

ผลของระยะปลูกและการตัดกิ่งต่ออัตราการเติบโตและผลผลิต
ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส

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

พงษ์ศักดิ์ สหุนาฟู¹
ปรีชา ธรรมานนท์¹
บัวเรศ ประชัยโย²
กณิต ม่วงนิล³

Pongsak Sahunalu
Pricha Dhanmanonda
Buared Prachaiyo
Kanit Muangnil

ABSTRACT:- Studies on the effects of 3 planted spacing (2 x 2, 2 x 4 and 2 x 8 m) and 2 pruning levels of 3 and 5 m aboveground with a control by a split-plot in Randomized Block Design with three replications in Somdet plantation, Somdet district, Kalasin province were carried out in 3-year old stands of *Eucalyptus camaldulensis* and their effects at 4-year old (after 1 year of pruning) were followed up in terms of relative growth rates of diameter at breast height, total tree height, mean biomass production of stem, branch, leaf and aboveground and total biomass yield of each part of trees in stands. Analyses of variance of all values of relative growth rate showed significant difference among means at $P > 0.100$ due to the two treatments applied and there was an interaction between the two treatments for the mean relative growth rate of DBH but non-interaction for other growth parameters. Mean relative growth rates of DBH of 2 x 2 m planting space with 3 m pruning level or control plots were equally largest but those of 2 x 4 m planting space was highest in 3 m pruning level plot with the control plot was the next and lowest in 5 m pruning level plot. In 2 x 8 m planting space, this rate was equivalently high in control plot and in 5 m pruning level plot whilst it showed a similar high rate as in 3 m pruning level plot. Mean relative growth rate of total tree height was found to be equally high in 2 x 8 m and 2 x 4 m planting space plots but in 2 x 4 m planting space plot, it was as high as in 2 x 2 m planting space plot. The effects of planting space on mean relative biomass production of stem, leaf and aboveground was equally high in 2 x 8 m and 2 x 4 m planting space plots but in 2 x 4 m and 2 x 2 m planting space plots were not significantly different except for this rate for leaf which showed non-significant difference. The effects of pruning level on this rate in every tree part and in the aboveground part were significantly different and they were higher in the control and 3 m pruning level plots than in the 5 m pruning level plot. The effects of planting spaces and pruning levels on mean biomass production followed well with the theory of C-D effects partitioned into levels of pruning and control. Effects of both treatments on the relative production rate of total biomass yield were found to be in similar trend as for the mean biomass production but the effect of planting space was differently pronounced only for stem, leaf and total aboveground yields but it was not statistically different for branch yield. However, 3 m pruning level showed a tendency of biomass yield improvement more than in the control and 5 m pruning level plots. The effects of these two treatments on total biomass yields were found to be well fitted to the theory of Y-D effects separately to the levels

¹ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900

² สำนักงานป่าไม้เขตขอนแก่น อ.เมือง จ. ขอนแก่น 40000

³ ส่วนแผนงานและสถิติ ฝ่ายทำไม้ภาคตะวันตกและใต้ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ กทม. 10100

of pruning and control and the stand with high planting density (closed-space) and slight pruning might induce a large total biomass yield.

บทคัดย่อ:- การศึกษาผลของการใช้ระยะปลูก 3 ระยะ (2×2 , 2×4 และ 2×8 เมตร) และการลิดกิ่ง 2 ระดับ โดยให้สูงจากพื้นดิน 3 และ 5 เมตร และควบคุมโดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Split-plot ในแปลงสุ่ม และมีจำนวนแปลง 3 ซ้ำ ในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส ในบริเวณพื้นที่ของสวนป่าสมเด็จพระเจ้าภูมิพลอดุลยเดช จังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการลิดกิ่งเมื่อสวนป่ามีอายุ 3 ปี และศึกษาผลกระทบเมื่อสวนป่ามีอายุ 4 ปี (1 ปี ภายหลังการลิดกิ่ง) ในรูปของอัตราการเติบโตสะสมพื้นที่ทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน ความสูงทั้งหมดของลำต้น การผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยของส่วนต่าง ๆ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและด้านการผลิตมวลชีวภาพรวมของส่วนต่างๆ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน พบว่าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเติบโตสะสมพื้นที่ทุกด้าน อันเนื่องมาจากมาตรการทั้งสองมาตรการมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P > 0.100$ และพบว่ามาตรการทั้งสองนี้มีการกระทำร่วมกันต่ออัตราการเติบโตสะสมพื้นที่ทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดินเฉลี่ย ส่วนอัตราการเติบโตสะสมพื้นที่ทางด้านอื่นนั้น ไม่พบการกระทำร่วมกันของมาตรการดังกล่าว ทั้งนี้โดยอัตราการเติบโตสะสมพื้นที่ทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดินเฉลี่ยของสวนป่าที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2×2 เมตรที่ลิดกิ่งสูงจากพื้นดิน 3 เมตรหรือควบคุมจะสูงสุดเท่าๆ กันแต่ในระยะปลูก 2×4 เมตรจะมีอัตราที่สูงสุดในแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 3 เมตรรองลงมา คือ แปลงควบคุมและต่ำสุดในแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 5 เมตร ส่วนในระยะปลูก 2×8 เมตรจะมีอัตราสูงในแปลงควบคุมเท่าๆ กับในแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 5 เมตร และแปลงที่ลิดกิ่งสูง 5 เมตรจะมีอัตราเท่าๆ กับในแปลงที่ลิดกิ่งสูง 3 เมตร อัตราการเติบโตสะสมพื้นที่ทางด้านความสูงเฉลี่ยนั้น ในระยะปลูก 2×8 เมตร จะมีอัตราที่สูงสุดพอๆ กับในระยะปลูก 2×4 เมตร แต่ระยะปลูก 2×4 เมตร จะสูงพอๆ กับในระยะปลูก 2×2 เมตร ผลของระยะปลูกต่ออัตราการผลิตมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ยของส่วนที่เป็นลำต้น ใบ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินจะสูงในระยะปลูก 2×8 เมตร พอๆ กับในระยะปลูก 2×4 เมตร แต่ในระยะปลูก 2×4 เมตร จะไม่ต่างจากในระยะปลูก 2×2 เมตร ยกเว้นอัตราในใบ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลของการลิดกิ่งต่ออัตราในใบทุกส่วนของต้น ใบและส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และในแปลงควบคุมกับแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 3 เมตร จะมีอัตราที่สูงกว่าในแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 5 เมตร ผลของการใช้ระยะปลูกและการลิดกิ่งต่อปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยจะคล้อยตามทฤษฎีผลของความหนาแน่นและการแก่งแย่งที่แยกไปตามระดับของการลิดกิ่งและการควบคุม ส่วนผลของการใช้มาตรการทั้งสองอย่างต่ออัตราการผลิตมวลชีวภาพรวมสัมพัทธ์นั้นจะพบว่าแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับอัตราการผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยสัมพัทธ์ แต่ผลของระยะปลูกต่ออัตรานี้จะแตกต่างกันเฉพาะในส่วนที่เป็นลำต้น ใบ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน แต่ส่วนที่เป็นกิ่งจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลของการลิดกิ่งสูง 3 เมตร มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราที่สูงกว่าในแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่งหรือลิดกิ่งสูง 5 เมตร และผลของการใช้มาตรการทั้งสองอย่างต่อปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพรวมนั้นจะสอดคล้องตามทฤษฎีผลของความหนาแน่นที่มีต่อผลผลิตแยกไปตามระดับของการลิดกิ่ง และการควบคุมและการศึกษานี้พบว่าในสวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่นสูง (ปลูกชิด) นั้น การลิดกิ่งแต่เพียงเล็กน้อยมีแนวโน้มที่จะทำให้ได้รับผลผลิตมวลชีวภาพรวมสูงขึ้น

คำนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส เป็นพรรณไม้ที่สามารถปลูกเป็นสวนป่าได้อย่างกว้างขวางในท้องที่มีสภาพต่างๆ กัน และเทคนิคของการปลูกสร้างสวนป่าตั้งแต่การเตรียมกล้าไม้

ไปจนกระทั่งถึงการปลูกนั้นได้รับการพัฒนามาพอสมควรแล้ว แต่ในขบวนการปลูกป่าเพื่อผลผลิตนั้น ยังมีขั้นตอนที่สำคัญที่จะต้องดูแลบำรุงรักษาสวนป่าจนกว่าจะอายุตัดฟัน ซึ่งเทคนิคที่สำคัญในการดำเนินการปลูกป่าในช่วงดังกล่าว คือ การบำรุงสวนป่า (tending technique) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้พรรณไม้ที่ปลูกเป็นสวนป่านั้นได้มีการเติบโตดี มีรูปทรงที่เหมาะสม และให้ผลผลิตตอบสนองการใช้ประโยชน์ตามที่ต้องการเมื่อถึงระยะเวลาของการตัดฟันไม่ออกไปใช้ประโยชน์ ในบางกรณีการปลูกป่านั้นอาจจะนำเอาระบบการปลูกป่าที่เรียกว่าระบบวนเกษตรมาใช้ควบคู่กันไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดจำนวนต้น หรือ ความหนาแน่นของต้นไม้ให้พอเหมาะเพื่อให้มีที่ว่างเพียงพอสำหรับการปลูกพืชเกษตรแทรกลงไปใหม่ได้ แต่เนื่องจากทั้งพืชเกษตรและไม้ยืนต้นที่ปลูกร่วมกันต่างก็มีการเติบโตไปตามอายุและระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่เท่ากันระหว่างพืชทั้งสองประเภท ดังนั้น จะมีระยะเวลาหนึ่งที่พื้นที่นั้นไม่อาจจะปลูกพืชเกษตรแทรกได้ต่อไปอีก จำเป็นจะต้องทำการเปิดช่องว่างให้มีที่ว่างเพียงพอเพื่อที่จะปลูกพืชเกษตรต่อไปได้อีก ความจำเป็นต้องปฏิบัติกับสวนป่าในช่วงเวลานี้จึงต้องใช้เทคนิคการบำรุงสวนป่า ซึ่งอาจจะทำได้โดยวิธีการตัดสาขาระยะ (thinning) ไม้ยืนต้นออกไปหรือทำการลิดกิ่ง (pruning) ไม้ยืนต้นนั้นๆ เพื่อเปิดช่องว่างให้มีแสงสว่างเพียงพอที่จะปลูกพืชเกษตรแทรกไปได้

ในการปลูกป่าโดยนำเอาระบบวนเกษตรมาใช้ในทางปฏิบัติ โดยองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ นั้น มักจะปลูกป่าโดยใช้ระยะปลูก (spacing) ที่ห่างกันแต่แรก คือ 2 x 8 เมตร สำหรับไม้โตเร็ว เช่น ไม้เลื้อย และไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้ความหนาแน่นของต้นไม้ที่ปลูกมีจำนวนเท่ากับ 100 ต้น/ไร่ (625 ต้น/เฮกแตร์) ซึ่งเป็นระดับความหนาแน่นที่ตายตัว ซึ่งโดยปรกติแล้วหากไม่มีการปฏิบัติอย่างอื่นต่อสวนป่าแล้ว จะทำให้สามารถปลูกพืชเกษตรแทรกได้เป็นเวลาไม่เกิน 3 ปี เพราะหลังจากนั้นแล้ว จะทำให้ผลผลิตของพืชเกษตรที่ปลูกแทรกต่ำลง ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องย้ายไปปลูกป่าในที่แห่งใหม่ต่อไป เมื่อมีปัญหาเรื่องที่ดินที่จะขยายพื้นที่สวนป่าออกไปก็จะทำให้มีความจำเป็นต้องกลับมาปลูกพืชเกษตรแทรกในสวนป่าเดิม ซึ่งหลีกเลี่ยงไม่พ้นที่จะต้องทำการลิดกิ่งต้นไม้เพื่อเปิดเรือนยอดให้มีแสงสว่างส่องถึงพื้นดินอย่างเพียงพอ ซึ่งในระยะ 2-3 ปีแรกนี้ ต้นไม้ยังไม่โตพอที่จะทำการตัดสาขาระยะออกไป แต่เทคนิคและวิธีการตลอดจนผลที่จะเกิดขึ้นตามมาจากการลิดกิ่งต้นไม้ จะมีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของต้นไม้ อย่างไรบ้างนั้น ยังไม่เคยได้มีการศึกษามาก่อน และหากปฏิบัติการโดยชาวไร่ที่ขาดความรู้ ความชำนาญก็มักจะไม่นำถึงถึงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับต้นไม้ในสวนป่านั้นๆ

การลิดกิ่งต้นไม้เป็นการลดปริมาณกิ่งและใบไม้ในเรือนยอดของต้นไม้ลง ซึ่งโดยปรกติแล้วในการปลูกป่าโดยใช้ความหนาแน่นสูง (ระยะปลูกชิด) นั้น พรรณไม้มักจะมีการลิดกิ่งโดยธรรมชาติ (natural pruning) เนื่องมาจากการเบียดบังกันของกิ่งที่อยู่ด้านข้างทำให้ต้นไม้มีลำต้นที่เปลาตรง และปราศจากกิ่งใหญ่ตามบริเวณลำต้น ทำให้เนื้อไม้ปราศจากตำหนิ ได้ต้นไม้ที่มีคุณภาพของเนื้อไม้สูง อย่างไรก็ตามมนุษย์ก็สามารถช่วยลิดกิ่งต้นไม้ (artificial pruning) ได้ แต่การลิดกิ่งมากเกินไป ก็ย่อมก่อให้เกิดผลเสียต่อต้นไม้เช่นเดียวกัน คือ อาจจะลดปริมาณกิ่งและใบไม้ลงไปเป็นปริมาณมาก ทำให้ลดส่วนที่ทำหน้าที่ใน

การสังเคราะห์แสงลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็นใบไม้ ดังนั้น จึงอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเติบโตของต้นไม้ได้ไม่มากนักน้อย ในการศึกษาเรื่องนี้ เพื่อต้องการทราบว่าการลิดกิ่งไม้ยูคาลิปตัส กามาลดูเลนซิส อายุ 3 ปี ที่ปลูกด้วยระยะปลูก (ความหนาแน่นของการปลูก) ต่างกัน 3 ระยะ คือ 2×2 , 2×4 และ 2×8 เมตร และลิดกิ่งด้วยระดับความสูงจากพื้นดิน 2 ระดับ คือ 3 และ 5 เมตร และไม่มีการลิดกิ่ง (ควบคุม) จะมีผลต่ออัตราการเติบโตของสวนป่าไม้ชนิดนี้อย่างไรบ้าง ซึ่งการกำหนดระดับความสูงของการลิดกิ่ง 2 ระดับนี้ พิจารณาจากความสูงทั้งหมดของต้นไม้เป็นเกณฑ์และกำหนดระดับของการลิดกิ่งให้คงที่ (fixed height) เพื่อให้สะดวกต่อการปฏิบัติต่อต้นไม้ส่วนใหญ่ให้ได้รับการลิดกิ่งมากน้อยต่างกันแล้วแต่ความสูงของต้นไม้

