



การพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนเหนือพื้นดินของต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta*) ในประเทศไทย

Development of Allometric Equations for Estimating Aboveground Biomass and Carbon Stock of Silver Oak (*Grevillea robusta*) in Thailand

ธีรวรงค์ เหล่าสุวรรณ^{1,2*}, ญาณวุฒิ อุทรักษ์^{2,3}, สาทิต แสงประดิษฐ์^{2,4}, ธนัทเดช โรจนกุล^{1,2},
จุมพล อิศระวิสุทธิ¹, ณัชชา เหล่าสุวรรณ^{1,2}, ยงยุทธ รวยลาภ⁵ และ พัชรินทร์ เสริมการดี⁶
Teerawong Laosuwan^{1,2*}, Yannawut Uttaruk^{2,3}, Satith Sangpradid^{2,4}
Tanutdech Rotjanakusol^{1,2}, Jumpol Itsarawisut¹, Natcha Laosuwan¹,
Yongyut Rouylarp⁵ and Patcharin Sermkarndee⁶

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University.

²ศูนย์วิจัยและปฏิบัติการก๊าซเรือนกระจก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²Greenhouse Gas Research Center and Operations, Faculty of Science, Mahasarakham University

³ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

³Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University.

⁴ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

⁴Department of Geoinformatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University.

⁵ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอวาฟาร์ม 888 เลขที่ 888 หมู่ที่ 5 ตำบลพญาเย็น อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

⁵AVA Farm 888 Limited Partnership, 888 Moo 5, Phaya Yen, Pak Chong, Nakhon Ratchasima, Thailand

⁶สาขาวิชาสังคมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยหาดใหญ่

⁶Department of Social Studies, Faculty of Education and Liberal Arts, Hatyai University.

*Corresponding author, E-mail: teerawong@msu.ac.th

บทคัดย่อ

การประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ป่าเป็นข้อมูลสำคัญต่อการจัดการทรัพยากรป่าไม้และการประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตาม สมการแอลโลเมตริกที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นสมการทั่วไปซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับไม้บางชนิด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนเหนือพื้นดินของต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta*) ในประเทศไทย โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบทำลาย (destructive sampling) จากต้นไม้วางอย่างที่มีช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและอายุต่างกัน ทำการแยกส่วนประกอบของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ เพื่อนำไปชั่งน้ำหนักสดและอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ (CHN analyzer) และพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพกับตัวแปรอิสระ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และอายุ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงสถิติ ผลการศึกษาพบว่าสมการที่พัฒนามีความแม่นยำสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ในระดับสูง (0.736–0.937) แสดงถึงความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของมวลชีวภาพได้ดี ปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนเหนือพื้นดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุและขนาดของต้นไม้ สมการที่



ได้มีความเหมาะสมสำหรับการประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนของไม้ซิลเวอร์โอ๊คในพื้นที่ศึกษา ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน การวางแผนการปลูกป่าเชิงเศรษฐกิจ และสนับสนุนโครงการด้านการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคป่าไม้ของประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: สมการแอลโลเมตริก, มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน, การกักเก็บคาร์บอน, ซิลเวอร์โอ๊ค

Abstract

Estimating forest biomass and carbon storage in forests is important for forest management and greenhouse gas mitigation assessment. However, most allometric equations used in Thailand are general models that may not be suitable for some tree species. This study aimed to develop allometric equations for estimating aboveground biomass and carbon stock of silver oak (*Grevillea robusta*) in Thailand. Destructive sampling was conducted using sample trees with different diameters at breast height and ages. The trees were separated into stem, branches, and leaves. Fresh weights were measured, and samples were oven-dried to obtain dry biomass. Carbon content was then analyzed using a CHN analyzer. The relationships between biomass and independent variables, including diameter at breast height, tree height, and age, were developed using statistical regression analysis. The results showed that the developed equations had high accuracy, with high coefficients of determination (R^2) (0.736–0.937), indicating strong ability to explain biomass variation. Aboveground biomass and carbon stock increased with tree size and age. The developed equations were suitable for estimating biomass and carbon of silver oak in the study area. The findings can be applied to evaluate carbon sequestration potential, support economic plantation planning, and contribute to greenhouse gas reduction programs in Thailand.

