



กรมป่าไม้



ส ก ส ว
T S R I

รายงานฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพการปลูก เพื่อเพิ่มผลผลิตของสวนป่าสัก



สวนวนวัฒนวิจัย

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้
กรมป่าไม้

2565

รายงานฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพการปลูกเพื่อเพิ่มผลผลิตของสวนป่าสัก Improvement of planting efficiency for enhancing productivity of teak plantation

ภายใต้แผนงานวิจัย การจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกร (ระยะที่สอง) Sustainable management of teak plantation for farmers (Phase II)

ผู้ร่วมวิจัย

นางวรรณพร หิมพานต์	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	หัวหน้าโครงการวิจัย
นายวิโรจน์ ครองกิจศิริ	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายสุชาติ นิมพิลา	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายนรินทร์ เทศสร	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางเบญจรัตน์ พรหมเพ็ญ	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวกัญญารัตน์ ชยาภรณ์	นักวิชาการป่าไม้ปฏิบัติการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางกาญจนา นิมพิลา	พนักงานธุรการ ส 4	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายสุรินทร์ แข่งขัน	นักวิจัยป่าไม้	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายธีรยุทธ วงสอน	นักจัดการงานทั่วไป	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
ว่าที่ ร.ต.หญิงนุสบา ไหมเงิน	นักวิชาการป่าไม้	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวสุจิรา เจริญกรุง	นักจัดการงานทั่วไป	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวปิยนุช รับพร	เจ้าพนักงานธุรการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวจารุณี โนรีเวช	เจ้าหน้าที่ธุรการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวสุพัตรา กล่อมอิม	คนงาน	ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ส่วนงานพัฒนาวิจัย

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

2564

บทคัดย่อ

โครงการวิจัย การปรับปรุงประสิทธิภาพการปลูกเพื่อเพิ่มผลผลิตของสวนปาล์ม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแม่ไม้มากที่เหมาะสม พัฒนารูปแบบการปลูกและการปรับปรุงดินเพื่อการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ องค์ความรู้และเทคนิคการเพิ่มผลผลิตสำหรับการส่งเสริมการปลูกสร้างสวนปาล์มจะถูกถ่ายทอดไปยังเกษตรกรรายย่อยและภาคเอกชนสำหรับการตัดสินใจประกอบการปลูกสร้างสวนปาล์ม รวมทั้งเป็นองค์ความรู้สำหรับผู้สนใจหรือสถาบันการศึกษาเพื่อนำไปใช้ในการต่อยอดงานวิจัยทั้งในสัปดาห์และไม่มีค่าชนิดอื่น

ทำการศึกษาศูนย์เมล็ดพันธุ์ไม้ปาล์มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น การคัดเลือกแม่ไม้มากที่เหมาะสมต่อการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทำการทดลองปลูกจำนวน 25 สายต้น ที่มีลักษณะดี วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ สายต้นละ 3 ต้น ระยะปลูก 4x4 เมตร ทำการวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มสายต้นและประเมินค่าทางพันธุกรรม ส่วนเทคนิคการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อเพิ่มความเหมาะสมในการปลูก ระยะปลูก 2 x 2 เมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 12 ซ้ำ ทดลองใส่ถ่านในปริมาณ 4.0, 2.0, 1.0 ตันต่อเฮกตาร์ และ ไม่ใส่ และทดลองใส่แคลเซียมเบนโทนาตในปริมาณ 1.0, 0.5 กิโลกรัมต่อตัน และไม่ใส่ ทำการวัดข้อมูลการรอดตายและการเติบโตและนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน

ผลการศึกษา พบว่า clone ที่อยู่ในกลุ่มที่ดีที่สุด หรือเป็นพันธุ์ที่ดีที่ควรนำไปขยายพันธุ์เพื่อการปลูกสร้างสวนปาล์มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงนำไปเป็นประชากรพื้นฐานเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้ดีขึ้นในรุ่นต่อไป ได้แก่ 219 และ V335 หากต้องการคัดเลือกลำนำไปปรับปรุงพันธุ์ด้านความโต clone ที่มีค่าทางพันธุกรรมสูง 3 ลำดับแรก ได้แก่ 302 MH9 และ 8C20 หากต้องการคัดเลือกลำนำไปปรับปรุงพันธุ์ด้านความสูง clone ที่มีค่าทางพันธุกรรมสูง 3 ลำดับแรก ได้แก่ MH9 302 และ 219 ในขณะที่ clone 271 แม้ว่าการให้คะแนนด้านรูปทรงจะจัดอยู่ในกลุ่มปานกลาง แต่จากจำนวนที่รอดตายมีจำนวนน้อยมาก จึงไม่ควรนำมาปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนการปรับปรุงคุณสมบัติของดินพบว่าการใส่แคลเซียมเบนโทนาต ซึ่งเป็นสารที่ช่วยดูดซับธาตุอาหารและการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน การใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีจึงช่วยทำให้การเติบโตของกล้าเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.5 กิโลกรัม ในขณะที่การใส่ถ่านจะช่วยให้กล้ามีความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับขีดดินเพิ่มมากขึ้นแต่ไม่ได้แสดงผลชัดเจนในเรื่องของมวลชีวภาพ แต่การใส่ถ่านปริมาณ 1 ตันต่อเฮกตาร์ จะช่วยลดการตายของกล้าไม้ได้ แสดงว่าการใช้สารปรับปรุงดินได้แก่ เบนโทนาตและถ่านจะช่วยให้ปรับปรุงคุณสมบัติของดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ : สวนปาล์ม, ประสิทธิภาพ, เพิ่มผลผลิต

Abstract

Improvement of planting efficiency for enhancing productivity of teak plantation aims to study suitable teak clone, develop planting method and soil improve for planting teak in Northeast of Thailand. The knowledge and technique to increase productivity of teak plantation will be transferred to the small scale farmers and private sector for decision-making on investment or management in teak plantation, including the further research for interested people and education institutes both teak and other high-value tree species.

The study was conducted at the Northeast Forest Seed Center, Khon Kaen Province. The twenty-five teak clone were planted in Completely Randomized Block Design with 3 blocks, three trees in each clone, and 4x4 meter spacing. The clonal group and genetic parameter estimation and selection index was analysis for the suitable teak clone for planting in Northeast. The techniques of soil properties improvement planted teak with 2x2 meter spacing. The amount of charcoal was set four kinds (4t / ha, 2t / ha, 1t / ha, and 0t / ha). In addition, three kinds of bentonite treatment (1kg, 0.5kg and 0kg) were set for each charcoal treatment. A total of 12 treatments were created by combining charcoal and bentonite. The survival and growth were measured and compare among the treatments.

The results showed that the good group or the good clones which should be propagated for planting in Northeast, including the basic population for new generation improving were clone no. 219 and V335. The top three of good clones in term of diameter were clone no. 302 MH9 และ 8C20, while the top three in term of height were MH9 302 และ 219. The unsuitable clone for planting in Northeast was clone no. 271 due to the lowest survival rate. The results of soil properties improvement found that calcium bentonite showed positive effects for the growth acceleration of teak seedlings. The effects of bentonite were revealed by 0.5kg of addition. In contrast, addition of charcoal showed the increase height and diameter; however, increase of biomass was not clear. However, charcoal was decreased the mortality of seedlings by use 1t / ha of addition, and this trait was important for enhancing teak plantation productivity in the sandy soil of Northeast of Thailand.

Keywords : efficiency, enhancing productivity, teak plantation

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ก
ABSTRACT.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญภาพ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	1
คำนำ.....	2
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
ตรวจเอกสาร.....	3
การทดสอบแม่ไม้สัก.....	3
การปรับปรุงดิน.....	4
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	6
การคัดเลือกแม่ไม้สักที่เหมาะสมต่อการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	6
เทคนิคการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อเพิ่มความเหมาะสมในการปลูกสัก..	9
ผลการวิจัย.....	11
การคัดเลือกแม่ไม้สักที่เหมาะสมต่อการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	11
เทคนิคการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อเพิ่มความเหมาะสมในการปลูกสัก	20
สรุปผลการวิจัย.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	34

สารบัญภาพ

	หน้า
Figure 1 Layout of 25 Clonal test at Northeast Forest Seed Center	7
Figure 2 Layout of improvement the sandy soil for teak in Northeast of Thailand.....	10
Figure 3 Examples of stem characteristics categorized as straight stem, V-shape, branch and multi-stem (from left to right).....	11
Figure 4 Tree height and root collar diameter of teak seedlings grown in 12 treatments.....	24
Figure 5 Total biomass of teak seedlings grown in 12 treatments	25
Figure 6 Biomass of each part of teak seedling grown in 12 treatments	26
Figure 7 Biomass of each part of teak seedling grown in different amount of bentonite (no charcoal).....	27
Figure 8 Photosynthetic rate at light saturation in teak seedlings grown in 12 treatments (9:00-11:00).....	28
Figure 9 Concentration of chlorophyll in leaves of teak seedlings grown in 12 treatments	29
Figure 10 Concentration of phosphorus in leaves of teak seedlings grown in 12 treatments	29
Figure 11 Leaf water potential of teak seedlings grown in 12 treatments.....	31

สารบัญตาราง

หน้า

Table 1 Average performance and scoring system for growth and stem quality in 5-year-old Clonal teak at Khon Kaen Province	10
Table 2 Phenotype values (P), Genotype values (G) of DBH in each clonal number	17
Table 3 Phenotype values (P), Genotype values (G) of Ht in each clonal number	18
Table 4 Phenotype values (P), Genotype values (G) of Branch size in each clonal number ..	19
Table 5 Soil texture and chemical properties of 12 treatments.....	21

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้อยู่ภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างกรมป่าไม้และศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเกษตรนานาชาติแห่งประเทศญี่ปุ่น (Japan International Research Center for Agricultural Science : JIRCAS) โดยมีนักวิจัยหลักที่ร่วมโครงการ ได้แก่ Dr. Masazumi Kamaya คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ นายทศพร วัชรางกูร ข้าราชการบำนาญกรมป่าไม้ ผู้ให้คำปรึกษาในการศึกษาวิจัยตลอดระยะเวลาของโครงการ นางวิลาวัณย์ วิเชียรนพรัตน์ ข้าราชการบำนาญกรมป่าไม้ และ นายสุวรรณ ตั้งมิตรเจริญ ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการส่งเสริมการปลูกป่า ผู้ริเริ่มก่อตั้งแปลงทดลองไว้ ขอกราบขอบพระคุณ นางสาวจรรยา หงส์ทอง ข้าราชการบำนาญกรมป่าไม้ ผู้เป็นนักวิจัยร่วมและดำเนินการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

โครงการวิจัยนี้จะไม่สามารถดำเนินการได้เลย หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์งบประมาณจากกรมป่าไม้ โดยสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

คำนำ

ไม้สักเป็นไม้ที่สำคัญและมีค่าทางเศรษฐกิจตั้งแต่ในอดีต แต่ในปัจจุบันไม้สักกลับต้องนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสวนป่าที่มีวัตถุประสงค์ทางด้านเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามในขณะที่รัฐบาลโดยกรมป่าไม้ได้ส่งเสริมให้ภาคเอกชนและเกษตรกรปลูกป่าไม้เศรษฐกิจ ไม้เศรษฐกิจส่วนใหญ่ที่เกษตรกรปลูกยังคงเป็นไม้สัก แต่ปัญหาที่เกษตรกรที่มีสวนป่าสักแล้วยังประสบคือความไม่เข้าใจและขาดความรู้เรื่องการจัดการสวนป่า แม้แต่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งสภาพดินส่วนใหญ่เป็นดินทราย และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ กรมป่าไม้ เป็นหน่วยงานหลักที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกสร้างสวนป่าสัก ดังนั้นจึงควรให้ความรู้แก่เกษตรกร รวมทั้งผู้ที่สนใจประกอบธุรกิจเกี่ยวกับสวนป่าสักในเรื่องการคัดเลือกแม่ไม้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ การปรับปรุงวิธีการปลูก รวมทั้งการปรับปรุงดินให้ส่งเสริมการเติบโตของไม้สัก เพื่อให้การปลูกสักมีประสิทธิภาพทั้งด้านการให้ผลผลิตและมูลค่าของเนื้อไม้เพิ่มมากขึ้น

ในระหว่างปีงบประมาณ 2555-2559 กรมป่าไม้ได้มีโครงการวิจัยร่วมระหว่างกับ Japan International Research Center for Agricultural Science (JIRCAS) แห่งประเทศญี่ปุ่น ภายใต้แผนงานการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกร เพื่อหาข้อมูล แนวทาง วิธีการ และเทคนิคที่สำคัญในการจัดการสวนป่าสัก ทั้งในด้านการเพิ่มผลผลิตไม้ในสวนป่า เช่น การตัดขยายระยะ การลิดกิ่ง การจัดการเพื่อสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติ ตลอดจนความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหมู่ไม้ เพื่อให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนสูงสุดจากการลงทุนปลูกสร้างสวนป่าสัก ภายใต้แผนงานวิจัยดังกล่าวได้มีความพยายามที่จะคัดเลือกแม่ไม้สักที่สามารถรอดตายและเจริญเติบโตได้ในส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งได้ทดลองการใส่ปุ๋ยและสารอื่นๆ เพื่อช่วยให้สวนป่าสักให้ผลผลิตและคุณภาพมากยิ่งขึ้น โครงการวิจัยครั้งนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ครอบคลุมและชัดเจนมากยิ่งขึ้น รวมทั้งปรับปรุงวิธีการปลูก การใส่ปุ๋ย หรือค้นหาสารที่จะมาปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งด้านกายภาพและเคมีของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งโครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อดำเนินการภายใต้งานวิจัยร่วมกันระหว่างกรมป่าไม้กับ JIRCAS ที่จะดำเนินการต่อเนื่องในระหว่างปีงบประมาณ พ.ศ.2560-2564

การวิจัยตามโครงการวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นเพื่อการส่งเสริมการปลูกสักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการคัดเลือกแม่ไม้ที่เหมาะสม และวิธีการปลูก ตลอดจนการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกสักมากยิ่งขึ้น การศึกษาวิจัยจะต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิด จึงดำเนินการศึกษาวิจัยภายในศูนย์เมล็ดพันธุ์ไม้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้เป็นหลัก และอาจมีการนำผลการทดลองเบื้องต้นไปทดลองในพื้นที่ของเกษตรกรด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาแม่ไม้สักที่เหมาะสมสำหรับการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- 2) เพื่อพัฒนาวิธีการปลูกและการปรับปรุงดินเพื่อการปลูกสักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- 3) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการส่งเสริมการปลูกสร้างสวนป่าสักและตัดสินใจในการลงทุนเพื่อประกอบการปลูกสร้างสวนป่าไม้สักของประเทศไทย สำหรับเกษตรกรรายย่อยและภาคเอกชนที่ต้องการประกอบธุรกิจด้านการปลูกสร้างสวนป่าสัก
- 4) เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคนิคการเพิ่มผลผลิตสำหรับการปลูกสร้างสวนป่าไม้สักสู่เกษตรกรผู้เกี่ยวข้อง และผู้สนใจอื่นๆ