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการลิดกิ่งเมื่อปี 2529 ในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส กามาลดูเลนซิส ซึ่งปลูกขึ้นในปี 2526 ด้วยระยะปลูก 2×2 , 2×4 และ 2×8 เมตรเมื่อสวนป่านี้มีอายุได้ 3 ปี ที่สวนป่าสมเด็จพระเจ้าภูมิพลอดุลยเดช จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยการวางแผนการทดลองแบบ Split-plot ในแปลงสุ่ม (randomized block) โดยให้ระยะปลูก (spacing) เป็น main plot มีจำนวนแปลง 3 ซ้ำ (blocks) และแบ่งเป็นแปลงย่อย (sub-plot) 3 แปลงย่อยต่อแปลงใหญ่ ในแต่ละแปลงย่อยทำการลิดกิ่งที่ระดับ 3 เมตร และ 5 เมตรเหนือพื้นดิน และไม่มีการลิดกิ่งหรือควบคุม (control) ในแปลงย่อยทุกแปลงโดยสุ่ม ดังนั้น ในแปลงใหญ่ทั้งหมดจะมีแปลงย่อยทั้งสิ้น 27 แปลงย่อย ก่อนทำการลิดกิ่งได้ทำการสำรวจวัดต้นไม้ทุกต้นในแปลงโดยเว้นไม้ขอบแปลงไว้แปลงย่อยละ 2 แถวโดยรอบ ทำให้แปลงย่อยที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2×2 , 2×4 และ 2×8 เมตร มีต้นไม้ที่ต้องตรวจวัดลิดกิ่งและควบคุม จำนวน 35, 28 และ 14 ต้น/แปลงย่อยตามลำดับ หรือคิดเป็นพื้นที่แปลงตัวอย่าง 140, 224 และ 224 ตารางเมตรตามลำดับ (โดยไม่รวมขอบแปลง) การสำรวจวัดต้นไม้ได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปีที่ 2 (1 ปี ก่อนการลิดกิ่ง) ปีที่ 3 (ปีที่ลิดกิ่ง) และปีที่ 4 (1 ปี ภายหลังการลิดกิ่ง) โดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ที่ระดับชิดดิน (Do) ที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน (D) และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (H) ของต้นไม้ทุกต้นภายในแปลงตัวอย่าง ทำการลิดกิ่งด้วยเคียวลับให้คม วางชิดต้นไม้แล้วค่อย ๆ ดึงกิ่งลงให้ขาดออกจากลำต้น ในกรณีที่กิ่งใหญ่มาก ทำการลิดกิ่งด้วยเลื่อยกันชนให้ชิดลำต้นเช่นเดียวกัน ทำการชั่งน้ำหนักกิ่งและใบของต้นไม้แต่ละต้นที่ลิดออกรวมทั้งแปลง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณกิ่งและใบที่มีอยู่ในแต่ละแปลงตัวอย่าง

สำหรับปริมาณมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้นไม้แต่ละต้น และดัชนีพื้นที่ผิวใบ (leaf area index, LAI) ของต้นไม้ทั้งหมด ในแต่ละแปลงในปีที่ 2 และ 3 คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรี ซึ่งพัฒนามาจากการตัดต้นไม้ตัวอย่างจากขอบแปลงในแปลงทดลองระยะปลูกละ 5 ต้นเมื่อมีอายุ 3 ปี ซึ่งได้สมการแอลโลเมตรีดังนี้คือ

$$(1) \text{ ระยะปลูก } 2 \times 2 \text{ เมตร : } w_s = 0.0145 (D_o^2 H)^{0.944}, \quad r^2 = 0.966$$

$$w_B = 0.0048 (D^2 H)^{1.007}, \quad r^2 = 0.883$$

$$w_L = 0.0117 (D_o^2 H)^{0.853}, \quad r^2 = 0.923$$

(2) ระยะปลูก 2 x 4 และ 2 x 8 เมตร :

$$w_s = 0.0297 (D^2 H)^{0.908}, \quad r^2 = 0.994$$

$$w_B = 0.0182 (D^2 H)^{0.794}, \quad r^2 = 0.831$$

$$w_L = 0.0036 (D^2 H)^{0.898}, \quad r^2 = 0.862$$

สำหรับปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 4 ปี ซึ่งเป็นระยะภายหลังจากการลิดกิ่งแล้ว 1 ปีนั้น เนื่องจากรูปทรงของต้นไม้ได้เปลี่ยนแปลงไปเนื่องมาจากการลิดกิ่งจึงจำเป็นต้องหาสมการแอลโลเมตรีมาใหม่ ทั้งนี้ได้จากสมการซึ่งพัฒนาจากการเลือกต้นไม้ตัวอย่างจากบริเวณขอบแปลงใหญ่ละ 5 ต้น รวม 15 ต้น คัดลงมาดำเนินการหาสมการโดยคิดรวมกันทุกระยะปลูกได้ดังนี้

$$w_s = 0.057 (D^2 H)^{0.877}, \quad r^2 = 0.996$$

$$w_B = 0.0002 (D^2 H)^{1.337}, \quad r^2 = 0.923$$

$$w_L = 0.001 (D^2 H)^{0.980}, \quad r^2 = 0.906$$

และ $w_T = w_s + w_B + w_L$ ในเมื่อ w_s , w_B , w_L และ w_T คือมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (กก./ต้น) ตามลำดับ $D_o^2 H$ หรือ $D^2 H$ คือผลคูณของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับซัดดิน หรือที่ระดับ 1.30 เมตรเหนือพื้นดินยกกำลังสอง คูณด้วยความสูงทั้งหมดของต้นไม้ และมีหน่วยเป็น ซม.²ม.

จากนั้นคำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพรวมต่อพื้นที่ซึ่งจะได้ปริมาณมวลชีวภาพรวมของส่วนที่เป็นลำต้น (y_s) กิ่ง (y_B) ใบ (y_L) และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (y_T) โดยมีหน่วยเป็น ต้น/เฮกแตร์

สำหรับดัชนีพื้นที่ผิวใบ คำนวณได้จาก $SLA \cdot y_L$ (เฮกแตร์/เฮกแตร์) ในเมื่อ SLA คือ พื้นที่ผิวใบจำเพาะ (specific leaf area) ซึ่งได้จากพื้นที่ผิวใบ (ด้านเดียว) ของใบไม้ชนิดนี้ ซึ่งสุ่มตัวอย่างมาหาพื้นที่ผิวใบโดยใช้ planimeter (ตารางชม.) ต่อน้ำหนักแห้งของใบ (กรัม) ในที่นี้ได้ค่า SLA เท่ากับ 1.35 เฮกแตร์/ต้น และ y_L คือ มวลชีวภาพของใบต่อพื้นที่ดิน (ตัน/เฮกแตร์) ของต้นไม้ในแต่ละแปลงตัวอย่าง

