

นิพนธ์ต้นฉบับ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของไม้สักและปัจจัยทางภูมิอากาศ
โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม ในพื้นที่สงวนชีวมณฑลป่าสักห้วยทาก จังหวัดลำปาง

ธิดารัตน์ โลโท¹, กฤษณาพันธุ์ ผลากิจ¹, ขวัญชัย ดวงสถาพร¹, และพิชิต ลำไย^{*}

รับต้นฉบับ: 1 มิถุนายน 2569

ฉบับแก้ไข: 20 กรกฎาคม 2569

รับลงพิมพ์: 27 กรกฎาคม 2569

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันมีความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศอย่างมาก แต่การศึกษาผลกระทบระยะยาวต่อต้นไม้ในประเทศไทยยังมีจำกัด เนื่องจากวิธีวิจัยแบบเดิมต้องใช้เวลาและงบประมาณสูง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิคทางรูกษกาลวิทยา ที่มีความละเอียดแม่นยำ และช่วยลดข้อจำกัดด้านเวลาในการศึกษาการเติบโตของต้นไม้ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ข้อมูลยังพบปัญหาช่องว่างทางพื้นที่เนื่องจากสถานีตรวจวัดอากาศมักตั้งอยู่ในเขตเมืองซึ่งห่างไกลจากพื้นที่ป่า ทำให้ได้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ไม่สะท้อนความเป็นจริงในพื้นที่ศึกษา เพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้นำข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพภูมิอากาศที่มีต่อการเติบโตของไม้สักในพื้นที่สงวนชีวมณฑลห้วยทาก จังหวัดลำปาง โดยบูรณาการข้อมูลวงปีไม้เข้ากับข้อมูลดาวเทียม เพื่อให้การประเมินผลกระทบมีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือมากที่สุด

วิธีการ: ทำการประยุกต์ใช้หลักรูกษกาลวิทยาการศึกษาการเติบโตของไม้สักในพื้นที่สงวนชีวมณฑลป่าสักห้วยทาก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างไม้สัก 35 ต้น ต้นละ 2 ทิศทางตรงข้ามกันหลังการเตรียมตัวอย่างด้วยกระดาษทราย ตัวอย่างทั้งหมดจะมีการเปรียบเทียบรูปแบบของวงปีไม้ ภายในต้นเดียวกันและระหว่างต้นกัน และวัดความกว้างวงปีด้วยเครื่อง Velmex measuring system (ความละเอียด 0.001 มม.) ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์ และแสดงผลในโปรแกรม Measure J2X จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องด้วยโปรแกรม COFECHA และทำการวิเคราะห์สถิติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลัก ค่าความอ่อนไหว ค่าอัตราสหสัมพันธ์ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นทำการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้เพื่อตัดอิทธิพลอายุด้วยโปรแกรม ARSTAN และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้ด้วยค่า Expressed Population Signal (EPS) โดยเส้นดัชนีที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับข้อมูลภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยย้อนหลัง 43 ปี ตั้งแต่ปีค.ศ. 1981 ถึงปี ค.ศ. 2024 ที่ได้จากดาวเทียมผ่านโปรแกรม Google Earth Engine โดยใช้ชุดข้อมูลปริมาณฝนรวมรายเดือนจาก CHIRPS Precipitation Pentad: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data (Version 3.0) และข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจาก ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา และใช้สถิติสหสัมพันธ์อย่างง่าย การถดถอยพหุคูณ และการคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอนเพื่อคัดเลือกปัจจัยทางภูมิอากาศและช่วงเวลาที่มีความสัมพันธ์กับการเติบโตของไม้สักอย่างแม่นยำ

ผลการศึกษา: ชุดข้อมูลความกว้างวงปีไม้สักพื้นที่สงวนชีวมณฑลป่าสักห้วยทาก ที่มีจำนวนวงปีทั้งสิ้น 3,818 วง สามารถกำหนดช่วงเวลาของความกว้างวงปีย้อนหลังถึง 78 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1947 ถึงปี ค.ศ. 2024 การเติบโต

ไม้สักมีความผันแปรค่อนข้างสูงตลอดทั้งช่วงอายุ โดยค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยของไม้สักมีค่า 3.511 มิลลิเมตร มีความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 0.7 เซนติเมตร จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีไม้สักกับปริมาณฝนรวมรายเดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลจาก CHIRPS (V.3) และ ERA5 ข้อมูลตั้งแต่ปีค.ศ. 1981 ถึงปี ค.ศ. 2024 พบว่าปริมาณฝนรวมรายเดือนของเดือนพฤษภาคมในแต่ละปี มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สัก โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.177 ซึ่งบ่งชี้ว่าเมื่อปริมาณฝนในเดือนพฤษภาคมเพิ่มขึ้นทำให้ดัชนีการเติบโตของไม้สักมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีไม้สักกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือนพฤษภาคมในแต่ละปี มีความสัมพันธ์เชิงลบกับเส้นดัชนีวงปีไม้สัก อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.223 ซึ่งบ่งชี้ว่าเมื่ออุณหภูมิในเดือนนี้เพิ่มขึ้นทำให้ดัชนีการเติบโตของไม้สักมีแนวโน้มลดลง ส่วนผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีไม้สักกับปริมาณฝนรวมรายเดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือนพฤษภาคม และปริมาณฝนรวมเดือนมิถุนายนในแต่ละปี มีความสัมพันธ์กับเส้นดัชนีวงปีไม้สักอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฝนรวมรายเดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือนพฤษภาคมแต่ละปี มีค่า 0.298 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณฝนในเดือนพฤษภาคมเพิ่มขึ้น ดัชนีการเติบโตของไม้สักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดัชนีการเติบโตของไม้สักมีแนวโน้มลดลง

สรุป: จากการวิเคราะห์ข้อมูลความกว้างวงปีไม้สัก ย้อนหลังเป็นระยะเวลา 78 ปี ครอบคลุมช่วงเวลาดังแต่ปี ค.ศ. 1947 ถึง ค.ศ. 2024 แสดงให้เห็นถึงพลวัตการเติบโตของไม้สักอย่างชัดเจน โดยไม้สักมีอัตราการเพิ่มพูนทางเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.7 เซนติเมตรต่อปี สำหรับความสัมพันธ์ของความผันแปรทางสภาพภูมิอากาศกับการตอบสนองต่อเส้นดัชนีวงปีไม้สักนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในช่วงการเปลี่ยนผ่านฤดูกาลมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะปริมาณฝนรวมรายเดือนและอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในช่วงเดือนพฤษภาคม ซึ่งถือเป็นช่วงเริ่มต้นของฤดูมรสุมหรือช่วงต้นฤดูฝน แสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนในช่วงต้นฤดูเป็นปัจจัยกระตุ้นหลักที่ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ และเมื่อปริมาณฝนรวมเพิ่มสูงขึ้น ไม้สักจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนเดียวกันที่มีผลกระทบเชิงลบต่อการเจริญเติบโต จึงสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณฝนและอุณหภูมิในช่วงเดือนพฤษภาคมทำหน้าที่เป็นปัจจัยจำกัดทางภูมิอากาศที่สำคัญต่อการเติบโตของไม้สัก

คำสำคัญ: การเติบโต, สภาพภูมิอากาศ, รุกขกาลวิทยา, สัก, ข้อมูลดาวเทียม

¹ ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

* ผู้รับผิดชอบบทความ: E-mail: fforpcl@ku.ac.th

<https://doi.org/10.34044/tferj.2026.10.2.6719>

ORIGINAL ARTICLE

**The Relationship Between Teak Growth and Climatic Factors
by Using Satellite Data in Huai Tak Teak Biosphere Reserve, Lampang Province**

Thidarat Loto¹, Kritsadapan Palakit¹, Khwanchai Duangsathaporn¹, and Pichit Lumyai^{1*}

Received: 1 June 2026

Revised: 20 July 2026

Accepted: 27 July 2026

ABSTRACT

Background and Objectives: Contemporary climate change has intensified in recent decades and is exerting substantial impacts on ecosystems worldwide. However, long-term studies evaluating its effects on trees growth in Thailand remain limited, primarily due to the substantial time and financial constraints associated with traditional research methodologies. Consequently, this research employed dendrochronological techniques, which offer high-resolution accuracy and mitigate the temporal limitations inherent in studying tree growth. Nevertheless, data analysis frequently encounters spatial gap issues, as meteorological stations are typically situated in urban areas distant from forest ecosystems. This discrepancy results in climate data that does not accurately reflect the actual environmental conditions of the study site. To address this limitation, this study incorporates satellite-derived climate data. Therefore, the primary objective focused on investigating the relationship between climatic factors and the growth of teak in the Huai Tak Teak Biosphere Reserve, Lampang province. The integrating tree-ring data with satellite datasets was employed to ensure that the environmental impact assessment is accurate, precise, and reliable as possible.