ตรวจเอกสาร

การทดสอบแม่ไม้สัก

การทดสอบแม่ไม้ (clonal test) เป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งในโครงการปรับปรุงพันธุ์ไม้สัก เนื่องจากแม่ไม้ (plus tree) ที่ผ่านการคัดเลือกนั้น สามารถยืนยันว่าเป็นไม้ที่มีลักษณะดีได้เพียงลักษณะภายนอก (phenotypically superior tree) เท่านั้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจเกิดจากสภาพสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งอาจจะเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นไม้ต้นนั้นๆ ซึ่งไม่ใช่ลักษณะทางพันธุกรรมที่จะถ่ายทอดไปสู่ลูกหลานได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบแม่ไม้ที่คัดเลือกมาแล้วว่าลักษณะดีที่ปรากฏเป็นลักษณะทางพันธุกรรมหรือไม่ โดยการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของแม่ไม้ที่ผ่านการคัดเลือก แล้วนำไปปลูกในท้องที่มีสภาพแวดล้อมต่างๆกัน (อภิชาติ, 2528)

โครงการปรับปรุงพันธุ์ไม้สักได้ทำการคัดเลือกแม่ไม้ตั้งแต่เริ่มโครงการเมื่อปี พ.ศ. 2508 จนถึงปัจจุบันเป็นจำนวนกว่า 500 แม่ไม้ (ไพรัช, 2544) แต่ได้ทำการทดสอบแม่ไม้ไปเพียง 100 แม่ไม้เท่านั้น และใช้กล้าไม้จากวิธีการขยายพันธุ์โดยการติดตา (ไพรัช และอภิชาติ, 2544) ซึ่งทำได้ง่ายสำหรับไม้สัก แต่การขยายพันธุ์วิธีนี้นักได้รับการโต้แย้งจากนักวิชาการทั้งหลายว่า ต้นไม้ที่ขึ้นอยู่อาจไม่ใช่ต้นที่เกิดจากการติดตาก็ได้ ถ้าหากตาที่ติดไว้ตายไปหน่อที่เกิดจากต้นตอก็จะแตกขึ้นมาแทน ซึ่งข้อโต้แย้งดังกล่าวก็มีความเป็นไปได้สูงหากผู้ปฏิบัติการในภาคสนามไม่หมั่นตรวจสอบดูแลในข้อนี้ นอกจากนี้ยังพบว่าการขยายพันธุ์โดยการติดตาอาจมีปัญหาเนื่องจากเกิดการไม่ยอมรับซึ่งกันและกัน หรือ บรีเวรณ รอย เชื่อม ต่อ ของ กิ่ง ตากับ ต้น ตอ (incompatibility) (ไพรัช และจันรรจ์, 2539) ซึ่งอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของต้นไม้ด้วย ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดสอบได้ นอกจากนี้ระบบรากของต้นที่ทดสอบก็แตกต่างจากส่วนของลำต้น เพราะมาจากต้นอื่นและมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของลำต้นโดยรวม เพื่อแก้ปัญหาอันอาจจะเกิดจากการขยายพันธุ์โดยการติดตาดังกล่าว การทดสอบแม่ไม้สักในครั้งนี้นี้จึงจะเปลี่ยนวิธีการขยายพันธุ์มาใช้ในการปักชำแทน โดยใช้แบบอย่างจากการศึกษาของ Pianhanuruk *et al.* (1996) และ ประสิทธิ์ (2545) ที่ประสบความสำเร็จในการปักชำกิ่งแก่โดยทำการลดอายุของกิ่งปักชำนั้น ด้วยการผ่านขั้นตอนการติดตาก่อนแล้วจึงนำกิ่งที่แตกจากตานั้นมาปักชำ

ค่าอัตราส่วนทางพันธุกรรม (heritability) เป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่าปริมาณการผันแปรทางพันธุกรรม (genetic variation) ของประชากรนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับความผันแปรทั้งหมด (total variation = genetic + environment) มีปริมาณเท่าใด ซึ่งค่า heritability จะบอกถึงอัตราส่วนของความผันแปรของประชากรที่เกิดจากความแตกต่างทางพันธุกรรม ดังนั้นค่า heritability จึงเป็นค่าที่บอกถึงสัดส่วน (ratio) ของลักษณะใดลักษณะหนึ่งที่พ่อและแม่จะถ่ายทอดไปยังลูกไม่ได้ ค่า heritability มี 2 แบบคือ narrow-sense heritability และ broad-sense heritability ค่า heritability ทั้งสองแบบ จะมีค่าระหว่าง 0-1 โดยค่า 0 หมายถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นในประชากรมิได้เกิดจากพันธุกรรม แต่ถ้าความผันแปรทั้งหลายมีสาเหตุมาจากพันธุกรรมทั้งหมด ค่า heritability จะมีค่าเท่ากับ 1 (ส่วนวนวิวัฒน์วิชัย, 2542) จากผลการคำนวณค่า heritability ที่ได้เราสามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าผลได้ทางพันธุกรรม (genetic gain) หรือ ผลตอบสนองต่อการคัดเลือก clones (response to clonal selection) ต่อไป (อภิชาติ, 2528)

การศึกษารั้วนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลที่เป็นเครื่องบ่งชี้สำหรับการคัดเลือกแม่ไม้สัก ไปขยายพันธุ์ปลูกสร้างสวนป่าแบบ clonal plantation และปรับปรุงพันธุ์สำหรับการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่อไป

การปรับปรุงดิน

การจัดการสวนป่าเพื่อเพิ่มผลผลิตไม้วิธีการหนึ่งคือการปรับปรุงดิน สามารถดำเนินการได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ความเหมาะสมของสภาพเศรษฐกิจ ลักษณะพื้นที่ ชนิดไม้ และความรู้พื้นฐานของผู้ดำเนินการ อย่างไรก็ตามถ้าจะกล่าวถึงวิธีการปรับปรุงดินที่เหมาะสมกับการเพิ่มผลผลิตของการปลูกสร้างสวนป่าไม้เศรษฐกิจที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบันที่สะดวกและรวดเร็วแล้ว การใส่ปุ๋ยนับว่าเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และเป็นที่นิยมมากที่สุด แต่แนวโน้มราคาน้ำมันที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลกระทบต่อราคายุ๋ยโดยตรงทำให้เกิดสถานการณ์ปุ๋ยแพง หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเกิดภาวะวิกฤตปุ๋ยเคมีซึ่งเพิ่มภาระให้แก่เกษตรกรโดยตรง ถ้าเกษตรกรมีรายได้ต่ำไม่สามารถจัดซื้อปุ๋ยมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตได้ก็จะทำให้ผลผลิตตกต่ำ ส่งผลต่อการลดลงของรายได้ เมื่อประกอบกับสภาวะอาหารมีราคาสูงขึ้นด้วยแล้วก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชีวิตรวมถึงสุขภาพจิตของทุกคนในครอบครัวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงดินในสภาวะดังกล่าวที่น่าจะเป็นทางเลือกและทางออกที่ดีคือใช้วิธีการปรับปรุงดินแบบผสมผสาน

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการเพิ่มผลผลิตของไม้หลายชนิดโดยใช้การปรับปรุงคุณภาพดินที่ต่างกัน เช่น การปรับปรุงดินในแปลงปลูกไม้ ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (สมชาย, 2528; อุทัยวุฒิ, 2529; มยุรี, 2530 และ มยุรี, 2539) การปรับปรุงดินในไม้กระถินณรงค์ (สุวรรณ และคณะ, 2534) การปรับปรุงดินในไม้กระถินเทพา (เสรี และคณะ, 2542) การปรับปรุงดินในแปลงปลูกไม้สัก (Binchao and Jiayu, 1995)

สัปดาห์ใหญ่ปลูกกันได้ดีในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ ในขณะที่สักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีการเติบโตที่ต่ำกว่าในสองภาคดังกล่าวข้างต้น (Kaosa-ard, 1998) ปัจจัยหนึ่งของความแตกต่างคือลักษณะของดิน สักจะเติบโตได้ดีในดินที่มีธาตุอาหารและความชื้นในดินเพียงพอ ในขณะที่ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีธาตุอาหารต่ำและเป็นดินทราย (Kaosa-ard *et al.*, 1998, Tanaka *et al.*, 1998, Wichienopparat *et al.*, 2012) ทำให้การเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวนมากยังคงต้องการปลูกไม้สักในพื้นที่ของตนเอง

การศึกษาภายใต้แผนงานวิจัยการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกรที่ผ่านมา พบว่า ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นดินทราย มีความเหมาะสมของดินต่อการปลูกสักปานกลางถึงไม่เหมาะสม (โครงการความร่วมมือด้านการวิจัยระหว่างกรมป่าไม้และ JIRCAS, 2555 : โครงการความร่วมมือด้านการวิจัยระหว่างกรมป่าไม้และศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์การเกษตรนานาชาติแห่งประเทศไทย (JIRCAS), 2558) การทดลองปรับปรุงดินโดยการใส่โดโลไมต์ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ต้นสักที่ปลูกทดลองในศูนย์เมล็ดไม้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่นมีการเติบโตทางด้านความโตและความสูงมากที่สุด ในขณะที่ได้ทำการทดลองใส่ถ่านและเบนโตนิต (Bentonite) ในดินทรายหรือดินปกติของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลการศึกษาเบื้องต้นสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินทรายในการอุ้มน้ำของดินได้ การศึกษาต่อเนื่องในครั้งนี้เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลต่อเนื่อง นอกจากนี้ภายใต้โครงการนี้ยังมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการทดลองหาปริมาณและวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม รวมถึงการทดลองเพื่อหาสารตัวอื่นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินหรือเร่งการเติบโตทดแทนการใช้เบนโตนิตที่อาจไม่เหมาะสมกับการใช้ของเกษตรกร เพื่อให้ผู้ต้องการที่จะปลูกสร้างสวนป่าสักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสามารถปลูกสร้างสวนป่าสักให้ได้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การคัดเลือกแม่ไม้สักที่เหมาะสมต่อการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เป็นการเก็บข้อมูลต่อเนื่องจากโครงการวิจัยตามแผนการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกรในระยะแรก

1) แปลงทดลอง

ทำการทดลองปลูกในพื้นที่ของศูนย์เมล็ดพันธุ์ไม้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น (16°16' N, 102° 47' E, 191 m a.s.l.) ข้อมูลสภาพอากาศที่เก็บในแปลงทดลอง พบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1,104 มม. อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี สูงสุด และต่ำสุด เท่ากับ 28.3°C, 40°C และ 13 °C ตามลำดับ ฝนตกช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม เดือนอื่นนับว่าเป็นช่วงฤดูแล้ง (Kayama *et.al.*, 2016) ดินเป็นดินทราย จากการแบ่งตาม FAO/UNESCO soil taxonomy จัดเป็น Acrisol (Food and Agriculture Organization, 1993) หากจัดตาม the USDA taxonomy จัดเป็น Ultisol (Kyuma, 2003)

ทดลองปลูกเมื่อปี พ.ศ.2557 ซึ่งได้ทดลองปลูกต้นพันธุ์จำนวน 25 สายต้น (clone) เป็น clone ที่เด่นสุด จากการศึกษากการทดสอบ clone ในครั้งแรก จำนวน 7 clone จาก full-sib progeny 4 clone คัดเลือกใหม่จาก clone ที่ขึ้นในที่สูงจากจังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 3 clone รวมถึงคัดเลือก clone ที่มีลักษณะดีและจากแม่ไม้เพื่อเป็นตัวควบคุม

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design แบบ 3-line plot 4 ซ้ำ ปลูก clone ละ 3 ต้น ในแถว ด้วยระยะปลูก 4x4 เมตร (Figure 1)

245	219	28C28	302	37	MH7	271	245	3/27	38
5/79	เมล็ดทั่วไป	8C20	11C26	119	302	5C18	เมล็ดทั่วไป	119	331
271	V335	14/105	MH17	39	300	MH9	14/105	219	39
300	331	MH9	3/27	5C18	8C20	28C28	MH17	V335	22C50
2AA/15	22C50	38	3BB/38	MH7	37	11C26	3BB/38	5/79	2AA/15
271	เมล็ดทั่วไป	2AA/15	22C50	MH9	MH17	5C18	302	22C50	331
V335	8C20	5/79	245	39	V335	119	37	MH7	8C20
119	MH7	37	5C18	3/27	เมล็ดทั่วไป	11C26	14/105	271	3BB/38
MH17	38	14/105	300	331	5/79	39	MH9	300	3/27
3BB/38	11C26	219	302	28C28	2AA/15	245	28C28	38	219

Figure 1 Layout of 25 Clonal test at Northeast Forest Seed Center

2) วิธีการเก็บข้อมูล

(1) เก็บข้อมูลอัตราการรอดตายและการเติบโตทางความสูงและความโต อย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดระยะโครงการวิจัย

(2) เก็บข้อมูลลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ มุมของกิ่ง ขนาดของกิ่งเทียบกับลำต้น ความเปลาตรงของลำต้น และสัดส่วนความยาวของลำต้น

3) วิธีการวิเคราะห์

(1) วิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่ม clone โดยใช้ค่าเฉลี่ยของทุกเบอร์ ค่าเฉลี่ยของทุกแปลง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในรูปของ normal curve (Kittibanpacha *et.al.*, 1988) โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มดีที่สุด (good : G) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยรวม + S.D. (3 คะแนน)

กลุ่มปานกลาง (intermediate : M) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยรวม $\pm$ S.D. (2 คะแนน)

กลุ่มด้อยที่สุด (poor : P) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยรวม - S.D. (1 คะแนน)

(2) ประเมินค่าทางพันธุกรรม (genetic parameter estimation and selection index) ด้วยการคำนวณ

ประเมินค่าอัตราส่วนทางพันธุกรรม (heritability) โดยทำการประเมินหาอัตราส่วนทางพันธุกรรมอย่างกว้าง (broad sense heritability) จากค่าเฉลี่ยของแต่ละ clone ที่ทดสอบทั้งแปลง (อภิชชาติ, 2528) คำนวณจากสูตร

$$h^2 = V_g / V_p = V_g (V_g + V_e)$$

โดยที่

- h^2 = broad sense heritability
- V_g = genotypic variance (ระหว่าง clones)
- V_p = phenotypic variance (ระหว่าง clones)
- V_e = environment variance (ที่ทดสอบ clones)