สำหรับอัตราการเติบโตเฉลี่ยของต้นไม้ในแต่ละแปลงนั้น ศึกษาในรูปอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate, RGR) เนื่องจากว่าไม่ว่าจะเป็นอัตราการเพิ่มพูนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ของความสูง ของมวลชีวภาพเฉลี่ยรายต้น และของมวลชีวภาพรวมก็ตามจะขึ้นอยู่กับขนาด และมวลชีวภาพเดิมที่มีอยู่ก่อนการใช้มาตรการการลิดกิ่งซึ่งไม่เท่ากัน ดังนั้นการศึกษาในรูปอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ จึงเป็นการเทียบให้ปริมาณเหล่านี้มีค่าเท่ากัน ซึ่งค่า RGR นี้ เป็นดัชนีที่มีประโยชน์ต่อการศึกษการเติบโตของพืชป่าไม้อันเนื่องมาจากการใช้วนวัฒนปฏิบัติ (พญัสถค์, 2522) ทั้งนี้ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{RGR } \bar{D} &= \frac{\ln Dt_1 - \ln Dt_0}{t_1 - t_0} && (\text{ชม./ชม.ปี}) \\ \text{RGR } \bar{H} &= \frac{\ln Ht_1 - \ln Ht_0}{t_1 - t_0} && (\text{ม./ม.ปี}) \\ \text{RGR } \bar{w} &= \frac{\ln wt_1 - \ln wt_0}{t_1 - t_0} && (\text{กก./กก.ปี}) \\ \text{RGR } \bar{y} &= \frac{\ln yt_1 - \ln yt_0}{t_1 - t_0} && (\text{ตัน/ตัน.ปี}) \end{aligned}$$

ในเมื่อ $\bar{D}$, $\bar{H}$, $\bar{w}$ และ $\bar{y}$ คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (ชม.) ความสูงเฉลี่ย (ม.) มวลชีวภาพของแต่ละส่วนเฉลี่ย (กก./ตัน) และมวลชีวภาพรวมต่อพื้นที่ของส่วนต่างๆ (ตัน/เฮกแตร์) ทั้งนี้ โดยให้ t_0 คืออายุ 3 ปี (ก่อนการลิดกิ่ง) และ t_1 คืออายุ 4 ปี (1 ปีหลังการลิดกิ่ง) และ $\ln$ คือ ล็อกการิทึมฐานธรรมชาติ

ทำการทดสอบความแปรปรวน (analysis of variance) ของค่าอัตราการเติบโตสัมพัทธ์แต่ละค่าโดยใช้ F-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละค่าโดยใช้ lsd (least significant difference)

เนื่องจากระยะปลูก (spacing) หรือ ความหนาแน่นของการปลูกป่า (stand density) มีผลต่อการเติบโตในรูปของผลของการแก่งแย่งอันเนื่องมาจากความหนาแน่น หรือ C-D effects (Competition-Density effects) และ Y-D effects (Yield-Density effects) ตามทฤษฎีของ Shinozaki และ Kira (1956) ดังนั้น จึงแยกวิเคราะห์ผลของความหนาแน่นต่อการเติบโตในรูปผลผลิตมวลชีวภาพแยกไปตามระดับของการลิดกิ่งโดยอาศัยทฤษฎีดังกล่าวด้วย

ผลและวิจารณ์

1. ผลของระยะปลูกและการลิดกิ่งต่ออัตราการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูง

สภาพของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส อายุ 3 ปี ในแต่ละแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูกต่างกัน 3 ระยะ ก่อนการลิดกิ่งและในแปลงย่อยแต่ละแปลงที่ทำการลิดกิ่งและใบไม้ออกไป 2 ระดับ พร้อมทั้งแปลงควบคุม แสดงไว้ใน Table 1. ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออายุ 3 ปีนั้น สวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส มีขนาดการเติบโตและเปอร์เซ็นต์รอดตายต่างกัน โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.20-5.28 ซม. ขนาดความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.91-5.70 ม. และรอดตายเฉลี่ยระหว่าง 89.28-95.24% โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2 x 8 เมตร และทำการลิดกิ่งด้วยระดับสูง 5 เมตร จากพื้นดินมีความสูงเฉลี่ย 4.91 ม. ซึ่งพบว่าน้อยกว่า 5 ม. นั้น เนื่องจากภายในแปลงมีความผันแปรของความสูงของลำต้นในระหว่างต้นไม้มากจึงทำให้ค่าเฉลี่ยของความสูงดูเหมือนว่าจะน้อยกว่า 5 ม. แต่โดยข้อเท็จจริงแล้ว ทุกแปลงก็มีความผันแปรคล้ายคลึงกัน แต่ในทางปฏิบัตินั้น ต้นที่มีความสูงน้อยกว่า 3 ม. หรือ 5 ม. ในที่นี้จะไม่ถูกลิดกิ่งไปด้วย อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ชัดว่าปริมาณกิ่ง และใบที่ถูกลิดออกไปนั้น มีปริมาณแตกต่างกันไปแล้วแต่ระดับความสูงของการลิดกิ่ง และระยะปลูกโดยในแปลงที่มีระยะปลูกห่าง (ความหนาแน่น

น้อย) จะถูกนำออกไปมากกว่าในแปลงที่มีระยะปลูกชิด (ความหนาแน่นมาก) ถ้าหากลิดกิ่งสูงมากขึ้น ทั้งนี้ เพราะว่าการแปลงที่มีระยะปลูกห่างจะมีปริมาณมวลชีวภาพรวมของกิ่งและใบน้อยกว่าในแปลงที่มีระยะปลูกชิด (Table 1)

ภายหลังจากการลิดกิ่งไปแล้ว 1 ปี (เมื่อสวนป่ามีอายุ 4 ปี) จะพบว่าอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยนั้น จะแตกต่างกันไปแล้วแต่ระยะปลูก และระดับการลิดกิ่ง (ที่ $P > 0.100$) ดังแสดงไว้ใน Table 2 อย่างไรก็ตามปรากฏว่าทั้งสองมาตรการนี้มีการกระทำร่วมกัน (interaction) ด้วย กล่าวคือ สำหรับระยะปลูกเพียงอย่างเดียว นั้น ระยะปลูก 2 x 4 และ 2 x 8 เมตร จะทำให้อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยสูงกว่าในระยะปลูก 2 x 2 เมตร แต่ในระยะปลูก 2 x 4 เมตร นี้จะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับในระยะปลูก 2 x 2 เมตร (Table 2-1) ข้อเท็จจริงข้อนี้ อธิบายได้ว่า ระยะปลูกห่าง (2 x 4 และ 2 x 8 เมตร) นั้น ต้นไม้มีช่องว่างมากพอที่จะเติบโตได้อย่างดีโดยมีการแก่งแย่งบ้าง แต่น้อยกว่าในระยะปลูกชิด (2 x 2 เมตร) คือ มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์สูงถึง 35-65 % ของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของขนาดอย่างเดียวกันนี้ในระยะปลูกชิด ส่วนผลกระทบของการลิดกิ่งนั้นจะพบว่าในแปลงที่มีการลิดกิ่งในระดับสูง 3 เมตร จะมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยสูงพอๆ กับในแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่ง (แปลงควบคุม) แต่แปลงที่มีการลิดกิ่งสูงถึง 5 เมตร จะมีอัตรานี้น้อยกว่าในสองแปลงแรกอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือการลิดกิ่งมากเกินไป จะมีผลลบต่อการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันในทุกระยะปลูกที่เปรียบเทียบกัน (Table 2-2)

Table 1. Existing condition and plant parts removed by pruning of 3-yr old *Eucalyptus camaldulensis* plantations

Stand condition	Spacing (m x m)								
	2 x 2			2 x 4			2 x 8		
	Pruning levels								
	3m	5m	control	3m	5m	control	3m	5m	control
Existing :									
Mean D (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
Mean survival (%)	94.29	95.24	93.33	92.86	89.28	95.24	90.48	92.86	92.86
Stem biomass (ton/ha)	3.31	3.34	2.98	1.21	1.50	1.56	0.46	0.43	0.58
Branch biomass (ton/ha)	1.94	1.49	1.42	0.84	0.78	0.85	0.47	0.43	0.57
Leaf biomass (ton/ha)	3.72	3.12	3.00	1.78	1.65	1.79	0.92	0.74	1.12
LAI (ha/ha)	5.03	4.22	4.04	2.40	2.23	4.41	1.24	1.00	1.51
Removed by pruning :									
Branch (%)	13.81	53.63	-	53.01	78.35	-	61.56	76.28	-
Leaf (%)	7.47	44.38	-	31.99	48.54	-	45.24	73.05	-
LAI (%)	7.44	44.32	-	31.96	48.37	-	45.56	73.05	-

