Thai J. For. 14 : 118-130 (1995) วารสารวนศาสตร์ 14 : 118-130 (2538)

ผลของระยะปลูกและความหนักเบาของการลิดกิ่ง ต่อการเติบโตและผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส

EFFECTS OF SPACING AND PRUNING INTENSITY ON GROWTH AND YIELD OF *EUCALYPTUS CAMALDULENSIS* DEHNH. PLANTATIONS

พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ [1]
ปรีชา ธรรมานนท์ [1]
บัวเรศ ประไชโย [2]
คณิต ม่วงนิล [3]

Pongsak Sahunalu
Pricha Dhanmanonda
Buared Prachaiyo
Kanit Muangnil

ABSTRACT

Studies on the effects of 3 planting spaces (2 x 2, 2 x 4 and 2 x 8 m) and 2 levels of pruning, 3 times in each operation with 3-5-9 m and 5-7-11 m aboveground and control at 3, 4 and 6-year old of *Eucalyptus camaldulensis* plantations were carried out at Somdet plantation, Kalasin province. Growth in mean diameter at breast height, mean total tree height and biomass yields were followed up from 2-year old to 8-year old in the three replicated plots of split-plot in RBD. The studies revealed that growth characteristics of diameter and height affected by stand age and the two treatments were best explained by the Gompertz growth model. Effects of planting spaces and pruning intensities on growth of tree sizes of 8-year old plantations were found to be statistically different by which in the 2 x 8 m planting space plots, the mean diameter and mean total tree height were larger than in the 2 x 2 m planting space plots which were as low as in the 2 x 4 m planting space plots except for the mean total tree height in the closed space plots that were the lowest. Both pruning intensities were found to be the cause for the equivalent lowest tree sizes but the light pruning plots were not different from the control plots. The analysis of competition-density effects separated into each stand operation were also included and the results discussed in these studies.

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของระยะปลูก 3 ระยะ (2 x 2, 2 x 4 และ 2 x 8 เมตร) และการลิดกิ่ง 2 ระดับ ๆ ละ 3 ครั้ง คือลิดกิ่งในระดับสูง 3-5-9 และ 5-7-11 เมตรจากพื้นดิน และควบคุม เมื่อสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส มีอายุ 3, 4 และ 6 ปี ได้ดำเนินการที่สวนป่าสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยติดตามการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน ความสูงของลำต้น และผลผลิตในรูปมวลชีวภาพ ตั้งแต่สวนป่านี้มีอายุ 2 ปี จนกระทั่งมีอายุ 8 ปี ในแปลงทดลองที่วางแผนแบบ Split-plot ในแปลงสุ่ม มาตราการละ 3 ซ้ำ พบว่า ลักษณะการเติบ

[1] ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[2] สำนักงานป่าไม้เขตขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40000

[3] ส่วนแผนงานและสถิติ ฝ่ายทำไม้ภาคตะวันตกและภาคใต้ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ กรุงเทพมหานคร 10100

โตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูงของลำต้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุของสวนป่ากับการใช้มาตราการทั้งสองอย่างดังกล่าวกับสวนป่านี้ สามารถจะอธิบายได้ดีมาก โดยใช้โมเดลการเติบโตแบบสมการความสัมพันธ์การเจริญเติบโตของ Gompertz ผลของระยะปลูกและความหนักเบาของการลิดกิ่งทำให้ขนาดทั้งสองอย่างนี้ เมื่อมีอายุ 8 ปี ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในระยะปลูก 2 x 8 เมตร จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย และความสูงเฉลี่ยสูงกว่าในระยะปลูกชิด (2 x 2 เมตร) แต่ไม่ต่างจากในระยะปลูกค่อนข้างชิด (2 x 4 เมตร) เว้นแต่ความสูงเฉลี่ยในระยะปลูกชิดจะต่ำที่สุด และการลิดกิ่งทั้งอย่างหนักและอย่างเบาจะทำให้ต้นไม้มีขนาดทั้งสองอย่างเฉลี่ยต่ำเท่า ๆ กันแต่การลิดกิ่งอย่างเบาจะไม่ต่างจากในแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่งหรือควบคุมแต่อย่างใด การศึกษานี้ได้รวมไปถึงการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลของการแก่งแย่งที่เกิดจากการใช้ระยะปลูก แบ่งแยกไปตามความหนักเบาของการลิดกิ่งด้วย

คำนำ

ความจำเป็นในการควบคุมผลผลิต และการปฏิบัติต่อสวนป่านั้นได้กล่าวไว้แล้วในรายงานฉบับก่อน โดย พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2538) ได้เสนอรายงานผลของการใช้ระยะปลูก 3 ระยะ คือ 2 x2, 2 x 4 และ 2 x 8 เมตร และการลิดกิ่ง 2 ระดับ คือ 3 และ 5 เมตร ต่ออัตราการเติบโตและผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส ที่ได้ทำการทดลองลิดกิ่งเมื่อมีอายุ 3 ปี และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นภายหลังจากการลิดกิ่งไปแล้ว 1 ปี เปรียบเทียบกับการไม่ทำการลิดกิ่ง ซึ่งพบว่าอัตราการเติบโตของสวนป่าไม้ชนิดนี้ในรูปของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate) ทั้งทางด้านขนาดและด้านปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ย และมวลชีวภาพรวม ต่างก็ได้รับผลกระทบแตกต่างกันอย่างชัดเจน จากมาตรการทั้งสองอย่าง แต่ในบางกรณีการนำเอามาตราการทางวนวัฒนวิทยาบางอย่างไปใช้กับสวนป่านั้น อาจจะปฏิบัติซ้ำๆ กันหลายครั้งไปตามเวลาของการบำรุงสวนป่า จนกว่าจะถึงระยะเวลาของการตัดฟันไม้ออกไปใช้ประโยชน์

