean biomass of each fraction (ton/tree) and mean stem volume (m^3 /tree) of 2-, 3- and 4- year old *Eucalyptus camaldulensis* from their initial planting densities (ρ = tree/ha)

Tree part	Stand age (yr)	Reciprocal equation of the C-D effect	Correlation coefficient
Stem	2	$1/w_S = 0.031\rho + 27.604$	0.928
	3	$1/w_S = 0.018\rho + 8.845$	0.984
	4	$1/w_S = 0.012\rho + 5.004$	0.998
Branch	2	$1/w_B = 0.132\rho + 139.467$	0.926
	3	$1/w_B = 0.081\rho + 51.854$	0.983
	4	$1/w_B = 0.060\rho + 31.852$	0.997
Leaf	2	$1/w_L = 0.359\rho + 314.295$	0.928
	3	$1/w_L = 0.200\rho + 100.229$	0.984
	4	$1/w_L = 0.141\rho + 56.562$	0.998
Wood	2	$1/w_C = 0.025\rho + 23.057$	0.927
	3	$1/w_C = 0.014\rho + 7.572$	0.984
	4	$1/w_C = 0.010\rho + 4.339$	0.998
Total aboveground	2	$1/w_T = 0.024\rho + 21.481$	0.927
	3	$1/w_T = 0.013\rho + 7.040$	0.984
	4	$1/w_T = 0.010\rho + 4.030$	0.998
Stem volume	2	$1/v_S = 0.017\rho + 15.169$	0.915
	3	$1/v_S = 0.010\rho + 4.721$	0.986
	4	$1/v_S = 0.007\rho + 2.697$	0.998

จากภาพดังกล่าว จะเห็นว่าเส้นกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ แต่ละส่วน และปริมาณ ล่าต้นเฉลี่ยต่อต้นกับความหนาแน่นของสวน

ป่าเมื่อเริ่มปลูกที่เรียกว่า C-D curve ซึ่งสร้าง ขึ้นจากสมการความสัมพันธ์ตาม Table 4 มี ลักษณะเป็น smooth curve แสดงความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้าม คือปริมาณ

