นิพนธ์ต้นฉบับ

ผลของความหนักเบาในการตัดขยายระยะต่อผลผลิตและรูปทรงของไม้สัก กรณีศึกษา สวนป่าเอกชน อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

Effects of Thinning Intensity on Production and Stem Form of Teak (*Tectona grandis* L.f.): A Case Study of Private Plantations in Mueang District, Uttaradit Province

อนงคณี เรือนทิพย์[1,2] Anongkhanee Ruantip[1,2]

พิชิต ลำใย[1] Pichit Lumyai[1]

วรพรรณ หิมพานต์[2] Woraphun Himmapan[2]

พรเทพ เหมือนพงษ์[1*] Ponthep Meunpong[1*]

[1] คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[1]Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

[2] กรมป่าไม้ จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[2]Royal Forest Department, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: fforptm@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 25 พฤศจิกายน 2566 **รับแก้ไข** 21 กุมภาพันธ์ 2567 **รับลงพิมพ์** 29 กุมภาพันธ์ 2567

ABSTRACT

Thinning is one of the silvicultural methods used to increase the productivity of a forest plantation that often involves selecting trees to be removed based on their canopy class or spacing. This study investigated the effects of different thinning intensities on the productivity and stem form of teak (*Tectona grandis*) spaced at 4 m x 4 m in a private forest located in Mueang district, Uttaradit province, Thailand. A completely randomized block design was applied with 3 experimental treatments: moderate thinning (40% basal area removal), heavy thinning (60% basal area removal), and unthinned. Data collection was conducted 9 years after thinning. It was found that the stand density in the unthinned plot was significantly higher than in the thinned plots. The average diameter at breast height over bark (DBH) and the total tree volume (m^3) were significantly higher in the thinned plots than in the unthinned plot. However, tree height was not affected by thinning. The mean annual increment (MAI) based on the DBH for all trees was significantly higher in the heavy-thinned plot compared to the unthinned plot. Calculation of the timber volume indicated there were significant differences in the stand volume, volume increment, and total volume among the plots. However, more trees in the unthinned plot were lost due to natural mortality than in the thinned plots. Considering stem form, the live crown ratio was higher in the thinned plots than the unthinned plot, whereas the slenderness ratio and artificial form factor were significantly lower in the thinned plots. In conclusion, thinning and its intensity positively affected tree growth and improved tree stem form.

Keywords: Teak; Thinning intensity; Plantation; Stem form; Slenderness

บทคัดย่อ

การตัดขยายระยะเป็นหนึ่งในวนวัฒนวิธีเพื่อการเพิ่มผลผลิตของสวนป่าโดยการพิจารณาเลือกตัดไม้ออกโดยพิจารณาจากชั้นเรือนยอดหรือระยะห่างระหว่างต้นไม้ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความหนักเบาในการตัดขยายระยะต่อผลผลิตและรูปทรงของไม้สักในพื้นที่สวนป่าเอกชน ในจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยสวนป่าสักมีระยะปลูก 4 เมตร x 4 เมตร ทำการวางแปลงตัวอย่างแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อค (randomized complete block design, RCBD) จำนวน 3 รูปแบบการทดลอง ทำการตัดขยายระยะแบบชั้นเรือนยอดต่ำ (low thinning) ตามความหนักเบาของการตัดขยายระยะโดยใช้เกณฑ์ร้อยละของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้ที่ตัดออกไป ได้แก่ ระดับปานกลาง (moderate thinning) คิดเป็นร้อยละ 40 ระดับหนัก (heavy thinning) คิดเป็นร้อยละ 60 เมื่อไม้มีอายุ 10 ปี เปรียบเทียบกับการไม่ตัดขยายระยะ (unthinned stand) เป็นแปลงควบคุม ทำการเก็บข้อมูลหลังการตัดขยายระยะ 9 ปี พบว่า ความหนาแน่นของหมู่ไม้ในแปลงไม่ตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าแปลงตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและค่าเฉลี่ยปริมาตรรายต้นในแปลงตัดขยายระยะมีค่ามากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การตัดขยายระยะไม่มีผลต่อความสูงของต้นไม้ สำหรับค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (MAI) ด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ทั้งหมดในแปลงตัดขยายระยะระดับหนักมีค่ามากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการคำนวนปริมาตรไม้ในส่วนของลำต้นพบว่า ค่าปริมาตรหมู่ไม้ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยของปริมาตรหมู่ไม้ และปริมาตรรวมทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม แปลงที่ไม่ตัดขยายระยะได้สูญเสียปริมาตรไม้จากการตายตามธรรมชาติมากกว่าแปลงตัดขยายระยะ การศึกษารูปทรงของต้นไม้ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของต้นไม้ พบว่าค่าอัตราส่วนของเรือนยอดที่มีชีวิตอยู่ ในแปลงตัดขยายระยะมีค่ามากกว่าแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ในทางตรงกันข้ามอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และค่าฟอร์มแฟกเตอร์ที่ของต้นไม้แปลงตัดขยายระยะมีค่าต่ำกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงกล่าวได้ว่าความหนักเบาของการตัดขยายระยะส่งผลต่อการเพิ่มขนาดความโตของต้นไม้ และส่งผลดีต่อการปรับปรุงรูปทรงของต้นไม้

คำสำคัญ: ไม้สัก ความหนักเบาของการตัดขยายระยะ สวนป่า รูปทรงต้นไม้ ความเรียว

คำนำ

ไม้สัก (*Tectona grandis* L.f., teak) เป็นหนึ่งในไม้เนื้อแข็งชั้นนำของโลกที่มีคุณสมบัติด้านโทนสี เนื้อไม้ละเอียด และมีความทนทาน (Pandey and Brown, 2000) รวมถึงมีคุณสมบัติของเนื้อไม้ที่สามารถเลื่อย แปรรูป ตบแต่งได้ง่าย สำหรับประเทศไทยไม้สักเป็นไม้สำคัญทางเศรษฐกิจที่ในอดีตเป็นสินค้าส่งออกที่นำรายได้หลักเข้าประเทศ แต่ในปัจจุบันกลับต้องมีการนำเข้าไม้สักจากประเทศลาว อินโดนีเซีย และพม่า (The Customs Department, 2023) ในปี พ.ศ. 2537 กรมป่าไม้ได้ส่งเสริมให้ภาคเอกชนปลูกสวนป่าเพื่อการค้า ซึ่งไม้สักเป็นชนิดไม้ที่ประชาชนนิยมปลูกกันมากที่สุดและมีการปลูกกระจายอยู่ทั่วประเทศ (Phusudsawang, 2010) ไม้สักจึงเป็นไม้เศรษฐกิจที่เกษตรกรตัดสินใจปลูกด้วยเหตุผลความต้องการของตลาดสูง และยังมีการนำเข้าไม้สักจากต่างประเทศอยู่ตลอดเวลา โดยทางนิเวศวิทยานั้น ไม้สักเป็นไม้ที่มีรอบตัดฟันยาว การจัดการและดูแลรักษาสวนป่าจึงเพื่อให้ได้ไม้ท่อนขนาดใหญ่ เปลาตรง มีตำหนิน้อย และมีปริมาณแก่นมาก (RFD, 2022) ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของตลาดจึงเป็นเรื่องสำคัญ การตัดขยายระยะเป็นหนึ่งในวนวัฒนวิธีในการเพิ่มผลผลิตของสวนป่า และมักดำเนินการครั้งแรกเมื่อเรือนยอดเบียดชิดกันส่งผลให้อัตราการเติบโตของต้นไม้ลดลง ส่วนใหญ่เริ่มดำเนินการครั้งแรกเมื่อต้นไม้อายุประมาณ 5–7 ปี (RFD, 2017) อย่างไรก็ตาม เกษตรกรผู้มีสวนป่าสักไม่นิยมตัดขยายระยะ อาจเนื่องมาจากไม้ยังมีขนาดเล็กไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ หรือขายได้ รวมถึงการขาดความรู้ความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของการเติบโตของต้นไม้กับความหนาแน่นของต้นไม้ จึงพบเห็นต้นไม้ในสวนป่าจึงขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นจนเกิดการแข่งขัน และแก่งแย่งการเติบโตระหว่างกัน (Phusudsawang, 2010) ซึ่ง Suwannaphinan (2002) ได้แบ่งการตัดขยายระยะเป็น 4 วิธี ได้แก่ 1) การตัดขยายระยะแบบชั้นเรือนยอดต่ำ (low thinning) 2) การตัดขยายระยะแบบเลือกตัดชั้นเรือนยอดเด่น (crown thinning) 3) การตัดขยายระยะแบบเลือกตัด (selection thinning) และ 4) การตัดขยายระยะแบบวิธีกล (mechanical thinning) วิธีที่ 1–3 ตัดขยาย