เนื่องจากว่ามาตรการทั้งสองอย่างนี้มีการกระทำร่วมกัน ดังกล่าวแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลของการกระทำร่วมกันของมาตรการทั้งสองนี้ต่อไป โดยพิจารณาถึงผลของการลิดกิ่งในระยะปลูกเดียวกัน (Table 2-3) แล้วพบว่า การลิดกิ่งสูง 3 เมตร และไม่ลิดกิ่งจะไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ในแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2 x 2 เมตร แต่เมื่อลิดกิ่งสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเติบโตด้านนี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในระยะปลูก 2 x 4 เมตรนั้น การลิดกิ่งสูงเพียง 3 เมตร มีแนวโน้มที่จะทำให้มีอัตราการเติบโตดีกว่าในแปลงควบคุมแต่การลิดกิ่งสูงถึง 5 เมตร จะทำให้อัตราการเติบโตลดลงต่ำสุดอย่างชัดเจน แต่ในแปลงที่มีระยะปลูก 2 x 8 เมตร ซึ่งเป็นระยะปลูกที่ห่างที่สุดนั้น จะปรากฏว่าอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะสูงในแปลงควบคุมพอๆ กับในแปลงที่ลิดกิ่งสูงเพียง 3 เมตร แต่ถ้าลิดกิ่งสูงถึง 5 เมตรจะมีอัตราการเติบโตรูปร่างนี้ลดลง เมื่อศึกษาผลของระยะปลูกในระดับของการลิดกิ่งระดับเดียวกันแล้วพบว่า ในระยะปลูกห่าง (2 x 4 และ 2 x 8 เมตร) ที่ลิดกิ่งสูง 3 เมตรนั้น จะมีอัตราการเติบโตรูปร่างนี้ดีกว่าในแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูกชิด (2 x 2 เมตร) ก็สูงกว่าประมาณ 1.5-1.6 เท่า แต่เมื่อลิดกิ่งสูงถึง 5 เมตรจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ ระยะปลูกชิดจะมีอัตรานี้น้อยที่สุดและเพิ่มขึ้นตามระยะปลูกตามลำดับ ส่วนแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่งนั้นจะมีอัตรานี้สูงในแปลงที่ปลูกห่างและลดลงไปในแปลงที่ปลูกชิดตามลำดับ (Table 2-4) อย่างไรก็ตาม Marshall และ Foot (1969) และ Karani (1978) กล่าวว่า การลิดกิ่งนั้นแม้ว่าจะนำเอาส่วนของเรือนยอดที่มีชีวิตอยู่ (live crown) ออกไปเพียง 20 % ของเรือนยอดก็จะมีผลต่อการยับยั้งการเติบโตเพิ่มพูนทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไม้ *Pinus patula* เมื่อเปรียบเทียบกับต้นไม้ที่ไม่มีการลิดกิ่ง และถ้ามีการลิดกิ่งรุนแรงไปถึง 60 % จะยังลดการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและด้านความสูงของต้นไม้ไปด้วย แต่ Vincent (1972) พบว่าไม้มะฮอกกานี (*Swietenia macrophylla*) นั้น แม้การลิดกิ่งจะสูงถึง 1/2 ของความสูงของต้นไม้ก็จะมีผลต่อการเติบโต แต่สำหรับยูคาลิปตัส นั้น ถ้าลิดกิ่งถึง 25 % ของเรือนยอดที่มีชีวิตอยู่จะถือว่าอยู่ในขั้นรุนแรงแล้ว

สำหรับอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงนั้น ผลของระยะปลูกจะมีต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านนี้อย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.100$) ดังแสดงไว้ใน Table 2 - 5 กล่าวคือ ระยะปลูกห่าง (2 x 4 และ 2 x 8 เมตร) มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงมากกว่าในระยะปลูกชิด (2 x 2 เมตร) แต่การลิดกิ่งระดับต่างๆ จะไม่มีผลกระทบแต่อย่างใด ต่ออัตราการเติบโตด้านนี้ (Table 2-6) จึงอาจจะกล่าวได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแล้ว อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงจะได้รับผลกระทบกระเทือนจากการลิดกิ่งน้อยมาก

2. ผลของระยะปลูกและการลิดกิ่งต่ออัตราการผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยและผลผลิตมวลชีวภาพรวมต่อพื้นที่

เนื่องจากการลิดกิ่งเป็นการนำเอามวลชีวภาพของส่วนที่เป็นกิ่งและใบออกไปจากเรือนยอดของต้นไม้ ดังนั้น เท่ากับไปลดส่วนของต้นไม้ที่มีหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ดังจะเห็นได้ชัดเจนจาก Table 1

Table 2. Effects of spacing and pruning levels on mean relative growth rate of mean diameter at breast height (RGRD) and mean total height (RGRH) of 4-yr old *Eucalyptus camaldulensis* plantations

2-1. Effects of spacing		2-2. Effects of pruning	
Spacing (m x m)	RGRD (yr ⁻¹)	Pruning levels	RGRD (yr ⁻¹)
2 x 2	0.333 ^b	3m	0.460 ^a
2 x 4	0.450 ^{ab}	5m	0.413
2 x 8	0.551 ^a	control	0.452 ^a
CV (%)	20.11	CV (%)	5.40
F-calc.	5.972*	F-calc.	5.639*
lsd 0.100	0.134	lsd 0.100	0.030
2-3. Effect of pruning level in the same spacing on RGRD (yr ⁻¹)		2-4. Effect of spacing in the same pruning levels on RGRD (yr ⁻¹)	
Pruning levels	Spacing (m x m)	Spacing (m x m)	Pruning levels
	2 x 2 2 x 4 2 x 8	2 x 2 2 x 4 2 x 8	3m 5m control
3m	0.347 ^a 0.522 0.538 ^a	0.347 0.297 0.355 ^b	
5m	0.297 0.397 0.544 ^{ab}	0.522 ^a 0.397 0.430 ^{ab}	
control	0.355 ^a 0.430 0.572	0.538 ^a 0.544 0.572 ^a	
F-calc.	 3.383*	 3.383*	
lsd 0.100	 0.030	 0.142	
2-5. Effects of spacing		2-6. Effects of pruning	
Spacing (m x m)	RGRH (yr ⁻¹)	Pruning levels	RGRH (yr ⁻¹)
2 x 2	0.353 ^b	3m	0.433
2 x 4	0.425 ^{ab}	5m	0.400
2 x 8	0.472 ^a	control	0.417
CV (%)	12.97	CV (%)	4.70
F-calc.	4.643	F-calc.	4.717 ^{NS}
lsd 0.100	0.083	lsd 0.100	-

* = significant different, P > 0.100; NS = non-significant different

Figures with the same letters along the column are non-significantly different by lsd 0.100