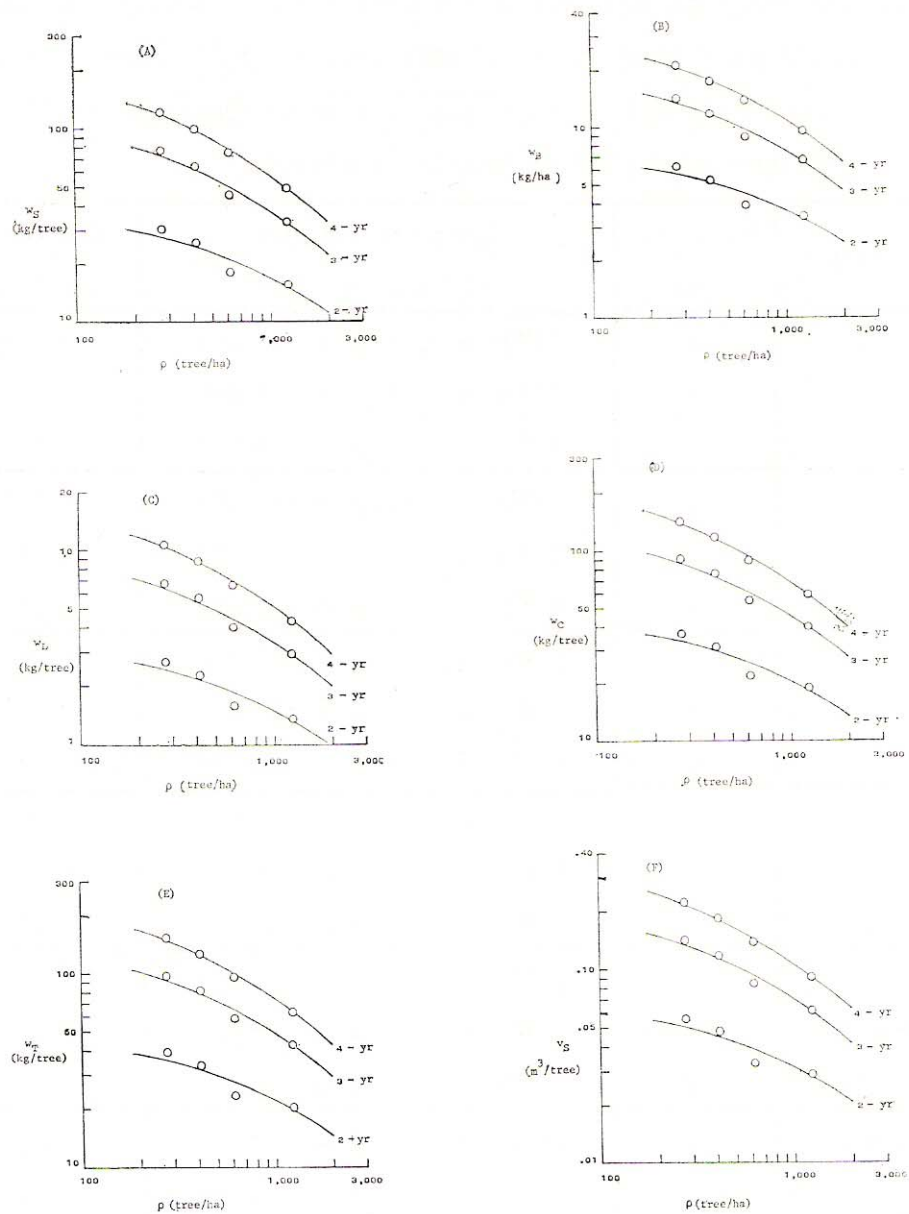


Figure 1. The competition—density effect of (A) mean stem biomass (w_S), (B) mean branch biomass (w_B), (C) mean leaf biomass (w_L), (D) mean wood biomass (w_C), (E) mean total aboveground biomass (w_T) and (F) mean stem volume (v_S) of 2-, 3- and 4-year old *Eucalyptus camaldulensis* plantations and their initial planting densities (ρ).

มวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันจะลดลงเมื่อความหนาแน่นของสวนป่ามากขึ้น และจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของสวนป่าลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปจากอายุ ๒ ปี เป็น ๓ และ ๔ ปี เส้น C-D curve จะเลื่อนขึ้นด้านบนโดยที่ระยะห่างระหว่างเส้น C-D curve ของอายุ ๓ ปีกับ ๒ ปี จะมากกว่าระยะห่างระหว่างเส้น C-D curve ของอายุ ๔ ปีกับ ๓ ปี นั่นคือปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของ ไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชัน ในสวนป่าทุกระดับความหนาแน่นจะเพิ่มมากขึ้นตามอายุของสวนป่า แต่ปริมาณความเพิ่มพูนเฉลี่ยต่อต้น ในช่วงอายุ ๒-๓ ปี จะมากกว่าในช่วงอายุ ๓-๔ ปี ขณะเดียวกันเมื่อเส้น C-D curve เลื่อนขึ้นด้านบน ความชันของเส้น C-D curve ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณ ความแตกต่างระหว่างมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของสวนป่าที่มีความหนาแน่นมากกับสวนป่าที่มีความหนาแน่นน้อย ที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุของสวนป่า ทั้งนี้เพราะสวนป่าที่มีความหนาแน่นมากย่อมมีการแก่งแย่งกันสูง ทำให้ต้นไม้ได้รับปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตน้อยกว่าต้นไม้ในสวนป่าที่มีความ

หนาแน่นน้อย เป็นผลให้ปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชัน ในสวนป่าที่มีความหนาแน่นมาก มีความเพิ่มพูนในแต่ละช่วงปีน้อยกว่าในสวนป่าที่มีความหนาแน่นน้อย

เมื่อพิจารณาจาก Table 4 จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้น ทั้งที่คิดรวมทุกส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและที่แยกออกเป็นส่วนต่างๆ รวมทั้งปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชัน กับความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูกจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของหมู่ไม้ในสวนป่ามีผลต่อปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นเด่นชัดมากขึ้น เมื่อต้นไม้มีอายุเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการกระจายของข้อมูล Fig 1. (A, B, C, D, E, F) จะพบว่า เป็นไปทำนองเดียวกันในทุกส่วนของต้นไม้ กล่าวคือ มีการเบี่ยงเบนของข้อมูลมากที่สุด ที่อายุ ๒ ปี และการเบี่ยงเบนของข้อมูลจะน้อยที่สุดที่อายุ ๔ ปี ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ การประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นและปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส ความลาด-

ตุเลนซีส์ ที่อายุ ๔ ปี จะให้ค่าถูกต้องแม่นยำกว่าที่อายุ ๒ ปี และ ๓ ปี อย่างไรก็ตาม สมการความสัมพันธ์ที่อายุ ๒ ปี และ ๓ ปี ยังคงให้ค่า correlation coefficient ที่สูงมากเช่นกัน กล่าวคือมีค่าดังกล่าวมากกว่า ๐.๙๐ (Table 4)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลตุเลนซีส์ กับความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูก มีลักษณะคล้ายคลึงกับที่พบกับไม้กระถินณรงค์ (บพิตร, ๒๕๒๘) และไม้หนثر (สุรพันธุ์, ๒๕๒๙) แต่เส้น C-D curve ของไม้หนثر และไม้กระถินณรงค์ ที่อายุ ๔ ปี มีความชันมากกว่า โดยเฉพาะเส้น C-D curve ของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมดของไม้หนثر ที่อายุ ๔ ปี มีความชันใกล้เคียง ๔๕ องศาแล้ว Shinozaki และ Kira (1956) ได้กล่าวไว้ว่าถ้าปล่อยให้ต้นไม้เจริญเติบโตจนถึงช่วงอายุหนึ่ง ความลาดชันของเส้น C-D curve จะใกล้เคียงกับ ๔๕ องศา ซึ่งเมื่อถึงระยะนี้แล้ว เส้น C-D curve จะขยับขึ้นด้านบนตามการเติบโตของต้นไม้ โดยที่ความลาดชันจะไม่ใคร่เปลี่ยนแปลง สำหรับไม้ยูคาลิปตัส คามาลตุเลนซีส์ การเจริญเติบโตยังไม่ถึงระยะนี้ และจากการศึกษาของสรายุทธ์ และบุญฤทธิ์ (๒๕๒๖) ก็พบว่า

ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลตุเลนซีส์ อายุ ๑๖ เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นตามความห่างของระยะปลูก นั่นก็คือ ปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลตุเลนซีส์ มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับความหนาแน่นของสวนป่าตามที่กล่าวมานั่นเอง

ปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของส่วนต่างๆ ของไม้ยูคาลิปตัส คามาลตุเลนซีส์ ที่ทำการศึกษาค้างนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับไม้กระถินณรงค์ (บพิตร, ๒๕๒๘) และไม้หนثر (สุรพันธุ์, ๒๕๒๙) ซึ่งทำการศึกษามาก่อนหน้านี้พบว่า ที่อายุ ๔ ปี เท่ากัน ไม้หนثر และไม้ยูคาลิปตัส คามาลตุเลนซีส์ มีปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของส่วนที่เป็นต้น ใบ เนื้อไม้ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมดมากที่สุด ในสวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๒๗๘ ต้น/เฮกตาร์ ส่วนไม้กระถินณรงค์มีปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของส่วนต่างๆ ดังกล่าวมากที่สุด ในสวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๔๑๗ ต้น/เฮกตาร์ โดยไม้หนثرมีปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของส่วนที่เป็นใบมากที่สุด คือ ๑๓.๐๗ กิโลกรัม/ต้น รองลงมาได้แก่ไม้กระถินณรงค์ และไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งมีปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นของส่วนดังกล่าวเท่ากับ ๘.๕๖ และ

๑๐.๖๘ กิโลกรัม/ตัน ตามลำดับ สำหรับ ปริมาณ มวลชีวภาพเฉลี่ยต่อตัน ของส่วนที่เป็นเนื้อไม้ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด ไมยฺกาลิปตัส ความลาดชันเฉลี่ย มีปริมาณมากที่สุดคือ ๑๔๒.๒๐ และ ๑๕๒.๘๗ กิโลกรัม/ตัน ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ ไม้นนทรี ซึ่งมีปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อตันของส่วนที่เป็นเนื้อไม้และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมดเท่ากับ ๘๒.๐๔ และ ๙๕.๑๐ กิโลกรัม/ตัน ตามลำดับ ในขณะที่ไม้กระถินณรงค์มีปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อตันของส่วนต่างๆ ดังกล่าวน้อยที่สุด คือ ๗๘.๕๕ และ ๘๗.๑๑ กิโลกรัม/ตัน ตามลำดับ

๓. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ของไมยฺกาลิปตัส ความลาดชันเฉลี่ย กับความหนาแน่นของสวนป่า

จากปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อตันของส่วนที่เป็นลำต้น ใบ เนื้อไม้ ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อตันของไมยฺกาลิปตัส ความลาดชันเฉลี่ย ที่อายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี (Table 3) คูณด้วยความหนาแน่นต่อหน่วยพื้นที่ (/เฮกตาร์)

ของสวนป่าที่อายุดังกล่าว (Table 1) ได้ ปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ ที่อายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี ของสวนป่าไมยฺกาลิปตัส ความลาดชันเฉลี่ย ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑,๒๕๐, ๖๒๕, ๔๑๗ และ ๒๗๘ ต้น/เฮกตาร์ ตั้งแต่เริ่มแรก ดังแสดงไว้ใน Table 5 เมื่อนำค่าปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ที่คำนวณได้ มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูก โดยอาศัยรูปแบบของสมการ reciprocal equation of the Y-D effect ได้สมการความสัมพันธ์สำหรับ ปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ เนื้อไม้ ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ของสวนป่าไมยฺกาลิปตัส ความลาดชันเฉลี่ย ที่อายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี ดังแสดงไว้ใน Table 6 และเมื่อนำค่าปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ตลอดจนปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่มาพล็อตหาความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูกบนกระดาษกราฟ log-log โดยแยกความสัมพันธ์ออกเป็นแต่ละส่วนเมื่อมีอายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี ได้ภาพของความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงไว้ใน Fig. 2 (A-F)

Table 5. Biomass and stem volume productions of 2-,3- and 4-year old *Eucalyptus camaldulensis* plantations in 4 different stand densities.