ระยะโดยพิจารณาชั้นเรือนยอดไม้ และวิธีที่ 4 พิจารณาระยะห่างระหว่างต้นไม้ ซึ่งการตัดขยายระยะที่เลือกตัดต้นไม้เรือนยอดระดับต่ำออกจากแปลง หรือการตัดขยายระยะแบบชั้นเรือนยอดต่ำ ถ้าการตัดขยายระยะกระทำไม่หนักนัก ต้นที่ถูกคัดเลือกตัดออกเป็นไม้เรือนยอดถูกข่ม (suppressed) ซึ่งไม่เป็นการเร่งการเติบโตของต้นไม้ที่เหลืออยู่ เพราะไม่ได้เปิดช่องว่างให้หมู่ไม้ที่เหลือได้รับแสงเพิ่มขึ้น แต่เป็นเพียงการนำไม้เล็กที่ถูกไม้ใหญ่เบียดบังออกมาจากหมู่ไม้เท่านั้น ดังนั้น เพื่อเป็นการเร่งการเติบโตของต้นไม้ที่เหลืออยู่ การตัดขยายระยะโดยวิธีนี้ควรกระทำให้หนักขึ้น เพื่อที่จะได้เอาต้นที่มีชั้นเรือนยอดรองเด่นออกบ้าง (RFD, 2015) การกำหนดความหนักเบาในการตัดไม้ออกจากแปลง ขึ้นอยู่กับที่ตั้งแปลง การตลาด และวัตถุประสงค์ของเจ้าของแปลง (Forestry Commission, 2015) โดยคำนวณจากจำนวนต้นไม้หรือพื้นที่หน้าตัดไม้ที่ถูกตัดออก โดยในระดับเบา มีจำนวนต้นถูกตัดออกน้อยกว่าร้อยละ 25 ของจำนวนต้นไม้ทั้งหมด หรือคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าร้อยละ 20 ในขณะที่ระดับปานกลาง จะมีจำนวนต้นถูกตัดออกน้อยกว่าร้อยละ 50 ของจำนวนต้นไม้ทั้งหมด หรือเป็นพื้นที่หน้าตัดร้อยละ 20–35 และระดับหนัก มีจำนวนต้นถูกตัดออกมากกว่าร้อยละ 50 ของจำนวนต้นไม้ทั้งหมด หรือคิดเป็นพื้นที่หน้าตัดมากกว่าร้อยละ 35 (Gonçalves, 2020) ความหนักเบาของการตัดขยายระยะมีผลต่อการปรับปรุงการเติบโต และผลผลิตของหมู่ไม้ โดยเฉพาะต่อหมู่ไม้ที่เริ่มมีการแก่งแย่งกัน เช่นเดียวกันกับการมีผลต่อการเพิ่มขนาดของต้นไม้รายต้น และรูปทรงของต้นไม้ สำหรับเกษตรกรผู้มีสวนป่าสักขนาดเล็กที่ขาดความชำนาญจะสามารถใช้วิธีการตัดขยายระยะแบบชั้นเรือนยอดต่ำได้ ซึ่งหากเกิดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการคัดเลือกไม้ออก ผลเสียหายที่จะเกิดกับหมู่ไม้จะไม่รุนแรงมากนักเพราะยังเหลือไม้ที่มีลักษณะดีอยู่ในหมู่ไม้เป็นส่วนใหญ่ (RFD, 2015) จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้เกษตรกรผู้มีสวนป่าสัก ได้พิจารณาและตัดสินใจใช้วนวัฒนวิธีด้วยการตัดขยายระยะเพื่อให้ได้ผลผลิตไม้ท่อน (timber) ในสวนป่าสูงสุด

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในสวนป่าไม้สักเอกชนของโรงเลื่อยจักรท่าเสา ในท้องที่ตำบลเด่นด่าน อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ (Figure 1) ตั้งอยู่ที่ ละติจูด 17°41´37´´เหนือ ลองจิจูด 100° 17´47´´ตะวันออก ทำการปลูกเมื่อปี พ.ศ. 2547 ระยะปลูก 4 เมตร × 4 เมตร สภาพอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 27.7 องศาเซลเซียส ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,371.6 มิลลิเมตร (Meteorological Department, 2023) ดินในพื้นที่จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินท่ายาง (Ty) ลักษณะเป็นดินตื้นถึงชั้นเศษหินและหินพื้น ดินบนเป็นดินร่วนปนเศษหิน หรือดินร่วนปนทรายปนเศษหิน สีน้ำตาล สีน้ำตาลปนเทาหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0–6.0) ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายปนเศษหิน พบก้อนกรวดเป็นพวกเศษหินควอร์ตไซต์ หินทราย หินฟิลไลท์ และหินดินดาน สีน้ำตาลหรือ สีน้ำตาลปนแดง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5–5.0) การระบายน้ำดี (Land Development Department, 2023) เมื่อสิ้นสุดการเก็บข้อมูลไม้สักมีอายุ 19 ปี

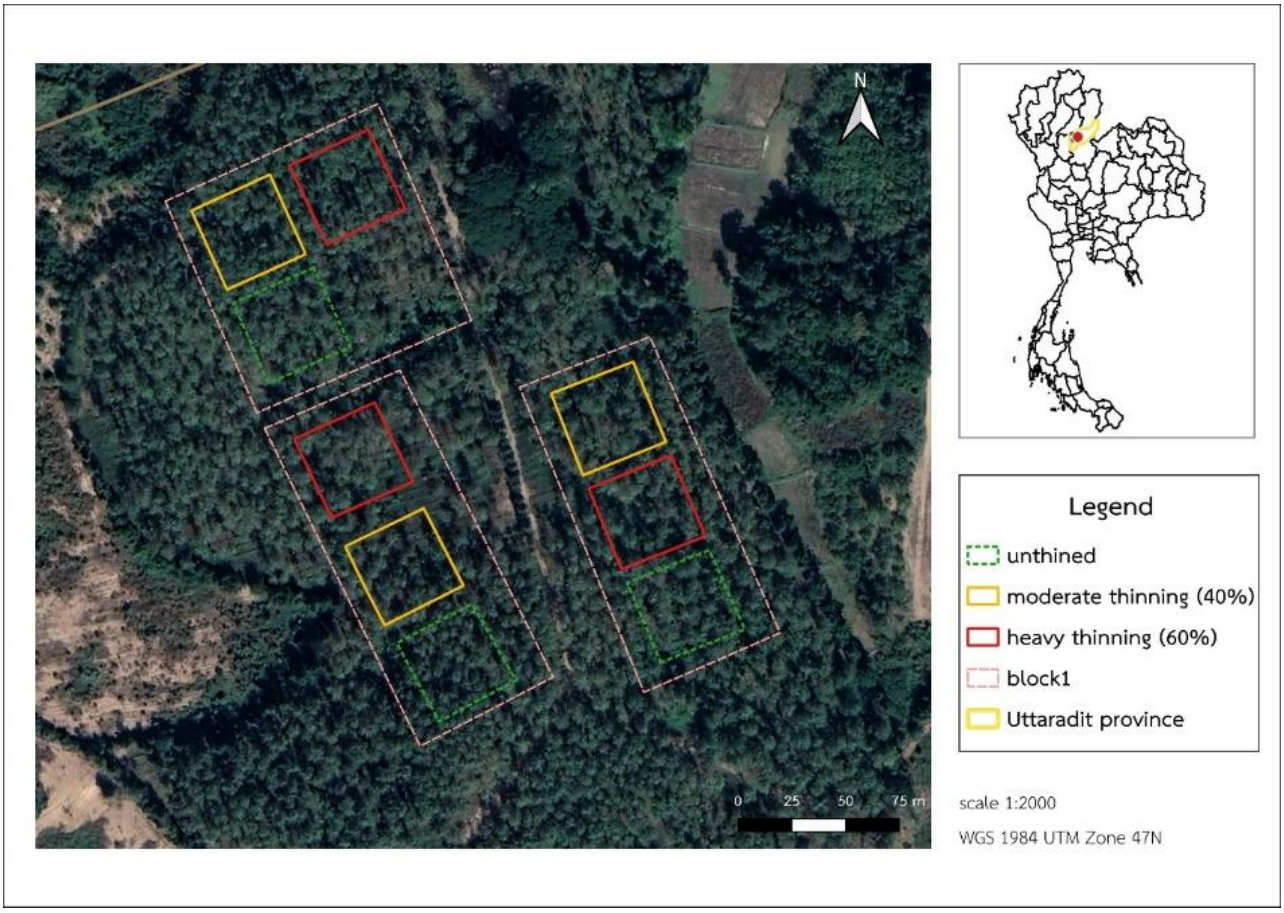


Figure 1 Study site in Mueang district, Uttaradit province, Thailand

วิธีการ

ทำการตัดขยายระยะเมื่อต้นสักมีอายุ 10 ปี (พ.ศ. 2557) โดยกำหนดความหนักเบาในการตัดขยายระยะโดยประยุกต์จากวิธีการของ Ana Cristina Gonçalves (Gonçalves, 2020) ด้วยการคำนวณค่าความหนักเบาจากร้อยละของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้ที่ตัดออก ทำการวางแปลงตัวอย่างแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (randomized complete block design, RCBD) ประกอบด้วย 3 หน่วยทดลอง ได้แก่ ระดับปานกลาง (moderate) คิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้ที่ตัดออก ระดับหนัก (heavy) คิดเป็นร้อยละ 60 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้ที่ตัดออก และแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะ (แปลงควบคุม) หน่วยทดลองละ 3 ซ้ำ แปลงตัวอย่างมีขนาด 40 เมตร × 40 เมตร แต่ละแปลงตัวอย่าง มีต้นไม้จำนวน 100 ต้น โดยนับรวมต้นตาย เว้นแนวกันชนขอบแปลงด้านละ 2 แถว