Methodology: This research applied dendrochronological principles to study the growth of teak. Teak samples were randomly collected from 35 trees, with extractions taken from two opposite directions per individual tree. Following sample preparation using sandpaper, all samples were cross-dated by comparing tree-ring patterns both within individual trees and among different trees. Tree-ring widths were measured using a Velmex measuring system (0.001 mm resolution) in conjunction with a microscope, and the results were recorded using Measure J2X software. Subsequently, measurement accuracy was verified using the COFECHA program, and key dendrochronological statistics were analyzed, namely correlation with the master series, mean sensitivity, autocorrelation, and standard deviation. Thereafter, a tree-ring index chronology was constructed to remove age-related influences using the ARSTAN program, and the reliability of the chronology was evaluated using the Expressed Population Signal (EPS). The derived index was then analyzed for correlations with climate data—specifically precipitation and average temperature—over a 43-year period, from 1981 to 2024. This climate data was acquired from satellites via Google Earth Engine,

utilizing monthly total precipitation datasets from CHIRPS Precipitation Pentad: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station Data (Version 3.0), and monthly average temperature data from ERA5 - Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis covering the study area. Finally, simple correlation, multiple regression, and stepwise variable selection were employed to precisely identify the climatic factors and time periods correlated with teak growth.

Results: The teak tree-ring width dataset from the Huai Tak Teak Biosphere Reserve in Lampang Province comprises a total of 3,818 rings, establishing a chronology that extends back 78 years, spanning from 1947 to 2024. Teak growth exhibited relatively high variability throughout its lifespan. The mean annual tree-ring width was 3.511 mm, corresponding to an average annual diameter increment of approximately 0.7 cm. Subsequently, the relationship between the teak tree-ring index and both total monthly precipitation and mean monthly temperature was analyzed using data from CHIRPS (V.3) and ERA5, covering the study area from 1981 to 2024. The results revealed that the total precipitation in May of each year exhibited a highly significant positive correlation ($p < 0.01$) with the teak tree-ring index. The correlation coefficient for May precipitation was 0.177, indicating that increased rainfall during this month tends to enhance the teak growth index. Conversely, the analysis of monthly mean temperatures demonstrated that the mean May temperature was significantly ($p < 0.01$) negative correlated with the tree-ring index. The correlation coefficient for the May mean temperature was 0.223, suggesting that elevated temperatures in May lead to a decline in teak growth. Furthermore, upon evaluating the combined relationships between the tree-ring index, total monthly precipitation, and mean monthly temperature, it was found that the mean temperature in May and the total precipitation in June were significantly correlated ($p < 0.05$) with the tree-ring index. The multiple correlation coefficient for May precipitation and May mean temperature was 0.298. This finding supports that an increase in May precipitation promotes the teak growth index, whereas an increase of temperature exerts a suppressive effect on growth.

Conclusions: Based on a comprehensive dendrochronological analysis of teak (*Tectona grandis*) tree-ring widths spanning a substantial 78-year historical time frame specifically covering the continuous period from 1947-2024, the empirical findings clearly elucidate the long-term radial growth dynamics of this ecologically valuable species. The quantitative results of the study revealed that teak exhibits a consistent mean annual diameter increment of 0.7 centimeters throughout the study periods. Upon statistically correlating this extensive dendrochronological dataset with regional climatic variations by systematically assessing the physiological responses of the standardized tree-ring index, it became evident that meteorological variables occurring during the crucial seasonal transition period play a fundamental role. Specifically, the total monthly precipitation alongside the mean monthly temperature during the month of May—which geographically marks the critical onset of the tropical monsoon and the commencement of the early wet season—exert a profound

and measurable influence on tree development. Indicating that early-season precipitation serves as a primary environmental catalyst, effectively promoting robust cell division and cambial reactivation. Consequently, an increase in total accumulated rainfall during this specific temporal window leads to a significantly enhanced and accelerated growth rate in the teak populations. Conversely, increased mean temperature during this month was negative and suppressive impacted on the radial growth process. Therefore, based on these robust correlations, it can be firmly concluded that both the amount of precipitation and the prevailing temperature regimes during May play the important role as the critical climatic factors on overall annual teak growth.

Keywords: Growth, climate, dendrochronology, Teak, satellite data

¹ Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, 10900 Thailand

* **Corresponding author:** E-mail: fforpcl@ku.ac.th

<https://doi.org/10.34044/tferj.2026.10.2.6719>

คำนำ (Introduction)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ในปัจจุบันได้มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นจนกลายเป็นวิกฤตการณ์ระดับโลกที่ไม่อาจมองข้ามได้ ปรากฏการณ์นี้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อเพียงแค่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือฤดูกาลเท่านั้น แต่ยังสร้างผลกระทบต่อโครงสร้างทางเศรษฐกิจ ความมั่นคงทางสังคม และความสมดุลของระบบนิเวศ ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่มีความถี่และความรุนแรงเพิ่มขึ้นในทุกปี (NOAA, 2025) เป็นหลักฐานที่ทำให้เห็นว่าปัจจุบันกำลังเผชิญกับความเสี่ยง การศึกษาผลกระทบของสภาพภูมิอากาศที่ผ่านมาในประเทศไทยส่วนใหญ่เน้นศึกษาผลกระทบต่อมนุษย์ แต่การศึกษาผลกระทบต่อต้นไม้ยังมีไม่มากและส่วนใหญ่มักเป็นการศึกษาในต่างประเทศ เนื่องจากบางโครงการจำเป็นต้องใช้ระยะเวลายาวนานและใช้งบประมาณค่อนข้างมากในการติดตามตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น การวางแปลงถาวร (Permanent sample plot) แล้วทำการวัดซ้ำเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาณของพืชภายใต้ผลกระทบในพื้นที่

การศึกษานี้จึงได้นำเทคนิคที่มีความละเอียด มีความถูกต้องในการวัดสูง และใช้เวลาในการศึกษาไม่นาน ได้แก่ เทคนิคทางรุกขกาลวิทยา (Dendrochronology) (Fritts, 1976) หรือเทคนิคการวิเคราะห์ห่วงปีไม้ (Tree ring analysis) มาเป็นเทคนิคหลัก เนื่องจากสามารถใช้วิเคราะห์การเติบโตของต้นไม้ในระยะยาวเป็นอนุกรมเวลา และตอบสนองต่อบัญชีแวดล้อมที่กระทบต่อการเติบโต เช่นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม การเลือกไม้เพื่อนำมา