แล้วว่าพื้นที่ผิวใบของสวนป่านี้ถูกลดลงไปเป็นปริมาณมากน้อยต่างกันไปตามความหนักเบาของการลิดกิ่ง กล่าวคือ การลิดกิ่งสูง 3 เมตรจะลดปริมาณพื้นที่ผิวใบไปน้อยกว่าการลิดกิ่งสูง 5 เมตร และยังเป็นระยะปลูกห่างซึ่งมีปริมาณพื้นที่ผิวใบน้อยอยู่แล้วจะยิ่งลดปริมาณลงไปเป็นอันมาก หากลิดกิ่งในระดับสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการผลิตรายปีของมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อต้นแล้ว จะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P > 0.100) ของอัตราการผลิตรายปีของมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ยของมวลชีวภาพของสวนต่างๆ และของสวนที่อยู่เหนือพื้นดิน ทั้งจากมาตรการด้านระยะปลูกและการลิดกิ่งระดับต่างๆ แต่ไม่พบนัยสำคัญของการกระทำร่วมกันของทั้งสองมาตรการนี้ และมาตรการทางด้านระยะปลูกนี้จะทำให้อัตรา

การผลิตมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ยของลำต้น กิ่ง และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมดเฉลี่ยมีแนวโน้มที่จะมีอัตราที่สูงในระยะปลูกห่างกว่าในระยะปลูกชิด แต่อัตราในใบจะชัดเจนที่สุด คือระยะปลูกห่างจะมีอัตราที่สูงสุด และลดลงในระยะที่ปลูกชิดเข้ามาตามลำดับ (Table 3-1) แต่การลิดกิ่งในระดับ 3 เมตร จะไม่ทำให้อัตราการผลิตมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ยของส่วนต่างๆ แตกต่างกับแปลงที่ไม่ได้ลิดกิ่ง แต่การลิดกิ่งสูงถึง 5 เมตร จะทำให้อัตราการเติบโตในรูปนี้้น้อยที่สุด (Table 3-2) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะเหตุที่ว่าทั้งระยะปลูกและการลิดกิ่งนั้น มีผลกระทบต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและทางด้านความสูงดังกล่าวแล้วในตอนต้น ดังนั้นจึงมีผลต่ออัตราการผลิตมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ยด้วยเช่นกัน

อิทธิพลของระยะปลูกหรือความหนาแน่นของหมู่ไม้ที่มีต่อผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยนั้น เป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นผลเนื่องมาจากการแก่งแย่งตามทฤษฎีของ Shinozaki และ Kira (1956) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลของความหนาแน่นของหมู่ไม้แต่เพียงอย่างเดียวนี้้นได้มีการศึกษาไปบ้างแล้วในสวนป่าไม้ชนิดต่างๆ เช่น ไม้เลื้อย ไม้สะเดา ไม้กระถินณรงค์ และไม้ยูคาลิปตัส คามาลคุเลนซิส (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2530, 2531 ก.ข., นพิตร์ และคณะ, 2527 และ Thoranisorn และคณะ, 1990, 1991) แต่ผลของการใช้มาตรการนี้้นร่วมกับมาตรการอื่นยังไม่มีการศึกษามาก่อน ดังนั้นการศึกษานี้้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบผลของการแก่งแย่งที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากความหนาแน่นของการปลูกป่า หรือระยะปลูกทั้งในแปลงที่ลิดกิ่งและควบคุมดังแสดงไว้ใน Table 4 ซึ่งจะเห็นว่าผลของการแก่งแย่งนั้นเกิดขึ้นในทุกมาตรการของการลิดกิ่ง แต่ในกรณีที่ไม่มีการลิดกิ่ง(แปลงควบคุม) นั้นจะพบว่าความสัมพันธ์นี้เป็นไปอย่างดี (มีค่า r^2 สูงที่สุด) แต่เมื่อมีผลกระทบจากการลิดกิ่งจะทำให้ค่าที่ต่างๆ ในสมการ C-D effects และค่า r^2 นี้เปลี่ยนแปลงไป เป็นเหตุให้อาจจะประมาณหาผลผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยได้ต่ำลงตามลำดับของความหนักเบาของการลิดกิ่งตามสมการที่แสดงไว้แล้ว (Table 4) แม้ว่าในแปลงควบคุมนั้นจะพบว่าปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยของส่วนต่างๆ น้อยกว่าปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยของสวนป่าไม้ชนิดเดียวกันที่ปลูกด้วยความหนาแน่นเท่ากัน และอายุเท่ากันในห้องที่เดียวกันก็ตาม

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการผลิตมวลชีวภาพรวมสัมพัทธ์ของสวนป่าไม้ชนิดนี้ จากผลของการใช้ระยะปลูกและการลิดกิ่งต่างกัน 3 ระดับแล้ว จะพบว่าภายหลังการลิดกิ่งไปแล้ว 1 ปี จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในกรณีที่เป็นผลของระยะปลูกและการลิดกิ่ง แต่การกระทำร่วมกันของมาตรการทั้งสองอย่าง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และผลของระยะปลูกจะทำให้อัตราการผลิตมวลชีวภาพรวมสัมพัทธ์ในแนวโน้มอย่างเดียวกันกับอัตราการผลิตมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ย ยกเว้นในกรณีที่ผลิตผลของกิ่ง ซึ่งจะพบว่าในแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2 x 8 เมตร จะมีอัตราการผลิตสัมพัทธ์ของกิ่งสูงสุดและน้อยลงในแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูกชิดเข้ามาตามลำดับ (Table 5-1) แต่ผลของการลิดกิ่งจะทำให้อัตราการผลิตมวลชีวภาพรวมสัมพัทธ์ต่ำในแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 5 เมตร และไม่มีการลิดกิ่งเท่าๆ กัน ซึ่งจะต่ำกว่าในแปลงที่มีการลิดกิ่งสูงเพียง 3 เมตร ทั้งนี้เพราะว่าอัตราการผลิตมวลชีวภาพรวมสัมพัทธ์นี้มีปัจจัยอีก

Table 3. Effects of spacing and pruning levels on mean relative growth rate of stem ($\overline{RGRw_S}$), branch ($\overline{RGRw_B}$), leaf ($\overline{RGRw_L}$) and total aboveground ($\overline{RGRw_T}$) biomass of 4-yr old *Eucalyptus camaldulensis* plantations

3-1. Effects of spacing

Pruning levels	RGR (yr^{-1})			
	$\overline{w_S}$	$\overline{w_B}$	$\overline{w_L}$	$\overline{w_T}$
2x2	0.864 ^b	1.238 ^b	0.985	0.882 ^b
2x4	1.114 ^{ab}	1.655 ^{ab}	1.238	1.138 ^{ab}
2x8	1.309 ^a	1.922 ^a	1.442	1.337 ^a
CV (%)	25.73	30.33	30.44	25.76
F-calc.	6.272*	6.243*	4.163 ^{NS}	6.316*
lsd 0.100	0.269	0.388		0.273

3-2. Effects of pruning

Pruning levels	RGR (yr^{-1})			
	$\overline{w_S}$	$\overline{w_B}$	$\overline{w_L}$	$\overline{w_T}$
3m	1.166 ^a	1.718 ^a	1.301 ^a	1.191 ^a
5m	1.020	1.511	1.126	1.036
Control	1.105 ^a	1.630 ^a	1.237 ^a	1.130 ^a
CV (%)	7.64	9.62	10.48	7.47
F-calc.	8.136*	6.500*	5.253*	8.720*
lsd 0.100	0.068	0.103	0.098	0.066

* = significant different, $P > 0.100$; NS = non-significant different

Figures with the same letters along the column are non-significantly different by lsd 0.100

Table 4. A comparison of the reciprocal equations of the C-D effects ($1/\overline{w} = Ap + B$) of 4-yr old *Eucalyptus camaldulensis* planted with 3 planting densities and 3 levels of pruning (r^2 = coefficient of determinations)

