

นิพนธ์ต้นฉบับ

ปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติภูกระดึง
จังหวัดเลยClimatic Factors on Growth of *Pinus latteri* Mason in Hill Evergreen Forest
at Phu Kradueng National Park, Loei Province

กนกวรรณ ยอดทอง

ขวัญชัย ดวงสถาพร*

กฤษฎาพันธุ์ ผลกิจ

Kanokwan Yordtong

Khwanchai Duangsathaporn*

Kritsadapan Palakit

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding Author, fforkcd@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 13 พฤษภาคม 2562

รับแก้ไข 8 กรกฎาคม 2562

รับลงพิมพ์ 18 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

This study focused on the growth of *Pinus latteri* and its relationship to climatic data in order to reconstruct the climate in the past. Following the dendrochronological techniques, the growth pattern of 38 core samples from 19 trees was found to be similar to an average critical level of correlation higher than 0.3281. The oldest sample was found to have 129 annual rings, formed between 2431 to 2559 B.E. The annual increment in radius of *Pinus latteri* could be explained by using an exponential growth pattern, which had an average tree - ring width of 0.358 cm. The correlation analysis between tree - ring index and climatic data indicated that the monthly average minimum temperature in October and the monthly average relative humidity in March, October and November were significantly correlated ($p < 0.05$) to the tree-ring index. It was also found that the monthly average relative humidity in February of the previous year had significant correlation ($p < 0.01$) with the tree - ring index as well as the monthly average maximum temperature and the monthly average relative humidity in March of the previous year. The past climate reconstructed from relative humidity in February of the previous year data showed that for the last 62 years, the average monthly relative humidity in Thailand during the month of February has increased by 1 percent since 2431 B.E. with a tendency to continuously increase in the future.

Keywords: Growth, Climate, *Pinus latteri*, Dendrochronology, Climatic reconstruction

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบและศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบเพื่อใช้สร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีต โดยดำเนินการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางด้านรุกขกาลวิทยา ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างไม้ทั้ง 38 ตัวอย่าง จากไม้สนสองใบ 19 ต้น มีรูปแบบการเติบโตที่คล้ายคลึงกัน โดยมีค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ในทุกช่วงเวลาเฉลี่ยมากกว่า 0.3281 ไม้สนสองใบที่มีอายุมากที่สุดสามารถวัดความกว้างวงปีย้อนหลังได้ 129 ปี คือ ตั้งแต่ พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559 ความเพิ่มพูนรายปีด้านรัศมีของไม้สนสองใบสามารถอธิบายได้โดยใช้รูปแบบการเติบโตเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยมีค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยเท่ากับ 0.358 เซนติเมตร เมื่อนำเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลความกว้างวงปีมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลอากาศ พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายน นอกจากนี้ ยังพบว่าเส้นดัชนีวงปีไม้มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) กับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี รวมทั้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด และมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคมของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี แบบจำลองสภาพภูมิอากาศที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าในรอบ 62 ปีที่ผ่านมา ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของประเทศไทยสูงขึ้นจากในอดีต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2431 ร้อยละ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ

คำสำคัญ: การเติบโต ภูมิอากาศ สนสองใบ รุกขกาลวิทยา การสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ

คำนำ

สภาพภูมิอากาศทั่วโลกกำลังเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว โดยนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าเกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมช่วง 200 ปีที่ผ่านมา (Cheikeewong, 2012) ส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์เพิ่มขึ้นร้อยละ 70 ระหว่าง ปี ค.ศ. 1970 - ค.ศ. 2004 (IPCC, 2007) สำหรับประเทศไทยมีรายงานว่าในรอบ 48 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2513 - พ.ศ. 2560) อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศสูงขึ้นประมาณ 1.30 องศาเซลเซียส (Limsakul *et al.*, 2019) ซึ่งการพยากรณ์สภาพอากาศในระยะยาวให้มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเชิงปริมาณในอดีตเป็นเวลานานหลายร้อยปี แต่เนื่องจากมีรายงานข้อมูลสภาพอากาศที่มีการตรวจวัดถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ย้อนหลังประมาณ 70 ปีเท่านั้น (Pumijumnong and Eckstein,

2011) จากข้อจำกัดของข้อมูลดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์จึงใช้ข้อมูลตัวแทน (proxy data) มาเป็นทางเลือกในการศึกษาสภาพอากาศในอดีต เช่น การวิเคราะห์ห่วงปีไม้หรือเทคนิคทางด้านรุกขกาลวิทยา (dendrochronology) (Bradley, 1999)