Keywords: allometric equation, aboveground biomass, carbon sequestration, silver oak

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในความท้าทายสำคัญของโลกในปัจจุบัน ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้พลังงาน การเกษตร และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน [1-3] ปรากฏการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ความหลากหลายทางชีวภาพ และความมั่นคงด้านทรัพยากรธรรมชาติในระยะยาว การเพิ่มพื้นที่ป่าไม้และการจัดการทรัพยากรป่าไม้อย่างเหมาะสมจึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก [4] เนื่องจากต้นไม้สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและกักเก็บไว้ในรูปของมวลชีวภาพทั้งเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน [5-7] ดังนั้น การปลูกและการจัดการไม้เศรษฐกิจจึงมีบทบาทสำคัญทั้งในด้านเศรษฐกิจและการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวยังช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน ลด



การชะล้างพังทลาย และสนับสนุนความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศอีกด้วย การพัฒนาแนวทางการจัดการป่าไม้ที่สอดคล้องกับเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกจึงได้รับความสนใจอย่างมากในระดับนานาชาติ รวมถึงประเทศไทยที่มุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในอนาคต [8-10]

การประเมินปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนที่สะสมในต้นไม้จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่มีความแม่นยำ [11] การใช้สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) ถือเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถเชื่อมโยงกับลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (DBH) และความสูงของต้นไม้ (H) กับมวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ [12-15] อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนและเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบทำลาย [16] อย่างไรก็ตาม สมการแอลโลเมตริกที่พัฒนาขึ้นในพื้นที่หรือชนิดไม้หนึ่งอาจไม่สามารถนำไปใช้กับพื้นที่อื่นได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อม รูปแบบการปลูก และลักษณะการเจริญเติบโตของต้นไม้ ส่งผลให้เกิดความจำเป็นในการพัฒนาสมการเฉพาะชนิดและเฉพาะพื้นที่เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการประเมิน [17-19] นอกจากนี้ การใช้สมการที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งส่งผลต่อการวางแผนนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและการบริหารจัดการทรัพยากรในระยะยาว [20]

ในประเทศไทย ต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br.) เป็นไม้เศรษฐกิจที่มีศักยภาพสูง ได้รับความนิยมในการปลูกเนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว ทนแล้ง และสามารถปรับตัวได้ดีในระบบเกษตรผสมผสาน อีกทั้งยังมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในระดับสูง ทำให้เหมาะสมต่อการปลูกในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกเพื่อประเมินมวลชีวภาพของไม้ชนิดนี้ในประเทศไทย โดยใช้ตัวแปรด้านขนาดลำต้นเป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของไม้ซิลเวอร์โอ๊คต่อการกักเก็บคาร์บอนและการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน [21] อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของอายุไม้ รูปแบบการจัดการ และสภาพพื้นที่ปลูก อาจส่งผลต่อความแม่นยำของสมการที่มีอยู่เดิม จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาปรับปรุงสมการให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และลักษณะการเจริญเติบโตที่แท้จริงมากยิ่งขึ้น

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาและปรับปรุงสมการแอลโลเมตริกสำหรับการประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนเหนือพื้นดินของต้นซิลเวอร์โอ๊คที่ปลูกในพื้นที่ศึกษา อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลภาคสนามร่วมกับการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของสมการที่พัฒนา พร้อมทั้งประเมินความสัมพันธ์ของตัวแปรด้านการเจริญเติบโตกับปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนที่สะสม ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของไม้เศรษฐกิจ การสนับสนุนโครงการคาร์บอนเครดิต และการวางแผนจัดการทรัพยากรป่าไม้ของประเทศไทยให้สอดคล้องกับเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการศึกษาวิจัยในชนิดไม้เศรษฐกิจอื่น ๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta*) ที่ปลูกในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านการเจริญเติบโตของต้นไม้ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และอายุ กับปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้



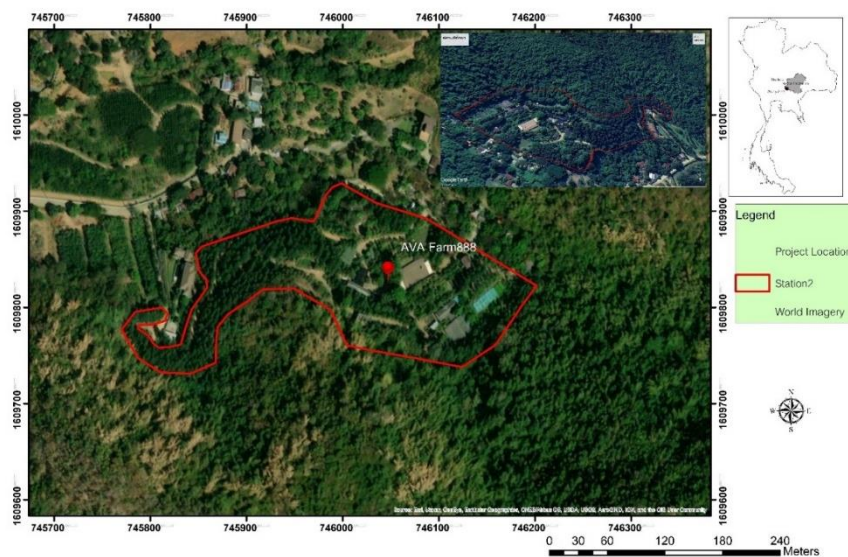
3. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นซิลเวอร์โอ๊ค และประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ดำเนินการในแปลงปลูกต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta*) สายพันธุ์ Silver Oak AVAONE ของ AVA Farm 888 ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย (รูปที่ 1) ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกไม้เศรษฐกิจที่มีการจัดการอย่างเป็นระบบ สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นพื้นที่ราบถึงลาดชันเล็กน้อย ดินมีลักษณะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไม้ยืนต้น และอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนที่มีฤดูฝนและฤดูแล้งชัดเจน อุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูงตลอดปีและมีปริมาณน้ำฝนตามฤดูกาล ซึ่งเอื้อต่อการเจริญเติบโตของไม้ซิลเวอร์โอ๊ค พื้นที่ดังกล่าวถือเป็นพื้นที่ปลูกไม้เศรษฐกิจที่สำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในระดับสูง จึงเหมาะสมสำหรับการศึกษาและพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับการประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนของไม้ชนิดนี้