ศึกษาวิเคราะห์ในพื้นที่เขตร้อนนั้นทำได้ยากเนื่องจากสภาพอากาศที่ไม่แน่นอนและมีความแปรปรวน ทำให้เกิดเส้นวงปีที่ไม่ชัดเจน แต่ไม้สักเป็นหนึ่งในไม้ที่มีการศึกษาวิจัยยืนยันแล้วว่าสามารถนำมาศึกษาวงปีได้ (Kritsadapan *et al.*, 2019; Lumyai, 2018; Auykim *et al.*, 2017; Supaporn *et al.*, 2016; Sangram, 2015) เพราะมีขอบเขตวงปีที่ชัดเจน ซึ่งในประเทศไทย ไม้สักมักจะพบกระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติทางภาคเหนือและมีคุณภาพดี จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาศึกษาร่วมกับเทคนิควิเคราะห์ห่วงปีไม้ เพื่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

นอกจากนี้ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศกับการเติบโตของต้นไม้ในประเทศไทย มักพบข้อจำกัดที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือระยะห่างระหว่างพื้นที่ศึกษาและสถานีตรวจวัดอากาศ เนื่องจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากกรมอุตุนิยมวิทยาส่วนใหญ่เป็นการเก็บข้อมูลจากสถานีที่ตั้งอยู่ในเขตเมือง ในขณะที่พื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ตั้งอยู่ในเขตป่าธรรมชาติซึ่งมีระยะทางห่างไกลออกไปมาก ความแตกต่างของสภาพภูมิประเทศและสิ่งแวดล้อมนี้ ทำให้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอาจไม่สามารถสะท้อนสภาพภูมิอากาศที่แท้จริงของพื้นที่ศึกษาได้อย่างแม่นยำ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวและลดความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากช่องว่างทางพื้นที่ ดังกล่าวกงานวิจัยนี้จึงได้นำข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากดาวเทียม ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่และครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษาโดยตรงเข้ามาประยุกต์ใช้ วัดอุปสรรคงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษารูปแบบการเติบโตของไม้สัก และศึกษาอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ ที่มีต่อการ

เติบโตของไม้สักในพื้นที่สงวนชีวมณฑลป่าสักห้วยทาก จังหวัดลำปาง เนื่องจากเป็นหนึ่งในแหล่งที่มีไม้สักคุณภาพดีที่สุดในโลก นอกจากนี้ในเชิงภูมิศาสตร์และนิเวศวิทยา พื้นที่แห่งนี้มีอาณาเขตพื้นที่ป่าเชื่อมโยงกับจังหวัดพะเยาและแพร่ ซึ่งเป็นศูนย์กลางการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติและอดีตแหล่งป่าไม้สักที่สำคัญที่สุดของประเทศ การที่พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณใจกลางกลุ่มป่ารอยต่อนี้ ส่งผลคืออย่างยิ่งต่องานวิจัยเนื่องจากข้อมูลการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่บันทึกในวงปีไม้ จะไม่เพียงสะท้อนสภาพภูมิอากาศในระดับท้องถิ่น (Local scale) เท่านั้นแต่ยังสามารถใช้เป็นตัวแทนเพื่ออธิบายพลวัตของสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional proxy) ของภาคเหนือตอนบนได้อย่างครอบคลุม การศึกษานี้จึงบูรณาการข้อมูลวงปีไม้เข้ากับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากดาวเทียม เพื่อให้การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางสภาพ

ภูมิอากาศและการเติบโตของพืชมีความถูกต้องแม่นยำ และสามารถอธิบายผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ป่าได้อย่างน่าเชื่อถือมากที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

1. พื้นที่ศึกษา (Study area)

พื้นที่สงวนชีวมณฑลป่าสักห้วยทาก ตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1977 (UNESCO, n.d.) ในป่าสงวนแห่งชาติแม่เงา อำเภองาว จังหวัดลำปาง มีพื้นที่ 184,000 ไร่ โดยพื้นที่หลักของเขตสงวนชีวมณฑลนี้ประกอบด้วยสวนป่าสักผสมกับป่าผสมผลัดใบตามธรรมชาติ เขตสงวนชีวมณฑลป่าสักห้วยทากเป็นส่วนหนึ่งของอุทยานแห่งชาติถ้ำผาไท ที่ได้รับการจัดสรรเพื่อการคุ้มครองและอนุรักษ์พันธุ์พืชและสัตว์ท้องถิ่น พื้นที่ครอบคลุมอยู่ใน 3 ตำบล คือ ตำบลบ้านหวด ตำบลบ้านอ้อน และตำบลบ้านโป่ง จังหวัดลำปาง (Figure 1)

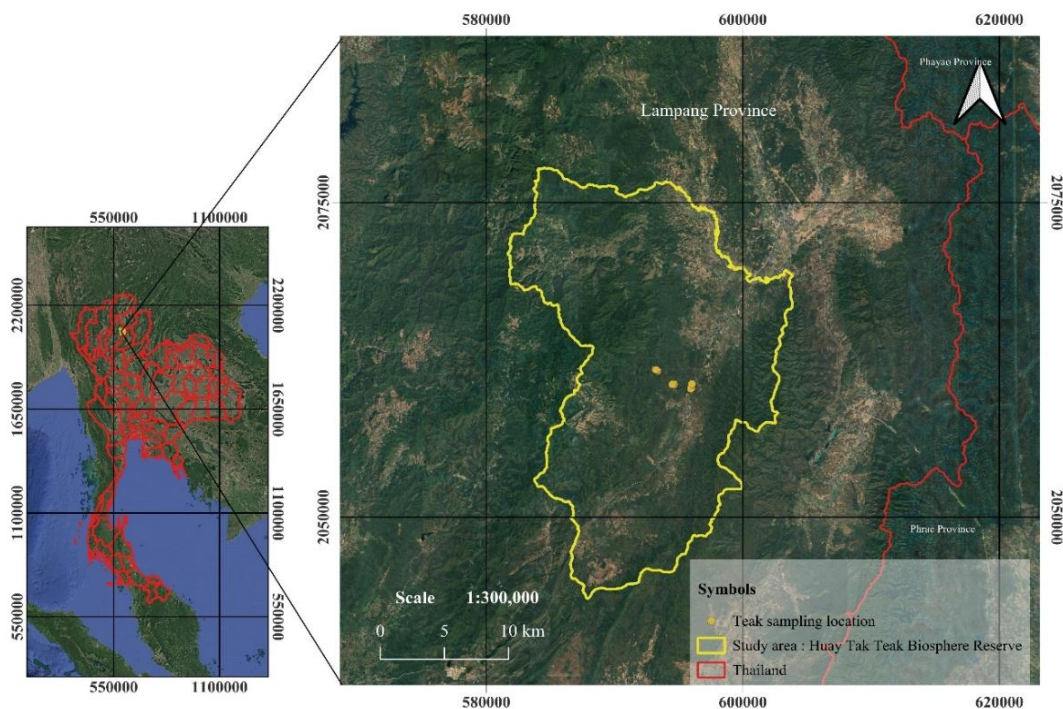


Figure 1 Map of the study area in Huai Tak Teak Biosphere Reserve, Lampang Province.