Pruning levels	Equations ¹⁾	r^2
3m	$1/\overline{w_S} = 0.000014\rho + 0.054$	0.846
	$1/\overline{w_B} = 0.00033\rho + 0.588$	0.927
	$1/\overline{w_L} = 0.00045\rho + 1.515$	0.868
	$1/\overline{w_T} = 0.00001\rho + 0.048$	0.855
5m	$1/\overline{w_S} = 0.00025\rho + 0.060$	0.893
	$1/\overline{w_B} = 0.00066\rho + 0.647$	0.900
	$1/\overline{w_L} = 0.00084\rho + 1.649$	0.893
	$1/\overline{w_T} = 0.00002\rho + 0.053$	0.906
control	$1/\overline{w_S} = 0.00003\rho + 0.033$	0.989
	$1/\overline{w_B} = 0.00074\rho + 0.112$	0.981
	$1/\overline{w_L} = 0.00100\rho + 0.810$	0.986
	$1/\overline{w_T} = 0.00003\rho + 0.028$	0.987

1) $\overline{w_S}$, $\overline{w_B}$, $\overline{w_L}$, $\overline{w_T}$ are mean stem, branch, leaf and total aboveground biomass (kg/tree) respectively, ρ is stand density (trees/ha)

Table 5. Effects of spacing and pruning levels on mean relative growth rate of total stem (RGR_{y_s}), branch (RGR_{y_B}), leaf (RGR_{y_L}) and total aboveground (RGR_{y_T}) biomass production of 4-yr old *Eucalyptus camaldulensis* plantations

5-1. Effects of spacing

Spacing (m x m)	RGR (yr ⁻¹)			
	y _s	y _B	y _L	y _T
2x2	0.795 ^b	1.215	0.895 ^b	0.812 ^b
2x4	1.029 ^{ab}	1.497	1.135 ^{ab}	1.053 ^{ab}
2x8	1.253 ^a	1.871	1.421 ^a	1.280 ^a
CV (%)	29.22	44.95	31.57	29.06
F-calc.	5.415*	3.159 ^{NS}	5.420*	5.571*
lsd 0.100	0.296	-	0.341	0.298

5.2. Effects of pruning

Pruning levels	RGR (yr ⁻¹)			
	y _s	y _B	y _L	y _T
3m	1.121	1.684	1.263	1.146
5m	0.943 ^a	1.513 ^a	1.050 ^a	0.962 ^a
control	1.012 ^a	1.485 ^a	1.141 ^a	1.037 ^a
CV (%)	9.46	12.38	10.38	9.26
F-calc.	7.961*	7.628*	8.266*	8.500*
lsd 0.100	0.045	0.072	0.052	0.080

* = significant different, P > 0.100; NS = non-significant different

Figures with the same letters along the column are non-significantly different by lsd 0.100

1 ตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ จำนวนต้นที่รอดตายอยู่ในแปลงซึ่งจะกลับกันกับอัตราการผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยสัมพัทธ์ ด้วยเหตุนี้เมื่อจะทำการประมาณหาปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพรวมภายหลังการลิดกิ่งไปแล้ว 1 ปี จะหาได้ดังนี้คือ

จากสมการ reciprocal equation of C-D effects ของ Shinozaki และ Kira (1956) :

$$1/\bar{w} = Ap + B \quad \text{.....(1)}$$

ในเมื่อ $\bar{w}$ คือปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้น p คือ ความหนาแน่นของการปลูกป่า (จำนวนต้น/เฮกแตร์)

ดังนั้น เมื่อให้ p หาค่าลงในสมการ (1) จะได้ $1/\bar{w}p = (Ap + B)/p$(2)

ซึ่งถ้าให้ y เป็นมวลชีวภาพต่อเฮกแตร์ ดังนั้น $y = \bar{w}p$ สมการ (2) ก็คือ

$$1/y = A + B (1/p) \quad \text{.....(3)}$$

ซึ่งความสัมพันธ์นี้เรียกว่า reciprocal equation of Y-D effects ตามทฤษฎีของ Shinozaki และ Kira

(1956) ในเมื่อ A และ B คือค่าคงที่ของสมการทุกสมการข้างต้นนี้ และหาค่า A และ B นี้ ได้จากสมการ

(1) ดังแสดงไว้ใน Table 4 ดังนั้นปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพรวมของส่วนต่างๆ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน

ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส อายุ 4 ปี (1 ปี ภายหลังจากการลิดกิ่ง) เช่น $y_T \sim$ (ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด, กก/เฮกแตร์) จะหาได้ดังนี้

$$(1) \text{ เมื่อมีการลิดกิ่งสูง 3 เมตร : } 1/y_T = 0.048 (1/p) + 0.00001$$

$$(2) \text{ เมื่อมีการลิดกิ่งสูง 5 เมตร : } 1/y_T = 0.053 (1/p) + 0.00002$$

$$(3) \text{ เมื่อไม่มีการลิดกิ่ง (ควบลุม) : } 1/y_T = 0.028 (1/p) + 0.00003$$

ดังนั้น จึงอาจจะประมาณหา y_T ของแปลงที่ปลูกด้วยความหนาแน่นตั้งแต่ตอนแรก 2500 ต้น/เฮกแตร์ (2 x 2 เมตร) ได้ 24.27, 34.25 และ 24.27 ต้น/เฮกแตร์ ในแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่ง ลิดกิ่งสูง 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ แปลงที่ปลูกด้วยความหนาแน่น 1250 ต้น/เฮกแตร์ (2 x 4 เมตร) ได้ 19.08, 20.66 และ 16.03 ต้น/เฮกแตร์ ตามลำดับ และแปลงที่ปลูกด้วยความหนาแน่น 625 ต้น/เฮกแตร์ (2 x 8 เมตร) จะได้ 13.37, 11.52 และ 9.54 ต้น/เฮกแตร์ ตามลำดับ ทั้งนี้ถ้าความหนาแน่นที่มีอยู่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากที่ปลูกไว้แต่แรก ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมในแต่ละมาตรการจะสูงในแปลงที่ปลูกด้วยความหนาแน่นสูง (ปลูกชิด) และไม่มีการมีการลิดกิ่งหรือลิดกิ่งแต่น้อย (เช่น 3 เมตร) และต่ำในแปลงที่ปลูกด้วยความหนาแน่นต่ำ (ปลูกห่าง) และมีการลิดกิ่งในระดับสูงขึ้น สำหรับผลผลิตรวมของสวนต่างๆ ก็จะหาได้ในทำนองเดียวกัน ดังนั้น จึงอาจสรุปได้ว่า เมื่อปลูกป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส ด้วยระยะปลูกชิด (ความหนาแน่นสูง) จะได้ผลผลิตมวลชีวภาพรวมต่อหน่วยพื้นที่สูงโดยไม่จำเป็นต้องทำการลิดกิ่ง และหากจำเป็นต้องทำการลิดกิ่งก็อาจจะทำได้แต่เพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจจะทำได้เฉพาะส่วนของกิ่งที่อยู่ด้านล่างๆ เท่านั้น เพราะว่ากิ่งด้านล่างของเรือนยอดมักจะถูกเบียดบังและไม่มีใครมีประโยชน์เนื่องจากได้รับแสงน้อยมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้ต่ำ และในขณะที่เดียวกันจะใช้สิ่งที่สังเคราะห์ได้ไปในการหายใจเป็นปริมาณมาก แต่ถ้าปลูกห่าง (ความหนาแน่นต่ำ) ซึ่งจะได้ผลผลิตรวมต่อพื้นที่ต่ำถ้ายังได้รับความกระทบกระเทือนจากการลิดกิ่งแม้แต่เพียงเล็กน้อยก็อาจจะลดปริมาณผลผลิตลงไปเป็นอันมาก