ต้นซิลเวอร์โอ๊คที่ใช้ในการศึกษามีช่วงอายุและขนาดแตกต่างกัน เพื่อให้ครอบคลุมลักษณะการเจริญเติบโตของไม้ในหลายระยะ โดยมีการคัดเลือกต้นตัวอย่างที่มีความสมบูรณ์และไม่มีความเสียหายจากโรคหรือแมลง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปพัฒนาสมการแอลโลเมตริกได้อย่างเหมาะสม การเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก ความสูงต้นไม้ และอายุของต้นไม้ก่อนดำเนินการวัดแบบทำลาย ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนของไม้ซิลเวอร์โอ๊คในพื้นที่ปลูกที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน รวมทั้งสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรป่าไม้และการพัฒนาโครงการด้านคาร์บอนเครดิตในอนาคต



รูปที่ 1. แปลงปลูกต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta*) สายพันธุ์ Silver Oak AVAONE ของ AVA Farm 888



การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกจากข้อมูลภาคสนามและการวิเคราะห์เชิงทดลอง เพื่อประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนเหนือพื้นดินของต้นซิลเวอร์โอ๊คอย่างแม่นยำ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

การคัดเลือกต้นตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเลือกต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta*) จากพื้นที่ศึกษาโดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบทำลาย (destructive sampling) จำนวนทั้งสิ้น 8 ต้น เนื่องจากข้อจำกัดด้านมูลค่าของต้นไม้ จึงเลือกต้นที่ครอบคลุมช่วงอายุระหว่าง 2–9 ปี เพื่อเป็นตัวแทนของการเจริญเติบโตในแต่ละระยะ ทั้งนี้ ต้นตัวอย่างที่คัดเลือกเป็นต้นที่มีความสมบูรณ์ ลำต้นตรง และปราศจากความเสียหายจากโรคหรือแมลง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมสำหรับการพัฒนาสมการแอลโลเมตริก

การเก็บข้อมูลภาคสนาม ในขั้นตอนก่อนการตัดต้นไม้ ได้ทำการวัดตัวแปรด้านการเจริญเติบโตของต้นไม้ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (Diameter at Breast Height: DBH) และความสูงของต้นไม้ โดยการวัดค่า DBH ใช้สายวัด DBH พันรอบลำต้นที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดิน และบันทึกค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นหน่วยเซนติเมตร ส่วนการวัดความสูงของต้นไม้ใช้กล้องวัดระยะ Nikon Forestry Pro II (Laser Rangefinder) โดยวัดระยะและมุมจากตำแหน่งผู้วัดไปยังยอดและโคนต้นไม้ จากนั้นคำนวณความสูงตามหลักตรีโกณมิติ นอกจากนี้ยังมีการบันทึกอายุของต้นไม้ และดำเนินการตัดต้นตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ชีวมวล โดยข้อมูลทั้งหมดถูกบันทึกอย่างเป็นระบบเพื่อให้มีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกได้อย่างน่าเชื่อถือ

การแยกส่วนและการหาน้ำหนักมวลชีวภาพ หลังการตัดต้นไม้ ทำการแยกส่วนประกอบของต้นไม้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ จากนั้นชั่งน้ำหนักสดของแต่ละส่วนในภาคสนาม และเก็บตัวอย่างย่อยเพื่อนำไปอบแห้งในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิคงที่จนได้น้ำหนักแห้ง เพื่อนำไปคำนวณมวลชีวภาพแห้งของต้นไม้ทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ตัวอย่างชีวมวลที่ผ่านการอบแห้งถูกนำไปบดให้ละเอียดจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอ ก่อนนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบธาตุด้วยเครื่อง CHN analyzer เพื่อหาปริมาณคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปใช้คำนวณปริมาณคาร์บอนสะสมในชีวมวลเหนือพื้นดินและชีวมวลรวมของต้นซิลเวอร์โอ๊ค