การเติบโตและผลผลิตของต้นไม้ในสวนป่านั้น เป็นที่ทราบกันดีว่าเปลี่ยนแปลงไปได้ตามชนิดของต้นไม้ สภาพของท้องที่ อายุของสวนป่า ความหนาแน่นของการปลูกป่า และการปฏิบัติการทางวนวัฒน์ต่อสวนป่า ในการศึกษาครั้งก่อนนั้นเป็นการศึกษาถึงผลของการปฏิบัติต่อสวนป่า เมื่อสวนป่ายังมีอายุน้อยอยู่ยังไม่ถึงอายุตัดฟัน และเป็นการศึกษาในระยะสั้น ถ้าหากมีการปฏิบัติต่อสวนป่าโดยการควบคุมความหนาแน่นของสวนป่าต่อไป และดำเนินการลิดกิ่งซ้ำอีกหลายๆ ครั้ง เมื่อสวนป่ามีอายุมากขึ้น จะมีผลกระทบต่อการเติบโตและผลผลิตของสวนป่าไม้ชนิดนี้อย่างไรบ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลจากปัจจัย 3 อย่างคือ อายุของสวนป่า ความหนาแน่น (หรือระยะปลูก) และความหนักเบาของการลิดกิ่งซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่นำมาวิเคราะห์ต่อไปในรายงานฉบับนี้

อุปกรณ์และวิธีการ

จากพื้นที่แปลงทดลองเดิมที่รายงานไปแล้วโดย พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2538) ทำการลิดกิ่งไม้ในแปลงที่ทำการลิดกิ่งในระดับสูง 3 และ 5 เมตร จากพื้นดิน ในระดับสูงขึ้น คือ 5 และ 7 เมตรเมื่อ

สวนป่านี้มีอายุ 4 ปี (2530) และสูงขึ้นเป็น 9 และ 11 เมตร เมื่อมีอายุ 6 ปี (2532) ดังนั้น แต่ละแปลงตัวอย่างที่ลิดกิ่งจะได้รับการลิดกิ่งซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งถือว่าเป็นความหนักเบาของการลิดกิ่ง (pruning intensity) ทำการตรวจวัดต้นไม้ในแปลงทดลองอย่างเดียวกันกับที่กล่าวแล้วในรายงานฉบับก่อน โดยทำการวัดทุกปีจนกระทั่งถึงอายุ 8 ปี (2534) ดังนั้นจึงสามารถติดตามการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน และความสูงของต้นไม้ ได้ตามอายุของ 3 สวนป่า (stand age) โดยที่มีระดับความหนาแน่นของสวนป่า (stand density) ตามแบบเดิมตั้งแต่ปลูกขึ้นเมื่อตอนแรก (2526) คือ 2,500 ต้น/เฮกแตร์ (ระยะปลูก 2 x 2 เมตร) 1,250 ต้น/เฮกแตร์ (2 x 4 เมตร) และ 625 ต้น/เฮกแตร์ (2 x 8 เมตร) ทั้งนี้โดยมีผังของการทดลองแบบเดิม คือ Split-plot ในแปลงสุ่ม (in RBD) ที่มีจำนวนแปลงทดลองละ 3 ซ้ำ (replications)

สำหรับการประมาณหาปริมาณผลผลิตในรูปมวลชีวภาพนั้นได้จากสมการแอลโลเมตรี อย่างเดียวกันกับที่ได้พัฒนามาและใช้กับแปลงตัวอย่างเมื่อมีอายุ 4 ปี ที่กล่าวไปแล้วในรายงานฉบับก่อน ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบค่าคงที่ต่างๆ ของสมการแอลโลเมตรีดังกล่าว เมื่อมีอายุได้ 8 ปี โดยการสุ่มตัวอย่างต้นไม้จากขอบแปลงจำนวนแปลงใหญ่ละ 3 ต้น ตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน แล้วตัดลงชั่ง อบแห้ง และนำน้ำหนักแห้งรายต้นไปเทียบกับสมการเดิมตามขนาดของ D^2H ซึ่งพบว่าน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ที่ได้ไม่เบี่ยงเบนไปจากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ กับ D^2H มาก จนกระทั่งทำให้ค่าคงที่ (a และ b) ของสมการแอลโลเมตรีเดิมเปลี่ยนแปลงไปจนผิดสังเกตแต่อย่างใด

ทำการศึกษาการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และด้านความสูง โดยมีอายุของสวนป่าเป็นปัจจัยที่หนึ่งจากการใช้โมเดลการเติบโตตามอายุ ในรูปของ Gompertz คือ $y = k A^B$ แยกวิเคราะห์ไปตามความหนาแน่นของการปลูกป่าหรือตามระยะปลูก (ปัจจัยที่สอง) และตามความหนักเบาของการลิดกิ่ง (ปัจจัยที่สาม)

สำหรับการเติบโตหรือผลผลิตอันเนื่องมาจากปัจจัยที่สอง คือความหนาแน่นของการปลูกป่านั้น ได้นำทฤษฎีของการแก่งแย่งอันเนื่องมาจากความหนาแน่น (C-D effects และ Y-D effects) ของ Shinozaki และ Kira (1956) มาใช้โดยแยกไปตามความหนักเบาของการลิดกิ่ง อันเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยที่สาม เช่นเดียวกับที่ได้เสนอไปแล้วในรายงานฉบับก่อน แต่ในที่นี้ได้วิเคราะห์เฉพาะผลที่เกิดขึ้นในปีที่สิ้นสุดโครงการ (อายุ 8 ปี) เท่านั้น

เนื่องจากปริมาณการเติบโตของต้นไม้ในสวนป่านี้เมื่อสิ้นสุดการปฏิบัติการทางวนวัฒน์ ดังกล่าวนี้ไปแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสวนป่านี้มีอายุได้ 8 ปี ซึ่งอาจจะเป็นอายุที่พอเหมาะสำหรับการตัดฟันไม้ออกไปใช้ประโยชน์นั้น อาจจะมีความแตกต่างกันจึงได้ทำการทดสอบความแปรปรวนของปริมาณการเติบโตแต่ละอย่าง (analysis of variance) โดยใช้ F-test และทดสอบทางสถิติหาความแตกต่างโดยการใช้ lsd (least significant difference) ด้วย