แทนค่า

$$h^2 = V_c / (V_c + V/r)$$

หรือ

$$h^2 = 1 - 1/F \quad (\text{วิธีลัด})$$

โดยที่

- V_c = $(MSC - MSE) / r$
- V = MSE
- V_c = MSC / MSE

ประเมินหาอัตราส่วนทางพันธุกรรม (genotypic value) จากอัตราส่วนทางพันธุกรรม โดยสามารถประเมินหาอัตราส่วนทางพันธุกรรมของแต่ละ clone ที่ทำการทดสอบ โดยคำนวณเป็นค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (deviation) ของ clone ทั้งหมด ที่ทำการทดสอบ (อภิชชาติ, 2528) จากสูตร (Falconer, 1960)

โดยที่

- G = $h^2 P$
- G = genotypic value (%)
- h^2 = heritability ของ clones ที่ทดสอบ
- P = phenotypic variance (deviation from mean) %

เมื่อ

- P = $100 (X_i - \bar{X}) / \bar{X}$
- X_i = clones mean (ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของแต่ละ clone)
- $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของ clones ทั้งหมด

(3) วิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการรอดตายและอัตราการเติบโตของไม้สักในแต่ละ clone คัดเลือกแม่ไม้ที่สามารถเติบโตได้ดีในพื้นที่ เพื่อนำไปปลูกทดสอบในพื้นที่อื่นๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่อไป

เทคนิคการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อเพิ่มความเหมาะสมในการปลูกสัก

เป็นการเก็บข้อมูลต่อเนื่องจากโครงการความร่วมมือระหว่างกรมป่าไม้กับ JIRCAS ที่ดำเนินการระหว่างปี พ.ศ.2555-2559 ซึ่งดำเนินการวิเคราะห์โดยทาง JIRCAS

ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่ที่ดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกสักระดับปานกลาง โดยมีข้อจำกัดเรื่องดินทราย (3s) ตามการจำแนกความเหมาะสมของดินสำหรับการปลูกสักในจังหวัดอุดรธานี และจังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งเป็นเอกสารเผยแพร่จากผลการศึกษาวิจัยในโครงการร่วมระหว่างกรมป่าไม้กับ JIRCAS

จากการศึกษาโดยใช้สารปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ได้ผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่าการใส่ถ่าน 1 กิโลกรัม ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในดินและเร่งการเติบโตของรากสัก ต้นกล้าสักลดอัตราการตายและเพิ่มมวลชีวภาพ การใช้เบนโทไนต์ซึ่งเป็นดินเหนียวที่ประกอบด้วยมอนต์มอริลโลไนต์เป็นส่วนใหญ่ มีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูง และ เพิ่มค่า CEC แต่การใช้เบนโทไนต์ครั้งเดียวไม่สามารถแสดงการเร่งการเติบโตของกล้าสักได้ อย่างไรก็ตามสามารถยืนยันได้ว่าการใช้เบนโทไนต์ และปุ๋ยพร้อมกันทำให้แคลเซียมในดินเพิ่มขึ้น และเก็บฟอสฟอรัสไว้ในปุ๋ย (Kayama *et. al.* 2021) ใช้เบนโทไนต์และปุ๋ยยังเป็นการเร่งการเติบโตของต้นกล้าสัก ดังนั้นเบนโทไนต์และถ่าน จึงเป็นสารปรับปรุงดินที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1) แปลงทดลอง ตั้งอยู่ในพื้นที่ของศูนย์เมล็ดไม้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น ขนาดพื้นที่ 42 เมตร × 32 เมตร แบ่งเป็น 12 บล็อก พื้นที่ของแต่ละบล็อกขนาด 8 เมตร × 14 เมตร (Figure 2)

2) ผสมถ่านลงในแปลงปลูก โดยแบ่งการทดลองเป็นปริมาณถ่านที่ใช้ 4 ระดับ ได้แก่

- 4.0 t/ha
- 2.0 t/ha
- 1.0 t/ha
- 0.0 t/ha หรือไม่ใส่ถ่าน เพื่อเป็นแปลงควบคุม

3) ต้นสัก ใช้สักเบอร์ 21 จากจังหวัดแม่ฮ่องสอน ทำการปลูกด้วยระยะห่าง 2 เมตร × 2 เมตร ในแต่ละบล็อก และปลูกสำหรับเป็นแนวกันชนรอบ ๆ แปลง จำนวน 1 แถว ในการปลูกกล้าสักแต่ละต้นใส่เบนโทไนต์ลงไปอีก 3 ระดับ ได้แก่

- 1.0 กิโลกรัม
- 0.5 กิโลกรัม
- 0.0 กิโลกรัม หรือไม่ใส่เบนโทไนต์ เพื่อเป็นต้นควบคุม

ในการทดลองนี้ได้ใช้แคลเซียมเบนโทไนต์ เนื่องจากแคลเซียมมีความจำเป็นต่อการเติบโตของสัก (Kayama *et. al.* 2017) ขุดหลุมขนาด 30 ซม. × 30 ซม. ลึก 30 ซม. นำดินที่ขุดมาผสมกับเบนโทไนต์ตามแผนผังการทดลอง

4) เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังจากปลูกเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ

5) หลังจากปลูกแล้ว วัดการเติบโต (ความสูงของต้นไม้และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก) และอัตราการสังเคราะห์แสง ศักยภาพการกักเก็บของน้ำในใบ และเก็บตัวอย่างกล้าไม้เพื่อนำมาหามวลชีวภาพ

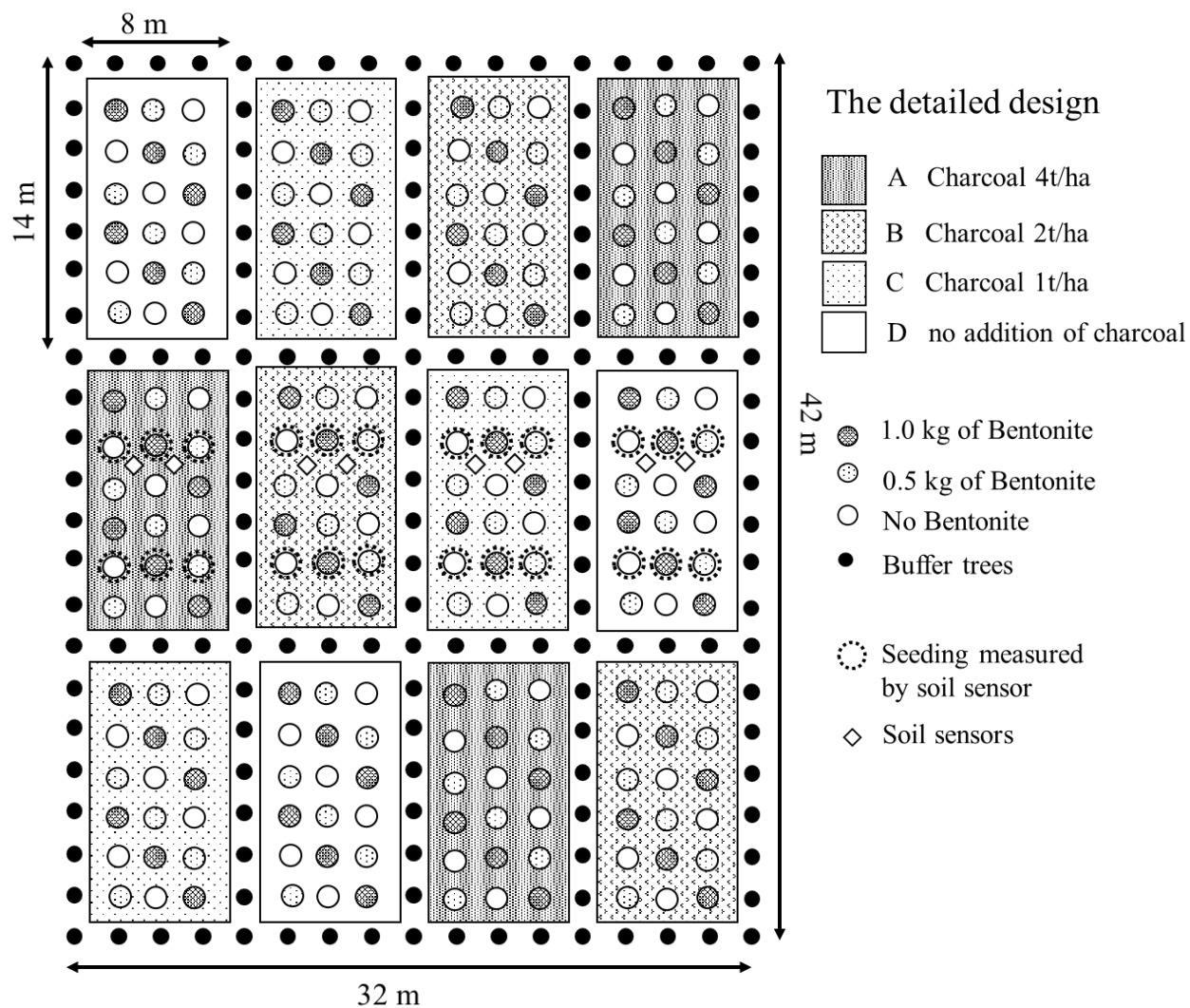


Figure 2 Layout of improvement the sandy soil for teak in Northeast of Thailand

ผลการวิจัย

การคัดเลือกแม่ไม้สักที่เหมาะสมต่อการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากการทดลองปลูกเมื่อปี 2557 และทำการศึกษาการรอดตายและการเติบโตเมื่อสักอายุ 1 ปี พบว่า อัตราการรอดตายของกล้าไม้เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 81.33 แต่ละ clone อยู่ในช่วงร้อยละ 50-100 โดย clone ที่มีอัตราการรอดตายสูงที่สุด (ร้อยละ 100) ได้แก่ 119, 14/105 2AA/15 302 V335 และ เมล็ดทั่วไป ส่วน clone ที่มีอัตราการรอดตายต่ำสุด (ร้อยละ 50) ได้แก่ 11C26 และ 22C50

จากกล้าไม้จำนวนทั้งสิ้น 244 ตัวอย่าง พบว่า ค่าเฉลี่ยความเพิ่มพูนรายปีของความสูงมีค่าเท่ากับ 1.11 เมตร อยู่ในช่วง 0.76-1.76 เมตร ส่วนค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับเหนือพื้นดินเท่ากับ 1.30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 0.76-1.76 เซนติเมตร clone ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับเหนือพื้นดินมากที่สุด 3bb/38 คือ และ clone ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับเหนือพื้นดินต่ำที่สุด คือ 5C18

เมื่อศึกษาเรื่องรูปทรงของลำต้นพบว่า สามารถออกเป็น 4 ประเภท คือลำต้นตรง ลำต้นรูปตัววี ลำต้นที่แตกกิ่งมาก และมีลำต้นหลายลำต้น ทำให้ทราบว่ามีความแปรผันของลักษณะลำต้นทั้งใน clone เดียวกัน และระหว่าง clone (Figure 3)



Figure 3 Examples of stem characteristics categorized as straight stem, V-shape, branch and multi-stem (from left to right)

ในช่วงปีที่ 1 พบว่า ในจำนวน 25 clones พบว่า clone ที่มีลักษณะการเติบโตทั้งด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับเหนือพื้นดินและความสูงดีที่สุด ได้แก่ หมายเลข 3bb/38 โดยมีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับเหนือพื้นดินเท่ากับ 1.69 เซนติเมตร และความสูงเท่ากับ 1.25 เมตร และเป็น clone ที่มีลักษณะลำต้นตรง แต่เนื่องจากต้นสักส่วนใหญ่แตกกิ่งก้านมีรูปทรงที่ไม่สวยงาม ซึ่งไม่น่าเป็นผลมาจาก clone ของกล้าไม้ แต่อาจเกิดจากการขนส่งกล้าไม้เพื่อนำมาปลูก เนื่องจากต้องเตรียมกล้าไม้ clone ต่าง ๆ จากจังหวัดลำปาง และพะเยา รวมทั้งการดูแลรักษาในช่วงแรก เพื่อให้ได้ข้อมูล clone ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจึงได้ทำการตัดต้นออกทั้งหมด และปล่อยให้มีการแตกหน่อขึ้นมาใหม่ในปี 2559 และดำเนินการเก็บข้อมูลการเติบโตและรูปทรงอีกครั้ง ผลการศึกษาปรากฏดังนี้

1. การเติบโตและรูปทรง

การเติบโตของสักในแปลงทดสอบสายต้น 25 clones อายุ 5 ปี (อายุหน่อที่แตกขึ้นมาใหม่) พบต้นไม้ทั้งหมดจำนวน 183 ต้น (62 ต้น/ไร่ การรอดตาย ร้อยละ 62) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 10.17 เซนติเมตร และขนาดความสูงเฉลี่ย 7.48 เมตร มีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงเท่ากับ 2.03 เซนติเมตร/ปี และ 1.50 เมตร/ปี ตามลำดับ ซึ่งมีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การเติบโตของสักในแปลงทดสอบสายต้น/สายพันธุ์ อายุ 10 ปี จำนวน 100 สายพันธุ์ ที่จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงเท่ากับ 1.14 เซนติเมตร/ปี และ 0.93 เมตร/ปี ตามลำดับ อาจเนื่องจากการในแปลงทดสอบสายต้น/สายพันธุ์ อายุ 10 ปี มีจำนวนสายพันธุ์จำนวนมาก และในการทดลองได้คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีลักษณะเหมาะสมกับพื้นที่แห้งแล้ง โดยเฉพาะ (อำเภอและคณะ, 2561)

คุณภาพของลำต้นโดยระบบ scoring system พบว่า สัดส่วนของจำนวนต้นไม้ที่มีคะแนนสูงต่อจำนวนต้นไม้มทั้งหมดในแต่ละ clone ในด้านมุมของกิ่ง (Branch angle) เฉลี่ย ร้อยละ 16.00 ขนาดของกิ่งเทียบกับลำต้น (Branch size) ร้อยละ 8.00 ความเปลาของลำต้น (Stem straightness) ร้อยละ 8.00 และสัดส่วนความยาวของลำต้น (Height proportion) ร้อยละ 8.00 ส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากสักยังมีอายุน้อย กิ่งยังมีขนาดเล็กและมีปริมาณกิ่งค่อนข้างน้อย ยังไม่สามารถวิเคราะห์ลักษณะด้านคุณภาพของลำต้นได้อย่างชัดเจน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า การเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และรูปทรงของลำต้น ได้แก่ ขนาดของกิ่งเทียบกับลำต้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่าง clones ส่วนรูปทรงของลำต้น ได้แก่ มุมของกิ่ง ความเปลาของลำต้น และสัดส่วนความยาวของลำต้น มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.01$)