การพัฒนาสมการแอลโลเมตริก วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพกับตัวแปรอิสระ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก ความสูง และอายุ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงสถิติ เพื่อพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และคัดเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุดจากค่าทางสถิติ

การประเมินความแม่นยำของสมการ ประเมินความเหมาะสมของสมการที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ค่าสถิติ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดจริง เพื่อยืนยันความแม่นยำของสมการสำหรับการนำไปใช้งาน



ผลการวิจัย

การสะสมมวลชีวภาพเหนือดิน

การศึกษานี้ดำเนินการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นซิลเวอร์ไอค้ AVAONE ในแปลงปลูกของ AVA Farm 888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ต้นตัวอย่างจำนวน 8 ต้น ครอบคลุมช่วงอายุ 2-9 ปี เพื่อเป็นตัวแทนการเจริญเติบโตในแต่ละระยะ ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (DBH) และความสูงของต้นไม้ก่อนดำเนินการวัดแบบทำลาย ดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการศึกษาพบว่าค่า DBH และความสูงของต้นไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงอายุประมาณ 5-8 ปี ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพการเจริญเติบโตที่ดีของไม้ซิลเวอร์ไอค้ในพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่าง DBH และความสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน สะท้อนให้เห็นว่าขนาดลำต้นเป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถใช้ในการประเมินมวลชีวภาพของต้นไม้ได้อย่างเหมาะสม จากข้อมูลพบว่าต้นที่มีอายุมากที่สุดมีค่า DBH และความสูงสูงสุด ซึ่งส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพสะสมโดยตรง แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะการเจริญเติบโตของไม้ยืนต้นทั่วไปที่มีการเพิ่มขนาดลำต้นและความสูงตามอายุอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกและการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของไม้ซิลเวอร์ไอค้ในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 1 แสดงการสะสมมวลชีวภาพเหนือดินที่สูงขึ้นตามลำดับ

Tree ID	Age (year)	Ht (m)	DBH (cm)	Fresh weight (kg)			
				Stem	Branch	Leaf	Root
SO02	2	6.65	6.05	18.40	11.20	4.85	12.60
SO03	3	7.50	7.16	16.90	5.10	6.40	6.90
SO04	4	16.90	13.70	116.60	20.00	4.40	45.20
SO05	5	19.30	15.20	148.19	20.05	6.70	58.30
SO06	6	19.34	22.00	209.35	41.10	7.50	65.50
SO07	7	18.50	21.00	283.60	89.60	22.80	50.30
SO08	8	20.40	35.00	647.24	157.10	32.00	206.30
SO09	9	19.00	36.80	1,075.87	497.00	46.20	174.30

จากข้อมูลในตารางที่ 1 ต้นซิลเวอร์ไอค้มีขนาด (DBH และความสูง) เพิ่มขึ้นตามอายุ และน้ำหนักสดของส่วนลำต้นมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกิ่ง ใบ และราก โดยค่ารวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจนในต้นอายุมาก (8-9 ปี)

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของต้นซิลเวอร์ไอค้

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นของส่วนประกอบต้นซิลเวอร์ไอค้จากการอบแห้งในห้องปฏิบัติการพบว่า ส่วนลำต้นและใบมีค่าความชื้นสูงกว่าส่วนกิ่งและรากอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเฉพาะในช่วงอายุ 2-6 ปี ซึ่งสะท้อนถึงบทบาทของส่วนเหนือดินในการกักเก็บน้ำเพื่อสนับสนุนกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพ นอกจากนี้พบว่าค่าความชื้นของรากมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุต้นเพิ่มขึ้น โดยในช่วงอายุ 6-9 ปี รากมีค่าความชื้นต่ำกว่าส่วนอื่นของต้นอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดสรรน้ำภายในต้นไม้ที่มีแนวโน้มส่งไปสะสมในส่วน



ลำต้นและใบมากขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น แนวโน้มดังกล่าวสะท้อนถึงความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตและการสะสมมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นซิลเวอร์โอ๊ค ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของไม้ชนิดนี้

ตารางที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นใน ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ของตัวอย่างจากแปลงปลูกของ AVA farm 888 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