พิจารณาเลือกตัดต้นไม้ออกจากแปลงให้ได้จำนวนตามระดับความหนักเบาที่กำหนด โดยพิจารณาจากต้นไม้ที่มีเรือนยอดระดับล่างประกอบกับพิจารณาลักษณะรูปทรงและคุณภาพของต้นไม้ที่มีลักษณะไม่ดีออกจากแปลงตามหลักเกณฑ์ของ Himmapan (2023) ซึ่งได้จัดชั้นคุณภาพของต้นไม้ประยุกต์จากวิธีการของ Terasaki (Terasaki's method) เพื่อคัดเลือกต้นไม้เพื่อตัดออกเป็น 5 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นคุณภาพที่ 1 คือต้นไม้ที่มีลักษณะดี ไม่มีตำหนิ ชั้นคุณภาพที่ 2 คือ ต้นไม้มีตำหนิบางประการ เช่น มีเรือนยอดไม่สมบูรณ์หรือไม่สมดุล มีลำต้นแตกเป็น 2 นาง หรือเอียง หรือถูกทำลายด้วยโรคแมลง ชั้นคุณภาพที่ 3 คือต้นที่มีการเติบโตช้าแตกต่างจากภาพรวมของต้นไม้ในพื้นที่โดยไม่ได้อยู่ใต้เรือนยอดอื่น ชั้นคุณภาพที่ 4 คือต้นที่อยู่ภายใต้เรือนยอดต้นอื่นอย่างชัดเจน และชั้นคุณภาพที่ 5 คือต้นไม้ที่มีลักษณะอ่อนแอ ยืนต้นตาย หรือโค่นล้ม โดยเลือกต้นไม้ในชั้นคุณภาพที่ 5 ออกเป็นลำดับแรกจนได้พื้นที่หน้าตัดรวมมีค่าเป็นร้อยละตามความหนักเบาของการตัดขยายระยะที่กำหนด บันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (Ht) และความสูงถึงระดับฐานเรือนยอด (Hb) ในแปลงตัวอย่างทั้งก่อนและหลัง

การตัดขยายระยะ และติดตามผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตและการรอดตายของต้นไม้ โดยการวัดซ้ำในช่วงเวลาปีที่ 1-7 และปีที่ 9 สำหรับปีที่ 8 ไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการแพร่ระบาดโควิด-19 ทำให้ไม่สามารถเดินทางเก็บข้อมูลได้ ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ด้วยเทปวัดความโตของต้นไม้ (diameter tape) วัดค่าความสูงทั้งหมดต้นไม้โดยใช้ Vertex IV ultrasound distance measurer ยี่ห้อ HAGLÖF รุ่น Vertex IV ความสูงถึงระดับฐานเรือนยอดใช้ไม้วัดความสูงต้นไม้ SK (SENSHIN) รุ่น AT Type 15 m.

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลผลิตเนื้อไม้

คำนวณหาความหนาแน่นของต้นไม้ (ต้นต่อเฮกตาร์) พื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ (ตารางเมตรต่อเฮกตาร์) ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร) ความสูงทั้งหมด (เมตร) คำนวณผลผลิตในรูปของปริมาตร ได้แก่ ปริมาตรรายต้นเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตรต่อต้น) ปริมาตรรวมของหมู่ไม้ (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์) ก่อนและหลังการตัดขยายระยะในสวนป่าแต่ละระดับการตัดขยายระยะ พร้อมทั้งค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ปริมาตรไม้ (tree volume) ใช้สมการประมาณปริมาตรไม้สัก (Vacharangkura and Himmapan, 2018) ดังสมการที่ (1)

$$Vt = 0.000063(DBH^2\ Ht)^{0.94006} \quad (1)$$

เมื่อ Vt คือ ปริมาตรไม้ส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด (ลูกบาศก์เมตร)
DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)
Ht คือ ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)

คำนวณหาความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ดังสมการที่ (2) ของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย ความสูงทั้งหมดเฉลี่ย และปริมาตร

$$MAI = \frac{Xn}{N} \quad (2)$$

เมื่อ MAI คือ ความเพิ่มพูนรายปีเฉลี่ย
Xn คือ ค่าเฉลี่ยของค่าการเจริญเติบโตของปีที่ n
N คือ อายุของต้นไม้ n ปี

รูปทรงของต้นไม้

คำนวณค่ารูปทรงต้นไม้ ดังนี้

1) อัตราส่วนของเรือนยอดที่มีชีวิตอยู่ (live crown ratio) ดังสมการที่ (3)

$$\text{Live crown ratio} = \frac{Ht\text{-}Hb}{Ht} \times 100 \quad (3)$$

2) อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (slenderness ratio) ดังสมการที่ (4)

$$\text{Slenderness ratio} = \frac{Ht}{DBH} \quad (4)$$

3) ฟอร์มแฟกเตอร์ที่กำหนด (artificial form factor) ดังสมการที่ (5)

$$\text{Artificial form factor} = \frac{V}{BA \times Ht} \quad (5)$$

เมื่อ Ht คือ ความสูงทั้งหมด (เมตร)
Hb คือ ความสูงถึงฐานเรือนยอด (เมตร)
DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)
V คือ ปริมาตรต้นไม้ (ลูกบาศก์เมตร)
BA คือ พื้นที่หน้าตัดไม้ (ตารางเมตร)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ผลของความหนักเบาในการตัดขยายระยะที่มีต่อผลผลิตและรูปทรงของต้นไม้ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม R เพื่อใช้เพื่อตรวจสอบนัยสำคัญทางสถิติของความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลอง ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบโดยใช้ Tukey HSD แสดงผลในตารางกำหนดให้มีตัวอักษรเดียวกันในข้อมูลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลและวิจารณ์

การศึกษาผลของความหนักเบาในการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้ ผลผลิตของหมู่ไม้ และรูปทรงของไม้สัก ได้ทำการศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2557-2565 ณ สวนป่าสักเอกชน อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งภายหลังการตัดขยายระยะได้มีการจัดการแปลงทดลองเหมือนกันทุกแผนการทดลอง ปรากฏผลดังนี้

ผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้และหมู่ไม้

ความหนาแน่นของหมู่ไม้และพื้นที่หน้าตัดหมู่ไม้

การตัดขยายระยะหรือการตัดไม้ออกตามระดับความหนักเบาที่ได้กำหนด ทำให้ความหนาแน่นหรือจำนวนของต้นสักทั้ง 3 แผนการทดลองแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และเมื่อภายหลังการตัดขยายระยะทันทีจนถึงปีที่ 9 นอกจากจำนวนต้นไม้ที่ลดลงจากการตัดขยายระยะแล้ว ยังพบว่าในแต่ละปีมีจำนวนต้นไม้ลดลงจากการตายตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้มีค่าการเติบโตบางค่ามีความผันผวนจากจำนวนต้นไม้ที่ลดลงในแต่ละปี สำหรับค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดหมู่ไม้ หลังจากการตัดขยายระยะปีที่ 1–2 แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เมื่อพิจารณาจากข้อมูลก่อนการตัดขยายระยะพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ในแต่ละแผนการทดลองมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตาม แปลงไม่ตัดขยายระยะมีจำนวนต้นไม้มากกว่าแปลงตัดขยายระยะจึงส่งผลให้ภายหลังการตัดขยายระยะปีที่ 1–2 แปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะมีค่ามากกว่า แต่เมื่อภายหลังการตัดขยายระยะปีที่ 3–9 พบว่าค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดหมู่ไม้ในของทั้ง 3 แผนการทดลองแสดงค่าความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากต้นไม้ในแปลงตัดขยายระยะมีพื้นที่ว่างสำหรับการเติบโตได้มากกว่า ส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดไม้มีค่าใกล้เคียงแปลงไม่ตัดขยายระยะ Table 1

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูง

จากผลของค่าความหนาแน่นของหมู่ไม้ (stand density) ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้หลังจากการตัดขยายระยะปีที่ 9 มีการเติบโตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ในแปลงตัดขยายระดับหนักมีค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ การเปิดช่องว่างให้เรือนยอดต้นไม้เป็นการเพิ่มการเจริญเติบโต เนื่องจากต้นไม้สามารถตรึงพลังงานจากดวงอาทิตย์ได้โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลิตคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้ในกิจกรรมที่จำเป็นและในส่วนของพลังงานที่เหลือจะใช้ไปในการเติบโต ซึ่งคาร์โบไฮเดรตของต้นไม้ที่ผลิตนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของเรือนยอดหรือปริมาณพื้นผิวของใบรวมถึงความสามารถของรากที่จะนำอาหารและน้ำสู่ใบด้วย (Sahunalu, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Vacharangkura and Wiriyabuncha (2002) ที่ได้ศึกษาผลของการทดลองตัดขยายระยะที่สวนป่าแม่มาย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง พบว่าต้นไม้ในแปลงที่ตัดขยายระยะมีอัตราการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นในทั้งภาพรวมของต้นไม้ทั้งหมดหรือวิเคราะห์เฉพาะไม้ชั้นเรือนยอดเด่นและไม้ชั้นรองเด่น สำหรับความสูงของต้นไม้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง 3 แผนการทดลอง (Table 2)

Table 1 Stand density and stand basal area of teak under different thinning intensities.