ผลและวิจารณ์

ผลของระยะปลูกและความหนักเบาของการลิดกิ่งต่อการเติบโตทางด้านขนาด

จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดินเฉลี่ย และความสูงของลำต้นเฉลี่ย ตั้งแต่ปีที่ 2 (1 ปีก่อนการลิดกิ่ง ครั้งที่ 1) เป็นต้น ไปจนกระทั่งถึงอายุ 8 ปี ในแต่ละแปลงของสวนป่าที่ปลูกด้วยระยะปลูกหรือความหนาแน่นต่างกันทั้ง 3 ระยะจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงเฉลี่ยเพิ่มพูนขึ้นในระดับต่างๆ กัน แล้วแต่ว่าสวนป่าแปลงนั้นจะได้รับการลิดกิ่งในระดับความหนักเบาเท่าใด ทั้งนี้โดยแต่ละแปลงจะได้รับการลิดกิ่งซ้ำ 3 ครั้ง เมื่ออายุ 3, 4 และ 6 ปี ตามลำดับ (Table 1) แต่เนื่องจากแต่ละแปลงมีปริมาณการเติบโตต่างกันค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสูงเฉลี่ยของต้นไม้ ในแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2 x 8 เมตร ที่ได้รับการลิดกิ่งสูงถึง 5 เมตร ครั้งที่ 1 ในปีที่ 3 และในแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2 x 2 เมตรที่ถูกลิดกิ่งสูงถึง 11 เมตร ครั้งที่ 3 ในปีที่ 6 ที่พบว่ามีความสูงเฉลี่ยต่ำกว่าระดับที่ลิดกิ่งจริงนั้น เนื่องจากว่าเป็นความสูงเฉลี่ยของต้นไม้ทุกต้น โดยที่บางต้นที่มีความสูงน้อยกว่า 5 และ 11 เมตรนั้นจะไม่ถูกลิดกิ่งและบางต้นถูกนับเข้ามาในการสำรวจครั้งหลังๆ เนื่องจากเป็นต้นที่แตกหน่อมาใหม่ ซึ่งเป็นไม้ที่มีขนาดเล็กและมีความสูงน้อยถูกนำไปเฉลี่ยด้วย อย่างไรก็ตาม ต้นไม้ส่วนใหญ่ (มากกว่า 95 %) จะได้รับการลิดกิ่งตามระดับและตามเวลาที่กำหนด และการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดินเฉลี่ย และความสูงของลำต้นเฉลี่ยของสวนป่าที่ปลูกด้วยระยะปลูกต่างกันและมีความหนักเบาของการลิดกิ่งต่างกันตามอายุของสวนป่า สามารถติดตามได้ ดังแสดงไว้ ใน Figure1 และ Figure 2 และจากการทดลองใช้โมเดลแสดงลักษณะการเติบโตด้านนี้ รูปแบบต่างๆ แล้ว ปรากฏว่าการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย และความสูงเฉลี่ยตามอายุนั้น จะอธิบายได้ในรูปของสมการความสัมพันธ์ตามโมเดลการเติบโตแบบ Gompertz growth model คือ $y = k A^{B}$ เมื่อ y คือปริมาณการเติบโตเฉลี่ยทั้งสองอย่างที่กล่าวแล้ว และ t คืออายุของสวนป่า k, A และ B คือค่าคงที่ ดังแสดงไว้ใน Table 2 และ Table 3 ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าสมการความสัมพันธ์นี้ใช้ได้ดีมาก โดยจะมีการเติบโตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่ออายุมากขึ้น ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยหรือความสูงเฉลี่ยกับอายุของสวนป่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในระยะแรกและค่อยๆ ลดลงไปอยู่ในแนวเกือบราบเมื่ออายุของสวนป่ามากขึ้น ยกเว้นแต่ในระยะปลูก 2 x 8 เมตรที่ความสูงเฉลี่ยในทุกแปลงจะยังคงเพิ่มสูงขึ้นโดยที่ยังไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงมากนัก อย่างไรก็ตามการเติบโตทางด้านขนาดทั้งสองอย่างนี้ ยังไม่แสดงการเติบโตแบบ sigmoid (หรือ S-curve) ให้เห็นชัดเจนมากนัก ทั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะแนวโน้มนี้ ไม่ได้ติดตามตั้งแต่ยังเป็นต้นไม้เล็กเมื่ออายุน้อยมากไปจนกระทั่งต้นไม้มีอายุมากไปกว่านี้ และประเด็นสำคัญอย่างเด่นชัดก็คือ การเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของต้นไม้ในแปลงที่ถูกลิดกิ่งอย่างหนัก (5-7-11 เมตร) จะมีลักษณะการเติบ

Table 1. Standard characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* in 3 planting spaces and 2 levels of pruning intensities and control at the time before pruning operations. Each figure is averaged from 3 replications (blocks). y_T = total aboveground biomass

Stand parameters	Pruning period	Spacing (mxm)								
		2x2			2x4			2x8		
		Pruning levels								
3-yr old	1	3 m	5 m	control	3 m	5 m	control	3 m	5 m	control
Mean DBH (cm)		4.67	4.29	4.24	5.23	4.86	5.11	4.62	4.20	5.28
Mean H (m)		5.68	5.46	5.39	5.59	5.70	5.62	4.91	4.91	5.53
y_T (ton/ha)		10.82	9.09	8.69	6.39	5.84	6.43	2.74	2.21	3.34
4-yr old	2	5 m	7 m	control	5 m	7 m	control	5 m	7 m	control
Mean DBH (cm)		6.43	5.66	5.98	7.79	6.89	7.55	7.37	7.03	8.53
Mean H (m)		8.57	8.02	8.32	9.14	8.55	9.05	8.36	8.21	9.01
y_T (ton/ha)		27.99	20.08	22.27	19.91	15.85	19.66	9.83	7.58	12.11
6-yr old	3	9 m	11 m	control	9 m	11 m	control	9 m	11 m	control
Mean DBH (cm)		7.39	6.54	7.30	9.33	8.61	9.98	10.34	9.91	10.73
Mean H (m)		11.46	10.66	11.17	12.66	11.80	13.00	12.11	12.30	12.59
y_T (ton/ha)		49.37	37.58	44.03	38.52	33.22	42.99	23.76	20.05	26.46