Tree ID	Age (year)	%Moisture			
		Stem	Branch	Leaf	Root
SO02	2	92.67	88.45	78.99	88.21
SO03	3	129.05	64.57	104.30	68.07
SO04	4	87.24	89.26	98.80	67.76
SO05	5	88.46	95.36	96.29	68.94
SO06	6	90.98	88.18	100.87	49.83
SO07	7	108.26	72.99	122.47	69.84
SO08	8	83.21	81.22	100.94	58.94
SO09	9	90.44	95.80	87.75	54.30

ตารางที่ 2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของส่วนลำต้น กิ่ง ใบ และรากของต้นซิลเวอร์โอ๊คในช่วงอายุ 2–9 ปี โดยพบว่าส่วนลำต้นและใบมีค่าความชื้นสูงกว่าส่วนกิ่งและรากอย่างชัดเจน นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาตามช่วงอายุ พบว่า ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในส่วนลำต้นและรากเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ขณะที่ ส่วนใบมีความแปรผันสูงและไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจน และ ส่วนกิ่งมีแนวโน้มคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ผลการวิเคราะห์มวลชีวภาพและการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกของต้นซิลเวอร์โอ๊ค

การวิเคราะห์มวลชีวภาพของต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta*) ดำเนินการจากต้นตัวอย่างจำนวน 8 ต้น ที่มีช่วงอายุ 2–9 ปี โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (DBH) และค่าตัวแปร DBH^2H กับน้ำหนักมวลชีวภาพแห้งของส่วนประกอบต่าง ๆ ของต้นไม้ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

ผลการศึกษาพบว่ามวลชีวภาพของต้นซิลเวอร์โอ๊คเพิ่มขึ้นตามอายุและขนาดของต้นอย่างชัดเจน โดยต้นอายุ 2 ปี มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (AGB) เท่ากับ 17.49 กิโลกรัม ขณะที่ต้นอายุ 9 ปี มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 860.42 กิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าการสะสมมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเจริญเติบโตของต้นไม้ นอกจากนี้ส่วนลำต้นเป็นองค์ประกอบที่มีมวลชีวภาพสูงที่สุด โดยในต้นอายุ 9 ปี มีน้ำหนักลำต้น 574.58 กิโลกรัม รองลงมาคือกิ่ง 262.60 กิโลกรัม ใบ 23.24 กิโลกรัม และราก 103.90 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 3



ตารางที่ 3 ข้อมูลตัวแปรอิสระ DBH²H และค่ามวลชีวภาพในส่วน ลำต้น กิ่ง ใบ ราก และ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้น

Tree ID	Age (year)	Ht (m)	DBH (cm)	Dry weight (kg)					
				DBH ² H	Stem	Branch	Leaf	Root	AGB
SO02	2	6.05	6.65	267.14	8.83	6.47	2.18	7.42	17.49
SO03	3	7.50	7.16	384.49	8.11	2.95	2.88	4.06	13.94
SO04	4	16.90	13.70	3,171.96	62.27	10.57	2.21	26.94	75.05
SO05	5	19.30	15.20	4,459.07	79.14	10.59	3.37	34.75	93.11
SO06	7	19.34	22.00	9,360.56	111.80	21.72	3.77	39.04	137.29
SO07	6	18.50	21.00	8,158.50	136.17	51.80	10.25	29.62	198.22
SO08	8	20.40	35.00	24,990.00	345.67	83.01	16.10	122.97	444.77
SO09	9	19.00	36.80	25,730.56	574.58	262.60	23.24	103.90	860.42

ตารางที่ 4 สมการ allometric equation และค่า R² ของสมการในแต่ละส่วนของต้น Silver Oak AVAONE จากแปลงปลูกในอำเภอบางช้าง จังหวัดนครราชสีมา ของ AVA Farm888

Tree part	Allometric Equation	R ²
Stem	$W_s = 0.0562(D^2H)^{0.8678}$	0.904
Branch	$W_b = 0.1350(D^2H)^{0.5893}$	0.841
Leaf	$W_l = 0.2300(D^2H)^{0.3842}$	0.736
Root	$W_r = 0.1333(D^2H)^{0.6451}$	0.937
AGB	$W_t = 0.1609(D^2H)^{0.7846}$	0.840

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติพบว่าสมการแอลโลเมตริกที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำอยู่ในระดับสูง โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ของสมการในแต่ละส่วนของต้นไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.736–0.937 และสมการมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวม (AGB) มีค่า R² เท่ากับ 0.840 แสดงถึงความสามารถของตัวแปร DBH²H ในการอธิบายความแปรปรวนของมวลชีวภาพได้อย่างเหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4 ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าขนาดลำต้นเป็นตัวแปรสำคัญในการประเมินมวลชีวภาพของต้นซิลเวอร์โอ๊ค และสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการประมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนของไม้ชนิดนี้ในพื้นที่ปลูกที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นซิลเวอร์โอ๊ค

การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta* A.Cunn. ex R.Br.) ดำเนินการโดยใช้ วิธี LECO (LECO method) ผ่านเครื่อง CHN Elemental Analyzer รุ่น CHN628 ในห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ การวิเคราะห์นี้ครอบคลุมส่วนประกอบหลักของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ผลการวิเคราะห์พบว่า ส่วนของลำต้น มีค่าสัดส่วนคาร์บอนในเนื้อไม้ระหว่าง 46.324–48.704% โดยมีค่าเฉลี่ย 48.063% ขณะที่ ส่วนของกิ่ง อยู่ในช่วง 45.561–45.992% เฉลี่ย 45.781% สำหรับ ส่วนของใบ อยู่ในช่วง 45.561–48.516% ค่าเฉลี่ย 47.678% และ ส่วนของราก อยู่ระหว่าง 46.015–



48.428% เฉลี่ย 47.019% โดยรวมแล้วค่าสัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพของทุกส่วนของ Silver Oak AVAONE อยู่ในช่วง 45.561–48.704% ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ IPCC (2006) แนะนำ คือ 47% จากการวิเคราะห์ยังพบว่า ค่าสัดส่วนคาร์บอนจะมีค่าสูงในส่วนของ ลำต้น ราก และใบ แต่จะน้อยในส่วนของกิ่ง นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นไม้ในทุกส่วนของมวลชีวภาพ ทั้งนี้ ต้นตัวอย่างที่นำมาศึกษายังมีอายุก่อนข้างน้อย จึงอาจทำให้ค่าสัดส่วนคาร์บอนที่วัดได้ต่ำกว่าค่าที่แท้จริงและมีค่าเริ่มคงที่เมื่อต้นไม้มีอายุมากกว่า 5 ปี เมื่อซิลเวอร์โอ๊คมีการเจริญเติบโตมากขึ้น คาดว่าการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเข้าสู่ระดับที่คงที่ในช่วงอายุมากขึ้น ดังนั้น ผลการศึกษาครั้งนี้สะท้อนถึงศักยภาพการสะสมคาร์บอนของซิลเวอร์โอ๊ค ได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการบ่งชี้ว่า สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพของซิลเวอร์โอ๊คความสอดคล้องใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานสัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพเท่ากับ 47% ตามที่ IPCC (2006) กำหนด ในการคำนวณและประเมินคาร์บอนในงานวิจัยนี้

สรุปและอภิปรายผล

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าต้นซิลเวอร์โอ๊ค (*Grevillea robusta*) สายพันธุ์ Silver Oak AVAONE ที่ปลูกในพื้นที่ศึกษา มีการเจริญเติบโตและการสะสมมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอายุอย่างชัดเจน โดยค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (DBH) และความสูงของต้นไม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงอายุ 2–9 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ โดยเฉพาะส่วนลำต้นที่มีสัดส่วนมวลชีวภาพสูงที่สุด รองลงมาคือกิ่ง ใบ และรากตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพรวม (AGB) จาก 17.49 กิโลกรัม ในต้นอายุ 2 ปี เป็น 860.42 กิโลกรัม ในต้นอายุ 9 ปี สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพการสะสมมวลชีวภาพที่สูงของไม้ชนิดนี้เมื่ออายุเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงอายุ 5–8 ปี เป็นระยะที่มีการเพิ่มขนาดลำต้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเป็นช่วงที่มีการสะสมมวลชีวภาพในอัตราสูงที่สุดของวงจรการเจริญเติบโต ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนถึงศักยภาพของไม้ชนิดนี้ในการนำไปใช้ในระบบปลูกไม้เศรษฐกิจและการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อการดูดซับคาร์บอนในระยะยาว

ผลการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกพบว่าตัวแปร DBH^2H มีความสัมพันธ์ที่ดีกับมวลชีวภาพของต้นซิลเวอร์โอ๊ค โดยสมการที่พัฒนาขึ้นมีค่าความแม่นยำอยู่ในระดับสูง ($R^2 = 0.736-0.937$) และสมการมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมมีค่า R^2 เท่ากับ 0.840 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปใช้ในการประมาณมวลชีวภาพของไม้ชนิดนี้ได้เหมาะสม ผลดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการของสมการแอลโลเมตริกที่ระบุว่าคุณภาพลำต้นเป็นตัวแปรสำคัญในการทำนายมวลชีวภาพของต้นไม้ โดยเฉพาะในไม้ยืนต้นที่มีการเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงตามอายุ การใช้ตัวแปร DBH^2H ยังช่วยสะท้อนโครงสร้างทางกายภาพของต้นไม้ได้ดีกว่าการใช้ DBH เพียงตัวเดียว ส่งผลให้สมการมีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ค่าความแม่นยำที่ได้ยังอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัยด้านสมการแอลโลเมตริกของไม้เศรษฐกิจชนิดอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของวิธีการศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยนี้

การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพพบว่าสัดส่วนคาร์บอนของต้นซิลเวอร์โอ๊ค อยู่ในช่วง 45.56–48.70% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ IPCC แนะนำที่ประมาณ 47% ของน้ำหนักมวลชีวภาพแห้ง โดยส่วนลำต้นมีสัดส่วนคาร์บอนสูงที่สุด รองลงมาคือใบและราก ขณะที่กิ่งมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย แนวโน้มดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงการสะสมคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของต้นไม้ แม้ว่าต้นตัวอย่างจะยังอยู่ในช่วงอายุไม่มาก แต่ค่าที่ได้แสดงถึงศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในระดับสูง



ของไม้ชนิดนี้ นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนคาร์บอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นไม้ ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการพัฒนาของเนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการสะสมคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

นอกจากนี้ ผลการศึกษาข้างชี้ให้เห็นว่าการกระจายความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต โดยส่วนลำต้นและใบมีค่าความชื้นสูงกว่าส่วนอื่น ซึ่งสะท้อนถึงบทบาทของส่วนเหนือพื้นดินในการสะสมทรัพยากรน้ำเพื่อสนับสนุนกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสร้างมวลชีวภาพ เมื่ออายุต้นไม้เพิ่มขึ้น การจัดสรรทรัพยากรภายในต้นไม้มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ส่งเสริมการสะสมมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับความต้องการพลังงานและโครงสร้างของต้นไม้ที่เพิ่มขึ้นตามอายุ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อศักยภาพการเจริญเติบโตและการสะสมคาร์บอนในระยะยาว

โดยสรุป ต้นซิลเวอร์โอ๊คที่ปลูกในพื้นที่ศึกษามีศักยภาพสูงในการสะสมมวลชีวภาพและกักเก็บคาร์บอน และสมการแอลโลเมตริกที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินมวลชีวภาพและคาร์บอนของไม้ชนิดนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่ได้มีความสำคัญต่อการวางแผนปลูกไม้เศรษฐกิจ การประเมินศักยภาพคาร์บอนเครดิต และการสนับสนุนการจัดการทรัพยากรป่าไม้เพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกในอนาคต นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนางานวิจัยในไม้เศรษฐกิจชนิดอื่น รวมถึงการประยุกต์ใช้ในโครงการด้านสิ่งแวดล้อมและการบริหารจัดการพื้นที่สีเขียวในระดับภูมิภาคต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ ตัวอย่างพันธุ์ไม้ซิลเวอร์โอ๊ค (Silver Oak AVAONE) และการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานภาคสนามจากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอวาฟาร์ม 888 (AVA Farm 888) ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Angkahad, T., Chokkuea, W., Sangpradid, S., Uttaruk, Y., Viriyasatr, K., & Laosuwan, T. (2025). The assessment of aboveground biomass and carbon sequestration in community forests using UAV technology. *Defense Technology Academy Journal*, 7(15), R11–R28.
- [2] Angkahad, T., Laosuwan, T., Sangpradid, S., Prasertsri, N., Uttaruk, Y., Phoophathong, T., & Nuchthapho, J. (2024). An empirical analysis of aboveground biomass and carbon sequestration utilizing UAV photogrammetry and machine learning techniques. *IEEE Access*, 12, 186740–186752. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3514074>
- [3] Awichin, P., Laosuwan, T., Sangpradid, S., Uttaruk, Y., Phoophathong, T., Leammanee, S., & Nuchthapho, J. (2025). UAV multispectral indices and linear regression for estimating biomass and carbon in rubber plantations. *IEEE Access*, 13, 215845. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3644408>