จากการประเมินผลทางพันธุกรรมของแต่ละลักษณะที่ศึกษา ได้แก่ การเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และรูปทรงของลำต้น ได้แก่ ขนาดของกิ่งเทียบกับลำต้น มุมของกิ่ง ความเปลาของลำต้น และสัดส่วนความยาวของลำต้น โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละลักษณะสามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มดีที่สุด (มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยรวม + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) กลุ่มปานกลาง (มีค่าระหว่างค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) และกลุ่มด้อยที่สุด (มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยรวม - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เมื่อประเมินผลรวมของทุกลักษณะพบว่า

กลุ่มดีที่สุดมีจำนวน 2 clones ได้แก่ 219 และ V335

กลุ่มปานกลางมีจำนวน 19 clones ได้แก่ 300, 302, 331, 37, 39, MH9, 119, 14/105, 22C50, 28C28, 2AA/15, 38, 5/79, 11C26, 245, 3BB/38, 5C18, 8C20, MH7, และ เมล็ดทั่วไป

กลุ่มด้อยมีจำนวน 2 clones ได้แก่ 3/27 และ MH17

ผลการศึกษาในพื้นที่ที่ต่างกันจะได้ clone ที่อยู่ในกลุ่มต่างๆ แตกต่างกัน จากการศึกษาของอำเภอและคณะ (2561) ประเมินผลการทดสอบสายต้น/สายพันธุ์ 100 สายพันธุ์ โดยประเมินการเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และรูปทรงของลำต้น ได้แก่ ความตรงของลำต้น ความเปลาของลำต้น การแตกง่ามของลำต้น ขนาดของกิ่ง มุมของกิ่ง และพุ่มพุ่มที่โคนต้น พบว่ากลุ่มดีที่สุดมี 16 สายพันธุ์ กลุ่มปาน

กลาง 68 สายพันธุ์ และกลุ่มด้อย 16 สายพันธุ์ ส่วนการศึกษาของพรสุตา (2563) ทำการศึกษาการผันแปรทางพันธุของการพัฒนาแก่นไม้สักพื้นที่สถานีวนวัฒนวิจัยอินทิล จังหวัดเชียงใหม่ อายุ 11 ปี จำนวน 40 สายพันธุ์ พบว่าค่าอัตราส่วนทางพันธุของสักแปลงนี้มีค่าเท่ากับ 0.80 และ clone ที่มีค่าทางพันธุสูงสุด 5 อันดับแรกได้แก่ clone no. 22c100, ก5/28, 4ค/49, SPA และ 4/24 ในขณะที่การคัดเลือกสายต้น โดยใช้ปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ พบว่าสายต้นที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกในพื้นที่อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดสงขลา แตกต่างกัน (พรเทพ และคณะ, 2560)

ในการศึกษาครั้งนี้ clone ที่อยู่ในกลุ่มดีที่สุด หรือเป็นพันธุ์ดีที่ควรนำไปขยายพันธุ์เพื่อการปลูกสร้างสวนป่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงนำไปเป็นประชากรพื้นฐานเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้ดีขึ้นในรุ่นต่อ ๆ ไป ได้แก่ 219 และ V335 ส่วน 271 แม้ว่าการให้คะแนนด้านรูปทรงจะจัดอยู่ในกลุ่มปานกลาง แต่จากจำนวนที่รอดตายมีจำนวนน้อยมาก จึงไม่ควรนำมาปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การประเมินอัตราส่วนทางพันธุและค่าทางพันธุ

ส่วนวนวัฒนวิจัย (2542) รายงานว่า ค่า heritability ทั้งสองแบบ มีค่าระหว่าง 0 - 1 โดยค่า 0 หมายถึง ความผันแปรที่เกิดขึ้นในประชากรมิได้เกิดจากพันธุกรรม แต่ถ้าความผันแปรทั้งหลายมีสาเหตุมาจากพันธุกรรมทั้งหมด ค่า heritability มีค่าเท่ากับ 1 จากผลการคำนวณค่า heritability ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการประเมินหาผลได้ทางพันธุ (genetic gain) หรือผลตอบสนองต่อการคัดเลือก clones (response to clonal selection) ต่อไป

จากการประเมินค่าอัตราส่วนทางพันธุ (heritability, h^2) ของการเติบโตในแปลงทดสอบสายพันธุ์สักที่จังหวัดขอนแก่น จำนวน 25 clones พบว่า ค่าอัตราส่วนทางพันธุ เกี่ยวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก มีค่าเท่ากับ 0.63 ซึ่งแสดงค่าอยู่ในระดับปานกลาง แสดงว่าได้รับอิทธิพลทางพันธุกรรมปานกลาง ในขณะที่ค่าอัตราส่วนทางพันธุเกี่ยวกับด้านความสูง มีค่าเท่ากับ 0.56 ซึ่งแสดงค่าต่ำกว่าด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก แต่จัดอยู่ในระดับปานกลางเช่นเดียวกัน แสดงว่าได้รับอิทธิพลทางพันธุกรรมปานกลาง ส่วนค่าอัตราส่วนทางพันธุเกี่ยวกับขนาดของกิ่ง มีค่าเท่ากับ 0.49 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าขนาดของกิ่งได้รับอิทธิพลทางพันธุกรรมต่ำกว่าที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทำให้แม้ว่าค่าขนาดของกิ่งจะแตกต่างกันแต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนค่ารูปทรงอื่น ๆ มีค่าอัตราส่วนทางพันธุต่ำมาก ทำให้ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง clone ต่าง ๆ (Table 1) อย่างไรก็ตามการประเมินครั้งนี้เป็นการประเมินเมื่ออายุ 5 ปี ซึ่งนับว่ายังเป็นช่วงอายุน้อย การแตกกิ่งและการแข่งขันกันทางเรือนยอดยังมีต่ำ ควรมีการศึกษาเมื่อสักในแปลงทดลองมีอายุมากขึ้น

Table 1 Average performance and scoring system for growth and stem quality in 5-year-old Clonal teak at Khon Kaen Province

	Clone	DBH (cm)			Ht (m)			Branch angle			Branch size			Stem straightness			Height proportion			Total class	
		Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	Level
1	219	11.24	2.41	2	8.72	2.05	3	3.33	0.71	2	3.67	0.50	2	3.33	0.71	2	5.78	0.67	3	2.33	G
2	V335	9.62	1.66	2	7.42	1.35	2	3.20	0.84	2	3.40	0.89	2	4.00	0.00	3	5.80	0.45	3	2.33	G
<i>Average of Good</i>		<i>10.43</i>			<i>8.07</i>			<i>3.27</i>			<i>3.53</i>			<i>3.67</i>			<i>5.79</i>			<i>2.33</i>	
3	300	11.04	2.49	2	7.55	1.20	2	3.64	0.50	2	3.09	0.54	2	3.82	0.40	3	5.45	1.04	2	2.17	M
4	302	13.25	1.53	3	8.89	1.39	3	3.40	0.52	2	2.70	0.67	1	3.30	1.06	2	5.40	1.26	2	2.17	M
5	331	11.52	2.63	2	8.39	1.27	2	3.50	0.55	2	3.83	0.41	3	3.67	0.82	2	5.50	1.22	2	2.17	M
6	37	10.40	2.05	2	8.09	1.81	2	3.80	0.45	3	3.60	0.55	2	3.40	0.55	2	5.40	0.89	2	2.17	M
7	39	8.47	3.15	2	6.35	2.10	1	3.67	0.52	2	3.83	0.41	3	3.67	0.52	2	6.00	0.00	3	2.17	M
8	MH9	13.15	1.41	3	9.31	0.55	3	3.75	0.50	3	3.75	0.50	2	3.00	0.82	1	4.75	1.26	1	2.17	M
9	119	10.19	2.13	2	7.52	1.20	2	3.55	0.82	2	3.55	0.52	2	3.64	0.50	2	5.18	1.40	2	2.00	M
10	14/105	9.93	1.77	2	7.85	1.48	2	3.57	1.13	2	3.43	0.79	2	3.43	0.79	2	4.86	1.35	2	2.00	M
11	22C50	8.49	3.66	2	6.49	2.31	2	3.17	0.98	2	3.67	0.52	2	3.50	0.55	2	5.67	0.52	2	2.00	M
12	271	4.20	3.66	1	3.27	2.76	1	4.00		3	2.00		1	4.00		3	6.00		3	2.00	M
13	28C28	11.26	1.74	2	8.45	1.21	2	3.40	0.84	2	3.50	0.53	2	3.40	0.70	2	5.30	1.64	2	2.00	M
14	2AA/15	8.20	1.83	1	6.53	1.61	2	3.75	0.46	3	3.25	0.71	2	3.25	1.16	2	5.38	1.19	2	2.00	M
15	38	9.44	1.86	2	7.21	1.53	2	3.38	0.92	2	3.63	0.52	2	3.38	0.74	2	5.63	1.06	2	2.00	M
16	5/79	9.28	3.60	2	6.78	2.61	2	3.71	0.49	2	3.14	0.38	2	3.25	0.89	2	4.88	0.99	2	2.00	M
17	11C26	10.90	3.26	2	7.15	1.70	2	3.40	0.89	2	3.40	0.89	2	3.00	0.71	1	5.00	1.41	2	1.83	M
18	245	8.94	2.33	2	6.69	1.70	2	3.00	1.00	1	3.20	0.84	2	3.40	0.55	2	5.00	1.41	2	1.83	M
19	3BB/38	10.87	1.83	2	8.33	1.00	2	3.00	0.82	1	3.00	1.00	2	3.57	0.79	2	5.57	1.13	2	1.83	M
20	5C18	10.30	1.05	2	7.38	0.83	2	2.57	0.79	1	3.57	0.53	2	3.57	0.53	2	5.29	1.25	2	1.83	M

Table 1 (cont.)

		DBH (cm)			Ht (m)			Branch angle			Branch size			Stem straightness			Height proportion			Total class	
	Clone	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	S.D.	Class	Mean	Level
21	8C20	12.24	1.25	3	8.10	0.36	2	3.29	0.76	2	3.43	0.53	2	3.14	0.90	1	4.71	1.38	1	1.83	M
	General																				
22	seed	10.06	3.38	2	7.23	2.27	2	3.45	0.82	2	3.36	0.67	2	3.00	0.77	1	5.45	0.82	2	1.83	M
23	MH7	9.93	3.20	2	7.54	2.14	2	3.00	0.76	1	3.50	0.76	2	3.25	0.89	2	5.38	1.19	2	1.83	M
Average of Medium		10.10			7.38			3.43			3.35			3.41			5.32			1.99	
24	3/27	10.96	1.92	2	7.92	0.92	2	3.00	1.00	1	3.43	0.79	2	3.57	0.53	2	4.57	1.51	1	1.67	P
25	MH17	10.38	3.24	2	7.81	2.41	2	2.78	1.09	1	2.56	1.01	1	3.11	1.17	1	3.89	1.27	1	1.33	P
Average of Poor		10.67			7.87			2.89			2.99			3.34			4.23			1.50	
Good		>11.971			>8.648			>3.717			>3.761			>3.706			>5.756			>2.197	
Medium		8.369-11.971			6.308-8.648			3.027-3.717			2.918-3.761			3.145-3.706			4.789-5.756			1.763-2.197	
Poor		<8.369			<6.308			<3.027			<2.918			<3.145			<4.789			<1.763	
The proportion of superior tree (score)		12.00%			8.00%			16.00%			8.00%			8.00%			8.00%				
F value		2.736			2.273			1.202			1.988			0.799			1.175				
Pr		<.0001			0.001			0.249			ns.			0.735			ns.			ns.	

สำหรับค่าทางพันธุกรรม (genetic value, G) หากมีค่าเป็นบวก (+) แสดงว่ามีค่าทางพันธุกรรมสูงกว่าค่าเฉลี่ย หรือแสดงว่าสายพันธุ์นั้นมีคุณสมบัติทางพันธุกรรมสูง ค่าทางพันธุกรรมของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกมีค่าทางพันธุกรรมเป็นบวก 14 clones โดย clones ที่มีค่าสูงเป็น 3 อันดับแรก ได้แก่ 302 MH9 และ 8C20 มีค่าสูงเท่ากับ ร้อยละ 19.22 ร้อยละ 18.60 และ ร้อยละ 12.94 ตามลำดับ ซึ่งเป็น clones ที่ควรพิจารณาในการคัดเลือกนำไปปรับปรุงพันธุ์ด้านความโต สำหรับความสูง พบว่ามีค่าทางพันธุกรรมเป็นบวกจำนวน 14 clones โดย clones ที่มีค่าสูงเป็น 3 อันดับแรก ได้แก่ MH9 302 และ 219 มีค่าสูงเท่ากับ ร้อยละ 13.72 ร้อยละ 10.60 และร้อยละ 9.27 ตามลำดับ ซึ่งเป็น clones ที่ควรพิจารณาในการคัดเลือกนำไปปรับปรุงพันธุ์ด้านความสูง ส่วนขนาดของกิ่งพบว่ามีค่าทางพันธุกรรมเป็นบวกจำนวน 17 clones โดย clones ที่มีค่าสูงเป็น 3 อันดับแรก ได้แก่ 331 39 และ MH9 มีค่าสูงเท่ากับ ร้อยละ 7.35 ร้อยละ 7.35 และร้อยละ 6.11 ตามลำดับ (Tables 2-4)

Table 2 Phenotype values (P), Genotype values (G) of DBH in each clonal number

Clone no.	Phenotypic value (P)		Genotypic value
	DBH (cm)	P _{DBH} (%)	G _{DBH} (%)
302	13.25	30.29	19.22
MH9	13.15	29.31	18.60
8C20	12.24	20.39	12.94
331	11.52	13.25	8.40
28C28	11.26	10.72	6.80
219	11.24	10.57	6.71
300	11.04	8.52	5.41
3/27	10.96	7.74	4.91
11C26	10.90	7.18	4.56
3BB/38	10.87	6.90	4.38
37	10.40	2.26	1.44
MH17	10.38	2.05	1.30
5C18	10.30	1.28	0.81
119	10.19	0.21	0.13
General seed	10.06	-1.10	-0.69
14/105	9.93	-2.37	-1.50
MH7	9.93	-2.41	-1.53
V335	9.62	-5.40	-3.43
38	9.44	-7.20	-4.57
5/79	9.28	-8.80	-5.58
245	8.94	-12.09	-7.67
22C50	8.49	-16.56	-10.51
39	8.47	-16.70	-10.60
2AA/15	8.20	-19.34	-12.27
271	4.20	-58.70	-37.25
Average	10.17	0.00	0.00
S.D.	1.80	17.71	
F	2.74		
h ²	0.63		