วงปีไม้จึงเป็นหลักฐานหนึ่งที่ได้รับการพิสูจน์และทำการศึกษากันอย่างกว้างขวางในประเทศต่าง ๆ สำหรับประเทศไทยเพิ่งมีการศึกษากันอย่างจริงจังและต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 และพบว่าต้นไม้ที่มีศักยภาพในการศึกษาข้อมูลตัวแทนของวงปีไม้ได้แก่ ไม้สักและไม้สนสองใบ ในปี พ.ศ. 2538 ได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับไม้สักขึ้นเป็นครั้งแรกของประเทศไทย ผลการศึกษาได้ดัชนีไม้สักครอบคลุมระยะเวลา 312 ปี โดยพบว่าไม้สักทางภาคเหนือของประเทศไทยตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝนในช่วงคาบเกี่ยวจากฤดูแล้งมาสู่ฤดูฝน และการศึกษาในครั้งนี้ได้สร้างเส้นน้ำฝนและเส้นอุณหภูมิย้อนกลับไปถึงปี พ.ศ. 2413 ซึ่งทำให้ทราบถึงสภาพอากาศในอดีต

(Pumijumnong, 1995) สำหรับการศึกษาวงปีไม้สนในประเทศไทย พบว่ามีการศึกษาทั้งในภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคกลาง และภาคตะวันออก เช่น Pumijumnong and Eckstein (2011) ได้ใช้ไม้สนสองใบและไม้สนสามใบที่กระจายตัวอยู่ทางภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยสร้างเส้นอุณหภูมิในภาคเหนือของประเทศไทยเป็นครั้งแรก ส่วน Duangsathaporn and Palakit (2013) ทำการศึกษาไม้สนสองใบในจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งทำให้ทราบการตอบสนองต่อปัจจัยภูมิอากาศของไม้สนสองใบในพื้นที่ดังกล่าว การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ให้มีความอ่อนไหวต่อสภาพอากาศควรคำนึงถึงพิสัยของระบบนิเวศ (ecological amplitude) ซึ่งถือเป็นหนึ่งในหลักการสำคัญของการศึกษาด้านรูกษกาลวิทยา บนพื้นฐานหลักการนี้ต้นไม้จะมีความกดดันน้อยในบริเวณช่วงกลางของพิสัยและต้นไม้จะมีความกดดันมากขึ้นในบริเวณใกล้เขตสิ้นสุดของรอยเชื่อมต่อแต่ละสังคมพืช (ecotone) ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงปีไม้และสภาพอากาศ ต้นไม้ที่น่าจะบันทึกข้อมูลสภาพได้ดีควรเป็นต้นไม้ที่ขึ้นบริเวณใกล้เขตสิ้นสุดของค่าพิสัย (Fritts, 1976)

ไม้สนสองใบ (*Pinus latteri* Mason) ถือเป็นหนึ่งในชนิดไม้ที่มีความสามารถในการศึกษาด้านรูกษกาลวิทยา เนื่องจากเป็นไม้ที่เห็นลักษณะวงปีชัดเจน ไม้สนสองใบที่เกิดตามธรรมชาติในประเทศไทยส่วนใหญ่กระจายอยู่ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในจังหวัดที่มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นและยาวนาน ดังนั้นสังคมสนสองใบจึงมักปรากฏอยู่บนภูเขาสูง (Marod and Kudintra, 2009) เช่น ป่าสนวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่ ป่าสนปางอุ๋ง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ป่าสนบริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย National Parks of Thailand (n.d.) ได้รายงานไว้ว่า สังคมป่าสนเขาบริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึงสามารถพบได้เฉพาะบริเวณที่ราบบนยอดภูเท่านั้น ซึ่งอยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,200 - 1,350 เมตร แต่ป่าดิบเขาบริเวณใกล้จุดพักชาแคว์ ซึ่งอยู่สูงจาก

ระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,000 เมตร มีระยะทาง 1,300 เมตร ก่อนถึงบริเวณที่ราบบนยอดภูพบไม้สนสองใบขึ้นเป็นกลุ่มเล็กๆ ปะปนกับไม้ใบกว้างชนิดอื่น ซึ่งเป็นไปได้ว่าไม้สนสองใบในบริเวณดังกล่าวเป็นไม้สนสองใบในช่วงขอบเขตสิ้นสุดของพิสัย และอาจมีรูปแบบการเติบโตที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ดี

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบและศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ รวมทั้งสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีต โดยอาศัยข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบในป่าดิบเขา บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย โดยใช้เทคนิคทางรูกษกาลวิทยา