Tree part		Stand age (yr)	Initial planting density (tree/ha)			
			1,250	625	417	278
Dry weight (ton/ha)	Stem	2	18.668	11.308	10.796	8.459
		3	39.805	28.669	26.861	21.469
		4	58.981	45.515	39.395	33.643
	Branch	2	4.083	2.437	2.233	1.729
		3	8.007	5.575	5.037	3.954
		4	11.353	8.371	7.025	5.890
	Leaf	2	1.634	0.991	0.847	0.742
		3	3.493	2.519	2.363	1.890
		4	5.184	4.006	3.470	2.965
	Wood	2	22.751	13.745	13.029	10.188
		3	47.812	34.244	31.895	25.423
		4	70.334	53.886	46.420	39.533
	Total aboveground	2	24.385	14.385	13.976	10.930
		3	51.305	36.763	34.261	27.313
		4	75.518	57.892	49.890	42.498
Stem volume (m ³ /ha)		2	34.742	20.625	20.016	15.568
		3	73.078	53.125	49.623	39.754
		4	109.018	84.280	72.890	62.272

จากตารางและภาพทั้งกล่าว จะเห็นว่าทุกอายุของสวนป่า ปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลენซิส จะ

เพิ่มมากขึ้นตามความหนาแน่นของสวนป่า ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณมวลชีวภาพและปริมาตรเฉลี่ยต่อต้น นั่นคือ สวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลენซิส ที่ปลูกด้วยความ

Table 6. The reciprocal equation of the Y-D effect ($1/y = A + B/\rho$) for the estimation of biomass production (ton/ha) and stem volume production (m^3/ha) of 2-, 3- and 4- year old *Eucalyptus camaldulensis* from their initial planting densities (ρ = tree/ha)

Tree part	Stand age (yr)	Reciprocal equations of the Y-D effect	Correlation coefficient
Stem	2	$1/y_S = 0.043 + 21.349/\rho$	0.958
	3	$1/y_S = 0.021 + 7.237/\rho$	0.980
	4	$1/y_S = 0.014 + 4.485/\rho$	0.991
Branch	2	$1/y_B = 0.186 + 111.898/\rho$	0.972
	3	$1/y_B = 0.097 + 43.716/\rho$	0.987
	4	$1/y_B = 0.069 + 28.804/\rho$	0.992
Leaf	2	$1/y_L = 0.496 + 242.877/\rho$	0.958
	3	$1/y_L = 0.237 + 81.862/\rho$	0.979
	4	$1/y_L = 0.161 + 50.707/\rho$	0.991
Wood	2	$1/y_C = 0.035 + 17.952/\rho$	0.961
	3	$1/y_C = 0.017 + 6.226/\rho$	0.981
	4	$1/y_C = 0.012 + 3.893/\rho$	0.991
Total aboveground	2	$1/y_T = 0.033 + 16.717/\rho$	0.961
	3	$1/y_T = 0.016 + 5.786/\rho$	0.981
	4	$1/y_T = 0.011 + 3.616/\rho$	0.991
Stem volume	2	$1/v_S = 0.023 + 11.622/\rho$	0.952
	3	$1/v_S = 0.011 + 3.878/\rho$	0.981
	4	$1/v_S = 0.008 + 2.420/\rho$	0.991

หนาแน่นสูง จะได้ปริมาณ มวลชีวภาพของ ส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นมากกว่าสวน บ่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่นต่ำ แต่ต้นไม้ จะมีขนาดเล็กกว่า (Table 1) ฉะนั้นในการ

พิจารณาถึงความหนาแน่นที่เหมาะสม จะต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้ประโยชน์ไม้ นั้น ด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณมวลชีวภาพ ของส่วนต่างๆ และปริมาตรลำต้นต่อหน่วย