Table 3 Phenotype values (P), Genotype values (G) of Ht in each clonal number

Clone no.	Phenotypic value (P)		Genotypic value
	Ht (m)	P _{Ht} (%)	
MH9	9.31	24.50	13.72
302	8.89	18.92	10.60
219	8.72	16.55	9.27
28C28	8.45	12.99	7.27
331	8.39	12.13	6.79
3BB/38	8.33	11.36	6.36
8C20	8.10	8.26	4.63
37	8.09	8.16	4.57
3/27	7.92	5.95	3.33
14/105	7.85	4.98	2.79
MH17	7.81	4.44	2.49
300	7.55	1.02	0.57
MH7	7.54	0.83	0.46
119	7.52	0.53	0.29
V335	7.42	-0.77	-0.43
5C18	7.38	-1.33	-0.74
General seed	7.23	-3.36	-1.88
38	7.21	-3.55	-1.99
11C26	7.15	-4.36	-2.44
5/79	6.78	-9.40	-5.26
245	6.69	-10.48	-5.87
2AAV15	6.53	-12.73	-7.13
22C50	6.49	-13.19	-7.39
39	6.35	-15.12	-8.47
271	3.27	-56.32	-31.54
Average	7.48	0.00	0.00
S.D.	1.17	15.64	
F	2.27		
h ²	0.56		

Table 4 Phenotype values (P), Genotype values (G) of Branch size in each clonal number

Clone no.	Phenotypic value (P)		Genotypic value
	Branch size (score)	P _{branch size} (%)	G _{branch size} (%)
331	3.83	14.80	7.35
39	3.83	14.80	7.35
MH9	3.75	12.30	6.11
219	3.67	9.81	4.87
22C50	3.67	9.81	4.87
38	3.63	8.56	4.25
37	3.60	7.81	3.88
5C18	3.57	6.95	3.45
119	3.55	6.18	3.07
28C28	3.50	4.81	2.39
MH7	3.50	4.81	2.39
14/105	3.43	2.68	1.33
8C20	3.43	2.68	1.33
3/27	3.43	2.68	1.33
V335	3.40	1.82	0.90
11C26	3.40	1.82	0.90
General seed	3.36	0.73	0.36
2AA/15	3.25	-2.67	-1.33
245	3.20	-4.17	-2.07
5/79	3.14	-5.88	-2.92
300	3.09	-7.44	-3.69
3BB/38	3.00	-10.16	-5.05
302	2.70	-19.14	-9.51
MH17	2.56	-23.47	-11.66
271	2.00	-40.11	-19.93
Average	3.34	0.00	0.00
S.D.	0.42	12.62	
F	1.99		
h ²	0.50		

เทคนิคการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อเพิ่มความเหมาะสมในการปลูกสัก

1. ผลของถ่านและเบนโทไนต์ต่อคุณสมบัติของดิน

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าถ่านและเบนโทไนต์เป็นสารที่ช่วยในการปรับปรุงดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้สามารถปลูกสักได้ โดยการใส่ถ่านเพียงอย่างเดียวจะช่วยเร่งการเติบโตของกล้าสักได้ เนื่องจากถ่าน (charcoal หรือ biochar) มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและเพิ่มความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC) (Kammann *et. al.*, 2011; Yuan and Xu, 2011; Novak *et. al.*, 2012)

ในขณะที่เบนโทไนต์ ซึ่งเป็นดินเหนียวที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินที่เกิดจากการประทุของภูเขาไฟใต้ทะเล และทับถมกันมากกว่าสองแสนปี (Montmorillonite Clay) ช่วยเพิ่มการกักเก็บน้ำในดินและเพิ่มค่า CEC (Bledsoe and Zasoski, 1983; Mishra *et.al.*, 2001; Noble *et.al.*, 2001; Suzuki *et.al.*, 2007) ทำให้กล้าสักสามารถดูดซึมธาตุอาหารที่จำเป็นจากปุ๋ยได้ดีขึ้น รวมทั้งจะช่วยลดความเครียดของกล้าสักอันเกิดจากความแห้งแล้ง แต่การใส่เบนโทไนต์เพียงอย่างเดียวไม่ช่วยเพิ่มการเติบโตของกล้าสักอย่างชัดเจน ควรใช้เบนโทไนต์ร่วมกับปุ๋ยเพื่อเพิ่มการเติบโตของกล้าสัก แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีระบุปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการใส่สารทั้งสองชนิดลงในดิน การศึกษาครั้งนี้จึงต้องทำการทดลองใส่ถ่านและเบนโทไนต์ในปริมาณต่าง ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการปรับปรุงดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้สามารถปลูกสักได้

จากการวิเคราะห์ดิน (Table 5) พบว่าการเติมเบนโทไนต์ลงในดิน ทำให้ค่า pH และ CEC เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เป็นการเพิ่มความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารในดิน เนื่องจากในเบนโทไนต์มีส่วนประกอบของแคลเซียมอยู่ด้วย การใส่เบนโทไนต์ทำให้ปริมาณแคลเซียมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังทำให้ค่าคาร์บอนแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโซเดียมเพิ่มขึ้นด้วย จากผลการทดลองแสดงว่าการใส่เบนโทไนต์ในดินปริมาณ 1 กิโลกรัม จะให้ค่าต่าง ๆ ดีกว่าการใส่ในปริมาณน้อยกว่า (0.5 กิโลกรัม) และไม่ใส่เลย (0 กิโลกรัม) ในส่วนของเนื้อดินการใส่เบนโทไนต์ ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณดินทราย (Sand) ดินทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay)

ส่วนการใส่ถ่านในดิน ไม่ทำให้ค่าต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ดินมีค่าแนวโน้มไปทางใด และไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกค่า

Table 5 Soil texture and chemical properties of 12 treatments

Charcoal	Bentonite	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	CEC (cmol kg ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)
4t/ha	1 kg	94.0	4.0	2.5	6.81	3.29	5.13
4t/ha	0.5kg	92.5	5.0	2.5	6.35	2.08	3.80
4t/ha	0 kg	93.0	5.0	2.0	5.72	2.52	4.30
2t/ha	1 kg	93.5	5.0	1.5	6.79	3.81	4.98
2t/ha	0.5kg	95.0	3.5	1.5	6.51	2.44	5.48
2t/ha	0 kg	95.5	4.5	2.0	5.39	2.34	5.03
1t/ha	1 kg	94.5	3.0	2.5	6.78	3.75	4.88
1t/ha	0.5kg	94.0	4.5	1.5	6.36	3.65	4.98
1t/ha	0 kg	94.5	3.0	2.5	5.37	2.41	5.08
0t/ha	1 kg	94.5	3.5	2.0	6.79	5.01	6.48
0t/ha	0.5kg	95.5	2.5	2.0	6.29	3.57	6.08
0t/ha	0 kg	94.5	3.5	2.0	5.38	2.84	5.23
Statistical test (ANOVA)							
Charcoal		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Bentonite		n.s.	n.s.	n.s.	***	**	**
C x B		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Table 5 Cont.

Charcoal	Bentonite	N (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)
4t/ha	1 kg	525	21.1	633	80	40.2	51
4t/ha	0.5kg	700	8.8	215	32	27.8	38
4t/ha	0 kg	500	6.5	175	30	33.8	18
2t/ha	1 kg	675	20.1	572	88	39.8	66
2t/ha	0.5kg	525	10.8	260	41	43.8	82
2t/ha	0 kg	425	7.1	139	32	39.9	18
1t/ha	1 kg	450	21.1	591	90	51.9	118
1t/ha	0.5kg	525	17.1	460	63	34.9	72
1t/ha	0 kg	550	4.8	128	26	31.2	20
0t/ha	1 kg	600	40.1	960	151	49.6	36
0t/ha	0.5kg	575	15.1	390	57	46.7	39
0t/ha	0 kg	550	9.5	214	46	47.1	17
Statistical test (ANOVA)							
Charcoal		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Bentonite		n.s.	***	***	***	n.s.	*
C x B		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

2. ผลของถ่านและเบนโทไนต์ต่อการเติบโตและมวลชีวภาพของกล้าสัก

จากการเก็บข้อมูลการเติบโตของสักหลังจากปลูกไปแล้ว 2 ปี พบว่าความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับชดดินของสักในแปลงทดลองที่ใส่เบนโทไนต์จะมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ และแสดงค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างยิ่ง ($p < 0.001$) เมื่อใส่เบนโทไนต์ในปริมาณที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับการใส่ถ่านเมื่อใส่ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่าการเติบโตสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ในผลการศึกษา ยังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการไม่ใส่ทั้งเบนโทไนต์และถ่านทำให้ค่าการเติบโตทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับชดดินและความสูงมีค่าต่ำกว่าการใส่สารทั้งสองชนิดแม้ว่าจะใส่ในปริมาณน้อยก็ตาม (Figure 4)

เนื่องจากการศึกษาต้องขุดสักบางต้นออกมาเพื่อทำการศึกษามวลชีวภาพ ทำให้จำนวนต้นไม้ที่เหลืออยู่ในแปลงมีปริมาณน้อย และระยะห่างระหว่างต้นไม่สม่ำเสมอ จึงไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลการเติบโตของสัก

การศึกษามวลชีวภาพหรือน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ แสดงตาม Figure 5 ผลการศึกษาพบว่า ในการทดลองที่ไม่ได้ใส่เบนโทไนต์จะมีมวลชีวภาพของกล้าไม้ต่ำมาก ส่วนการใส่เบนโทไนต์ในปริมาณที่ต่างกันนั้น แสดงแนวโน้มว่าการใส่เบนโทไนต์ปริมาณ 0.5 กิโลกรัม จะทำให้กล้าไม้มีมวลชีวภาพต่ำกว่าการใส่เบนโทไนต์ 1.0 กิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องจากเบนโทไนต์ มีความสามารถในการช่วยให้กล้าไม้ดึงดูดธาตุอาหารต่าง ๆ จึงทำให้กล้าไม้เติบโตได้ดี ส่งผลต่อมวลชีวภาพที่สูงขึ้นด้วย กล่าวได้ว่าการใส่เบนโทไนต์และการใส่ในปริมาณที่ต่างกันจะทำให้ค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างยิ่ง ($p < 0.001$) ส่วนการใส่ถ่านและการใส่ถ่านในปริมาณที่ต่างกันนั้น พบว่าการใส่ในปริมาณมากกว่าจะให้ค่ามวลชีวภาพของกล้าไม้สูงกว่า และการไม่ใส่มีแนวโน้มของมวลชีวภาพจะต่ำที่สุด แต่ไม่ได้แสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามการใส่ถ่านในดินจะช่วยให้ต้นกล้ามีอัตราการรอดตายสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านเลย โดยในแปลงทดลองใส่ถ่าน 4 ตัน/เฮกเตอร์ 2 ตัน/เฮกเตอร์ 1 ตัน/เฮกเตอร์ และไม่ใส่ กล้าสักเมื่ออายุ 2 ปี มีอัตราการรอดตายเท่ากับ ร้อยละ 96.3 ร้อยละ 94.4 ร้อยละ 94.4 และ ร้อยละ 75.9 ตามลำดับ

มวลชีวภาพของส่วนใบ ลำต้น และรากของกล้าไม้ พบการใส่เบนโทไนต์ทำให้มวลชีวภาพของแต่ละส่วนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างยิ่ง ($p < 0.001$) ในขณะที่การใส่ถ่านไม่ได้ทำให้มวลชีวภาพของแต่ละส่วนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 6) หากนำมวลชีวภาพของแต่ละส่วนในแปลงที่ไม่ใส่ถ่าน (เนื่องจากถ่านไม่ได้ทำให้ค่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) มาเปรียบเทียบกับเฉพาะการใส่เบนโทไนต์ที่แตกต่างกันพบว่า ในส่วนของลำต้นและส่วนรากในแปลงที่ใส่เบนโทไนต์ปริมาณ 1 กิโลกรัม และ 0.5 กิโลกรัมไม่แสดงความแตกต่างกัน แต่จะสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงที่ไม่ได้ใส่เบนโทไนต์ (Figure 7)

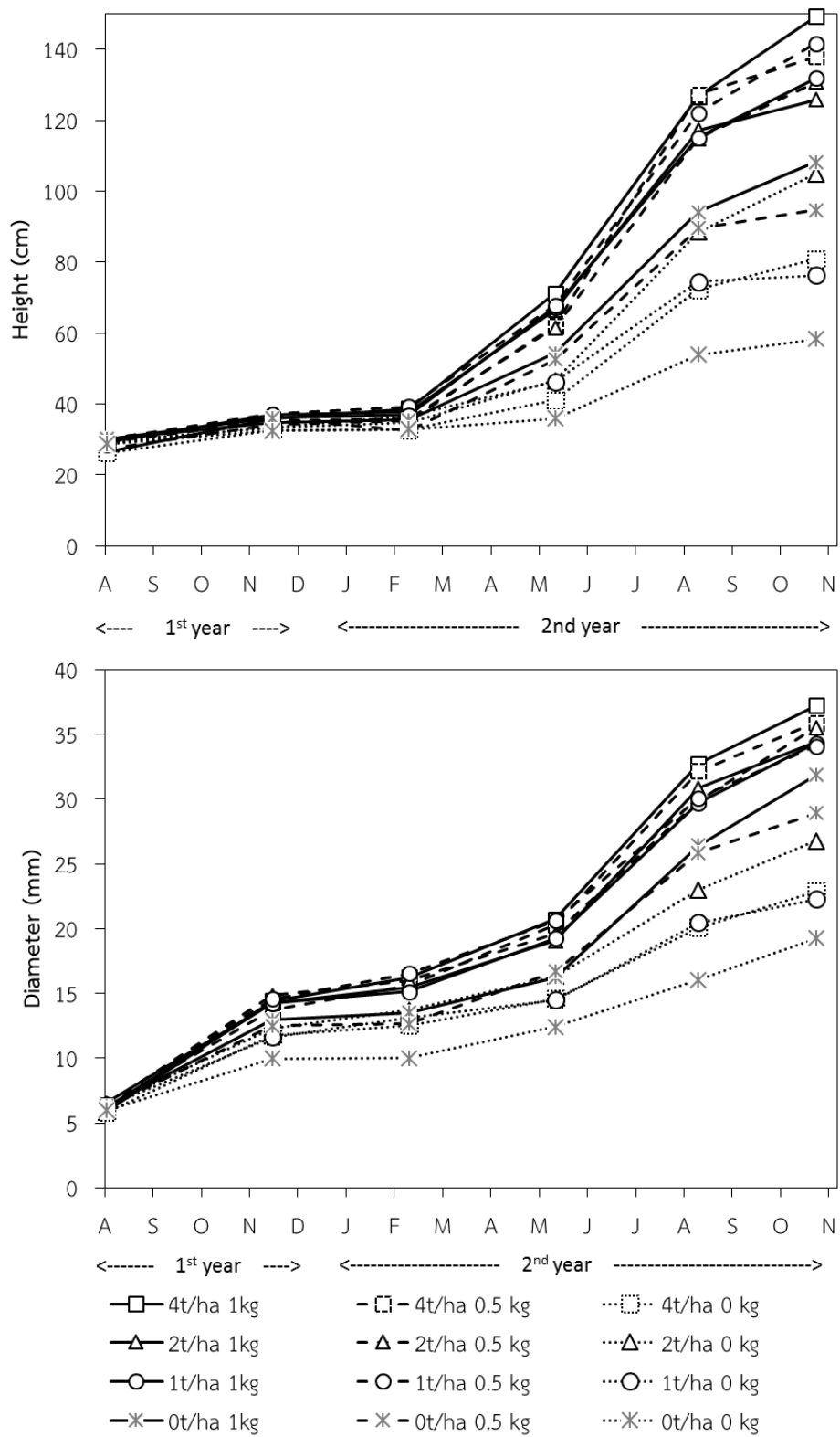


Figure 4 Tree height and root collar diameter of teak seedlings grown in 12 treatments