Table2. Constant parameters of the mean diameter growth model : $\bar{D} = kA^{B^t}$ of *Eucalyptus camaldulensis* stands planted with 3 planting spaces and 2 levels of pruning intensites and control, $\bar{D}$ = mean diameter at breast height (cm), t = stand age (year)

Spacing (m x m)	Pruning intensity °	k	A	B
2 x 2	3-5-9 m	9.057	0.079	0.635
	5-7-11 m	8.892	0.127	0.706
	control	9.594	0.079	0.679
2 x 4	3-5-9 m	10.814	0.008	0.533
	5-7-11 m	10.940	0.056	0.653
	control	12.735	0.039	0.651
2 x 8	3-5-9 m	14.028	0.019	0.651
	5-7-11 m	13.932	0.018	0.662
	control	14.488	0.012	0.611

Table 3. Constant parameters of the mean height growth model : $\bar{H} = kA^{B^t}$ of *Eucalyptus camaldulensis* stands planted with 3 planting spaces and 2 levels of pruning intensites and control, $\bar{H}$ = mean height (m), t = stand age (year)

Spacing (m x m)	Pruning Intensity	k	A	B
2 x 2	3-5-9 m	14.859	0.071	0.695
	5-7-11 m	14.859	0.086	0.726
	control	15.488	0.068	0.714
2 x 4	3-5-9 m	17.338	0.031	0.675
	5-7-11 m	17.258	0.055	0.716
	control	20.230	0.046	0.731
2 x 8	3-5-9 m	24.547	0.032	0.765
	5-7-11 m	25.177	0.027	0.755
	control	23.659	0.032	0.742

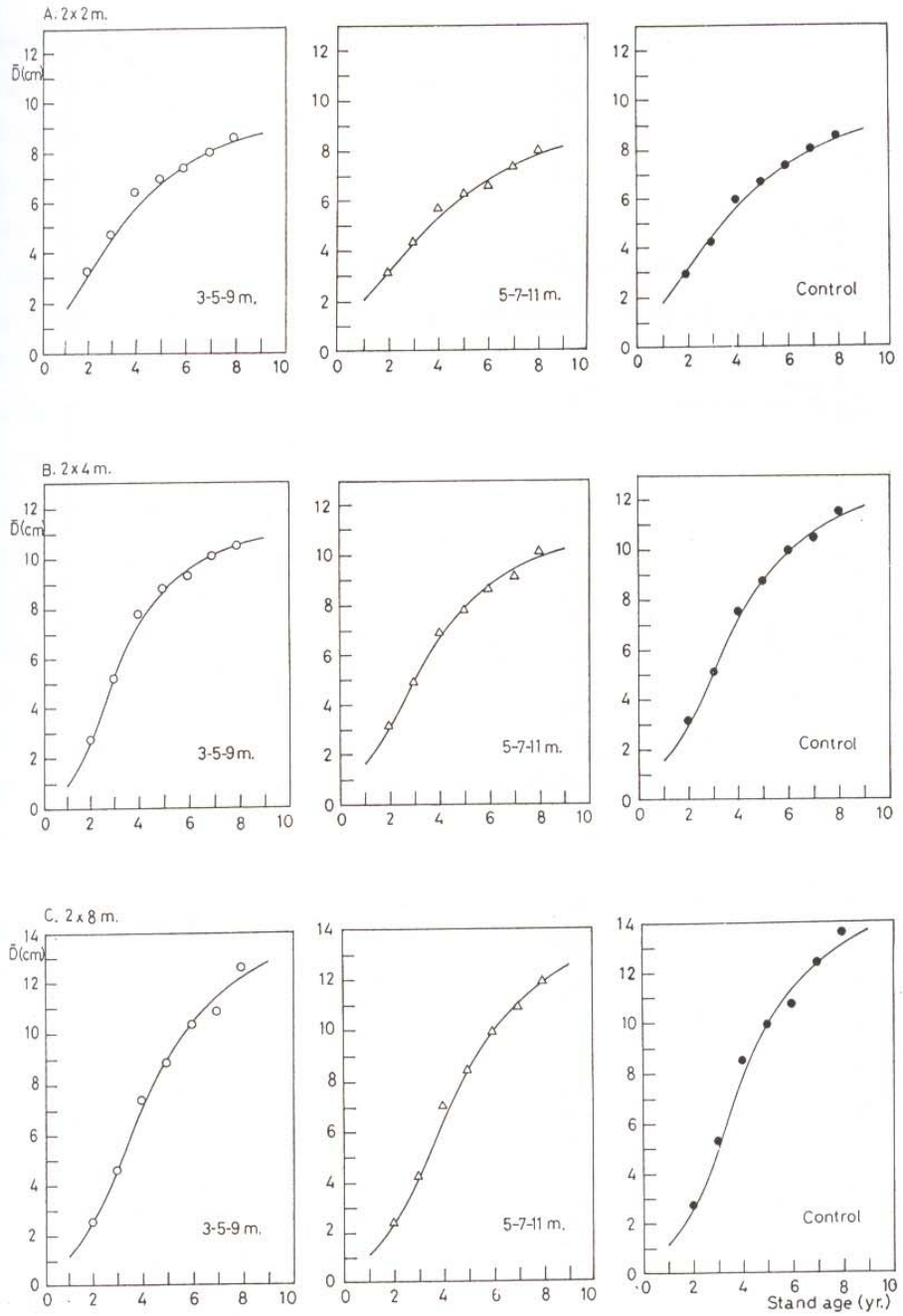

Figure 1. Gompertz growth model fitted to mean diameter at breast height ($\bar{D}$) in 3 planting spaces and 2 levels of pruning intensities and control of *Eucalyptus camaldulensis* plantations using the constants of equations shown in Table 2.