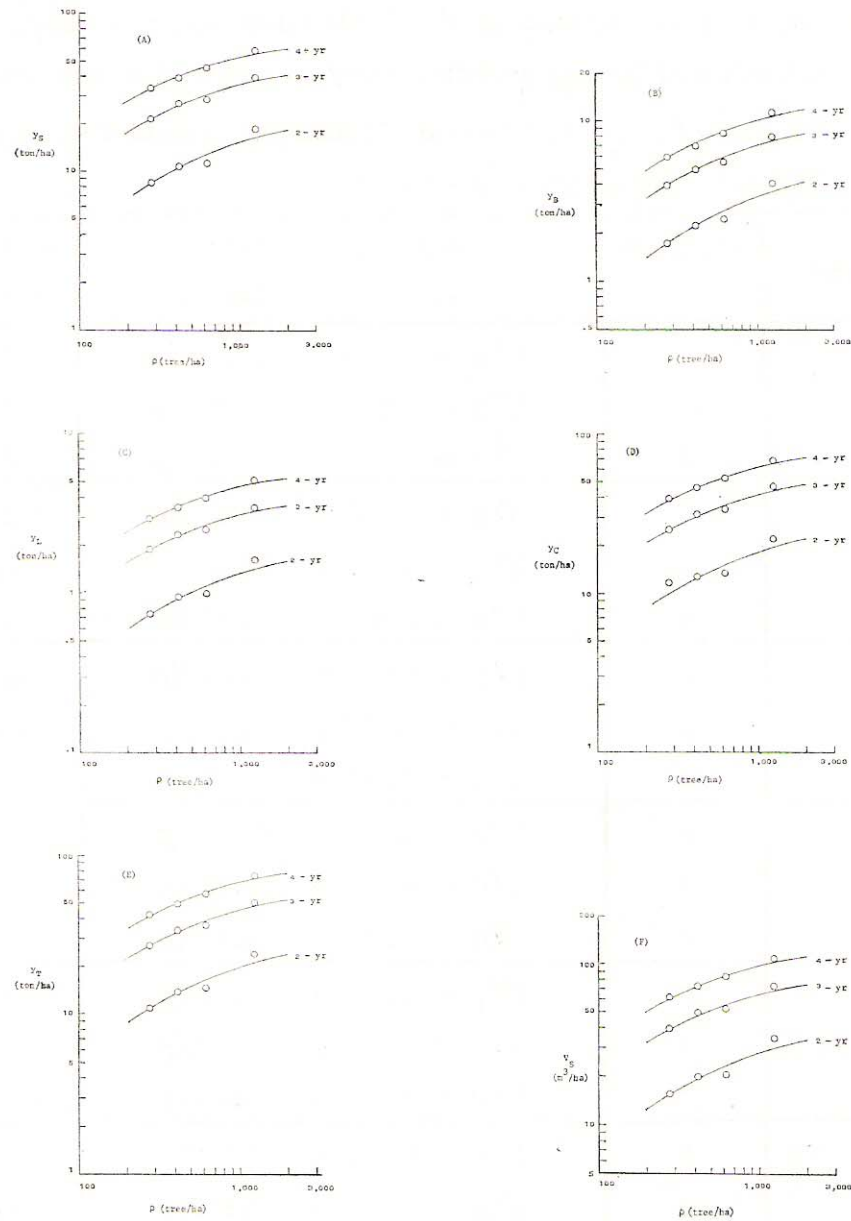


Figure 2. The yield-density effect of (A) stem (y_s), (B) branch (y_b), (C) leaf (y_l), (D) wood (y_c), (E) total aboveground (y_T) and (F) stem volume (V_s) productions of 2-, 3- and 4-year old *Eucalyptus camaldulensis* plantations and their initial planting densities (p).

พื้นที่ของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูละเลน้ำ จะเพิ่มมากขึ้นตามอายุของสวนป่า โดยจะเพิ่มในช่วงอายุ ๒-๓ ปี มากกว่าในช่วงอายุ ๓-๔ ปี เช่นเดียวกับปริมาณมวลชีวภาพ และปริมาตรเฉลี่ยต่อต้น ลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวมานี้ เห็นได้เด่นชัดจาก Fig. 2 (A-F) กล่าวคือ เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่ของสวนที่เป็นลำต้น กิ่ง เนื้อไม้ ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่กับความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูกที่เรียกว่า Y-D curve ซึ่งสร้างขึ้นจากการความสัมพันธ์ตาม Table 6 และมีลักษณะเป็น smooth curve เช่นเดียวกับ C-D curve จะแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวไปในทิศทางเดียวกัน และเส้น Y-D curve ที่อายุ ๓ ปี และ ๔ ปี จะเลื่อนจากเส้น Y-D curve ที่อายุ ๒ ปี ขึ้นไปด้านบน ตามลำดับ โดยที่ระยะห่างระหว่างเส้น Y-D curve ที่อายุ ๒ ปี กับ ๓ ปี จะมากกว่าระยะห่างระหว่างเส้น Y-D curve ที่อายุ ๓ ปี กับ ๔ ปี พร้อมกันนั้น ความลาดชันของเส้น Y-D curve ที่เลื่อนขึ้นด้านบนจะลดลง และมีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นราบต่อไปในอนาคต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างปริมาณมวลชีวภาพของสวนต่างๆ และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูละเลน้ำ

ซีส ที่ปลูกด้วยความหนาแน่นมากกับสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูละเลน้ำ ที่ปลูกด้วยความหนาแน่นน้อย จะลดลงเมื่อมีอายุเพิ่มขึ้น และในที่สุดจะไม่มี ความแตกต่างกันเลย นั่นคือ ผลผลิตขั้นสุดท้ายต่อหน่วยพื้นที่ที่จะคงที่เสมอไม่ว่าจะมีจำนวนต้นไม้อยู่เท่าใด (Shinozaki และ Kira, 1956) ความสัมพันธ์ตามที่กล่าวมานี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับที่พบในไม้กระถินณรงค์ (บพิตร, ๒๕๒๘) และไม้หนทรี (สุรพันธุ์, ๒๕๒๙) แต่เส้น Y-D curve ที่อายุ ๔ ปี ของไม้กระถินณรงค์ และไม้หนทรีมีความลาดชันน้อยกว่า แสดงว่ามวลชีวภาพของสวนต่างๆ และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ของไม้ทั้งสองชนิดนี้ใกล้เคียงจุดคงที่มากกว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูละเลน้ำ

สำหรับค่า correlation coefficient (r) ของสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว (Table 6) และลักษณะการกระจายของข้อมูลใน Fig. 2. (A-F) มีลักษณะเช่นเดียวกับที่พบในความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลชีวภาพของสวนต่างๆ และปริมาตรลำต้นเฉลี่ยต่อต้นกับความหนาแน่นของสวนป่าเมื่อเริ่มปลูก กล่าวคือ ค่า r จะเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนป่า และข้อมูลที่อายุ ๒ ปี มีการเบี่ยงเบนมากที่สุด ในขณะที่ข้อมูลที่อายุ ๔ ปี มีการเบี่ยงเบนน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม สมการความ