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณป่าดิบเขาใกล้จุดพักชาแคว์ของอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย พิกัดทางภูมิศาสตร์ 0799630 ตะวันออก 1867156 เหนือ ซึ่งอยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,040 เมตร ลักษณะสภาพภูมิอากาศของอุทยานแห่งชาติภูกระดึงรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดเลย พบว่า ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน - ตุลาคม ฝนตกชุกที่สุดระหว่างเดือนสิงหาคม - กันยายน (National Parks of Thailand, n.d.) มีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยเท่ากับ 1,248 มิลลิเมตร โดยเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนมากที่สุด อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดอยู่ในเดือนเมษายน และต่ำสุดในเดือนมกราคม (Figure 1)

อุปกรณ์

1. เครื่องกำหนดตำแหน่งทางพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) 2. เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter tape) 3. เครื่องมือวัดความสูงต้นไม้ด้วยแสงเลเซอร์ ยี่ห้อ Nikon รุ่น Forestry Pro 4. ส่วนเจาะวัดความเพิ่มพูน (increment borer) 5. เส้นผ่านศูนย์กลาง

5 มิลลิเมตร 6. เครื่องจักรกระดาทรายแบบ Belt sander และแบบ Rotary sander 7. เครื่องมือวัดความกว้างวงปี

ไม้ 8. แบบบันทึกข้อมูล 9. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

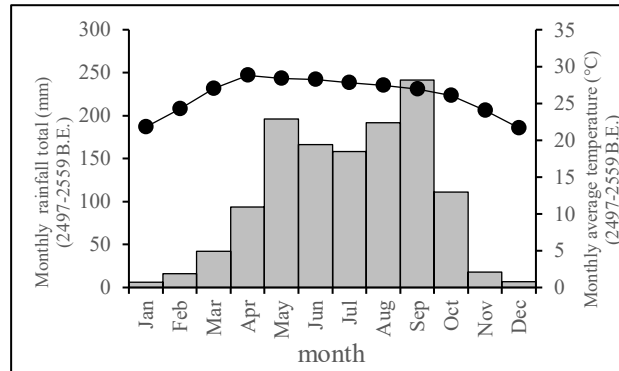
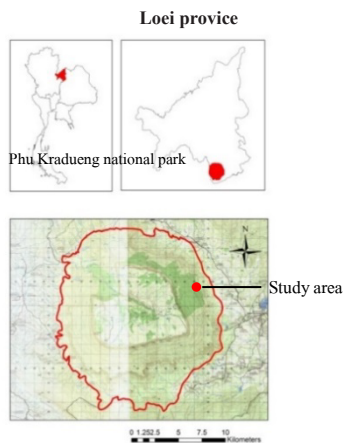


Figure 1 Study area and climate diagram from the Loei meteorological station.

การเก็บตัวอย่าง

ทำการเจาะเก็บตัวอย่างวงปีไม้สนสองใบโดยใช้ส่วนเจาะวัดความเพิ่มพูนเจาะจากเปลือกไม้จนถึงแก่นที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดิน เลือกเจาะไม้สนสองใบที่เป็นไม้เด่น มีเรือนยอดสมบูรณ์ ลำต้นเปลาตรง ไม่มีบาดแผลหรือลักษณะที่ผิดปกติ จำนวน 19 ต้น ต้นละ 2 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่าง (sample core) ใส่หลอดพลาสติกและเขียนรหัสกำกับ เพื่อนำไปดำเนินการต่อในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างและการวัดความกว้างวงปีต้นไม้

1. นำตัวอย่างไม้ในหลอดพลาสติกออกมา ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นตัดตัวอย่างไม้ลงบนแท่นยึดไม้ด้วยกาว โดยให้ด้านตัดขวาง (transverse section) อยู่ด้านบนของแท่นยึด พันตัวอย่างไม้กับแท่นยึดไม้ด้วยกระดาษอีกครั้งเพื่อยึดตัวอย่างให้แน่น จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 - 3 วัน เพื่อให้กาวแห้ง

2. จัดตัวอย่างไม้เพื่อเปิดหน้าไม้ด้วยเครื่องขัดแบบ Belt sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 120 จากนั้นขัดตัวอย่างไม้เพื่อให้เห็นขอบเขตวงปีชัดเจนขึ้นด้วยเครื่องขัดแบบ Rotary sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 220 - 600

3. นำตัวอย่างไม้มาผ่านเทคนิค Cross matching โดยเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบความกว้างวงปีของตัวอย่างไม้ภายในต้นเดียวกันและระหว่างต้นได้กลองจุลทรรศน์กำลังขยาย 4x - 40x