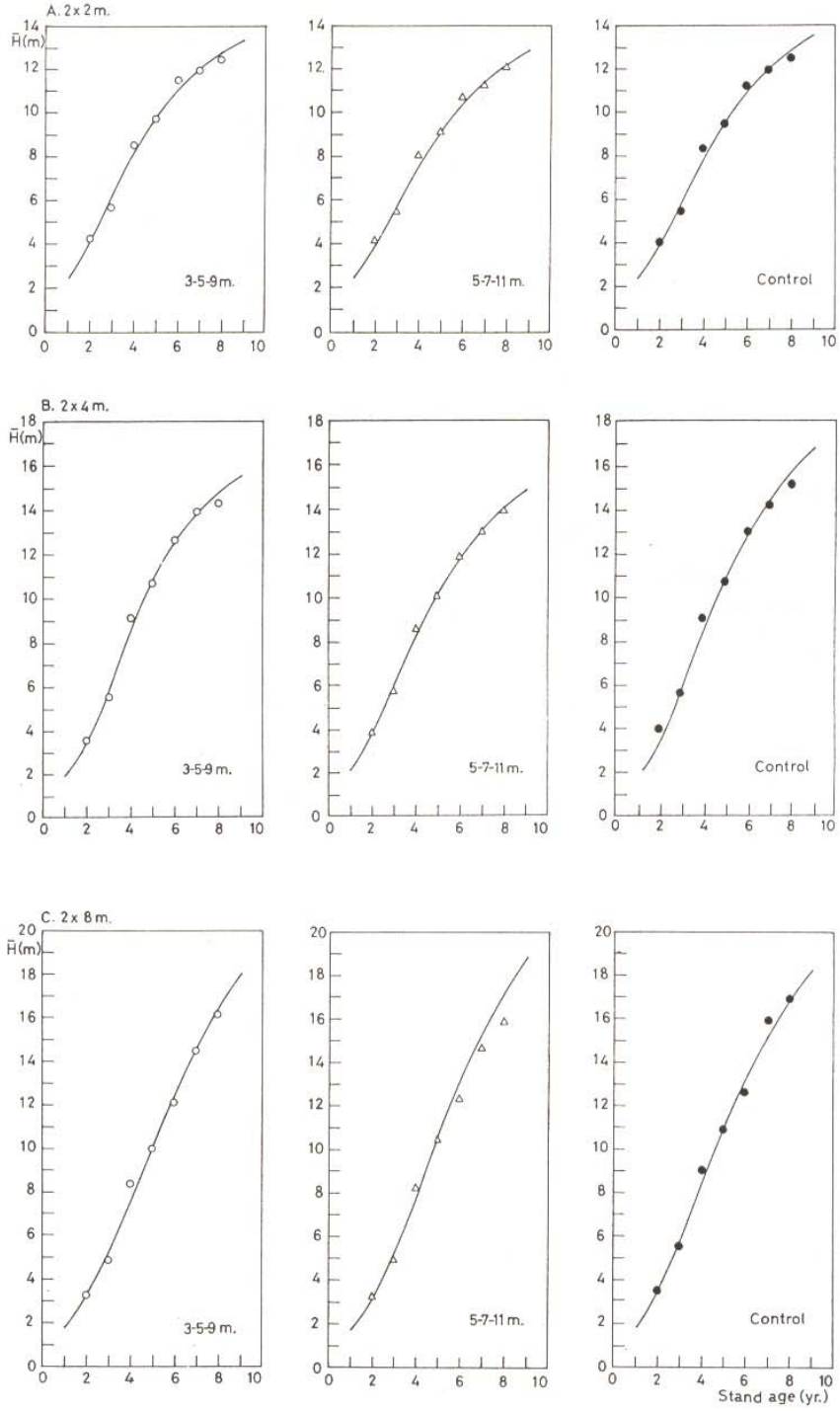

Figure 2. Gompertz growth model fitted to mean height of stem ($\bar{H}$) in 3 planting spaces and 2 levels of pruning intensities and control of *Eucalyptus camaldulensis* plantations using the constants of equations shown in Table 3.

โตทางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย และความสูงเฉลี่ยตามอายุต่ำที่สุดไปตลอดทุกระยะปลูกเมื่อเทียบกับแปลงที่มีการลิดกิ่งอย่างเบา (3-5-9 เมตร) และแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่ง (ควบคุม) ตามลำดับ ซึ่งจะประมาณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยและความสูงเฉลี่ยในปีใดปีหนึ่ง หรือในอนาคตได้จากสมการที่กล่าวแล้วได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งจะเห็นว่าการลิดกิ่งมีผลกระทบต่อการเติบโตทั้งสองด้านนี้พอสมควร

เมื่อศึกษาความแปรปรวนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยและความสูงเฉลี่ยของแต่ละแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูกต่างกัน 3 ระยะและมีการลิดกิ่ง 2 ระดับกับไม่มีการลิดกิ่ง เมื่อสวนป่าไม้นี้มีอายุ 8 ปีดังแสดงไว้ใน Table 4 แล้วจะพบว่าทั้งผลของระยะปลูกและความหนักเบาของการลิดกิ่งทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยและความสูงเฉลี่ยในแต่ละแปลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.1$) กล่าวคือ ในแปลงที่มีระยะปลูก 2 x 8 เมตร และ 2 x 4 เมตร จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยสูงเท่าๆ กันและมีความสูงเฉลี่ยเท่าๆ กัน แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยในแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2 x 4 เมตร จะไม่ต่างจากในแปลงที่มีระยะปลูก 2 x 2 เมตรแต่อย่างใด ทั้งนี้ ในแปลงนี้จะมีความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุดด้วย (Table 4-1) ส่วนผลของการลิดกิ่งนั้นจะมีแนวโน้มอย่างเดียวกัน คือ ในแปลงที่มีการลิดกิ่งอย่างหนักที่สุด จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย และความสูงเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับแปลงที่ลิดกิ่งแต่น้อย และแปลงที่ลิดกิ่งแต่น้อยนี้จะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่ง (Table 4-2) การที่ระยะปลูกชิด (ความหนาแน่นสูง) ทำให้ต้นไม้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยน้อยกว่าในระยะปลูกห่าง (ความหนาแน่นต่ำ) นั้น เป็นที่ทราบกันดีว่าเกิดจากการแก่งแย่งแข่งขันเดียวกับไม้ชนิดอื่นๆ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2530; 2531 ก และ ข; Thoranisorn และคณะ, 1990; 1991) แต่การทำให้ต้นไม้มีขนาดความสูงเฉลี่ยต่ำไปด้วยนั้น การศึกษาส่วนใหญ่จะไม่พบความชัดเจนตรงส่วนนี้ (Evert, 1971) แต่ในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส นี้ นับว่าเป็นพรรณไม้ ที่แสดงผลตอบสนองต่อระยะปลูกอย่างชัดเจน จากการศึกษาในครั้งนี้ ส่วนในแปลงที่มีการลิดกิ่งแต่เพียงเล็กน้อยไม่ทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยและความสูงเฉลี่ยแตกต่างจากแปลงควบคุมนั้น พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2538) พบว่าอัตราการเติบโตทางด้านขนาดทั้งสองอย่างนี้ ในรูปอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ที่ไม่

Table 4. Effects of spacing and pruning intensity on mean diameter at breast height ($\bar{D}$) and mean total height ($\bar{H}$) of 8-year old *Eucalyptus camaldulensis* plantations

4-1 Effects of spacing

Spacing (m x m)	$\bar{D}$ (cm)	$\bar{H}$ (cm)
2 x 2	8.43^{b}	12.32
2 x 2	10.72^{ab}	14.45^{a}
2 x 8	12.71^{a}	16.18^{a}
CV(%)	72.22	55.56
F-calc.	7.461*	7.622*
1sd 0.100	2.364	2.113

4-2. Effects of pruning intensity

Pruning intensity	$\bar{D}$ (cm)	$\bar{H}$ (cm)
3-5-9 m	10.57^{ab}	14.28^{ab}
5-7-11 m	10.04^{b}	13.81^{b}
control	11.24^{a}	14.86^{a}
CV(%)	29.03	23.13
F-calc.	3.609*	3.256*
1sd 0.100	0.795	0.736

* = significant difference, P> 0.100
Figures with the same letters along the column are non-significantly different by 1sd 0.100

แตกต่างกันเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวเฉพาะกิ่งที่อยู่ในบริเวณด้านล่างของเรือนยอด ซึ่งอาจจะถูกเบียดบังเท่านั้นได้ว่า การลิดกิ่งแต่เพียงเล็กน้อย อาจจะช่วยให้การเติบโตดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแปลงที่มีระยะปลูกชิด และลิดกิ่ง

ผลของระยะปลูกและความหนักเบาของการลิดกิ่งต่อผลผลิต

จากการศึกษาผลผลิตในรูปมวลชีวภาพทั้งมวลชีวภาพเฉลี่ย และมวลชีวภาพรวม ในแปลงที่มีระยะปลูก และความหนักเบาของการลิดกิ่งต่างๆ กัน จากผลของการทดสอบความแปรปรวนของผลผลิตมวลชีวภาพของลำต้นเฉลี่ยและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ยที่อายุ 8 ปี ดังแสดงไว้ใน Table 5 ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าทั้งผลของระยะปลูก และความหนักเบาของการลิดกิ่งทำให้ผลผลิตทั้งสองอย่างนี้ เมื่อสวนป่านี้มีอายุ 8 ปี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.100$) โดยในแปลงที่มีระยะปลูกห่างจะมีผลผลิตเฉลี่ยสูงพอๆ กับในแปลงที่มีระยะปลูกค่อนข้างชิด แต่ไม่ต่างกับในแปลงที่มีระยะปลูกชิด ในแนวโน้มอย่างเดียวกัน (Table 5-1) ส่วนผลของการลิดกิ่งนั้น ในแปลงที่มีการลิดกิ่งทั้งอย่างหนักและอย่างเบาจะไม่แตกต่างกัน คือมีผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด และในแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่งเลย (ควบคุม) จะได้ผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุด (Table 5-2) ผลผลิตในลักษณะนี้ได้รับความกระทบกระเทือนจากการลิดกิ่งตั้งแต่สวนป่านี้ได้รับการลิดกิ่งครั้งแรกเมื่ออายุ 3 ปีแล้ว (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2538)

สำหรับผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมนั้น เนื่องจากเป็นผลผลิตที่ได้จากผลผลิตเฉลี่ยต่อต้นคูณด้วยจำนวนต้นที่มีอยู่ ($y = \overline{w} \times \rho$ เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของต้นไม้ที่มีอยู่ในแปลง) จึงเป็นผลผลิตที่นอกเหนือจากจะได้รับอิทธิพลจากระยะปลูก (ความหนาแน่นของการปลูก) แล้ว ยังได้รับอิทธิพลจากจำนวนต้นที่รอดตายอยู่ในแต่ละช่วงเวลาด้วย เพื่อศึกษาผลของการแก่งแย่งต่อผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยได้ทำการวิเคราะห์ผลต่อไป โดยใช้ผลผลิตมวลชีวภาพของแต่ละส่วนเหนือพื้นดินเฉลี่ยที่อายุ 8 ปี ไปสัมพันธ์กับความหนาแน่นของการปลูกป่าจากทฤษฎี C-D effects ของ Shinozaki และ Kira (1956) ซึ่งได้ค่าคงที่ต่างๆ แยกไปตามผลของการใช้มาตราการดังกล่าวแล้ว ดังแสดงไว้ใน Table 6 และตัวอย่างของความสัมพันธ์นี้ ในกรณีที่เป็นมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ย ดังแสดงไว้ใน Figure 3 ซึ่งพบว่า ความสัมพันธ์นี้สอดคล้องอย่างดีกับทฤษฎีดังกล่าว และ

Table 5. Effects of spacing and pruning intensity on mean stem biomass ($\overline{W}_S$) and mean aboveground biomass ($\overline{W}_T$) of 8-year old *Eucalyptus camaldulensis* plantations.