สัมพันธ์สำหรับการประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ และปริมาตรลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส จะมีค่า r อย่างต่ำที่สุด 0.952 และจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.99 ทุกสมการความสัมพันธ์ที่อายุ ๔ ปี ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ที่สูงมาก

ปริมาณมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส ที่ได้จากการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับสวนป่าชนิดอื่น ๆ เช่น สวนป่าไม้สัก อายุ ๘ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๒,๕๐๐ ต้น/เฮกตาร์ (พิทยา และพงษ์ศักดิ์, ๒๕๒๓) สวนป่าไม้สนสามใบ อายุ ๑๐ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑,๒๕๐ ต้น/เฮกตาร์ (จักรวาลย์, ๒๕๒๔) สวนป่าไม้เลี่ยนอายุ ๔ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๖๒๕ ต้น/เฮกตาร์ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, ๒๕๒๔ข) สวนป่าไม้กระถินณรงค์ อายุ ๔ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑,๒๕๐ ต้น/เฮกตาร์ (บพิตร, ๒๕๒๘) และสวนป่าไม้หนทรี อายุ ๔ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑,๒๕๐ ต้น/เฮกตาร์ (สุรพันธ์, ๒๕๒๙) ซึ่งมีปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด ดังในข้อ ๔๐.๑๐, ๖๐.๘๒, ๕๑.๖๑, ๓๘.๖๒ และ ๔๐.๘๘ ต้น/เฮกตาร์ ตามลำดับ จะเห็นว่าสวนป่าทุกชนิดที่กล่าวมา มีปริมาณมวลชีวภาพทั้งกล่าวน้อยกว่าสวนป่าไม้ยูคา-

ลิปตัส คามาลูเลนซิส อายุ ๔ ปี ซึ่งมีปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด ๗๕.๕๒ และ ๕๗.๘๘ ต้น/เฮกตาร์ ในสวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑,๒๕๐ และ ๖๒๕ ต้น/เฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 5) สำหรับปริมาตรลำต้นก็เช่นกัน กล่าวคือสวนป่าไม้สัก อายุ ๑๔ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๒,๕๐๐ ต้น/เฮกตาร์ (พิทยา, ๒๕๒๐) สวนป่าไม้สนสามใบ อายุ ๘ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๒,๕๐๐ ต้น/เฮกตาร์ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, ๒๕๒๔ ก) สวนป่าไม้เลี่ยน อายุ ๔ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๖๒๕ ต้น/เฮกตาร์ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, ๒๕๒๔ข) มีปริมาตรลำต้น ๑๐๔.๕๘, ๕๑.๖๓ และ ๗๑.๑๖ ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์ ตามลำดับ ในขณะที่สวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส อายุ ๔ ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑,๒๕๐ และ ๖๒๕ ต้น/เฮกตาร์ มีปริมาตรลำต้น ๑๐๙.๐๒ และ ๘๔.๒๘ ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 5) แสดงให้เห็นเด่นชัดว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส เป็นไม้ที่โตเร็วมากชนิดหนึ่ง และให้ผลผลิตสูง เมื่อเทียบกับสวนป่าไม้ชนิดอื่น ๆ ที่ปลูกด้วยความหนาแน่นเท่า ๆ กัน และเมื่อสวนป่ามีอายุเท่ากัน อย่างไรก็ตามสวนป่าไม้ยูคา-

ลิปัส คามาลกุลเลนซีส์ นี้ ดำเนินการปลูก ด้วยความหนาแน่นที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจาก ต้องเว้นที่ว่างระหว่างแถวไว้สำหรับการปลูก พืชเกษตรควบ หากปลูกด้วยความหนาแน่น ที่สูงขึ้นก็คาดว่าจะได้ผลผลิตสูงขึ้น แต่ข้อดี

ประการหนึ่งในการปลูกป่าโดยวิธีนี้คือ ผู้ ปลูกป่าได้ดูแลต้นไม้ ไปพร้อม ๆ กับการดูแลพืชเกษตรแทรก หรือปลูกควบไปด้วย ในตัว จึงเป็นการดำเนินการปลูกป่าที่ได้ผล ๒ ทางในขณะเดียวกัน

สรุป

การศึกษาผลของความหนาแน่นของ การปลูกป่าต่อผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิป- ตัส คามาลกุลเลนซีส์ ที่ปลูกเพื่อการประยุกต์ ระบบวนเกษตร โดยการปลูกให้มีความหนา- แน่นต่างกัน ๔ ระดับ คือ ๑, ๒๕๐, ๖๒๕ และ ๔๑๗ ต้น/เฮกตาร์ เมื่อต้นไม้มียุ ๒, ๓ และ ๔ ปี สรุปผลได้ดังนี้