4. วัดความกว้างวงปีไม้สนสองใบด้วยเครื่องมือวัดความกว้างวงปีไม้ที่พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการรุกรกการวิทยาเขตร้อนที่สามารถวัดความกว้างวงปีได้ด้วยความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร ข้อมูลการวัดจะถูกบันทึกโดยโปรแกรม KU - TRA 1.0 (Kasetsart University - Tree Ring Analysis 1.0)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจสอบความสอดคล้องและวิเคราะห์ข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบ

ตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลโดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ภายในชุดข้อมูล วิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกการกระจายของข้อมูลก่อนที่จะมีการแก้ไขใดๆ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (mean sensitivity) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของข้อมูลวงปีไม้จากปีหนึ่งไปสู่อีกปีต่อไป และค่าอดีตสหสัมพันธ์

(autocorrelation) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกอิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของวงปีไม้ของปีที่ผ่านมาต่อปีปัจจุบัน โดยค่าสถิติดังกล่าวจะประมวลผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA (Holmes, 1983)

2. การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบและการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้

สร้างเส้นดัชนีวงปีไม้และทดสอบค่า Express population signal (EPS) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้ โดยอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่างและค่าความสัมพันธ์ของทุกตัวอย่างโดยประมวลผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN (Cook and Peters, 1981)

3. การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้กับข้อมูลปัจจัยด้านภูมิอากาศ โดยใช้สถิติ Pearson correlation ข้อมูลภูมิอากาศรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดเลย ซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณเก็บตัวอย่างประมาณ 80 กิโลเมตร ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน

4. การสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ (climate reconstruction)

การสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีตจะเลือกข้อมูลอากาศที่มีความสัมพันธ์กับเส้นดัชนีวงปีไม้มากที่สุดมาศึกษา โดยแบ่งข้อมูลสภาพอากาศจริงกับดัชนีวงปีไม้ออกเป็นสองช่วงเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง โดยใช้เทคนิค Regression analysis ช่วงแรกจะเป็นการสอบเทียบข้อมูล (calibration) ช่วงที่สองจะเป็นการทวนสอบข้อมูล (verification) ค่าสถิติที่ใช้อธิบายความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าความผิดพลาดน้อยสุด (reduction of error: RE) ค่า T-value และค่าสัดส่วนของตัวอย่างที่ยอมรับได้ทางสถิติ (sign test) ซึ่งสามารถประมวลผลได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Verify calibration model

(VFY) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Dendrochronology program library (DPL) (Holmes, 1983)

ผลและวิจารณ์

เมื่อนำตัวอย่างไม้ทั้ง 38 ตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางด้านรุกกกาลวิทยาได้ผลการศึกษา ดังนี้

รูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบ

1. การตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบ

คุณภาพของข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบจะถูกตรวจสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA (Holmes, 1983) โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของการกำหนดอายุและความเหมือนของรูปแบบความกว้างวงปีในแต่ละตัวอย่างไม้เทียบกับเส้นดัชนีที่โปรแกรมคำนวณขึ้นตามช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้กำหนดช่วงเวลาทุก 50 ปี และแบ่งช่วงความยาวเป็นช่วงละ 25 ปี ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลัก ซึ่งควรมากกว่าหรือเท่ากับค่าต่ำสุดของระดับวิกฤติของสหสัมพันธ์ (critical level of correlation) ที่ยอมรับได้ ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลักในกรณีกำหนดช่วงเวลาทุก 50 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กำหนดค่าต่ำสุดของระดับวิกฤติของสหสัมพันธ์ไว้ที่ 0.3281 ผลการศึกษาพบว่า พ.ศ. 2418 - พ.ศ. 2467, พ.ศ. 2443 - พ.ศ. 2492, พ.ศ. 2468 - พ.ศ. 2517, พ.ศ. 2493 - พ.ศ. 2542 และ พ.ศ. 2518 - พ.ศ. 2567 มีค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลักเท่ากับ 0.52, 0.51, 0.53, 0.50 และ 0.48 ตามลำดับ

2. ชุดข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA (Holmes, 1983) พบว่า ตัวอย่างไม้มีจำนวนวงปีเฉลี่ย 87 วงปีต่อตัวอย่างไม้ และพบว่าตัวอย่างไม้ที่มีจำนวนวงปีมากที่สุด คือ 129 วง อยู่ในช่วงปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559 ค่าสถิติสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลความกว้างวงปี ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์