5-1. Effects of spacing

Spacing (m x m)	$\overline{W}_S$ (kg/tree)	$\overline{W}_T$ (kg/tree)
2 x 2	24.60^b	27.89^b
2 x 2	43.14^{ab}	50.41^{ab}
2 x 8	64.26^a	77.13^a
CV(%)	362.33	422.67
F-calc.	6.136*	5.907*
lsd 0.100	24.156	30.577

5-2. Effects of pruning intensity

Pruning intensity	$\overline{W}_S$ (kg/tree)	$\overline{W}_T$ (kg/tree)
3-5-9 m	43.21^a	50.75^a
5-7-11 m	38.09^a	44.33^a
control	50.70	60.35
CV(%)	128.38	147.62
F-calc.	4.993*	5.181*
lsd 0.100	7.153	8.926

* = significant difference, P> 0.100
Figures with the same letters along the column are non-significantly different by lsd 0.100

พบว่าในกรณีที่สวนป่านี้ปลูกโดยไม่มีการลิดกิ่ง (แปลงควบคุม) จะมีผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยสูงกว่าในสวนป่าที่ปลูกด้วยระยะปลูกเดียวกัน แต่ถูกลิดกิ่งออกไป ซึ่งจะน้อยลงไปตามลำดับของความหนักเบาหรือความรุนแรงของการลิดกิ่ง นอกจากนี้ จากความสัมพันธ์ตามทฤษฎีนี้ ทำให้สามารถจะประมาณหาผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยของส่วนต่างๆ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินได้อย่างดี และถูกต้อง (มี r^2 สูงเกินกว่า 0.9 ทั้งสิ้น) และจากนั้นจะสามารถประมาณหามวลชีวภาพรวมของทุกส่วน และของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมดได้ โดยใช้ค่าคงที่ A และ B จากสมการเหล่านี้ เนื่องจากว่าผลผลิตรวมจากทฤษฎี Y-D effects (Yield-Density effects) ของ Shinozaki และ Kira (1956) นั้น สามารถจะวิเคราะห์ต่อไปได้ จากความสัมพันธ์ของผลผลิตเฉลี่ย ดังที่ พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2538) ได้วิเคราะห์ไปแล้วได้โดยไม่ยากนัก

สรุป

ผลของการใช้ระยะปลูกต่างกัน 3 ระยะ (2 x 2, 2 x 4 และ 2 x8 เมตร) และการลิดกิ่ง 2 ระดับ ซึ่งปฏิบัติต่อสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส รวม 3 ครั้ง โดยการเพิ่มระดับความสูงจาก 3 เมตร เป็น 5 และ 9 เมตร และจาก 5 เมตรเป็น 7 และ 11 เมตร และไม่ทำการลิดกิ่งในช่วงเวลาที่สวนป่ามีอายุ 3, 4 และ 6 ปีตามลำดับ แล้วติดตามผลการศึกษาตั้งแต่สวนป่ามีอายุ 2 ปี จนกระทั่งมีอายุได้ 8 ปี สรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน และความสูงของลำต้น จะแสดงความสัมพันธ์กับอายุของสวนป่าด้วยโมเดลการเติบโตของ Gompertz ได้อย่างดี ทำให้สามารถประมาณหาขนาดเฉลี่ยของทั้งสองอย่างนี้ได้อย่างถูกต้อง ตลอดช่วงเวลาตั้งแต่อายุ 2 จนถึง 8 ปี และการเติบโตของขนาดทั้งสองอย่างนี้จะสูงไปอย่างปกติในแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่ง

2. ผลของการใช้ระยะปลูกทั้ง 3 ระยะและความหนักเบาของการลิดกิ่ง 2 ระดับ และไม่มีการลิดกิ่ง ทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย และความสูงเฉลี่ยของลำต้น เมื่อมีอายุ 8 ปี ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.100$) คือ ผลของระยะปลูกห่างจะทำให้ได้ต้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยและความสูงเฉลี่ยสูงเท่าๆ กันกับในระยะปลูกค่อนข้างชิด และมากกว่าระยะปลูกชิด แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยในระยะปลูกชิดและค่อนข้างชิด จะมีขนาดเล็กเท่าๆ กัน สำหรับผลของการลิดกิ่งอย่างหนักจะทำให้ได้ต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย และความสูงของลำต้นเฉลี่ยต่ำเท่าๆ กันกับในแปลงที่ลิดกิ่งอย่างเบา แต่การลิดกิ่งอย่างเบานี้ จะไม่ทำให้ขนาดเฉลี่ยทั้งอย่างนี้แตกต่างจากแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

3. ปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพของลำต้นเฉลี่ยและของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเฉลี่ยเมื่อสวนป่านี้มีอายุ 8 ปี จะได้รับผลกระทบจากการใช้ระยะปลูกและความหนักเบาของการลิดกิ่งในแนวโน้มอย่างเดียวกัน และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.100$) กล่าวคือ ในแปลงที่มีระยะปลูกห่างจะทำให้ได้ผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยทั้งสองอย่างนี้สูงพอๆ กับในแปลงที่มีระยะปลูกค่อนข้างชิด แต่ในแปลงที่มีระยะปลูกค่อนข้างชิดจะต่ำ