๑. การประมาณหาปริมาณมวลชีว- ภาพของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ เนื้อไม้ ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด และปริมาตร ลำต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลกุลเลนซีส์ ใช้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง ๑.๓๐ เมตร จากพื้นดินยกกำลังสองคูณด้วยความ สูงทั้งหมด (D^2H) เป็นตัวแปรอิสระในสม- การ allometry ประมาณได้ถูกต้องเหมาะ สมกว่าการใช้มิติตรงส่วนอื่น ๆ ของต้นไม้

๒. ปริมาณ มวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้น ทั้งที่ถือรวมทุกส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน และที่ แยกออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตลอดจนปริมาตร ลำต้นเฉลี่ยต่อต้น จะเพิ่มขึ้นตามอายุของส

ป่า และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกัน ข้ามกับระดับความหนาแน่นของสวนป่า ซึ่ง สามารถประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของ ส่วนต่าง ๆ และปริมาตรของลำต้นเฉลี่ยต่อ ต้น เมื่ออายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี ของไม้ยูคา- ลิปตัส คามาลกุลเลนซีส์ ที่ปลูกด้วยความหนา- แน่นระดับต่างๆ ได้ จากความสัมพันธ์ใน รูปของสมการ reciprocal equation of the C-D effect และเมื่ออายุ ๔ ปี สวนป่าที่ ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑, ๒๕๐, ๖๒๕, ๔๑๗ และ ๒๗๘ ต้น/เฮกตาร์ จะได้ผล ผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยทุกส่วนรวมกัน และ ปริมาตรเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ ๖๓.๐๔, ๖๙.๑๗, ๑๒๖.๖๓, ๑๕๒.๘๗ กิโลกรัม/ ต้น และ ๐.๐๙, ๐.๑๔, ๐.๑๙, ๐.๒๒ ลบ.เมตร/เฮกตาร์ ตามลำดับ

๓. ผลผลิตมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้น ที่ของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด และที่ แยกออกเป็นส่วนต่างๆ รวมทั้งผลผลิตทาง

คำนวณปริมาณลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ จะเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนป่า และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับระดับความหนาแน่นของสวนป่า ซึ่งสามารถประมาณหาผลผลิตมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่ของส่วนต่างๆ และผลผลิตทางคำนวณปริมาณลำต้นต่อหน่วยพื้นที่ของสวนป่าไม้อยูคาลิปตัส คามาลูกูเลนซิส ที่ปลูกด้วยความหนาแน่นระดับต่างๆ เมื่ออายุ ๒, ๓ และ ๔ ปี ได้จากความสัมพันธ์

ในรูปของสมการ reciprocal equation of the Y-D effect และเมื่ออายุ ๔ ปี สวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่น ๑, ๒๕๐, ๖๒๕ ๔๑๗ และ ๒๗๘ ต้น/เฮกตาร์ จะได้ผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนเหนือพื้นดินต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ ๗๕.๕๒, ๕๗.๘๙, ๔๙.๘๙, ๔๒.๕๐ ต้น/เฮกตาร์ และปริมาณของลำต้นรวม ๑๐๙.๐๒, ๘๔.๒๘, ๗๒.๘๙ และ ๖๒.๒๗ ลบ.เมตร/เฮกตาร์ ตามลำดับ

คำนิยม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนเงินทุนอุดหนุนวิจัยเรื่องนี้ส่วนหนึ่ง ให้แก่โครงการวิจัยที่รว ๑.๒๔ “การวิจัยและพัฒนาการปลูกป่า” ขอขอบคุณฝ่ายวนวัฒนวิจัย กองบำรุง กรมป่าไม้ ที่อนุญาตให้คณะผู้วิจัยเข้าดำเนินการ

ขอบคุณหัวหน้าศูนย์ปรับปรุงป่าสงวนแห่งชาติที่ ๔ กองจัดการที่ดินป่าสงวนแห่งชาติ กรมป่าไม้ ที่กรุณาอำนวยความสะดวก ขอขอบคุณคุณสุรพันธุ์ จันทระประภา คุณบพิตร เกียรติวุฒินนท์ คุณธำรง ชินสุขใจ-ประเสริฐ ที่ช่วยในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

ชัชวาลย์ พิศคำขำ. ๒๕๒๔. การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตของสวนป่าไม้สนสามใบ ที่ปลูกด้วยระยะห่างต่างๆ กันตามระยะที่อำเภอหาด จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

บพิตร เกียรติวุฒินนท์. ๒๕๒๘. ผลของความหนาแน่นต่อผลผลิตของสวนป่าไม้กระถินณรงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