2. การเก็บข้อมูล (Data collection)

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้แก่ ปริมาณฝนรวมรายเดือนและอุณหภูมิเฉลี่ย จากการตรวจวัดจากดาวเทียม จาก Google Earth Engine โดยใช้ชุดข้อมูลปริมาณฝนรวมรายเดือนจาก CHIRPS Precipitation Pentad: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data (Version 3.0) มีขนาดพิกเซลอยู่ที่ 5566 เมตร (ทุกแบนด์) เป็นข้อมูลที่มีความละเอียดสูง โดยข้อมูลของ CHIRPS (V3) ได้จากการประมาณค่าปริมาณฝนด้วยอินฟราเรดความร้อนจากดาวเทียม เข้ากับข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีภาคพื้นดิน และเป็นผลิตภัณฑ์ข้อมูลระดับราย 5 วันและรายเดือน

(University of California, 2025) และข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจาก ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis มีขนาดพิกเซลอยู่ที่ 11132 เมตร (ทุกแถบความถี่) เป็นข้อมูลที่มีความละเอียดสูง ประมาณ 9 กิโลเมตร นอกจากนี้ ERA5 เป็นชุดข้อมูลภูมิอากาศประวัติศาสตร์ที่วิเคราะห์ขึ้นมาใหม่จากภาพถ่ายจากดาวเทียมและข้อมูลประวัติศาสตร์จากข้อมูลการจดบันทึกจากทั่วโลก และเป็นผลิตภัณฑ์ข้อมูลระดับรายชั่วโมง (Muñoz, 2019) โดยขอบเขตของข้อมูล CHIRPS (V3) และ ERA5 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 ถึง ค.ศ. 2024 ข้อมูลย้อนหลัง 43 ปี (Figure 2)

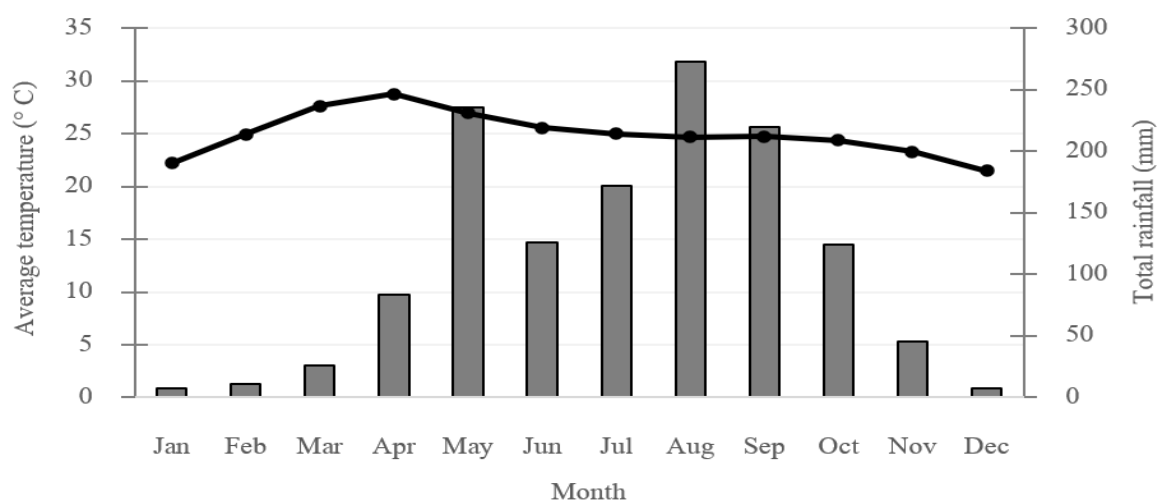


Figure 2 The relationship between total monthly rainfall and average monthly temperature in the study area. The gray bar represents total rainfall, and the black line with markers represents average temperature.

2.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเลือกพื้นที่และตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้เลือกพื้นที่ป่าธรรมชาติเขตพื้นที่สงวนชีวมณฑลป่าสักห้วยทาก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างไม้สักจำนวน 35 ต้น ต้นละ 2 ตัวอย่าง การเลือกต้นไม้คัดเลือกไม้สักที่มีเรือนยอดเด่น (Dominant tree)

จากนั้นการเก็บตัวอย่างไม้แต่ละต้น ใช้สว่านเจาะวัดความเพิ่มพูน (Increment borer) เก็บ 1 ต้น 2 ตัวอย่างทิศตรงข้ามหลักเฉียงการเก็บตัวอย่างจากบริเวณใกล้เคียงกับที่เป็นบาดแผล ปีกไม้หรือพุ่มพอน หรือบริเวณด้านบนและด้านล่างของพื้นที่ลาดเอียง และจากนั้นนำไปใส่ไม้ที่เก็บได้เก็บไว้ใน

หลอดพลาสติกและเขียนรหัสกำกับ และวัดข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกด้วยเทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter tape) และความสูงด้วย Forestry pro II laser rangefinder บันทึกข้อมูลพิกัดต้นไม้ ด้วยเครื่องมือกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ เพื่อนำมาทำแผนที่การเก็บข้อมูล

4. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis)

4.1 การเตรียมตัวอย่าง

การเก็บข้อมูลห้องปฏิบัติการการเตรียมตัวอย่าง โดยเริ่มจากนำไม้ที่เก็บจากภาคสนามที่บรรจุในหลอดพลาสติกนำมาผึ่งลงในอุณหภูมิห้องที่มีอากาศถ่ายเท 1 สัปดาห์ จากนั้นนำไม้ที่ยัดกับไม้สำหรับยัดไม้ตัวอย่าง โดยใช้กาวละลายน้ำ และใช้เทปติดเพื่อยึดไม่ให้ตัวอย่างไม้หลุดจากแท่งไม้ ปลอ่ยทิ้งไว้ให้กาวแห้ง และนำไม้ตัวอย่างไปขัดผิวหน้าตัวอย่างโดยเครื่องมือขัดกระดาษทราย โดยดำเนินการจากกระดาษทรายหยาบไปถึงละเอียดจนเห็นลักษณะวงปีชัด จากนั้นนำไม้ที่ผ่านการขัดกระดาษทรายมาดำเนินการใช้เทคนิค Cross-matching และ Cross-dating (Cook, 1985; Fritts, 1976) โดยเปรียบเทียบรูปแบบของวงปีไม้ ภายในต้นเดียวกันและระหว่างต้นกัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4-40 เท่า โดยทำเครื่องหมายจุดเพื่อกำกับจำนวน โดยแสดงจุด 1 จุด เมื่อจำนวนที่นับครบ 10 ปี รวมทั้งเขียนปี ค.ศ. บนไม้ยัดตัวอย่างเพื่อง่ายต่อการตรวจสอบจำนวน และความกว้างวงปีซ้ำภายหลัง และทำการวัดความกว้างวงปีไม้โดยใช้เครื่องมือ Velmex measuring system (ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร) และใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 4-40 เท่า โดยจะแสดงผล

ในการวัดที่คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Measure J2X (Voortech Consulting, 2017) การตรวจสอบความถูกต้องของปี ค.ศ. แต่ละวงปีโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA (Holmes, 1983) ในส่วนการวิเคราะห์ผลหลังจาก Cross-dating และวัดความกว้างวงปี

4.2. การวิเคราะห์ความกว้างวงปีไม้สัก

1) การวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เพื่อศึกษาการกระจายของข้อมูลความกว้างวงปีว่ามีการกระจายใกล้เคียงกันหรือไม่โดยคำนวณจากสูตร (Fritts, 1976)

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n} (x_t - m_x)^2}$$

โดย S_x = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X_t = ค่าความกว้างวงปีไม้ปีที่ t

m_x = ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีไม้

2) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (Mean sensitivity) ของชุดข้อมูลความกว้างวงปี โดยค่าเฉลี่ยความอ่อนไหวคือค่าที่แสดงถึงความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าหรือปัจจัยภายนอกได้ดีหรือไม่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร (Fritts, 1976)

$$MS_x = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|$$

โดย MS_x คือ ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (Mean sensitivity)

X_t คือ ค่าความกว้างวงปีไม้ปีที่ t

X_{t-1} คือ ค่าความกว้างวงปีไม้ปีที่ $t-1$

n คือ จำนวนวงปีที่มีอยู่ในไม้ตัวอย่าง

3) สหสัมพันธ์กับอนุกรมหลัก (Correlation with master) ค่าสถิติที่ใช้ประเมินความถูกต้อง

แม่นยำของการหาอายุวงปีไม้ (cross-dating) โดยเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมวงปีไม้แต่ละชุดกับอนุกรมลำดับเวลาหลัก (Master dating series) หากค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกและมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการวางตำแหน่งปีของวงปีไม้นั้นทำได้อย่างแม่นยำ

4) สหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) การที่ความกว้างของวงปีไม้มีความต่อเนื่องหรือส่งผลกระทบจากปีหนึ่งไปยังปีถัดไป โดยค่าสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) ที่สร้างขึ้นเพื่อกำจัดค่าความต่อเนื่องที่หลงเหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการ Detrending แล้วเพื่อให้ค่า Autocorrelation เข้าใกล้ศูนย์