Stand characteristic	Number of years after thinning	Treatment			*p*-value
		Unthinned	Moderate thinning	Heavy thinning	
Stand density (tree ha^{-1})	Before thinning	615±9.61	586±19.86	579±34.53	0.229^{ns}
	Immediately after thinning	615±9.61^{a}	310±25.40^{b}	198±25.94^{c}	<0.0001***
	1-year after thinning	602±25.24^{a}	310±25.40^{b}	198±25.94^{c}	<0.0001***
	2-year after thinning	540±56.50^{a}	298±23.64^{b}	196±23.64^{c}	<0.0001***
	3-year after thinning	440±74.45^{a}	284±26.10^{b}	173±34.77^{b}	0.00178**
	4-year after thinning	425±86.81^{a}	271±28.05^{b}	169±32.88^{b}	0.00398**
	5-year after thinning	425±86.81^{a}	279±23.29^{b}	180±28.87^{b}	0.00435**
	6-year after thinning	421±79.90^{a}	271±31.76^{b}	177±31.09^{b}	0.00378**
	7-year after thinning	417±72.42^{a}	271±31.76^{b}	177±31.09^{b}	0.00286**
	9-year after thinning	411±77.42^{a}	267±25.24^{b}	177±31.09^{b}	0.00496**

Table 1 (continued)

Stand characteristic	Number of years after thinning	Treatment			*p*-value
		Unthinned	Moderate thinning	Heavy thinning	
Stand basal area	Before thinning	11.05±0.58	12.27±1.28	11.44±1.69	0.522 ^{ns}
(m^2 ha^{-1})	Immediately after thinning	11.05±0.87^{a}	7.79±0.73^{b}	4.81±0.87^{c}	<0.0001***
	1-year after thinning	11.56±0.32^{a}	8.04±1.01^{b}	5.02±0.85^{c}	<0.0001***
	2-year after thinning	8.42±3.98	7.71±1.38	4.85±0.64	0.25 ^{ns}
	3-year after thinning	10.27±1.98^{a}	8.73±1.68^{ab}	5.42±1.35^{b}	0.0319*
	4-year after thinning	11.25±2.33	9.50±1.97	6.25±1.44	0.0512 ^{ns}
	5-year after thinning	12.19±2.51^{a}	10.56±1.50^{ab}	7.27±1.38^{b}	0.0454*
	6-year after thinning	12.06±2.33^{a}	10.42±1.21^{ab}	7.42±1.51^{b}	0.0449*
	7-year after thinning	11.38±2.25	10.19±1.31	7.29±1.60	0.0708 ^{ns}
	9-year after thinning	13.48±2.13	12.38±1.30	9.29±1.97	0.0728 ^{ns}

Remarks: Values are represented as mean±S.D. and values followed by lowercase superscripts signify individual statistical differences among treatments at each measurement time. Treatments marked with different letters are significantly different so marked * significant at 0.05 level ($p \leq 0.05$), ** very significant at 0.01 level ($p \leq 0.01$) *** highly significant at 0.001 level ($p \leq 0.001$) and ^{ns} not significant at 0.05 level ($p > 0.05$).

Table 2 Mean DBH and mean height of teak under different thinning intensities.

Stand characteristic	Number of years after thinning	Treatment			*p*-value
		Unthinned	Moderate Thinning	Heavy Thinning	
mean DBH	Before thinning	15.44±0.47	16.57±0.87	16.08±0.80	0.248 ^{ns}
(cm)	Immediately after thinning	15.44±0.47	17.77±1.19	16.82±1.29	0.0883^{ns}
	1 year after thinning	15.44±0.51	18.05±1.65	17.88±1.20	0.0683 ^{ns}
	2 years after thinning	15.35±0.57	17.97±1.09	17.66±0.71	0.0683 ^{ns}
	3 years after thinning	17.08±0.59	19.61±1.00	19.75±0.33	0.0564 ^{ns}
	4 years after thinning	18.16±0.58^{b}	20.88±1.12^{a}	21.49±0.07^{a}	0.0238*
	5 years after thinning	18.87±0.75^{b}	21.74±1.04^{a}	22.70±0.33^{a}	0.0145*
	6 years after thinning	18.92±0.67	21.95±2.42	21.69±0.45	0.222 ^{ns}
	7 years after thinning	18.42±0.84	20.74±2.93	22.81±0.24	0.0853^{ns}
	9 years after thinning	20.25±0.87^{b}	23.28±3.06^{ab}	25.76±0.39^{a}	0.0212*
mean height	Before thinning	14.96±0.69	16.08±0.62	15.59±0.66	0.188 ^{ns}
(m)	Immediately after thinning	14.96±0.69	16.58±0.75	16.19±0.59	0.0597 ^{ns}
	1 year after thinning	15.16±0.75	17.58±1.11	16.89±1.04	0.0552 ^{ns}

Table 2 (continued)

Stand characteristic	Number of years after thinning	Treatment			*p*-value
		Unthinned	Moderate Thinning	Heavy Thinning	
	2 years after thinning	16.11±0.95	17.85±0.78	17.28±0.93	0.125 ^{ns}
	3 years after thinning	16.35±0.61	17.90±0.40	17.23±1.45	0.131 ^{ns}
	4 years after thinning	16.53±0.55	18.30±0.89	17.77±1.36	0.152 ^{ns}
	5 years after thinning	16.82±0.44	18.24±0.73	17.47±1.65	0.257 ^{ns}
	6 years after thinning	17.72±0.10	18.50±1.28	18.41±1.59	0.612 ^{ns}
	7 years after thinning	17.36±0.40	18.50±0.84	18.24±0.88	0.23 ^{ns}
	9 years after thinning	19.01±0.29	20.57±1.12	20.21±0.50	0.121 ^{ns}

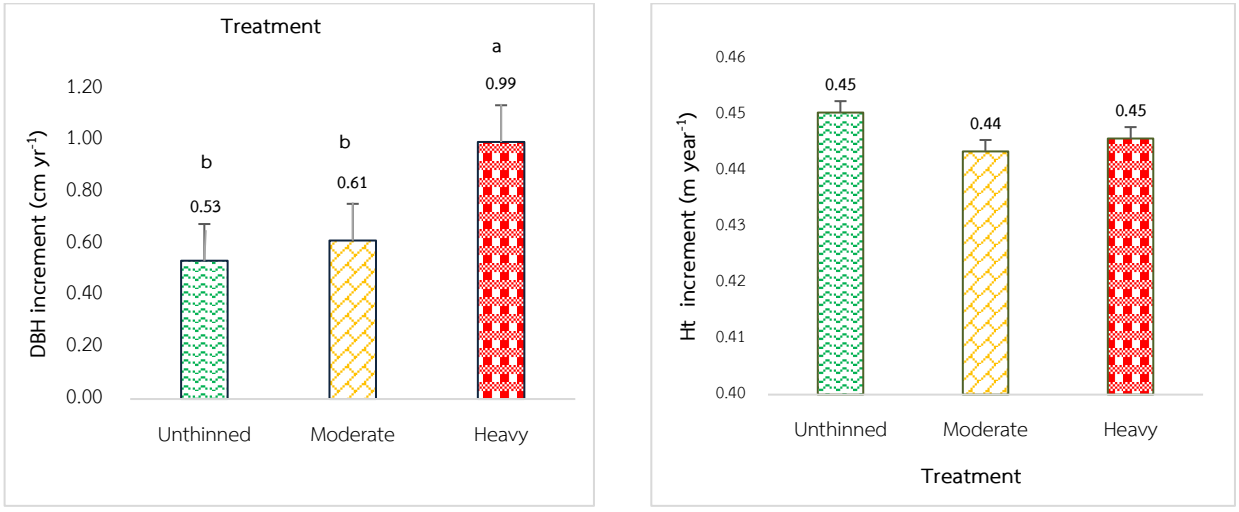
Remarks: Values are represented as mean±SD. and values followed by lowercase superscripts signify individual statistical differences among treatments at each measurement time. Treatments marked with different letters are significantly different so marked * significant at 0.05 level ($p \leq 0.05$) and ^{ns} not significant at 0.05 level ($p > 0.05$).