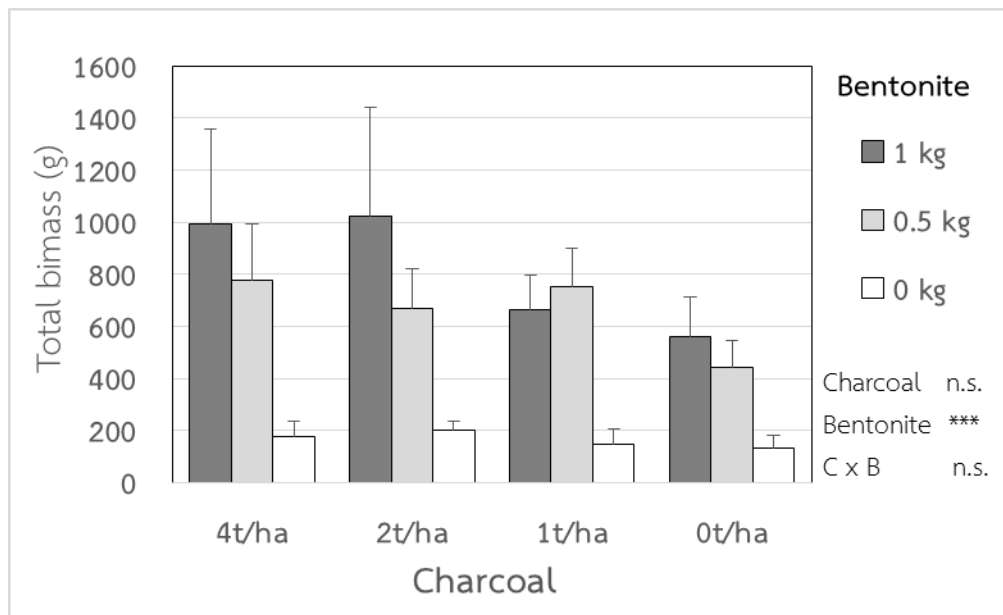


Figure 5 Total biomass of teak seedlings grown in 12 treatments

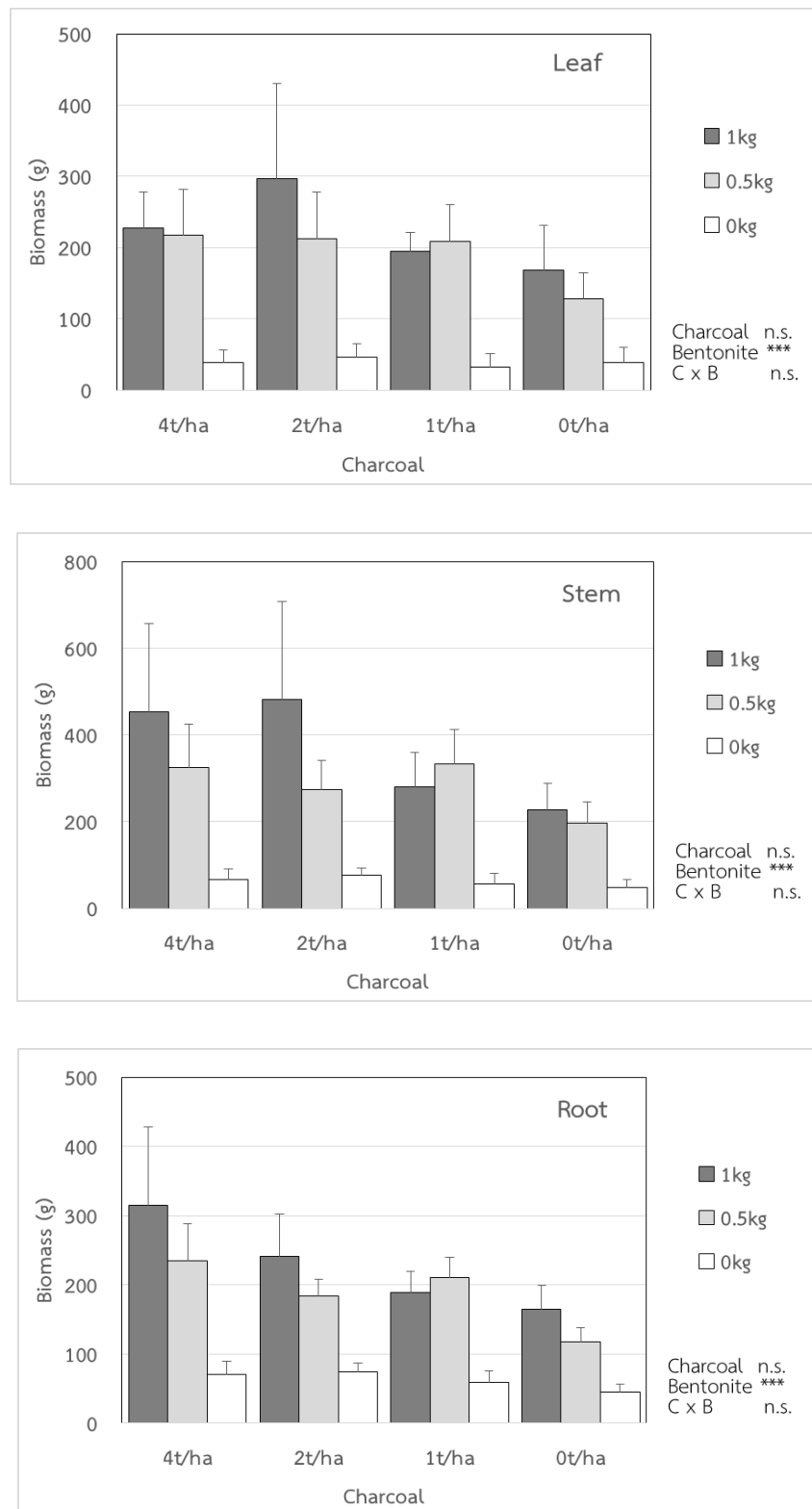


Figure 6 Biomass of each part of teak seedling grown in 12 treatments

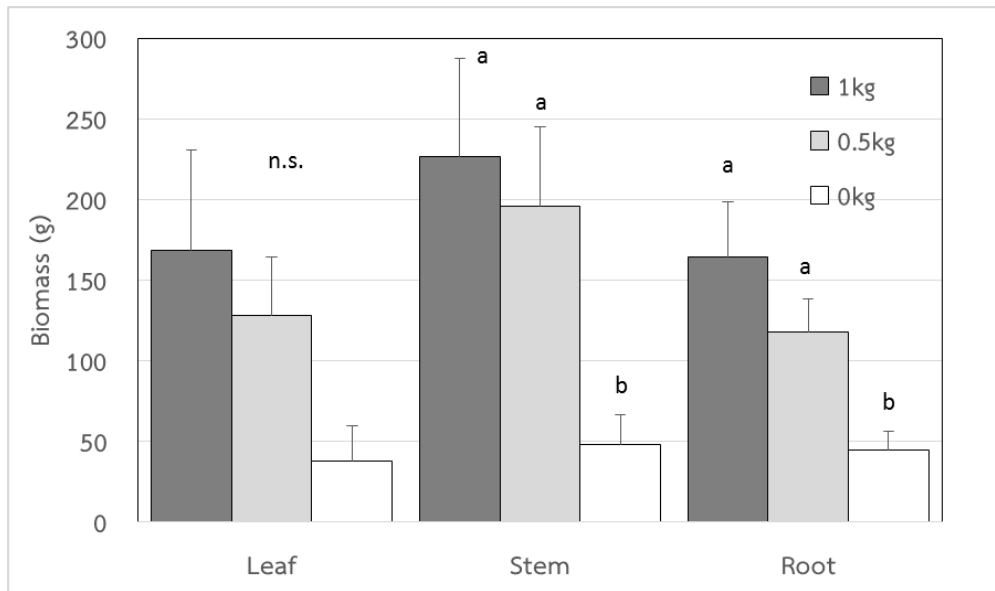


Figure 7 Biomass of each part of teak seedling grown in different amount of bentonite (no charcoal)

3. ผลของถ่านและเบนโทไนต์ต่อการสังเคราะห์แสง ปริมาณคลอโรฟิลล์และฟอสฟอรัสในใบสัก

อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าสักทำการวัดการสังเคราะห์แสงของกล้าสักในช่วงเวลา 9.00-11.00 น. ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใส่เบนโทไนต์ปริมาณมากขึ้น และจะมีอัตราที่ต่ำมากในกล้าไม้ที่ปลูกโดยไม่ใส่เบนโทไนต์ (Figure 8)

ปริมาณคลอโรฟิลล์และฟอสฟอรัสในใบจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสง ทำให้ผลไปในทางเดียวกันกับอัตราการสังเคราะห์แสง กล่าวคือ เมื่อปริมาณเบนโทไนต์เพิ่มมากขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์และฟอสฟอรัสในใบจะเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่มีปริมาณต่ำเมื่อไม่ได้ใส่เบนโทไนต์ และแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างยิ่ง ($p < 0.001$) ในขณะที่การใส่ถ่านในปริมาณที่ต่างกันหรือไม่ใส่เลยไม่ได้ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figures 9-10)

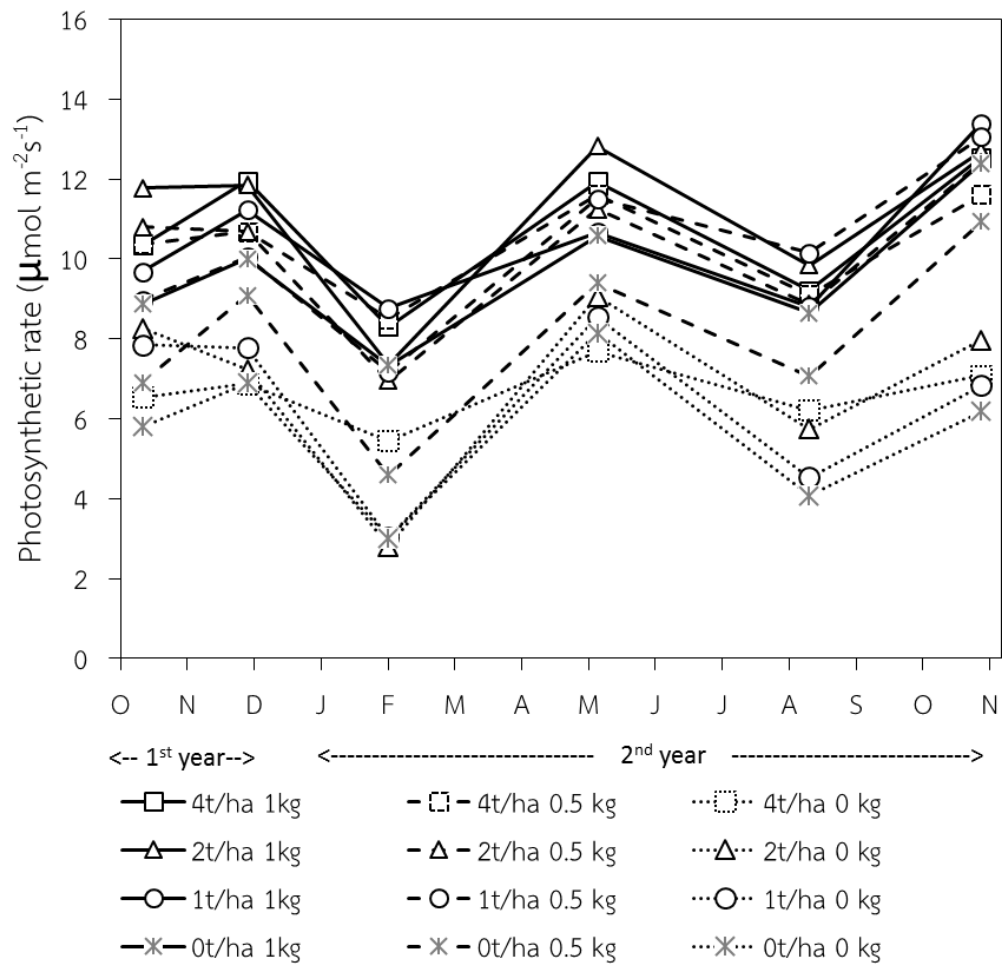


Figure 8 Photosynthetic rate at light saturation in teak seedlings grown in 12 treatments (9:00-11:00)