4.3 การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้

การสร้างเส้นดัชนีเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลความกว้างวงปีทั้งหมด เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากเนื่องจากการตัดอิทธิพลของปัจจัยด้านอายุออกเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ปัจจัยด้านมลภาวะทางอากาศ โดยทำให้ค่าความกว้างวงปีไม้จากเดิมที่มีลักษณะเป็น Non-stationary ถูกปรับเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของเส้นดัชนีวงปีไม้ (Tree-ring index : TRI) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ซึ่งเหมาะสมในการศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านต่างๆ ต่อไป (Fritts, 1976)

เส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นกับเส้นดัชนีวงปีไม้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยและการพยากรณ์เชิงปริมาณ จะได้เส้นดัชนีวงปีไม้ด้วยกัน 3 เส้น ได้แก่ Standard Chronology (STD), Arstan Chronology (ARS) และ Residual Chronology (RES) (Cook & Peters, 1981) การทดสอบความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้ โดยการตรวจสอบ

ค่า EPS เป็นการยืนยันว่าเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือ หรือมีความถูกต้อง ได้มีการตรวจสอบด้วยค่า EPS (Expressed population signal) ซึ่งเป็นค่าแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูล อ้างอิงกับจำนวนตัวอย่าง และค่าความสัมพันธ์ของทุกตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างที่เพียงพอจะมีค่า EPS มากกว่า 0.85 โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร (Wigley *et al.*, 1984)

$$EPS = \frac{t \times \bar{r}}{(t \times \bar{r}) + (1 - \bar{r})}$$

โดย EPS คือ Expressed Population Signal

t คือ จำนวนต้นไม้ในช่วงปีที่ทดสอบ

$\bar{r}$ คือ ค่าสหสัมพันธ์ของต้นไม้ในช่วงปีที่ทดสอบ

4.4 การวิเคราะห์อิทธิพลสภาพภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละปี โดยมีฟังก์ชันความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$TRI = f(\text{Rainfall, mean temperature})$$

โดย TRI คือ เส้นดัชนีวงปีไม้

Rainfall คือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน (mm)

mean temperature คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ($^{\circ}\text{C}$)

วิเคราะห์ผลของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ กับเส้นดัชนีวงปีไม้ โดยค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ค่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple correlation) ค่าการถดถอยพหุคูณ (Multiple regression) และการคัดเลือกตัวแปรแบบเสถียรไวลส์ (Stepwise regression) เพื่อคัดเลือกปัจจัยและช่วงที่มีความสัมพันธ์กับการเติบโตของไม้ (Lumyai, 2018; Yordtong, 2019; Palakit *et al.*, 2026)

ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

1. รูปแบบการเติบโตของไม้สัก

1.1 ชุดข้อมูลความกว้างวงปีไม้สัก

ผลจากการวัดความกว้างวงปีที่ได้จากการทดสอบด้วยโปรแกรม COFECHA เพื่อทำการยืนยันปี ค.ศ. พบว่าลักษณะความกว้างและแคบของวงปีไม้ทั้งหมดที่ศึกษามีรูปแบบคล้ายคลึงกันในปีเดียวกัน ผลการศึกษาพบจำนวนวงปีของตัวอย่างทั้งหมด 3,818 วง ตัวอย่างไม้ที่มีอายุมากที่สุด มีความกว้างของวงปีวงสุดท้ายในปี

ค.ศ. 1947 ดังนั้นจึงสามารถกำหนดช่วงของความกว้างวงปีได้ถึง 78 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปีค.ศ. 1947 ถึง ค.ศ. 2024 (Figure 3) โดยค่าทางสถิติที่สำคัญในการวัดความกว้างวงปีไม้แต่ละตัวอย่าง ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลัก (Correlation with master) มีค่าเท่ากับ 0.480 ค่าความอ่อนไหว (Mean sensitivity) มีค่าเท่ากับ 0.493 ค่าอัตตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) มีค่าเท่ากับ 0.516 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) มีค่าเท่ากับ 2.375

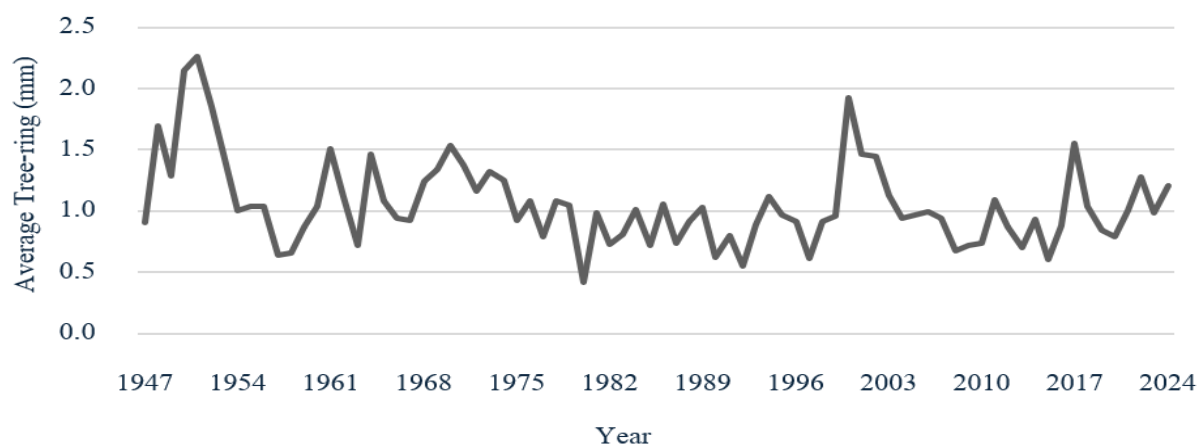


Figure 3 Average tree-ring width chronologies of teak from the Huai Tak Biosphere Reserve during 1947–2024.

ผลการศึกษาพบว่าไม้สักมีค่าความกว้างเฉลี่ยรายปีตลอดทั้ง 78 ปี คือ 3.511 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นการเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรายปี 0.700 เซนติเมตร ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาพื้นที่สวนป่าโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของ Sangram (2015) ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.441–4.310 มิลลิเมตร รวมถึงรายงานความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีไม้สัก สวนป่าห้วยทาก จังหวัดลำปาง ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 2.390–5.337 มิลลิเมตร (Choiraioui, 2014) โดยพบว่าอัตราการเติบโตของไม้สักในจังหวัดลำปาง มีค่าสูงกว่ารายงานการศึกษาของ Pumijumnong (2012)

ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 2.700–3.200 มิลลิเมตรต่อปี (Table 1) ทั้งนี้อาจเกิดจากอายุของต้นไม้และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยพื้นที่ศึกษาปัจจุบันอยู่ในจังหวัดลำปางซึ่งมีอุณหภูมิและความแห้งแล้งสูงกว่าในจังหวัดแม่ฮ่องสอน

1.2 การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้

เพื่อปรับลดปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ปัจจัยด้านภูมิอากาศออกไปสามารถทำได้โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN (Cook & Peters, 1981) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับในวิชาการด้านรุกขกาลวิทยา โดยโปรแกรมจะใช้รูปแบบความสัมพันธ์เอ็กซ์โปเนนเชียลทางลบ

(Negative exponential curve) ในการวิเคราะห์ด้วยแบบการเติบโต ซึ่งหากมีค่าทางสถิติที่น้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ก็จะใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear regression curve) จากนั้นข้อมูลค่าอัตราสหสัมพันธ์ และปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ปัจจัยภูมิอากาศจะถูกปรับให้

น้อยลง เมื่อผ่านกระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติ โปรแกรมจะทำการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้จำนวน 3 เส้น ได้แก่ Standard Chronology (STD), Residual Chronology (RES) และ ARSTAN Chronology (ARS) ตามลำดับ (Figure 4)

Table 1 Summary of mean ring-width data and statistical characteristics of teak samples.