สรุป

การศึกษาถึงผลของระยะปลูกและการลิดกิ่งต่ออัตราการเติบโตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลูเลนซิส สรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตร จากพื้นดินภายหลังจากการลิดกิ่งไปแล้ว 1 ปี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.100$) ทั้งจากมาตรการการใช้ระยะปลูกและการลิดกิ่ง และจากการกระทำร่วมกันของทั้งสองมาตรการ ($P > 0.100$) จากการทดสอบทางสถิติแล้วปรากฏว่าอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในรูปนี้ในแปลงที่ลิดกิ่งสูง 3 เมตร กับแปลงควบลุมในระยะปลูก 2 x 2 เมตรจะมีอัตราสูงเท่ากัน และการลิดกิ่งสูง 5 เมตรจะมีอัตราต่ำที่สุด ในระยะปลูก 2 x 4 เมตร จะมีอัตราสูงสุดในแปลงที่ลิดกิ่งสูง 3 เมตรรองลงมา คือในแปลงควบลุม และต่ำที่สุดในแปลงลิดกิ่ง

สูง 5 เมตร ส่วนในระยะปลูก 2 x 8 เมตร จะมีอัตรานี้สูงในแปลงควบคุมกับการลิดกิ่งสูง 5 เมตร แต่ในแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 3 เมตร จะไม่แตกต่างจากแปลงที่ลิดกิ่งสูง 5 เมตร

2. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงนั้นจะพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เฉพาะจากระยะปลูก ($P > 0.100$) แต่ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากผลของการลิดกิ่ง ทั้งนี้ในระยะปลูก 2 x 8 เมตรจะมีอัตรานี้สูงพอๆ กับในระยะปลูก 2 x 4 เมตร แต่สูงกว่าระยะปลูก 2 x 2 เมตร ซึ่งจะมีอัตรานี้เท่าๆ กันกับระยะปลูก 2 x 4 เมตร

3. อัตราการผลิตมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ย ของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.100$) จากผลของการใช้ระยะปลูก แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราการผลิตมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ยของส่วนที่เป็นใบ ($P > 0.100$) โดยทั้งสามส่วนที่กล่าวแล้วจะมีอัตรานี้สูงในระยะปลูก 2 x 8 เมตร พอๆ กับในระยะปลูก 2 x 4 เมตร แต่อัตรานี้ในระยะปลูก 2 x 4 เมตร จะไม่ต่างกับในระยะปลูก 2 x 2 เมตร แต่ผลของการลิดกิ่งต่ออัตราการผลิตมวลชีวภาพสัมพัทธ์เฉลี่ยจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.100$) สำหรับทุกส่วนของต้นไม้ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินโดยแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 3 เมตรกับแปลงที่ไม่มีการลิดกิ่งจะไม่แตกต่างกัน แต่มีอัตรานี้สูงกว่าในแปลงที่มีการลิดกิ่งสูง 5 เมตร ซึ่งมีอัตรานี้ต่ำที่สุด

4. การวิเคราะห์ผลของการใช้ระยะปลูก และการลิดกิ่งต่อปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยต่อต้นในรูปของการแก่งแย่งโดยใช้ทฤษฎี Competition-Density effects ได้พบว่าความสัมพันธ์นี้จะคล้อยตามทฤษฎีดังกล่าวในแปลงที่ควบคุม แต่จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการลิดกิ่งระดับต่างๆ

5. ผลของการใช้มาตรการทั้งสองอย่างต่ออัตราการผลิตมวลชีวภาพรวมสัมพัทธ์พบว่ามีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับอัตราการผลิตมวลชีวภาพเฉลี่ยสัมพัทธ์ จากผลของการใช้ระยะปลูกโดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการผลิตของส่วนที่เป็นลำต้น ใบ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.100$) แต่อัตราส่วนของส่วนที่เป็นกิ่งจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.100$) แต่เมื่อพิจารณาผลของการลิดกิ่งต่ออัตรานี้พบว่าการลิดกิ่งสูง 3 เมตรมีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราการผลิตมวลชีวภาพรวมสัมพัทธ์สูงกว่าในแปลงที่ลิดกิ่งสูง 5 เมตร และแปลงควบคุม เมื่อแยกผลของการใช้ระยะปลูก (หรือความหนาแน่นของการปลูก) ตามระดับของการลิดกิ่งแล้ววิเคราะห์ผลผลิตรวมตามทฤษฎี Yield-Density effects แล้วพบว่าผลผลิตมวลชีวภาพรวมนี้ จะสอดคล้องตามทฤษฎีนี้เป็นอย่างดี และแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่เป็นสวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่นสูงนั้น การลิดกิ่งเพียงเล็กน้อยมีแนวโน้มที่จะช่วยให้ได้รับผลผลิตมวลชีวภาพรวมสูงขึ้นภายหลังจากการลิดกิ่งไปแล้ว 1 ปี ถ้าความหนาแน่นของต้นไม้ยังไม่เปลี่ยนแปลง

คำนิยาม

การวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ส่วนหนึ่งให้แก่ โครงการวิจัยที่ว 1.24 ประจำปีงบประมาณ 2528-2530 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การ

สนับสนุนการวิจัยเรื่องนี้ และขอขอบคุณองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ที่กรุณาอนุมัติให้ใช้พื้นที่ในการวิจัย ที่สวนป่าสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราช จังหวัดกาฬสินธุ์

เอกสารอ้างอิง

- บพิตร เกียรติวัฒน์, พิทยา เพชรมาก และพงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. 2527. ผลของความหนาแน่นต่อผลผลิตทางชีวภาพของสวนป่าไม้กระถินณรงค์. ใน : การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2527. (การป่าไม้เพื่อการพัฒนาชนบท) เล่มที่ 3. กรมป่าไม้. 576-589.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ, พิทยา เพชรมาก, จักรพล จักรพลวรฤทธิ์ และปริชา ธรรมานนท์. 2530. ผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส ที่ปลูกเพื่อการประยุกต์ระบบวนเกษตร. วารสารวนศาสตร์ 6 : 213-238.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ, ปริชา ธรรมานนท์, คณิต ม่วงนิล, บัณฑิต ประโชติ และสมชาย ธรรมศรี. 2531ก. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตของสวนป่าไม้เลี่ยน. ใน : การประชุมสัมมนาทางวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 4 ที่พิทยา. กรมป่าไม้. 394-414.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ, ปริชา ธรรมานนท์, บุญฤทธิ์ ภูริยากร, บัณฑิต ประโชติ และประเสริฐ ดิยานนท์. 2531ข. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตของสวนป่าไม้สะเดา. ใน : การประชุมสัมมนาทางวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 4 ที่พิทยา. กรมป่าไม้. 415-433.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. 2522. การวิเคราะห์ลักษณะการเจริญเติบโตของพืช. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 164 หน้า.
- Karani, P.K. 1978. Pruning and thinning in *Pinus patula* stand at Lendu plantation, Uganda. Commonw. For Rev. 54 : 269-278.
- Marshall, H.G.W. and D.L. Foot. 1969. Silviculture of *Pinus patula* in Malawi Forest Research Institute, Zomba, Malawi.
- 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. 283-295.
- Thoranisorn, S., P. Sahunalu and K. Yoda. 1991. Density effects and growth analysis in some tropical forest plantations. TROPICS. 1 : 35-47.
- Vincent, A.J. 1972. Development of a thinning and pruning schedule for both regular planted and line-planted mahogany (*Swietenia macrohylla*) in private woodlands. Experimental Report No.7. Silvicultural Research Division, Department of Forestry Suva, Fiji.