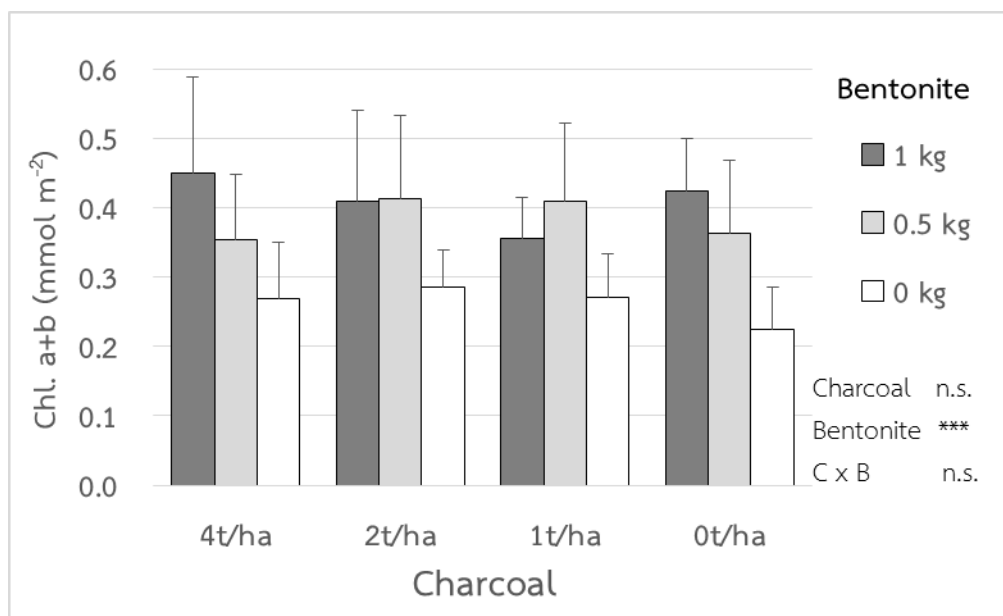


Figure 9 Concentration of chlorophyll in leaves of teak seedlings grown in 12 treatments

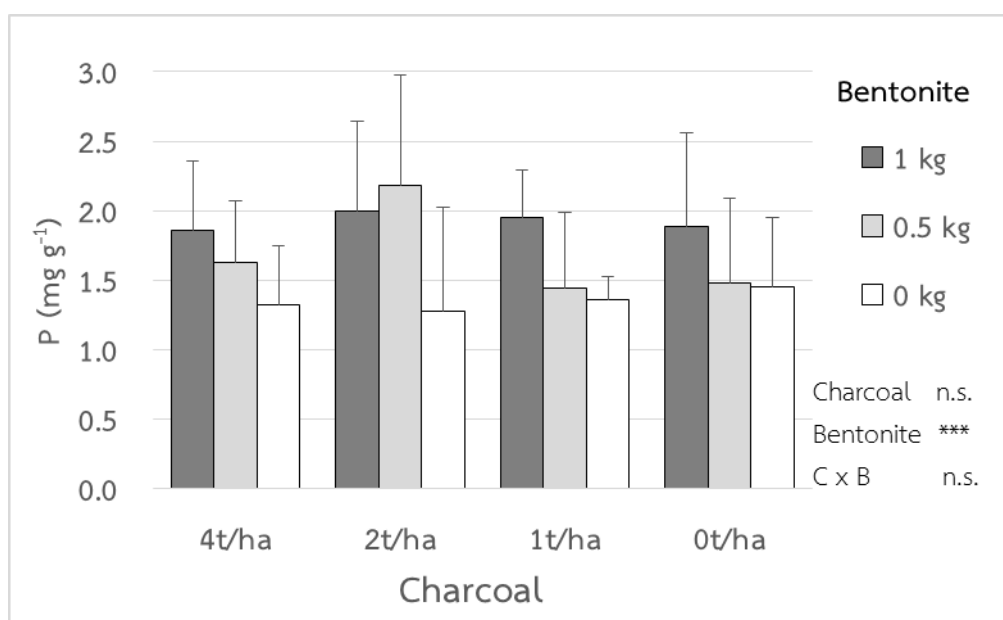


Figure 10 Concentration of phosphorus in leaves of teak seedlings grown in 12 treatments

4. ผลของถ่านและเบนโทไนต์ต่อ water potential

การขุดน้ำจะทำให้ภาวะที่ศักย์ของน้ำ (water potential) ของเซลล์เนื้อเยื่อหรืออวัยวะของพืชลดต่ำกว่าค่าอ้างอิง ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ การขุดน้ำทำให้ปากใบพืชเปิดแคบลงหรือปิดเพื่อลดการคายน้ำ ขณะเดียวกันทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง การขุดน้ำของพืชจึงส่งผลให้การเผาผลาญและสรีรวิทยาของพืชถูกรบกวนทำให้การเติบโตและการพัฒนาการของพืชลดลง (วันวิสาข์, 2555) Jongdee (1998) รายงานว่าเมื่อข้าได้รับสภาพแล้งจะส่งผลทำให้ค่าศักย์ของน้ำในใบลดลง เนื่องจากดินมีความเข้มข้นของเกลือสูงทำให้ศักย์ออสโมซิสต่ำ ส่งผลให้ค่าศักย์ของน้ำในดินลดลงและเกิดสภาวะเครียด รากพืชดูดน้ำจากดินได้ยากส่งผลให้พืชเกิดสภาวะขาดน้ำเป็นสาเหตุทำให้การเติบโตของพืชลดลง (Bohnert *et.al.*, 1995)

จากการศึกษาพบว่า ค่าศักย์ของน้ำในใบของกล้าสักเมื่อทำการวัดในช่วงบ่าย (13.00-14.00 น.) จะมีค่าต่ำกว่าเมื่อทำการวัดในช่วงเช้ามืด (05.00-06.30 น.) โดยจะเห็นได้ว่าการใส่ถ่านมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าศักย์ของน้ำต่ำกว่าในตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ถ่าน แต่ไม่ปรากฏความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การใส่เบนโทไนต์จะทำให้ค่าศักย์ของน้ำในใบลดลงต่ำกว่าในตัวอย่างที่ไม่ใส่เบนโทไนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่เบนโทไนต์ในปริมาณที่ต่างกันไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 11) อาจกล่าวได้ว่าการใส่เบนโทไนต์จะช่วยให้ต้นกล้าสักมีการขุดน้ำต่ำลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง

จากผลการศึกษากล่าวได้ว่าการใส่เบนโทไนต์ช่วยในการปรับปรุงสภาพของดินทรายและทำให้กล้าสักมีการเติบโตมากขึ้น เช่นเดียวกับผลการศึกษาการใส่เบนโทไนต์กับการเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังที่ปลูกในดิน Ustic Quartzipsamment ในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งพบว่าการใส่เบนโทไนต์ไปพร้อมกับปุ๋ยเคมี จะส่งเสริมประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาของดินได้ดี ทำให้ได้ผลผลิตของมันสำปะหลังสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่เบนโทไนต์ (เบญญาทิพย์ และคณะ, 2560) เช่นเดียวกับผลผลิตของมันสำปะหลังในดินยโสธรที่ได้รับการปรับปรุงดินจากเบนโทไนต์ได้ผลผลิตเพิ่มสูงกว่าการใช้วัสดุปรับปรุงดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดาราพร, 2556) การใส่เบนโทไนต์ร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้อายุของแบ่งในหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะการใส่ในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ทำให้มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดารารัตน์ และคณะ, 2558) ในขณะที่ Croker *et.al.* (2004) พบว่าการใช้เบนโทไนต์ในดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีแนวโน้มในการทำให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ข้าว และถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้น

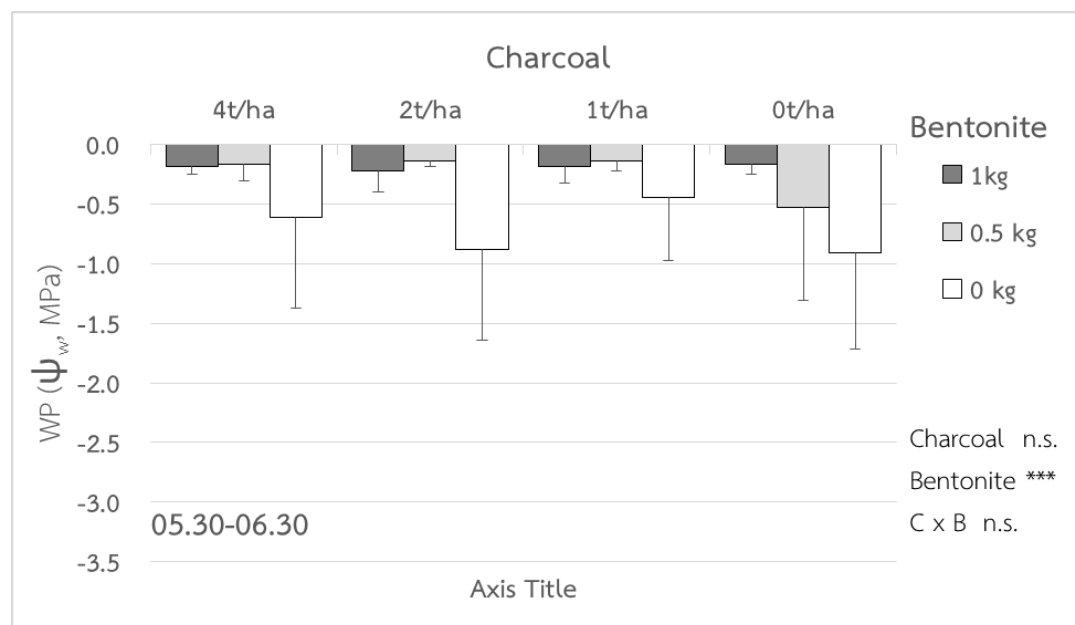
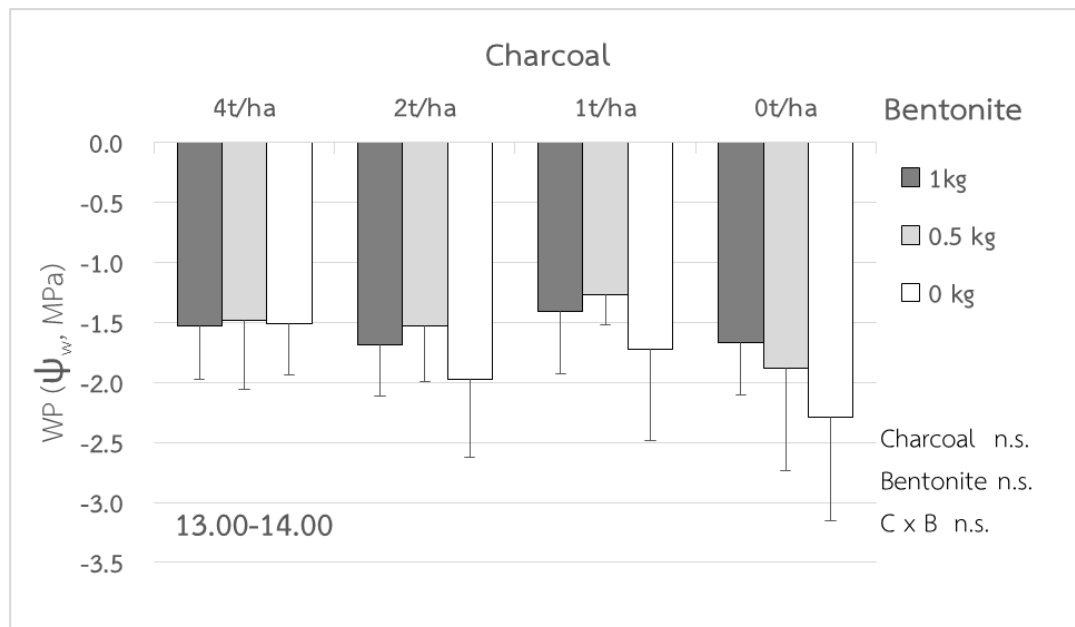


Figure 11 Leaf water potential of teak seedlings grown in 12 treatments

ผลของเบนโทไนต์ยังสอดคล้องกับอีกหลายการศึกษาที่พบว่าเบนโทไนต์มีลักษณะเด่นคือ สามารถดูดซับความชื้นได้ดี จึงใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่ไม่เหมาะสมต่อพืชให้ดีขึ้นด้านการดูดซับธาตุอาหาร และการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Indlethorpe *et. al.*, 1993; Brady and Well, 2008) ในลักษณะการคลุกเคล้าลงไปดินเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินทราย และการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อลดการสูญเสียธาตุอาหารในปุ๋ยจากการชะละลายได้ด้วย (Brady and Well, 2008; Talebnezhad and Sepaskhah, 2012) และการใส่เบนโทไนต์ทำให้ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเพิ่มขึ้น และช่วยฟื้นฟูสมบัติในการแลกเปลี่ยนของดินในระยะยาว (Crocker *et.al.*, 2004) โดยปริมาณการใส่เบนโทไนต์มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (ภัทรสวนต์, 2552) นอกจากนี้ Rezvan and Ali (2012) พบว่าการใส่เบนโทไนต์ช่วยลดอัตราการซาบซึมน้ำในดินทรายร่วน ทำให้ลดอัตราการสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากเขตรากพืช หรือลดการสูญเสียธาตุอาหารไปจากดิน (Rezvan and Ali, 2012) จึงช่วยเพิ่มผลผลิตพืช จากการทดลองของกุลวดีและคณะ (2548) พบว่าการใส่แร่ที่พบในประเทศไทย ซึ่งราคาถูกกว่าปุ๋ยเคมี ได้แก่ เบนโทไนต์ ไดอะทอไมท์ และฟัมมิช ทำให้ผลผลิตของผักชนิดต่าง ๆ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นสูงกว่าการไม่ใส่แร่ และการใส่เบนโทไนต์ทำให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นของคะน้ามีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้ผลการศึกษายังสามารถนำไปแนะนำให้เกษตรกรใช้แร่เหล่านี้ในอัตรา 3 ส่วน ต่อปุ๋ยเคมี 7 ส่วน ผลผลิตผักที่ได้จะไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ทำให้เกษตรกรลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้

สรุปผลการวิจัย

1. ในการศึกษาครั้งนี้ clone ที่อยู่ในกลุ่มดีที่สุด หรือเป็นพันธุ์ที่ควรนำไปขยายพันธุ์เพื่อการปลูกสร้างสวนป่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงนำไปเป็นประชากรพื้นฐานเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้ดีขึ้นในรุ่นต่อไป ได้แก่ 219 และ V335 หากต้องการคัดเลือกลำนำไปปรับปรุงพันธุ์ด้านความโต clone ที่มีค่าทางพันธุ์สูง 3 ลำดับแรก ได้แก่ 302 MH9 และ 8C20 หากต้องการคัดเลือกลำนำไปปรับปรุงพันธุ์ด้านความสูง clone ที่มีค่าทางพันธุ์สูง 3 ลำดับแรก ได้แก่ MH9 302 และ 219 ในขณะที่ clone 271 แม้ว่าการให้คะแนนด้านรูปร่างจะจัดอยู่ในกลุ่มปานกลาง แต่จากจำนวนที่รอดตายมีจำนวนน้อยมาก จึงไม่ควรนำมาปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เนื่องจากสักรเป็นไม้ที่นำมาใช้ประโยชน์ได้เมื่อมีอายุ 15 ปี 20 ปี และ 30 ปี ดังนั้นการศึกษาเพื่อคัดเลือก clone ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกในดินของภาคตะวันออกเฉียงเหนือควรทำการเก็บข้อมูลต่อเนื่องและทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งด้านการเติบโตและรูปร่างอีกครั้งเมื่อถึงอายุที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. การใส่เบนโทไนต์ (แคลเซียมเบนโทไนต์) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยดูดซับธาตุอาหารและการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน การใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีจึงช่วยให้การเติบโตของกล้าสักเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.5 กิโลกรัม ในขณะที่การใส่ถ่านจะช่วยให้อายุกล้าสักมีความสูงและความโต (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับขีดดิน) เพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้แสดงผลชัดเจนในเรื่องของมวลชีวภาพ แต่การใส่ถ่านปริมาณ 1 ตันต่อเฮกแตร์ จะช่วยลดการตายของกล้าไม้ได้ แสดงว่าการใช้สารปรับปรุงดินได้แก่ เบนโทไนต์ และถ่านจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกสักเพิ่มมากขึ้น