Parameters	This Study	Previous reports			
		Pumijumnong (2012)	Choiraiyai (2014)	Sangram (2015)	Lumyai (2018)
Average annual ring width (mm)	3.511	2.700–3.200	2.390-5.337	3.441-4.310	0.717 – 5.315
Correlation with master	0.480	0.260-0.400	0.463-0.545	-	0.395-0.497
Mean sensitivity	0.493	0.321-0.359	0.467-0.499	0.403-0.551	0.391-0.418
Autocorrelation	0.516	0.522-0.698	0.538-0.589	-	0.615-0.641
Standard deviation	2.375	1.250-1.760	1.696-2.025	0.470-0.690	0.418-0.615

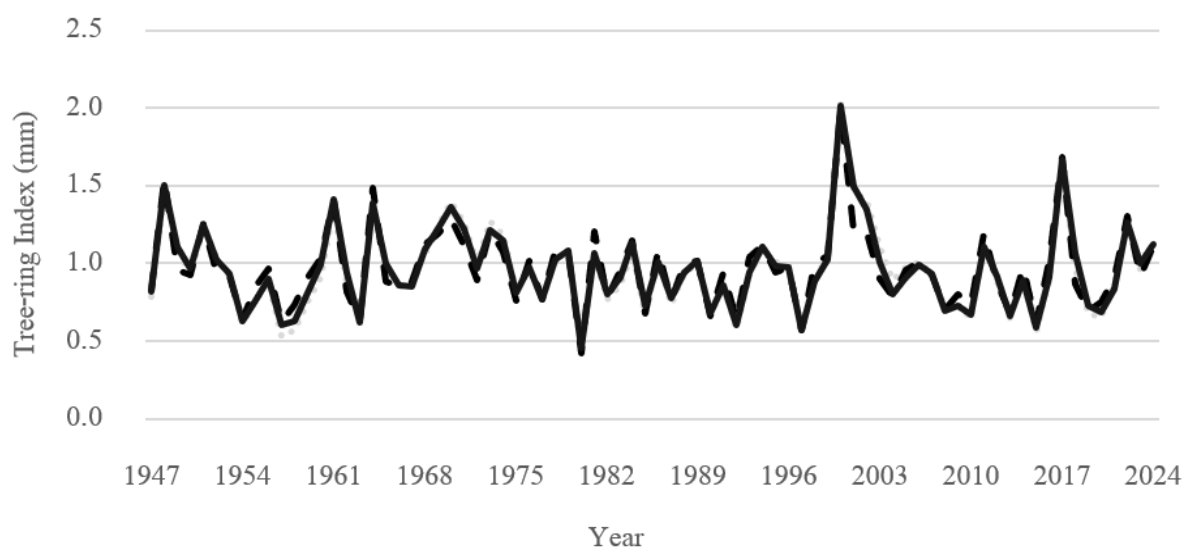


Figure 4 Tree-ring width index chronologies of teak from the Huai Tak Biosphere Reserve. The gray dotted line represents the Standard Chronology (STD), the black dashed line represents the Residual Chronology (RES), and the black solid line represents the ARSTAN Chronology (ARS).

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ Arstan chronology (ARS) จากโปรแกรม ARSTAN

สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปัจจัยภูมิอากาศ เนื่องจากกระบวนการคำนวณได้มีการ

นำค่าอัตราสหสัมพันธ์ร่วมกลับเข้ามาในอนุกรมเวลา ซึ่งช่วยรักษาข้อมูลสัญญาณภูมิอากาศที่มีผลต่อเนื่องต่อการเติบโต ขณะที่ยังคงขจัดสัญญาณรบกวนจากปัจจัยความผันแปรภายในแปลงตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Cook, 1985) เพื่อเป็นการยืนยันคุณภาพและระดับความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้น โดยได้ทำการตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เฉลี่ยระหว่างอนุกรมเวลา ($R\text{-bar} : \bar{R}$) และค่า Expressed Population Signal (EPS) ซึ่งเป็นค่าแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูลอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่างและค่าความสัมพันธ์ของทุกตัวอย่าง โดยระดับของค่า EPS ที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในด้านรุกขกาลวิทยา คือมากกว่า 0.85 (Wigley *et al.*, 1984) โดยพบว่าเส้นดัชนีวงปีไม้สักในทุกช่วงอายุมีความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Figure 5)



Figure 5 The expressed population signal (EPS). The solid black line represents the calculated EPS values, while the gray dashed line indicates the generally accepted standard threshold of 0.85.

2. ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตไม้สัก

จากข้อมูล CHIRPS (V.3) แสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนรวมรายเดือน ฝนเริ่มตกเพิ่มขึ้นในเดือนเมษายน และมีปริมาณฝนสูงมากในเดือนพฤษภาคม และสูงสุดของปีในเดือนสิงหาคม ค่อยๆ ลดลงในช่วงเดือนตุลาคม และ ERA5 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในช่วงต้นปีค่อนข้างเย็น ในเดือนมกราคม จากนั้นจะค่อยๆ สูงขึ้นจนไปจุดสูงสุดในเดือนเมษายน (Figure 2)

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีไม้สักกับปริมาณฝนรวมรายเดือน ข้อมูลจาก CHIRPS (V.3) ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ข้อมูลตั้งแต่

ปีค.ศ. 1981 ถึงปี ค.ศ. 2024 (Figure 6) พบว่าปริมาณฝนรวมรายเดือนของเดือนพฤษภาคมในแต่ละปี มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สัก พื้นที่สงวนชีวมณฑลป่าสักห้วยทาก จังหวัดลำปาง โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณฝนรวมรายเดือนของเดือนพฤษภาคมของแต่ละปี มีค่าเท่ากับ 0.177 ซึ่งบ่งชี้ว่าเมื่อปริมาณฝนในเดือนพฤษภาคมเพิ่มขึ้น ดัชนีการเติบโตของไม้สักมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น

$$\text{ดัชนีการเติบโต} = 0.631 + 0.001 \times \text{rain_may}$$

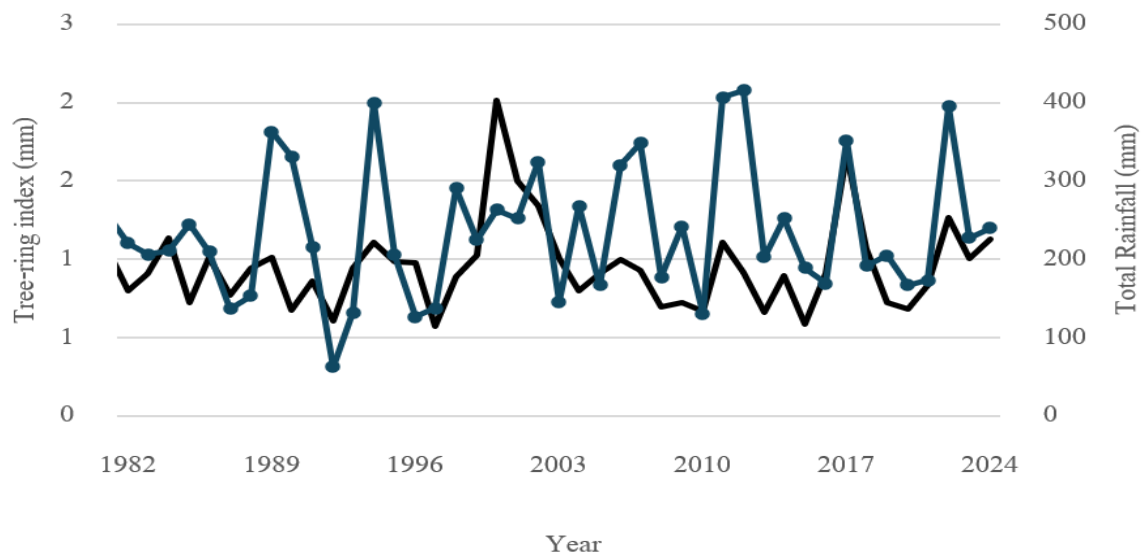


Figure 6 Relationship between the tree-ring index of teak from the Huai Tak Biosphere Reserve and May rainfall (derived from CHIRPS v.3) from 1982 to 2024. The solid black line represents the tree-ring index, and the solid blue line with markers represents the total rainfall in May.