- [4] Laosuwan, T., Itsarawisuti, J., Uttaruk, Y., Sangpradid, S., Rotjanakusol, T., Peebkhunthod, T. (2025). Urban tree carbon stock assessment based on remote sensing and field inventory data. *Agriculture and Forestry*, 71 (4): 17-35. <https://doi:10.17707/AgricultForest.71.4.02>
- [5] Uttaruk, Y., Laosuwan, T., Sangpradid, S., Butthep, C., Rotjanakusol, T., Sittiwong, W., & Nilrit, S. (2024). Thailand's Urban Forestry Programs Are Assisted by Calculations of Their Ecological Properties and Economic Values. *Land*, 13(9), 1440. <https://doi.org/10.3390/land13091440>
- [6] Plybour, C., Laosuwan, T., Uttaruk, Y., Awichin, P., Rotjanakusol, T., Itsarawisut, J., & Singharath, M. (2025). An Investigation of Plant Species Diversity, Above-Ground Biomass, and Carbon Stock: Insights from a Dry Dipterocarp Forest Case Study. *Diversity*, 17(6), 428. <https://doi.org/10.3390/d17060428>
- [7] Angkahad, T., Laosuwan, T., Sangpradid, S., Prasertsri, N., Uttaruk, Y., Phoophathong, T., & Nuchthapho, J. (2025). Developing a drone-based machine learning for spatial modeling and analysis of biomass and carbon sequestration in forest ecosystems. *Engineered Science*, 35, 1508. <https://doi.org/10.30919/es1508>
- [8] Laosuwan, T., Uttaruk, Y., Sangpradid, S., Butthep, C., & Leammanee, S. (2023). The Carbon Sequestration Potential of Silky Oak (*Grevillea robusta* A.Cunn. ex R.Br.), a High-Value Economic Wood in Thailand. *Forests*, 14(9), 1824. <https://doi.org/10.3390/f14091824>
- [9] Slepetiene, A., Belova, O., Fastovetska, K., Dinca, L., & Murariu, G. (2025). Managing Boreal Birch Forests for Climate Change Mitigation. *Land*, 14(9), 1909. <https://doi.org/10.3390/land14091909>
- [10] Nambiar, E. K. S. (2021). Small forest growers in tropical landscapes should be embraced as partners for green growth: Increase wood supply, restore land, reduce poverty, and mitigate climate change. *Trees, Forests and People*, 6, 100154. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100154>
- [11] Uttaruk, Y., & Laosuwan, T. (2018). Community forest for global warming mitigation: The technique for estimation of biomass and aboveground carbon storage using remote sensing method. *Agriculture and Forestry*, 64(3), 47–57. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.3.04>
- [12] Uttaruk, Y., & Laosuwan, T. (2020). Comparison of carbon storage measurement methods on agroforestry systems in Sakon Nakhon Province. *Scientific Journal of King Faisal University*, 21(2), 95–99.
- [13] Uttaruk, Y., & Laosuwan, T. (2020). Methods of estimation for aboveground carbon stock in Nongbua-Nonmee community forest. *Agriculture and Forestry*, 66(3), 183–195.



- [14] Uttaruk, Y., Laosuwan, T., Sangpradid, S., Butthep, C., Rotjanakusol, T., Sittiwong, W., & Nilrit, S. (2024). Thailand's urban forestry programs assisted by ecological and economic valuation. *Land*, 13(9), 1440. <https://doi.org/10.3390/land13091440>
- [15] Laosuwan, T., Rotjanakusol, T., Chokkuea, W., Singharath, M., & Itsarawisut, J. (2025). Creation of technique for assessing aboveground biomass and carbon sequestration using unmanned aerial vehicles. *Geographia Technica*, 20(2), 65–78. https://doi.org/10.21163/GT_2025.202.06
- [16] Laosuwan, T., Itsarawisut, J., Uttaruk, Y., Sangpradid, S., Rotjanakusol, T., & Peebkhunthod, T. (2025). Urban tree carbon stock assessment based on remote sensing and field inventory data. *Agriculture and Forestry*, 71(4), 17–35. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.71.4.02>
- [17] Feldpausch, T. R., Lloyd, J., Lewis, S. L., Brien, R. J. W., Gloor, M., Monteagudo Mendoza, A., Lopez-Gonzalez, G., Banin, L., Abu Salim, K., Affum-Baffoe, K., et al. (2012). Improved pantropical allometric models to estimate aboveground biomass of tropical trees from diameter, height and wood density data. *Biogeosciences*, 9, 3381–3403. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3381-2012>
- [18] Wang, X., Zhao, D., Liu, G., Yang, C., & Teskey, R. O. (2018). Additive tree biomass equations for *Betula platyphylla* Suk. plantations in Northeast China. *Annals of Forest Science*, 75, 60. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0731-6>
- [19] Kasawani, I., Mohd-Zaki, A., Onrizal, O., & Hamzah, Z. (2021). Estimation of aboveground biomass using allometric relationship between DBH and height for mixed mangrove forest in Setiu Wetland, Terengganu, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 842, 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/842/1/012042>
- [20] Laosuwan, T., Uttaruk, Y., Nakapan, S., Itsarawisut, J., & Plybour, C. (2025). Evaluation of tree biomass and carbon sequestration through remote sensing and field methods. *Geographia Technica*, 20, 33–43. https://doi.org/10.21163/GT_2025.201.04
- [21] Laosuwan, T., Uttaruk, Y., Sangpradid, S., Butthep, C., & Leammanee, S. (2023). The carbon sequestration potential of silky oak (*Grevillea robusta*). *Forests*, 14(9), 1824. <https://doi.org/10.3390/f14091824>