การใส่ถ่านและแคลเซียมเบนโทไนต์อาจเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย โดยถ่านไม้สามารถซื้อได้ทั่วไป ราคาประมาณ กิโลกรัมละ 18-20 บาท ซึ่งหากต้องใช้ 1 ตันต่อเฮกแตร์ หรือ 160 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มประมาณ 2,800-3,200 บาทต่อไร่ ในขณะที่ราคาแคลเซียมเบนโทไนต์ ราคา 5 บาทต่อกิโลกรัม (1 กระสอบ 20 กิโลกรัม ราคากระสอบละ 100 บาท) การใส่ 0.5 กิโลกรัมต่อไร่ จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม 250-500 บาทต่อไร่ กรณีปลูก 100 ต้นต่อไร่ (ระยะปลูก 4x4 เมตร) และ 200 ต้นต่อไร่ (ระยะปลูก 2x4 เมตร) ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- กุลวดี รัชสิพัฒนานนท์, ยุวดี มานะเกษม, บุญร่วม คัดคำ, ชัยวัฒน์ คงมันกลาง. 2548. การใช้ประโยชน์จากแร่ที่มีอยู่ในประเทศเพื่อปรับปรุงดินสำหรับการเพาะปลูก. เครือข่ายบริหารการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
- โครงการความร่วมมือด้านการวิจัยระหว่างกรมป่าไม้และ JIRCAS. 2555. แผนที่เหมาะสมของดินสำหรับปลูกไม้สักในจังหวัดอุดรธานีและจังหวัดหนองบัวลำภู. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟินนี่ พับบลิชซิ่ง, กรุงเทพฯ.
- โครงการความร่วมมือด้านการวิจัยระหว่างกรมป่าไม้และศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์การเกษตรนานาชาติแห่งประเทศไทย (JIRCAS). 2558. แผนที่เหมาะสมของดินสำหรับปลูกไม้สักในจังหวัดชัยภูมิและจังหวัดขอนแก่น. บริษัท ไทยปริ้นท์ติ้ง เซ็นเตอร์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ดารารพร กาญจนะ. 2556. ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อมันสำปะหลังที่ปลูกบนดินยโสธรเสื่อมโทรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดาร์รัตน์ อุ่นเสณีย์, ศุภิมา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิพรเพิ่ม และเอิบ เขียวรีนรมย์. 2558. ผลของเบนโทไนต์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยโพแทสเซียมและผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกในดินสodik. เกษตร. 43: 707-716.
- เบญญาทิพย์ มณีทุม, สมชัย อนุสนธิพรเพิ่ม, ศุภิมา ธนะจิตต์ และดาวจรส เกตุโรจน์. 2560. ผลของเบนโทไนต์และปุ๋ยเคมีต่อมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกบนดิน Ustic Quartzipsamment. เกษตร. 45: 153-164.
- ประสิทธิ์ เพ็ชรอรุณรักษ์. 2545. เทคนิคการปักชำเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ไม้สัก. ส่วนงานวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ
- พรเทพ เหมือนพงษ์, ศาพิศ ดิลกสัมพันธ์, จงรัก วัชรินทร์รัตน์, สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล และสุวรรณ ตั้งมิตรเจริญ. 2560. การประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ต่อการปลูกสักสายต้นต่าง ๆ ในประเทศไทย. วารสารวนศาสตร์ 36(2) : 24-34.
- พรสุตา กุหลาบเทียม. 2563. ความผันแปรทางพันธุกรรมของการพัฒนาแก่นไม้สัก บริเวณสถานีวิวัฒนวิจัยอินทิล จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพรัช ปิยะพันธุ์. 2544. การปรับปรุงพันธุ์ไม้สักในประเทศไทย. ส่วนงานวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ
- ไพรัช ปิยะพันธุ์. และอภิชาติ ขาวสะอาด 2544. การทดสอบแม่ไม้สัก ท้องที่อำเภองาว จังหวัดลำปาง. เอกสารวิชาการประกอบคำขอให้ประเมินบุคคลเพื่อดำรงตำแหน่งนักวิชาการป่าไม้ 8ว. ส่วนงานวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- ไพรัช ปิยะพันธุ์ และจันรรจ์ เพ็ชรอรุณรักษ์. 2539. สายพันธุ์และวิธีการติดตากับการเกิด Incompatibility และเชื้อราของไม้สักในสวนผลิตเมล็ดพันธุ์ 4 ชั้นอายุ. เอกสารวิชาการประกอบคำขอให้ประเมินบุคคลเพื่อดำรงตำแหน่งนักวิชาการป่าไม้ 7ว. ส่วนงานวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- ภัทรสวันต์ แสงคำ. 2552. ผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อสมบัติดินและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- มยุรี ธีระวารินทร์ยุทธ. 2530. ผลของการใส่ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดดูเลนซิส บริเวณทุ่งกุลาร้องไห้ อำเภอสวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มยุรี วรรณพินิจ. 2539. ผลของการใส่ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ยูคาลิปตัส ความลาดดูเลนซิส อายุ 1 ปี บริเวณสวนปาลาตกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา. กลุ่มปฐพีวิทยาป่าไม้, ส่วนวนวัฒนวิจัย, สำนักวิชาการป่าไม้, กรมป่าไม้.
- วันวิสาข์ จันทิกา. 2555. การพัฒนาดัชนีภาวะวิกฤติการขาดน้ำ และการควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติโดยเซ็นเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สมชาย ธรณิศร. 2528. ผลของระยะปลูกและอัตราปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของไม้ยูคาลิปตัส 3 ชนิด ที่ปลูกบนดินเหมืองเก่า. ปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ส่วนวนวัฒนวิจัย. 2542. หลักการปรับปรุงพันธุ์ไม้ป่าเบื้องต้น. ส่วนวนวัฒนวิจัย, สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- สุวรรณ ตั้งมิตรเจริญ ประเสริฐ สอนสถาพรกุล ประโชติ ชุ่นอ้อ สุदारัตน์ งามขจรวิวัฒน์ วิชัย อ่อนน้อม และ สมยศ กิจคำ. 2534. ปัจจัยการตัดสางขยายระยะ ระยะปลูก การให้ปุ๋ยและการถางวัชพืชที่มีผลผลิตเมล็ดและการเจริญเติบโตของไม้กระถินณรงค์ในช่วงอายุ 5 ปี. น. 339-365. ใน การสัมมนาทางวิชาการวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 5, 27-29 มีนาคม 2534. ฝ่ายวนวัฒนวิจัย, กองบำรุง, กรมป่าไม้.
- เสรี จาตุรงค์กุล สมนึก ศรีทองนิม และยุวดี บุตรามรา. 2542. อิทธิพลของปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและการปรับปรุงดินของกระถินเทพาในดินทรายชุดน้ำพอง. ใน รายงานบทความย่อยผลงานวิจัยกองอนุรักษ์ดินและน้ำ พ.ศ. 2542. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, กรมพัฒนาที่ดิน.
- อภิชาติ ขาวสะอาด. 2528. คู่มือการปรับปรุงพันธุ์ไม้สัก (ตอนที่ 6) การทดสอบแม่ไม้สัก. ฝ่ายวนวัฒนวิจัย กองบำรุง กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- อุทัยวุฒิ เสาร์ชัย. 2529. ผลของการเตรียมพื้นที่และการใส่ปุ๋ยที่มีต่อการให้ปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดดูเลนซิส. ปัญหาพิเศษ, ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อำไพ พรสิแสงสุวรรณ, สมชาย นองเนือง, สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, วรพจน์ คำใบ และไศรยา ภูจิระ. 2561. การประเมินผลการทดสอบสายต้นสายพันธุ์ และการประเมินปริมาตรไม้ มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของไม้สักอายุ 10 ปี จังหวัดเชียงใหม่. น. 2-46 ถึง 2-59. ใน การประชุมการป่าไม้ ประจำปี พ.ศ. 2561 : การปฏิรูปป่าไม้แห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Binchao, K. and B. Jiayu. 1995. Sustainable Management of teak plantation on acidic soils in China. In Teak for the Future: Proceedings of the Second Regional Seminar on Teak. 29 May – 3 June 1995, Yangon, Myanmar.
- Bledsoe, C.S. and R.J. Zasoski. 1983. Effects of ammonium and nitrate on growth and nitrogen uptake by mycorrhizal Douglas-fir seedlings. Plant and Soil 71: 445-454.

- Brady, N.C. and R.R. Well. 2008. The Nature and Properties of Soils. 14th ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Brockley, R.P. 2004. Effects of different sources and rates of Sulphur on the growth and foliar nutrition of nitrogen-fertilized lodgepole pine. Canadian Journal of Forest Research 34: 728-743.
- Borzouei A. 2012. Water potential and salt effects on seed germination of *Kochia scoparia*. Indian Journal of Science and Technology 5(1): 1907-1909.
- Croker, J., R. Poss, C. Hartmann and S. Bhuthorndharaj. 2004. Effects of recycles ventonite addition on soil properties, plant growth and nutrient uptake in a tropical sandy soil. Plant Soil 267: 155-163.
- Falconer, D.S. 1960. Introduction to Quantitative Genetics. Oliver&Boyd, Edinburgh and London.
- Food and Agriculture Organization. 1993. An Explanatory Note on the FAO World Soil Resources Map at 1:25,000,000 Scale; World Soil Resources Reports 66; FAO: Rome, Italy, 1993; p. 64.
- Indlethorpe, S.D.J., D.J. Morgan, D.E. Highley and A.J. Bloodworth. 1993. Industrial Minerals Laboratory Manual Bentonite. Mineralogy and Petrology Group, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, United Kingdom.
- Jongdee, B. 1998. The Importance of leaf water potential and osmotic adjustment on growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under water deficit conditions. Ph.D. Thesis. Australia: Queensland University.
- Kammann, C.I., S. Linsel, J.W. Gäßling, and H.W. Koyro. 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil-plant relations. Plant and Soil 345: 195-210.
- Kaosa-ard, A. 1989. Teak (*Tectona grandis* Linn. f): Its natural distribution and related factors. nat. Hist. Bull. Siam Soc. 29: 55-74.
- Kaosa-ard A, V. Suangtho, ED Kjaer. 1998. Experience from tree improvement of teak (*Tectona grandis*) in Thailand. In: Centre DFS (ed) Technical Note No 5, Humlebaek Denmark, pp 1-14
- Kayama, M., S. Nimpila, S. Hongthong, R. Yoneda, W. Wichienopparat, W. Himmaman, T. Vacharangkura, and I. Noda. 2016. Effects of Bentonite, Charcoal and Corncob for Soil Improvement and Growth Characteristics of Teak Seedling Planted on Acrisols in Northeast Thailand. Forests 2016, 7, 36.

- Kayama, M., S. Nimpila, S. Hongthong, W. Himmapan. 2017. Growth characteristics of teak seedling planted on different types of sandy soil in Northeast Thailand. JIRCAS Working Report 85: 45-56.
- Kayama, M., S. Nimpila, S. Hongthong, R. Yoneda, W. Himmapan, and I. Noda. 2021. Effect of bentonite on the early growth characteristics of teak seedlings planted in sandy soil in northeast Thailand – a pilot study. *Forests* 12: 26.
- Kittibanpacha, S., C. Mungkalarat and P. Chataecha. 1988. Evaluation of Rangwide Provenance Trials of White Spruce (*Picea gluca*); Report in DANIDA training course on Tree Improvement Program, May-October 1988. Horsholm, Denmark: 5-26.
- Kyuma, K. 2003. Soil Resources and Land Use in Tropical Asia. *Pedosphere* 2003, 13, 49–57.
- Mishra, P.K., S.S. Prasad, B.M. Babu, L.R. Varalakshmi. 2001. Bentonite as an ameliorant in an alfisol—a laboratory study. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 127: 118-122.
- Noble, A.D., G.P. Gillman, S. Nath S, and R.J. Srivastava. 2001. Changes in the surface charge characteristics of degraded soils in the wet tropics through the addition of beneficiated bentonite. *Australian Journal of Soil Research* 39: 991-1001.
- Novak J.M., W.J. Busscher, D.W. Watts, J.E. Amonette, J.A. Ippolito, I.M. Lima, J. Gaskin, K.C. Das, C. Steiner, M. Ahmedna, D. Rehrach, and H. Schomberg H. 2012. Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. *Soil Science* 177: 310-320.
- Pianhanuruk P., P. Piyaphan and C. Pianhanuruk. 1996. A Preliminary Study of Rejuvenation of Teak by the Budding Technique. Information Note, ASEAN Forest Tree Seed Centre Project, Muak-Lek, Saraburi, Thailand.
- Rezvan, T. and R.S. Ali. 2012. Effects of bentonite on water infiltration in a loamy sand soil. *Agronomy and Soil Science*. 59: 1409-1418.
- Suzuki, S., A.D. Noble, S. Ruaysoongnern, and N. Chinabut. 2007. Improvement in water-holding capacity and structural stability of a sandy soil in northeast Thailand. *Arid Land Research and Management* 21: 3749.
- Talebnezhad, R. and A.R. Sepaskhah. 2012. Effects of bentonite on water infiltration in a loamy sand soil. *Archives Agron. Soil Sci.* 59: 1049-1418.
- Tanaka N, Hamazaki T, Vacharangkura T. 1998. Distribution, growth and site requirements of teak. *JARQ* 32:65-77
- Wichiennopparat W, Wanpinit M, Nimpila S. 2012. A preliminary result of soil improvement trial on teak in Khon Kaen, Thailand. *JIRCAS Working Report* 74:23-26.
- Yuan J.H. and R.K. Xu RK. 2011. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic ultisol. *Soil Use and Management* 27: 110-115.