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้น
ดัชนีไม้สักกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน เมื่อใช้
ข้อมูลจาก ERA5 ตั้งแต่ปีค.ศ. 1981 ถึงปี ค.ศ. 2024
(Figure 7) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือน
พฤษภาคมในแต่ละปีนั้น มีความสัมพันธ์เชิงลบ
กับเส้นดัชนีวงปีไม้สัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P < 0.01$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ
0.223 ซึ่งบ่งชี้ว่าเมื่ออุณหภูมิในเดือนพฤษภาคม
เพิ่มขึ้น ดัชนีการเติบโตของไม้สักมีแนวโน้มลดต่ำ
ลงความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วย
สมการถดถอยเชิงเส้น ดังสมการ $TRI_T = 3.365 -$
 $0.089T_{may}$

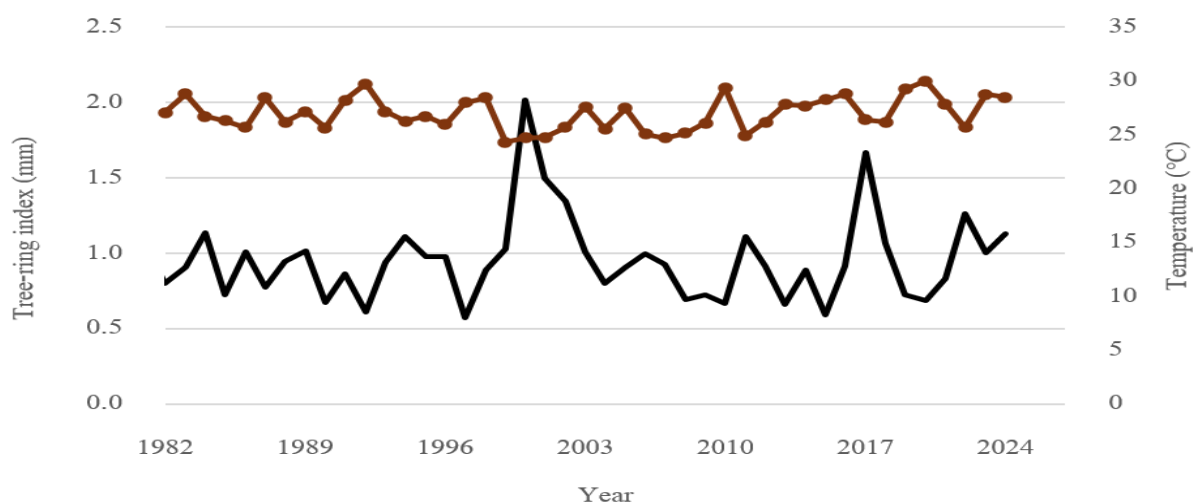


Figure 7 Relationship between the tree-ring index of teak from the Huai Tak Biosphere Reserve and average May temperature (ERA5 dataset) from 1982 to 2024. The solid black line represents the tree-ring index, and the solid brown line with markers represents the temperature in May.

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้น
ดัชนีไม้สักกับปริมาณฝนรวมรายเดือน และ
อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลจาก CHIRPS (V.3)
และ ERA5 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ข้อมูลตั้งแต่ปี
ค.ศ. 1981 ถึงปี ค.ศ. 2024 (Figure 8) พบว่า
อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือนพฤษภาคม และ
ปริมาณฝนรวมเดือนมิถุนายนในแต่ละปี มี
ความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)
กับเส้นดัชนีวงปีไม้สัก โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์ของปริมาณฝนรวมรายเดือน และ
อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน มีค่าเท่ากับ 0.298 ซึ่งบ่งชี้
ว่าเมื่อปริมาณฝนในเดือนพฤษภาคมเพิ่มขึ้น ดัชนี
การเติบโตของไม้สักมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น
ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดัชนีการเติบโต
ของไม้สักมีแนวโน้มลดลง ความสัมพันธ์
ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยเชิง
เส้น ดังสมการ

$$TRI_c = 2.966 - 0.085T_{\text{may}} + 0.002\text{rain}_{\text{jun}}$$

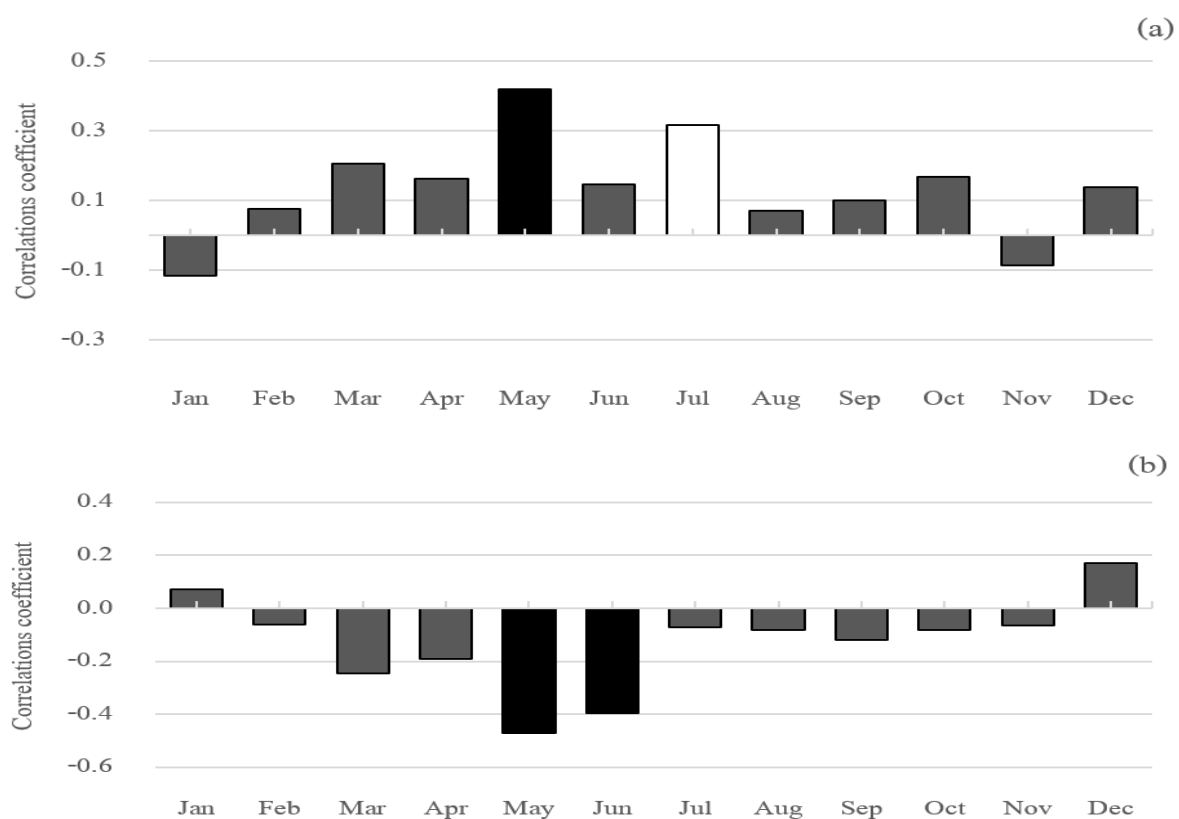


Figure 8 Correlation of monthly total rainfall and average temperature with the teak tree-ring index for the study area, derived from CHIRPS (v.3) and ERA5 (1981–2024): (a) correlation coefficients between the tree-ring width index and monthly total rainfall, and (b) correlation coefficients between the tree-ring width index and monthly average temperature. White bars indicate non-significant correlations ($p > 0.05$), gray bars indicate significant correlations ($p < 0.05$), and black bars indicate highly significant correlations ($p < 0.01$) between the variables.