พงษ์ศักดิ์ สหนาฟู, วิสุทธิ์ สุวรรณภินันท์ สันต์ เกตุปราณีต และ วิรัตน์ ตัน-

ภีบาล. ๒๕๒๒. ผลผลิตมวลชีวภาพ
ของไม้กระถินณรงค์ อายุ ๘ ปี ที่
ปลูกดินเหมืองแร่, น. ๑๕๑-๑๖๗
ในเอกสารทางวิชาการประชุมการป่า
ไม้ ประจำปี ๒๕๒๒ สาขาวนศาสตร์
ทั่วไป เล่ม ๒ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ
พงษ์ศักดิ์ สหนาฟู, วิเชียร ไพรัตน์ และ
เจริญ การกสิวิธ. ๒๕๒๓. ผลผลิต
ของสวนป่าไม้ซ้อที่อำเภอปากช่อง
จังหวัดนครราชสีมา. บันทึกวิจัย ฉบับ
ที่ ๓๙, คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ๑๔ น.
พงษ์ศักดิ์ สหนาฟู, ปรีชา ธรรมานนท์
สันต์ เกตุปราณีต และ ปญญ์ ศรี-
อรัญญ. ๒๕๒๔ ก. ผลผลิตขั้นปฐม-
ภูมิของสวนป่าไม้สนสามใบ ๑. ผล
ผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของสวนป่าไม้สน
สามใบอายุต่างๆ ที่ซอก เชียงใหม่
รายงานวนศาสตร์วิจัย เล่มที่ ๗๗
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร-
ศาสตร์, กรุงเทพฯ ๓๙ น.
พงษ์ศักดิ์ สหนาฟู, ปรีชา ธรรมานนท์
วิสูตร สุวรรณภินันท์ และ บัณฑิต
ประโชโย. ๒๕๒๔ ข. ผลผลิตขั้น
ปฐมภูมิสุทธิของสวนป่าในระบบวน-
วัฒน์ - เกษตร ในประเทศไทย
๑. ผลผลิตขั้นปฐมภูมิของสวนป่าไม้
เลี่ยนที่ปลูกควบกับมันสำปะหลัง ที่
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี รายงานวนศาสตร์

วิจัย เล่มที่ ๗๘ คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
๓๙ น.

พิทยา เพชรมาก. ๒๕๒๐. ผลผลิตขั้น
ปฐมภูมิของสวนป่าไม้สักที่ตัดวาง
ขยายระยะและไม่ตัดวางขยายระยะ ณ
ท้องที่อำเภอวัง จังหัดลำปาง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

พิทยา เพชรมาก และพงษ์ศักดิ์ สหนาฟู.
๒๕๒๓. ผลผลิตขั้นปฐมภูมิของ
สวนป่าไม้สัก. ๒. ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ
สุทธิของสวนป่าไม้สักอายุต่างๆ ที่
วัง ลำปาง. รายงานวนศาสตร์วิจัย
เล่มที่ ๗๐ คณะวนศาสตร์ มหา-
วิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
๒๘ น.

สุรพันธ์ จันทระประภา. ๒๕๒๙. ผลของ
ความหนาแน่นต่อผลผลิตของสวนป่า
ไม้หน่หรือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กุรง-
เทพฯ.

สรายุทธ บุญยะเวชชีวิน และบุญฤทธิ์
ภูริยากร. ๒๕๒๖. การเจริญเติบโต
มวลชีวภาพเหนือพื้นดินและผลผลิต
ไม้พื้นของยูคาลิปตัส คามาลดูละนชีส
ที่ใช้ระยะปลูกต่างๆ, น. ๘๑-๘๔.
ใน เอกสารทางวิชาการ ประชุม

- การป่าไม้ ประจำปี ๒๕๒๖ สาขา
วนศาสตร์ทั่วไป กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ.
- Aksornkoae, S. 1975. Structure, regeneration and productivity of mangrove in Thailand. Ph.D. thesis, Michigan State Univ., Michigan.
- Kira, T., H. Ogawa and N. Sakazaki. 1953 a. Intraspecific competition among higher plants. I. Competition—yield—density interrelationship in regulary dispersed populations. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D. 4:1-16.
- Kira, T., K. Hozumi, H. Ogawa and Y. Ueno. 1953 b. Spacing problem from the ecological view—point (in Japanese. English summary). Stud. from the Inst. Hort., Kyoto Univ. 6:69-81.
- Kira, T., H. Ogawa, K. Hozumi. H. Koyama and K. Yoda. 1956. Intraspecific competition among higher plants. V. Supplementary notes on the C—D effect. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D. 7:1-14.
- Petmak, P. 1983. Primary productivity, nutrient cycling and organic matter turnover of tree plantations after agricultural intercropping practices in northeast Thailand. Ph.D. thesis, Univ. of the Philippines, Los Banos.
- Shinozaki, K. and T. Kira. 1956. Intraspecific competition among higher plants. VII. Logistic theory of the C—D effect. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D. 7:35-72.
- Shinozaki, K., K. Yoda, K. Hozumi and T. Kira. 1964. A quantitative analysis of plant form: The pipe model theory. I. Basic analysis. Jap. J. Ecol. 14:97-105.
- Tadaki, Y. 1965. Studies on the production structure of forests. VII. The primary production of a young stand of *Castanopsis cuspidata*. Jap. J. Ecol. 15:142-147.
- Tadaki, Y. 1966. Studies on the production structure of forests. IX. Primary productivity of a young *Cryptomeria* plantations with excessively high stand density. Jour. Jap. For. Soc. 48:55-61.