ความเพิ่มพูนเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูง

สำหรับความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นสักทั้งหมดในพื้นที่หลังตัดขยายระยะ 9 ปี พบว่าไม้สักในแปลงตัดขยายระยะระดับหนักมีความเพิ่มพูนสูงสุด มีค่า 0.99 เซนติเมตรต่อปี รองลงมาได้แก่ แปลงตัดขยายระยะระดับปานกลาง มีค่า 0.61 เซนติเมตรต่อปี และแปลงไม่ตัดขยายระยะมีค่า 0.53 เซนติเมตรต่อปี ซึ่งแปลงตัดขยายระยะระดับหนักมีค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งต่อแปลงตัดขยายระยะระดับปานกลางและแปลงไม่ตัดขยายระยะ ค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของแปลงตัดขยายระยะระดับหนักเมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะแสดงให้เห็นว่าในระยะเวลาที่เท่ากัน ต้นสักในแปลงตัดขยายระยะระดับหนักสามารถเติบโตเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกมากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะเกือบ 2 เท่า เนื่องจากการตัดขยายระยะในระดับความหนักที่มากพอทำให้ต้นไม้มีระยะห่างระหว่างต้นมากขึ้น ชั้นเรือนยอดและระบบรากสามารถแผ่กระจายและมีความสามารถในการสร้างอาหารได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน ดัง RFD (2015) ได้กล่าวว่า การตัดต้นไม้บางต้นทำให้มีพื้นที่ว่างสำหรับการเติบโต (growing space) ของต้นไม้ ซึ่งหมายความถึงการแบ่งปันทรัพยากรต่าง ๆ ทั้งหมดที่มีอยู่ในพื้นที่ของต้นไม้ต้นหนึ่งด้วย ไม่ได้มีความหมายเพียงการครอบครองพื้นที่เชิงกายภาพของต้นไม้เท่านั้น เมื่อต้นไม้ได้รับทรัพยากรที่ถูกแบ่งปันเพิ่มมากขึ้นทำให้มีการสร้างส่วนที่เป็นใบ ราก และเนื้อไม้เพิ่มมาก จึงทำให้ต้นไม้ในแปลงตัดขยายระยะสามารถเติบโตได้มากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะซึ่งมีความหนาแน่นของต้นไม้มากกว่าทำให้เรือนยอดของต้นไม้และระบบรากใกล้ชิดกันไม่สามารถรับแสงและธาตุอาหารเพื่อเพิ่มเติบโตได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้มีอัตราการเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของแปลงไม่ตัดขยายระยะแตกต่างจากแปลงตัดขยายระยะแบบหนักอย่างชัดเจน สำหรับแปลงตัดขยายระยะระดับปานกลาง มีการตัดต้นไม้ออกจำนวนน้อยกว่าแปลงตัดขยายระยะระดับหนักจึงทำให้มีพื้นที่ว่างที่ต่ำกว่าจึงส่งผลให้ต้นไม้ในแปลงสามารถเติบโตขยายการปกคลุมเรือนยอดในพื้นที่ว่างได้เร็วกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของกรมป่าไม้ RFD (2022) ได้ทำการศึกษาผลของการตัดขยายระยะไม้สักครั้งที่ 1 เมื่อไม้มีอายุ 7 ปี และครั้งที่ 2 เมื่อไม้มีอายุ 15 ปี พบว่าความเพิ่มพูนรายปีด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยต่อต้นของต้นสักทั้งหมดในพื้นที่หลังตัดขยายระยะ 9 ปี แปลงที่ตัดขยายระยะระดับปานกลางมีความเพิ่มพูนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่แปลงตัดขยายระดับหนัก และแปลงไม่ตัดขยาย

ระยะ ซึ่งควรต้องทำการตัดขยายระยะครั้งที่ 2 เพื่อเพิ่มอัตราการเพิ่มพูนเฉลี่ยของต้นไม้ในแปลง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการตัดขยายระยะและความหนักเบาของการตัดขยายระยะมีผลต่อความเพิ่มพูนรายปีของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกอย่างชัดเจน ดังแสดงใน Figure 2(a)

ความเพิ่มพูนรายปีด้านความสูงเฉลี่ยต่อต้นสักทั้งหมดในพื้นที่พบว่าในแปลงไม่ตัดขยายระยะ มีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่แปลงตัดขยายระยะระดับหนักและแปลงตัดขยายระยะระดับปานกลาง ตามลำดับ แต่ไม่พบค่าความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับ RFD (2022) ที่ได้รายงานผลของความหนักเบาในการตัดขยายระยะไม้สักซึ่งได้ทำการตัดขยายระยะ จำนวน 2 ครั้ง พบว่า ความเพิ่มพูนรายปีด้านความสูงเฉลี่ยต่อต้นในต้นสักทั้งหมดในพื้นที่พบว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะมีค่าสูงที่สุดและไม่พบค่าความแตกต่างทางสถิติ โดย Sahunalu (1999) กล่าวว่า การตัดขยายระยะต้นไม้ที่เปิดรับแสงอย่างเต็มที่ขึ้นอยู่โดดเดี่ยวหรือเติบโตในที่โล่ง อาจจะทำให้ต้นไม้มีความสูงลดลงไปบ้างก็ได้ แม้ว่าจะไม่มีเหตุผลที่ชัดเจนพอ แต่ก็อาจจะเป็นไปได้เพราะว่าเกิดการเติบโตของกิ่งและลำต้นบริเวณล่างแทนการเติบโตด้านความสูงก็ได้ ดังนั้นจึงควรทำการลิดกิ่ง (pruning) ภายหลังการตัดขยายระยะ 4–5 ปี เมื่อพิจารณาผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการตัดขยายระยะ และระดับความหนักเบาของการตัดขยายระยะยังไม่มีผลกระทบที่ชัดเจนต่อความเพิ่มพูนรายปีเฉลี่ยทางด้านความสูงของหมู่ไม้ Figure 2(b)



(a) DBH increment of all teak trees (b) height increment of all teak trees at 9 years after thinning

Figure 2 Mean annual (a) DBH increment of all teak trees and (b) height increment of all teak trees at 9 years after thinning

Remark: Treatments marked with different letters are significantly different (p<0.05).

ผลของการตัดขยายระยะต่อผลผลิตของหมู่ไม้

ปริมาตรหมู่ไม้และปริมาตรไม้รายต้น

ในส่วนของปริมาตรหมู่ไม้ในแปลงไม่ตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าแปลงตัดขยายระยะทั้งสองระดับ และมีค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในปีที่ 1-2 เนื่องจากจำนวนต้นไม้ที่ลดลงอย่างชัดเจนหลังการตัดขยายระยะทันที ภายหลังการตัดขยายระยะปีที่ 3-9 ไม่พบค่าความแตกต่างนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากต้นไม้ในแปลงที่ตัดขยายระยะมีการเติบโตที่มากกว่าทำให้มีปริมาตรหมู่ไม้ที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น ในขณะเดียวกันค่าเฉลี่ยปริมาตรไม้รายต้น พบว่าหลังการตัดขยายระยะ แปลงตัดขยายระยะระดับหนัก และระดับปานกลางมีค่าเฉลี่ยปริมาตรไม้ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการศึกษาครั้งนี้ในเรื่องของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก เมื่อภายหลังการตัดขยายระยะตั้งแต่ปี 4-9 ค่าเฉลี่ยปริมาตรไม้รายต้นในแปลงตัดขยายระยะระดับหนักและระดับปานกลาง แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงไม่ตัดขยายระยะ เนื่องจากการตัดขยายระยะเป็นการเพิ่มโอกาสในการใช้ทรัพยากรของต้นไม้ที่เหลือในแปลง ส่งผลดีให้เรือนยอดและเรือนรากของต้นไม้ที่เหลือใน

แปลงตัดขยายระยะ สามารถเติบโตได้ดีกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะซึ่งมีความหนาแน่นของต้นไม้มากกว่า Table 3

ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของปริมาตรหมู่ไม้และความเพิ่มพูนของปริมาตรรวมของหมู่ไม้

ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของปริมาตรหมู่ไม้และความเพิ่มพูนของปริมาตรรวมของหมู่ไม้ พบมากที่สุดในแปลงตัดขยายระยะระดับปานกลาง รองลงมาคือแปลงตัดขยายระยะระดับหนัก และแปลงไม่ตัดขยายระยะตามลำดับ ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังแสดงใน Figure 3 เนื่องจากการตัดขยายระยะระดับปานกลางมีพื้นที่ว่างในแปลงน้อยกว่าแปลงตัดขยายระยะระดับหนักทำให้เรือนยอดต้นไม้สามารถปกคลุมพื้นที่ว่างได้เร็วกว่าส่งผลให้มีอัตราการเพิ่มพูนได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vacharangkura and Wiribancha (2002) ทำการทดลองตัดขยายระยะ 2 วิธีการ คือ การตัดขยายระยะแบบสองแถวเว้นสองแถว และการตัดขยายระยะแบบแถวเว้นแถว พื้นที่สวนป่าแม่มาย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ภายหลังการตัดขยายระยะ 3 ปี พบว่าการตัดขยายระยะทั้งสองวิธีการไม่มีผลต่อผลผลิตรวมทั้งหมด และอัตราการเติบโตทางด้านปริมาตรของหมู่ไม้ และ RFD (2022) ได้รายงานผลของการตัดขยายระยะไม้สักด้วยวิธีการตัดขยายระยะแบบชั้นเรือนยอดต่ำ พบว่า การเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรหมู่ไม้พบมากที่สุดในแปลงตัดขยายระยะระดับปานกลาง รองลงมาคือ แปลงตัดขยายระยะระดับหนักและแปลงไม่ตัดขยายระยะ ตามลำดับ ส่วนความเพิ่มพูนของปริมาตรรวมของหมู่ไม้พบสูงที่สุดในแปลงตัดขยายระยะระดับปานกลาง รองลงมาได้แก่แปลงตัดขยายระยะระดับหนัก และแปลงไม่ตัดขยายระยะตามลำดับ ดังคำกล่าวของ Sahunalu (1999) ว่าการตัดขยายระยะอย่างหนักแต่ไม่บ่อยครั้งจะลดปริมาณผลผลิตทั้งหมดของหมู่ไม้ลดลง เนื่องจากมีช่วงเวลาระหว่างที่พื้นที่ว่างถูกเรือนยอดครอบคลุมได้หมดนั้นยาวนานขึ้น และการตัดขยายระยะระดับเบาแต่บ่อยครั้งเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียปริมาตรไม้ เมื่อเวลาผ่านไป 2-3 ปี ช่องว่างระหว่างเรือนยอดของหมู่ไม้จะมีสภาพหนาแน่นเหมือนก่อนการตัดขยายระยะในช่วงเวลาไม่นานนัก ดังนั้นโดยทั่วไปควรจะทำการตัดขยายระยะด้วยวิธีที่จะเพิ่มการเติบโตด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้มากเพียงพอที่จะไปเพิ่มปริมาตรหรือมูลค่าเนื้อไม้

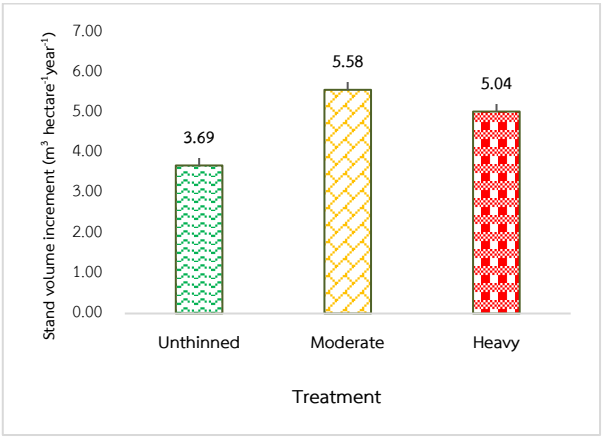
Table 3 Stand volume and mean stem volume of teak under different thinning intensities.

Stand characteristic	Number of years after thinning	Treatment			*p*-value
		Unthinned	Moderate Thinning	Heavy Thinning	
stand volume	Before thinning	81.54±5.67	98.40±15.41	87.14±16.26	0.354^{ns}
(m^3 ha^{-1})	Immediately after thinning	81.54±5.67^{a}	59.48±14.40^{ab}	37.56±7.40^{b}	0.00479**
	1 year after thinning	88.46±10.34^{a}	67.79±10.99^{a}	41.08±8.74^{b}	0.00353**
	2 years after thinning	79.25±2.48^{a}	66.21±13.87^{a}	40.50±6.63^{b}	0.00509**
	3 years after thinning	79.05±12.88	76.40±18.81	44.25±11.44	0.05^{ns}
	4 years after thinning	85.48±14.42	83.65±19.54	52.15±13.71	0.0766^{ns}
	5 years after thinning	93.11±16.16	91.52±16.86	58.54±13.03	0.0571^{ns}
	6 years after thinning	95.02±14.06	89.13±15.51	62.71±16.23	0.859^{ns}
	7 years after thinning	89.96±15.02	87.98±14.97	61.13±16.19	0.109^{ns}
	9 years after thinning	114.65±16.51	116.58±16.19	84.79±22.26	0.14^{ns}
mean stem	Before thinning	0.13±0.01	0.17±0.03	0.15±0.02	0.0755^{ns}
volume	Immediately after thinning	0.13±0.01^{b}	0.20±0.03^{a}	0.19±0.03^{a}	0.0207*
(m^3 $tree^{-1}$)	1 year after thinning	0.14±0.02	0.22±0.05	0.21±0.04	0.0796^{ns}
	2 years after thinning	0.15±0.02	0.22±0.03	0.21±0.03	0.0729^{ns}

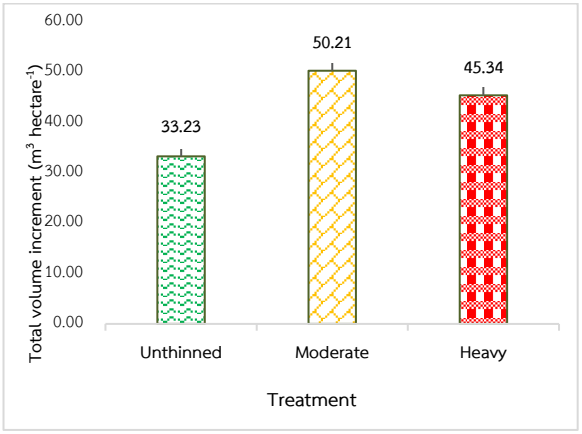
Table 3 (continued)

Stand characteristic	Number of years after thinning	Treatment			*p*-value
		Unthinned	Moderate Thinning	Heavy Thinning	
	3 years after thinning	0.18±0.01	0.27±0.03	0.25±0.03	0.0617^{ns}
	4 years after thinning	0.20±0.02^{b}	0.31±0.03^{b}	0.31±0.02^{ab}	0.0367*
	5 years after thinning	0.22±0.02^{b}	0.33±0.03^{a}	0.33±0.02^{a}	0.0185*
	6 years after thinning	0.23±0.02^{b}	0.33±0.05^{a}	0.36±0.01^{a}	0.0325*
	7 years after thinning	0.22±0.02^{b}	0.33±0.05^{ab}	0.35±0.01^{a}	0.0286*
	9 years after thinning	0.29±0.02^{b}	0.44±0.07^{a}	0.49±0.00^{a}	0.00456**

Remark: Values are represented as mean±S.D. and values followed by lowercase superscripts signify individual statistical differences among treatments at each measurement time. Treatments marked with different letters are significantly different so marked * significant at 0.05 level ($p \leq 0.05$), ** very significant at 0.01 level ($p \leq 0.01$) and ^{ns} not significant at 0.05 level ($p > 0.05$).



(a) stand volume increment of teak increment



(b) total volume increment

Figure 3 Mean annual (a) stand volume increment of teak increment under different thinning intensities at 9 years after thinning and (b) total volume increment of teak thinned at difference intensities 9 years after thinning

ปริมาตรของไม้สักทั้งหมด

ผลผลิตด้านปริมาตรของสักทั้งหมดในแปลง ประกอบด้วยปริมาตรของสักที่ถูกตัดขยายระยะออกจากพื้นที่ ปริมาตรของต้นสักที่ตาย และปริมาตรที่มีอยู่ในปัจจุบัน ผลผลิตด้านปริมาตรของไม้สักหลังการตัดขยายระยะ 9 ปี พบว่าปริมาตรทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดในแปลงไม่ตัดขยายระยะ รองลงมาคือแปลงตัดขยายระยะระดับปานกลาง และแปลงตัดขยายระยะระดับหนักตามลำดับ เนื่องจากแปลงไม่ตัดขยายระยะไม่มีการตัดต้นไม้ออกจากแปลงทำให้มีจำนวนต้นมากกว่าแปลงตัดขยายระยะ แต่ในขณะเดียวกันในแปลงไม่ตัดขยายระยะกลับมีจำนวนต้นสักตายตามธรรมชาติมากที่สุด เนื่องจากการแก่งแย่งแข่งขันของหมู่ไม้ และเป็นการสูญเสียปริมาตรไม้ในแปลงโดยที่ไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์สูงสุด ดังปรากฏใน Table 4 สำหรับแปลงตัดขยายระยะถึงแม้จะมีผลผลิตด้านปริมาตรน้อยกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะ แต่จากการศึกษาพบว่าแปลงตัดขยายระยะมีค่าเฉลี่ยการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และอัตราการเพิ่มพูนทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก มากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Sahunalu (1999) ได้กล่าวว่า การตัดขยายระยะมักจะไปทำให้ปริมาณผลผลิตรวมทั้งหมด (gross production) ลดลง แต่จะเพิ่มดัชนีการทำไม้ออกเนื่องจากเนื้อไม้ส่วนมากจะมีขนาดใหญ่และจะมีผลผลิตที่นำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และต้นไม้ที่มีขนาดความโตมากส่งผลให้ไม้มีราคาสูงมาก ดังจะเห็นได้จากการกำหนดตารางกำหนดราคาจำหน่ายไม้สักสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ (RFD, 2017) พบว่าราคาของไม้สักราคาสูงขึ้นตามขนาดความโตและความยาวท่อน

Table 4 Total stand volume (m^3 ha^{-1}) of teak under different thinning intensities.