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณฝน
รวมรายเดือนของเดือนพฤษภาคมในแต่ละปีมีผล

ต่อการเติบโตของวงปีไม้สัก สอดคล้องกับ
การศึกษาของ Lumyai (2018) และ Palakit (2019)

ที่ได้วิเคราะห์ความกว้างวงปีไม้สัก กับข้อมูลภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาใกล้กับพื้นที่ศึกษา พบว่าความกว้างวงปีไม้สักมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฝนรายเดือนช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน แต่ข้อมูลอุณหภูมิไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ นอกจากนี้งานวิจัยของ Pumijumnong (2012) ได้วิเคราะห์วงปีไม้สักพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่าความกว้างวงปีมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนในช่วงครึ่งแรกของฤดูฝน ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือนพฤษภาคมจากของแต่ละปีที่ได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาใกล้กับพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของวงปีไม้สักได้รับอิทธิพลโดยตรงจากฝนและอุณหภูมิในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าซึ่งแสดงให้เห็นว่า เพื่อแก้ปัญหาระยะห่างระหว่างพื้นที่เก็บข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา การศึกษาจากทางด้านรุกขกาลวิทยาสามารถนำข้อมูลจากดาวเทียมมาประยุกต์เพื่อคำนวณโหลดข้อมูลสภาพภูมิอากาศร่วมกับข้อมูลภาคพื้นจากกรมอุตุนิยมวิทยา มาวิเคราะห์กับข้อมูลวงปีไม้ในอนาคตต่อไปได้

สรุป (Conclusion)

ตัวอย่างไม้ที่มีอายุมากที่สุดพบในปี ค.ศ. 1947 เมื่อพิจารณาข้อมูลความกว้างวงปีไม้สัก จำนวน 3,815 วง มี จึงสามารถกำหนดช่วงเวลาของความกว้างวงปีย้อนหลังถึง 78 ปี (ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1947 ถึง ค.ศ. 2024) โดยการเติบโต

ไม้สักมีความผันแปรค่อนข้างสูงตลอดช่วงอายุ มีความกว้างวงปีเฉลี่ยรายปี 3.511 มิลลิเมตร และความกว้างหรือการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 0.7 เซนติเมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้ (Tree-ring index) และปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ (อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน และปริมาณฝนรวมรายเดือน) พบว่าปริมาณฝนรวมรายเดือนช่วงฝนต้นฤดู มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อปริมาณฝนรวมเพิ่มขึ้นจะทำให้ไม้สักมีการเติบโตที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณฝนมากเกินไปหรือน้อยกว่าความต้องการของสักอาจส่งผลกระทบต่อ การเติบโตได้ ขณะที่อุณหภูมิ นับว่าเป็นปัจจัยจำกัดการเติบโตที่สำคัญของไม้สักด้วยเช่นกัน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ต้นสักมีแนวโน้มหยุดการเติบโต เนื่องจากการผลัดใบในช่วงฤดูแล้งที่มีความร้อนและแห้งแล้งสูง

สำหรับเส้นดัชนีวงปีไม้ทั้งสามเส้นที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับเส้นดัชนี พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงนับได้ว่าเส้นดัชนีวงปีไม้สักที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องตามมาตรฐานสากล และสามารถนำไปใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างวงปีไม้กับปัจจัยภูมิอากาศ โดยสามารถเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นในทางรุกขกาลวิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้เส้นดัชนีแบบ Arstan Chronology เพราะช่วยรักษาข้อมูลสัญญาณภูมิอากาศที่มีผลต่อเนื่องต่อการเติบโต และสามารถจัดสัญญาณรบกวนจากปัจจัยความผันแปรภายในแปลงตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง (References)

- Auykim, A., K. Duangsathaporn & P. Prasomsin. 2017. Growth of teak regenerated by coppice and stump planting in MaeMoh Plantation, Lampang province, Thailand. **Agriculture and Natural Resources** 51: 2 7 3 - 2 7 7 .
<https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.12.009>
- Buajan, S., N. Pumijumnong, Q. Li & Y. Liu. 2016. Oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) of teak tree-rings in northwest Thailand. **Journal of Tropical Forest Science** 28(4): 396–405.
- Choiraioi, A. 2014. **A study of the growth and yield of teak using dendrochronological techniques in Huai Thak plantation, Ngao district, Lampang province**. M.Sc. thesis, Faculty of Forestry, Bangkok, Thailand.
- Cook, E. R. 1985. **A Time series analysis approach to tree ring standardization**. Ph.D. thesis, Faculty of the school of renewable natural resources, Arizona, America.
- Cook, E. R. & K. Peters. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. **Tree-Ring Bulletin** 41: 45-53.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin** 43:69-79.

- Fritts, H. C. 1976. **Tree rings and climate**. London, New York, San Francisco. Academic Press.
- Lumyai, P. 2018. **Impact of climate variability on the growth of teak (*Tectona grandis* L.f.) in natural forest in northern Thailand**. Ph.D. Thesis, Faculty of Forestry, Bangkok, Thailand.
- Muñoz Sabater, J. 2019. **ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present**. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). Available source :
https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=quality_assurance_tab. (Accessed: November 1, 2025)
- NOAA. 2025. **Climate change impacts. National Oceanic and Atmospheric Administration**. Available source: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/climate-change-impacts>. (Accessed: November 18, 2025)
- Palakit, K., K. Duangsathaporn, N. Pumijumnong, S. Sriarkarin, T. Bungbai & P. Lumyai. 2026. Tree-ring based climate reconstruction and growth-climate analysis of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Doi Khuntan National Park, northern Thailand. **Journal of Forest Science** 7 2 (4) : 1 7 4 - 1 8 7 .
<https://doi.org/10.17221/78/2025-jfs>

- Palakit, K., P. Lumyai & K. Duangsathaporn. 2019. Influence of climate on the growth of Teak (*Tectona grandis* Linn. f.) at a non-native distributed Site in Northeastern Thailand. **Chiang Mai Journal of Science** 46(6): 1113-1128. (in Thai)
- Pumijumnong, N. 2012. Teak tree ring widths: Ecology and climatology research in Northwest Thailand. **Science, Technology and Development** 31 (2): 165-174.
- Pumijumnong, N. 2013. **Tree-ring and applications in Thailand**. Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University. Amarin Corporations Public Company Limited.
- Sangram, N. 2015. **The effect of gas and particulate matter from electricity generation process on teak growth surrounding Mae Moh power plant, Lampang province**. M.Sc. Thesis, Faculty of Forestry, Bangkok, Thailand.
- UNESCO. n.d. **Biosphere reserves**. Available source: UNESCO. Available source: <https://www.unesco.org/en/mab/map?hub=66369>. (Accessed: November 18, 2025)
- University of California. 2025. **CHIRPS: Rainfall estimates from rain gauge and satellite observations**. Available source: <https://chc.ucsb.edu/data/chirps3>. (Accessed: November 1, 2025)
- Voortech Consulting. 2017. **Measure J2X**. Available source: <http://www.voortech.com/projectj2x/docs/install.htm#4.3>. (Accessed: March 5, 2025)
- Wigley, T. M. L., K. R. Briffa & P. D. Jones. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. **Journal of Climate and Applied Meteorology** 23(2), 201–213. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2)
- Yordtong, K., K. Duangsathaporn & K. Palakit. 2019. Climatic Factors on Growth of Pinus latteri Mason in Hill Evergreen Forest at Phu Kradueng National Park, Loei Province. **Thai Journal of Forestry**. 38 (2) : 124-135. (in Thai)