Table 6. Constant parameters of the reciprocal equation of the C-D effects ($1/\overline{W} = A\rho + B$) and coefficient of determinations (r^2) of 8-year old *Eucalyptus camaldulensis* stands planted with 3 planting spaces (densities) and 2 levels of pruning intensities and control. $\overline{W}$ = mean biomass (kg/tree), ρ = stand density (tree/ha)

Tree part	Pruning intensity	A	B	r^2
Stem ($\overline{W}_S$)	3-5-9 m	0.00001	0.009	0.991
	5-7-11 m	0.00001	0.010	0.993
	control	0.00002	0.003	0.987
Branch ($\overline{W}_B$)	3-5-7 m	0.00014	0.012	0.998
	5-7-11 m	0.00018	0.012	0.970
	control	0.00019	0.065	0.959
Leaf ($\overline{W}_L$)	3-5-7 m	0.00035	0.186	0.992
	5-7-11 m	0.00039	0.217	0.991
	control	0.00043	0.013	0.979
Total aboveground ($\overline{W}_T$)	3-5-7 m	0.00001	0.007	0.994
	5-7-11 m	0.00001	0.008	0.991
	control	0.0001	0.002	0.984

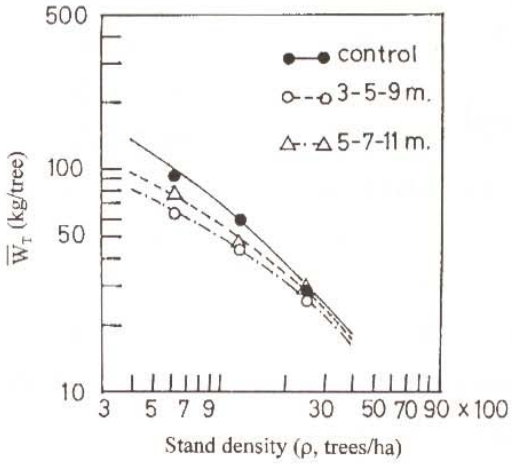

Figure 3. An example of the competition-density effects ($1/\overline{W}_T = A\rho + B$) of 8-year old *Eucalyptus camaldulensis* plantations planted with 3 planting spaces (densities) and 2 levels of pruning intensities and control. For constant values of the equations see Table6.

พอๆ กับในแปลงที่มีระยะปลูกชิด ส่วนผลของการลิดกิ่งทั้งอย่างหนัก และลิดกิ่งอย่างเบา จะทำให้ได้ผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยทั้งสองอย่างนี้ต่ำเท่าๆ กัน แต่ในแปลงควบคุมจะทำให้ได้ผลผลิตรูปนี้สูงที่สุด

4. ผลของการแก่งแย่งระหว่างต้นไม้ชนิดเดียวกัน อันเนื่องมาจากการใช้ระยะปลูก (ความหนาแน่นของการปลูกป่า) ต่างกันทั้ง 3 ระยะ แยกไปตามระดับความหนักเบาของการลิดกิ่งและไม่มีการลิดกิ่งเมื่อสวนป่านี้ มีอายุ 8 ปี สามารถจะอธิบายได้ตามทฤษฎี C-D effects ในแต่ละส่วนของต้นไม้ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมดได้อย่างดี ในรูปของสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยของแต่ละส่วนหรือส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเฉลี่ย กับความหนาแน่นของสวนป่าที่อยู่ในรูปสมการที่เรียกว่า reciprocal equation of C-D effects ซึ่งจะเห็นผลของการแก่งแย่งแตกต่างกันไปแล้วแต่การใช้ระยะปลูกและความหนักเบาของการลิดกิ่งอย่างชัดเจน และประมาณหาปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพทั้งมวลชีวภาพเฉลี่ยและมวลชีวภาพรวมได้ จากผลของการใช้สมการความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อสวนป่านี้มีอายุ 8 ปี

คำนิยม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยเรื่องนี้บางส่วน แก่โครงการที่ วว 1.24 ระหว่างปี 2528-2534 และขอบคุณองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ที่กรุณาอนุมัติให้ใช้พื้นที่ในการวิจัยที่สวนป่าสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์

เอกสารอ้างอิง

พงษ์ศักดิ์ สหุนาหฺ, พิทยา เพชรมาก, จักรพล จักรพลวรฤทธิ์ และปรีชา ธรรมานนท์. 2530. ผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส ที่ปลูกเพื่อการประยุกต์ระบบวนเกษตร. วารสารวนศาสตร์ 6 : 213-238.

พงษ์ศักดิ์ สหุนาหฺ, ปรีชา ธรรมานนท์, คณิต ม่วงนิล, บัวเรศ ประไชโย และสมชาย ธรณิศร. 2531ก. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตของสวนป่าไม้เลี่ยน. *ใน* : การประชุมสัมมนาทางวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 4 ที่พัทยา. กรมป่าไม้. 394-414.

พงษ์ศักดิ์ สหุนาหฺ, ปรีชา ธรรมานนท์, บุญฤทธิ์ ภูริ ยากร, บัวเรศ ประไชโย และประเสริฐ ติยานนท์. 2531ข. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตของสวนป่าไม้สะเดา. *ใน* : การประชุมสัมมนาทางวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 4 ที่พัทยา กรมป่าไม้. 414-433.

พงษ์ศักดิ์ สหุนาหฺ, ปรีชา ธรรมานนท์, บัวเรศ ประไชโย และคณิต ม่วงนิล. 2538. ผลของระยะปลูกและการลิดกิ่งต่ออัตราการเติบโต และผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส. วารสารวนศาสตร์ 14 : 19-31.

Evert, F. 1971. Spacing study - a review. Information report F-MR-X-37. Can. For. Service. 3 *rd* ed. 95 pp.

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.

Thoranisorn, S., P. Sahunalu and K. Yoda. 1990. Density effects and self-thinning in even-aged pure stands of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Bot. Mag. Tokyo. 103 : 283-295.

Thoranisorn, S., P. Sahunalu and K. Yoda. 1991. Density effects and growth analysis in some tropical forest plantations. TROPICS 1 : 35-47.