Treatment	Volume of thinned trees	Volume of dead trees	Current volume	Total volume	Mortality (tree ha^1)
unthinned	0.00	61.94	38.25	100.19	200
moderate thinning	13.13	4.56	37.81	55.56	31
heavy thinning	18.38	5.69	27.63	51.75	31

ผลของการตัดขยายระยะต่อรูปทรงของต้นไม้

การศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อรูปทรงต้นไม้ใช้ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ความสูง (Ht) และความสูงถึงฐานเรือนยอด (Hb) คำนวณรูปทรงของต้นไม้เพื่อแสดงถึงเสถียรภาพ (stability) ของต้นไม้ ได้แก่ อัตราส่วนของเรือนยอดที่มีชีวิตอยู่ ค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และ ฟอร์มแฟกเตอร์ที่กำหนด

อัตราส่วนของเรือนยอดที่มีชีวิตอยู่ เป็นดัชนีใช้วัดความสามารถของเรือนยอดต้นไม้ในการสร้างอาหารเพื่อเลี้ยงส่วนที่เหลือของต้นไม้ (Sahunalu, 1999) จากการศึกษาพบว่าภายหลังการตัดขยายระยะในปีที่ 1-2 ปีที่ 5 และปีที่ 7 ปรากฏค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแปลงตัดขยายระยะ และไม่ได้ตัดขยายระยะ และพบค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในปีที่ 9 โดยแปลงตัดขยายระยะระดับหนักมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ แปลงตัดขยายระยะระดับปานกลางและแปลงไม่ตัดขยายระยะ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 65, 64 และ 54 ตามลำดับ ดัง Table 5 ต้นไม้จะเติบโตได้ดีเมื่อมีค่าอัตราส่วนเรือนยอดที่มีชีวิตอยู่ร้อยละ 40 ขึ้นไป ถ้าน้อยกว่าร้อยละ 30 จะทำให้ความแข็งแรงของต้นไม้ลดลง และทำให้การเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงด้วย (Suwannaphinan, 2002) ซึ่งแปลงตัดขยายระยะทั้ง 2 ระดับ มีค่า live crown ratio ที่สูง ทำให้ใบไม้ในเรือนยอดสามารถสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น ระบบรากสามารถกระจายเพื่อหาน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้น ส่งผลให้ต้นไม้แปลงตัดขยายระยะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกมากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะอย่างชัดเจน

สำหรับอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก จากการศึกษาพบว่าในแปลงตัดขยายระยะ และไม่ตัดขยายระยะ ภายหลังการตัดขยายระยะปีที่ 3-5 ปรากฏค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ภายหลังการตัดขยายระยะปีที่ 6-9 สำหรับแปลงไม่ตัดขยายระยะจะมีค่าสูงที่สุดเนื่องจากไม่มีการตัดต้นไม้ออก ทำให้มีความสามารถในการเติบโตทางด้านความโตน้อยลง ในขณะเดียวกันแปลงตัดขยายระยะระดับหนักจะมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ว่างในแปลงส่งเสริมให้ต้นไม้สามารถเติบโตได้ดีทำให้มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกสูง จึงทำให้ค่าอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกต่ำ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wang *et al.* (1998) ที่ได้ทำการศึกษาไม้จำนวน 5 ชนิดในป่าผสมทางตอนเหนือของประเทศแคนาดา พบว่าค่า Slenderness แปรผกผันกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง ความกว้างของเรือนยอนยอด และอายุ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Oyebade *et al.* (2015) ที่ได้ศึกษาในไม้สน *Pinus caribaea* ในประเทศไนจีเรีย พบว่าค่า slenderness แปรผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก อายุ และลักษณะของเรือนยอด และ Sahunalu (1999) ได้กล่าวว่าต้นไม้เรือนยอดเด่นมีค่าอัตราส่วนนี้ต่ำเนื่องจากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เปลี่ยนแปลงเป็นตัวชี้ถึงการสูญเสียความแข็งแรงได้มากกว่าความสูง และค่าอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกในไม้ชั้นเรือน

ยอดเท่ากับ 100 หรือมากกว่านี้แล้วหมู่ไม้ส่วนใหญ่มักถูกลมพัดหัก ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าไม้ในทั้ง 3 แผนการทดลองมีค่าต่ำกว่า 100 จะทำให้ต้นไม้ลดความเสี่ยงจากการโค่นล้มจากลมพายุได้ อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกหากมีค่าสูง หมายความว่าต้นไม้มีความโตน้อยแต่มีความสูงมาก (RFD, 2017) ซึ่งแปลงตัดขยายระยะระดับหนักที่มีค่าความโตมากจึงมีค่าอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกต่ำ

ฟอร์มแฟกเตอร์ที่กำหนดเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรที่แท้จริงของต้นไม้กับปริมาตรของรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูงเพียงอก ผลของการตัดขยายระยะต่อค่าฟอร์มแฟกเตอร์ที่กำหนด พบว่าแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะมีค่าสูงสุด และมีค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับแปลงที่ตัดขยายระยะในปีที่ 7 และ 9 หลังจากการตัดขยายระยะ ซึ่งจากผลการศึกษาแปลงไม่ตัดขยายระยะมีค่าฟอร์มแฟกเตอร์ที่กำหนด สูงกว่าแปลงตัดขยายระยะซึ่งเกิดจากต้นไม้มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกต่ำกว่าแปลงที่ตัดขยายระยะ ฟอร์มแฟกเตอร์ที่กำหนดหากมีค่าสูงแสดงว่าปริมาตรของต้นไม้ไม่แตกต่างจากปริมาตรของรูปทรงกระบอก (RFD, 2022) และ Sahunalu (1999) ได้กล่าวว่า ต้นไม้ที่แข็งแรงจะเพิ่มเนื้อไม้ตามระดับล่างเพื่อตอบสนองต่อความเครียดเชิงกลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักเรือนยอด ทำให้ต้นไม้ที่มีเรือนยอดเด่น (dominant tree) จะพัฒนาความเรียวมากและมีความแข็งแรงมาก ต้นที่ถูกเบียดบังหรือถูกข่มจะมีลำต้นเป็นรูปทรงกระบอกส่งผลให้ต้นไม้อ่อนแอ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการตัดขยายระยะ และความหนักเบาของการตัดขยายระยะมีผลต่อค่าฟอร์มแฟกเตอร์ที่กำหนดดังแสดงใน Table 5

Table 5 Stem form characteristics of teak under different thinning intensities

Stand characteristic	Number of years after thinning	Treatment			*p*-value
		Unthinned	Moderate thinning	Heavy thinning	
live crown ratio (%)	before thinning	55.60±1.68	59.29±3.84	55.82±2.63	0.282^{ns}
	immediately after thinning	55.60±1.68	60.00±5.01	57.59±2.94	0.386^{ns}
	1 year after thinning	54.08±0.74^{b}	60.09±2.23^{a}	58.26±2.63^{a}	0.027*
	2 years after thinning	54.22±1.36^{b}	60.52±0.80^{a}	58.67±0.74^{a}	0.0233*
	3 years after thinning	51.95±2.42	59.07±5.10	60.22±0.55	0.168^{ns}
	4 years after thinning	56.13±8.36	62.44±3.39	65.67±1.80	0.172^{ns}
	5 years after thinning	56.27±3.76^{b}	61.86±3.76^{ab}	66.25±3.47^{a}	0.0347*
	6 years after thinning	56.28±5.26	59.30±4.89	62.77±2.21	0.248^{ns}
	7 years after thinning	50.87±1.35^{b}	58.81±2.37^{a}	60.64±2.20^{a}	0.0242*
	9 years after thinning	53.75±2.63^{b}	63.56±2.04^{a}	64.94±0.81^{a}	0.00145**
slenderness ratio (%)	before thinning	98.46±3.02	98.65±1.06	98.81±2.21	0.885^{ns}
	immediately after thinning	98.46±3.02	94.36±1.92	93.34±4.20	0.236^{ns}
	1 year after thinning	99.55±1.79	98.26±3.06	95.20±3.14	0.368^{ns}
	2 years after thinning	107.73±1.52^{a}	100.57±1.99^{b}	98.87±1.9^{b}	0.0316*
	3 years after thinning	98.33±0.81^{a}	92.17±2.66^{b}	87.61±6.06^{b}	0.0128*
	4 years after thinning	94.67±1.47^{a}	88.72±1.25^{b}	83.02±7.11^{c}	0.00292**
	5 years after thinning	90.96±3.04^{a}	85.04±1.39^{a}	77.17±8.39^{b}	0.00781**

Table 5 (continued)

Stand characteristic	Number of years after thinning	Treatment			*p*-value
		Unthinned	Moderate thinning	Heavy thinning	
	6 years after thinning	95.08±1.39[a]	84.69±2.09[b]	80.08±8.43[b]	0.00529[**]
	7 years after thinning	96.62±2.05[a]	86.37±3.09[b]	80.03±5.05[c]	<0.0001[***]
	9 years after thinning	96.39±2.05[a]	86.98±3.09[ab]	78.74±5.05[c]	0.00265[**]
artificial form factor	before thinning	0.49±0.00	0.50±0.02	0.49±0.00	0.885[ns]
	immediately after thinning	0.49±0.00	0.48±0.01	0.49±0.01	0.236[ns]
	1 year after thinning	0.49±0.00	0.48±0.01	0.47±0.02	0.368[ns]
	2 years after thinning	0.49±0.00[a]	0.48±0.01[b]	0.48±0.00[ab]	0.0332[*]
	3 years after thinning	0.48±0.00	0.48±0.00	0.47±0.00	0.308[ns]
	4 years after thinning	0.48±0.00	0.48±0.02	0.47±0.00	0.609[ns]
	5 years after thinning	0.48±0.00	0.48±0.02	0.47±0.00	0.579[ns]
	6 years after thinning	0.47±0.01	0.47±0.00	0.46±0.00	0.178[ns]
	7 years after thinning	0.48±0.00[a]	0.47±0.00[b]	0.46±0.00[a]	0.011[*]
	9 years after thinning	0.47±0.00[a]	0.46±0.00[b]	0.45±0.00[b]	0.011[*]

Remark: Values are represented as mean±S.D. and values followed by lowercase superscripts signify individual statistical differences among treatments at each measurement time. Treatments marked with different letters are significantly different so marked * significant at 0.05 level ($p \leq 0.05$), ** very significant at 0.01 level ($p \leq 0.01$) *** highly significant at 0.001 level ($p \leq 0.001$) and [ns] not significant at 0.05 level ($p > 0.05$)

สรุป

การตัดขยายระยะที่ระดับความหนักเบาแตกต่างกัน ส่งผลให้ความหนาแน่นหมู่ไม้ระหว่างแปลงไม่ตัดขยายระยะและแปลงตัดขยายระยะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อภายหลังการตัดขยายระยะ 9 ปี พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นสักในแปลงตัดขยายระยะระดับหนักและระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.76 เซนติเมตร และ 23.28 เซนติเมตร ตามลำดับ แตกต่างจากแปลงไม่ตัดขยายระยะที่มีค่า 20.25 เซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนของความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของไม้ในแปลงตัดขยายระยะระดับหนัก มีค่า 0.99 เซนติเมตรต่อปี ในขณะที่แปลงไม่ตัดขยายระยะ มีค่าเพียง 0.53 เซนติเมตรต่อปีเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าในระยะเวลาที่เท่ากันแปลงตัดขยายระยะระดับหนักสามารถเติบโตเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก มากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะเกือบ 2 เท่า ในขณะเดียวกันค่าปริมาตรไม้เฉลี่ยรายต้นในแปลงตัดขยายระยะระดับหนัก ระดับปานกลาง และไม่ตัดขยายระยะ มีค่า 0.49, 0.44 และ 0.29 ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแปลงตัดขยายระยะทั้งสองระดับมีค่ามากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าปริมาตรหมู่ไม้ต่อเฮกตาร์ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยของปริมาตรหมู่ไม้ และปริมาตรรวมไม้ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามแปลงไม่ตัดขยายระยะได้สูญเสียต้นไม้จากการตายตามธรรมชาติ เฉลี่ย 200 ต้น/เฮกตาร์ มากกว่าแปลงตัดขยายระยะทั้งสองระดับที่มีเพียง 31 ต้น/เฮกตาร์ การตายตามธรรมชาติดังกล่าวจึงเป็นการเสียโอกาสในการใช้เนื้อไม้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้การตัดขยายระยะยังส่งผลดีต่อเสถียรภาพของต้นไม้ ซึ่งจะเห็นได้จากค่า Live crown ratio ในแปลงตัดขยายระยะทั้งสองระดับความหนักเบามีค่าเท่ากับร้อยละ 65 และ 64 ตามลำดับ มากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะที่มีเพียงร้อยละ 53 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Live crown ratio ซึ่งเป็นดัชนีใช้วัด

ความสามารถของเรือนยอดต้นไม้ในการสร้างอาหารแก่ต้นไม้ เมื่อมีค่ามากย่อมทำให้ต้นไม้เติบโตได้มากขึ้นนั่นเอง ในทางตรงกันข้าม ค่าอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและค่าฟอร์มแฟกเตอร์ที่กำหนดของแปลงตัดขยายระยะมีค่าน้อยกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าต้นสักในแปลงตัดขยายระยะมีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่มากกว่าแปลงไม่ตัดขยายระยะ ดังนั้น การตัดขยายระยะแบบชั้นเรือนยอดต่ำ ที่ระดับความหนักเบาระดับปานกลางและระดับหนัก จึงเป็นข้อเสนอแนะให้แก่เกษตรกรผู้มีสวนป่าสักได้ตัดสินใจตัดขยายระยะต้นไม้ เพื่อเพิ่มการเติบโตและเพิ่มเสถียรภาพความแข็งแรงของหมู่ไม้ ทั้งนี้เพื่อสร้างมูลค่าของไม้สูงสุดสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของผู้ปลูก เนื่องจากการเก็บข้อมูลในครั้งนี้ เป็นการเก็บเมื่อหมู่ไม้มีอายุ 19 ปี ซึ่งไม้สักยังคงสามารถที่เติบโตต่อไปได้อีก ดังนั้น จึงควรทำการเก็บข้อมูลในระยะยาวเพื่อให้ได้ข้อมูลในการจัดการสวนป่าสักได้ครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

คำนิยม

ขอขอบพระคุณห้างหุ้นส่วนจำกัดโรงเลื่อยจักรท่าเสา จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูล รวมถึงเจ้าหน้าที่สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ที่ช่วยเหลือในการวิเคราะห์และเก็บข้อมูล

REFERENCES

Forestry Commission. 2015. **Field Guide Thinning Control.** https://cdn.forestresearch.gov.uk/2015/09 /fcfg004.pdf, 23 October 2023. (in Thai)

Gonçalves, A.C. 2020. Thinning: An overview. **Silviculture,** 1: 1-19. doi:10.5772/intechopen.93436

Himaphan, W. 2023. **How to Selected Tree for Thinning.** Silvicultural Research Group. Forest Research and Development Bureau Royal Forest Department. http://forprod.forest.go.th/forprod/silvic /for_plant/JIRCAS-1, 5 March 2023. (in Thai)

Land Development Department. 2023. **62 Soil Series Groups.** http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoils/62_ soilgroup/main_62soilgroup.htm, 18 April 2023. (in Thai)

Meteorological Department. 2023. **Index Data by Province.** http://climate.tmd.go.th/data/province/pdf, 18 April 2023. (in Thai)

Oyebade, B.A., Eguakun, F.S., Egberibin, A. 2015. Tree Slenderness Coefficient (TSC) and tree GrowthCharacteristics (TGCS) for Pinus caribaea in Omo Forest Reserve, Nigeria. **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)**, 9(3): 56-62. doi: 10.9790/2402-09325662

Pandey, D., Brown, C. 2000. Teak: a global overview. **Unasylva,** 201(51): 3-13.

Phusudsawang, A. 2010. **Economic Plantation and Management of Teak for Farmers and the Private Sector**. Augsorn Siam Printing. Bangkok, Thailand. (in Thai)

Royal Forest Department (RFD). 2015. **Guidelines Thinning Method for Commercial Forest Plantations**. Kaew Chao Chom Media and Publishing Center, Suan Sunandha Rajabhat University. Bangkok, Thailand. (in Thai)

Royal Forest Department (RFD). 2017. **Techniques to Increase Productivity for Teak Plantations, The Final Report of the Research Project Sustainable Teak Plantation, Management Plan for Farmers**. http://forprod.forest.go.th/forprod/silvic/for_plant/data/RFD/3.pdf, 28 January 2023. (in Thai)

Royal Forest Department (RFD). 2022. **Silvicultural for Increasing Growth, Yield and Methods for Estimating Production of Teak Plantations**. http://forprod.forest.go.th/forprod/silvic/for_plant /Research-1.html, 28 January 2023. (in Thai)

Sahunalu, P. 1999. **Applied Ecology in Silviculture.** Faculty of Forestry, Kasetsart University. Bangkok, Thailand**.** (in Thai)

Suwannaphinan, W. 2002. **Silvicultural System** (3rd ed.). Department of Silviculture. Bangkok, Thailand. (in Thai)

The Customs Department. 2023. **Statistical Data.** http://www.customs.go.th/statistic_report, 6 March 2023. (in Thai)

Vacharangkura, T., Himmapan, W. 2018. Variable-top merchantable volume equations for teak (*Tectona grandis* Linn. f.) in Thailand. **Journal of Forest Management**, 12(24): 1-13. (in Thai)

Vacharangkura, T., Wiribancha, C. 2002. Clear-cutting extension and stump sprouting of teak plantations: growth of teak plantations during 3 - years period after clear-cutting extension. In **Proceedings of the Forestry Conference 2002. "The Potential of Forests for Thai Economic Recovery".** Department of Forestry, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok, Thailand. pp. 83–102. (in Thai)

Wang, Y., Titus, S.J., LeMay, V.M. 1998. Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests. **Canadian Journal of Forest Research,** 28(8): 1171–1183. doi.org/10.1139/x98-092