กับอนุกรมหลัก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าอัตราสหสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลความกว้างวงปีไม่มีค่าเฉลี่ยของค่าสถิติดังกล่าวเท่ากับ 0.492, 1.480, 0.726 และ 0.252 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Pumijumnong and Eckstein (2011) ที่ได้ทำการศึกษาไม้สนสองใบที่กระจายตัวอยู่ทางภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่ แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ตาก สุพรรณบุรี และเพชรบุรี สะท้อนให้เห็นว่าการแปรผันของวงปีไม้สนสองใบในประเทศไทยตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน

3. ลักษณะการเติบโตของไม้สนสองใบ

แนวโน้มความเพิ่มพูนรายปีด้านรัศมีของไม้สนสองใบ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559 รวม 129 ปี พบว่ามีแนวโน้มการเติบโตแบบสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยในช่วงปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2460, พ.ศ. 2461 - พ.ศ. 2490, พ.ศ. 2491 - พ.ศ. 2520 และ พ.ศ. 2521 - พ.ศ. 2559 มีค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยเท่ากับ 5.230, 4.028, 3.340 และ 2.147 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีค่าความกว้างวงปีมากสุดในปี พ.ศ. 2433 คือ 0.779 เซนติเมตร และมีค่าความกว้างวงปีน้อยสุดในปี พ.ศ. 2498 คือ 0.194 เซนติเมตร จาก Figure 2 (a) จะเห็นว่า ความเพิ่มพูนรายปีด้านรัศมีของไม้สนสองใบมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559 เท่ากับ 0.358 เซนติเมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Lumyai (2009) ที่พบว่า ความเพิ่มพูนรายปีด้านรัศมีของไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี มีแนวโน้มลดลงตามอายุที่มากขึ้น จากค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีทำให้ทราบว่า ไม้สนสองใบในบริเวณที่ทำการศึกษามีความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละประมาณ 0.716 เซนติเมตร ซึ่งเป็นอัตราการเติบโตที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการเติบโตของไม้สนสองใบใน 8 พื้นที่ที่กระจายตามธรรมชาติทั่วประเทศ ได้แก่ ไม้สนสองใบที่เขียงดาว ออบขาน ปาย บ่อแก้ว วัดจันทร์ อัมพาง พุเตย และท่ายาง โดยไม้สนสองใบในพื้นที่

ดังกล่าวมีความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละประมาณ 0.2 - 0.4 เซนติเมตร (Pumijumnong and Eckstein, 2011) อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบลักษณะการเติบโตของไม้สนสองใบในแต่ละพื้นที่ที่กระทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากปัจจัยด้านอายุของไม้สนสองใบที่ไม่เท่ากัน ไม้สนสองใบในพื้นที่ใดมีอายุนาน อัตราการเติบโตจะค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ไม้สนสองใบที่มีอายุน้อย อัตราการเติบโตจะค่อนข้างสูง อีกทั้งปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทำให้ในแต่ละพื้นที่มีปัจจัยจำกัดที่ต้นไม้ใช้ในการเติบโตแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ส่งผลต่ออัตราการเติบโตของไม้สนสองใบทั้งสิ้น (Puangchit, 2007)

4. เส้นดัชนีวงปีไม้และความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้

ผลการศึกษาพบว่า เส้นดัชนีวงปีไม้ทั้ง 3 เส้นจากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN (Cook and Peters, 1981) ได้แก่ Standard, Residual และ Arstan index มีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีค่า Mean index เท่ากับ 0.981, 0.986 และ 0.986 ตามลำดับ มีค่า Standard deviation เท่ากับ 0.158, 0.156 และ 0.155 ตามลำดับ มีค่า Mean sensitivity เท่ากับ 0.169, 0.206 และ 0.174 ตามลำดับ และมีค่า Auto - correlation เท่ากับ 0.195, -0.150 และ 0.118 ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบค่า EPS พบว่าเส้นดัชนีวงปีไม้ในทุกช่วงอายุมีค่า EPS สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด คือ ≥ 0.85 ดังแสดงใน Figure 2 (c) จำนวนตัวอย่าง (number of cores) และค่า R-Bar แสดงใน Figure 2 (d) แม้เส้นดัชนีวงปีไม้ทั้ง 3 เส้นจะมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกใช้ Residual index (Figure 2 (b)) ในการนำไปหาความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านภูมิอากาศในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเส้นดัชนีวงปีไม้ดังกล่าวมีค่า Mean sensitivity สูงกว่า Standard และ Arstan index แสดงว่าอาจมีความสามารถในการติดตามข้อมูลสภาพอากาศได้ดีกว่า

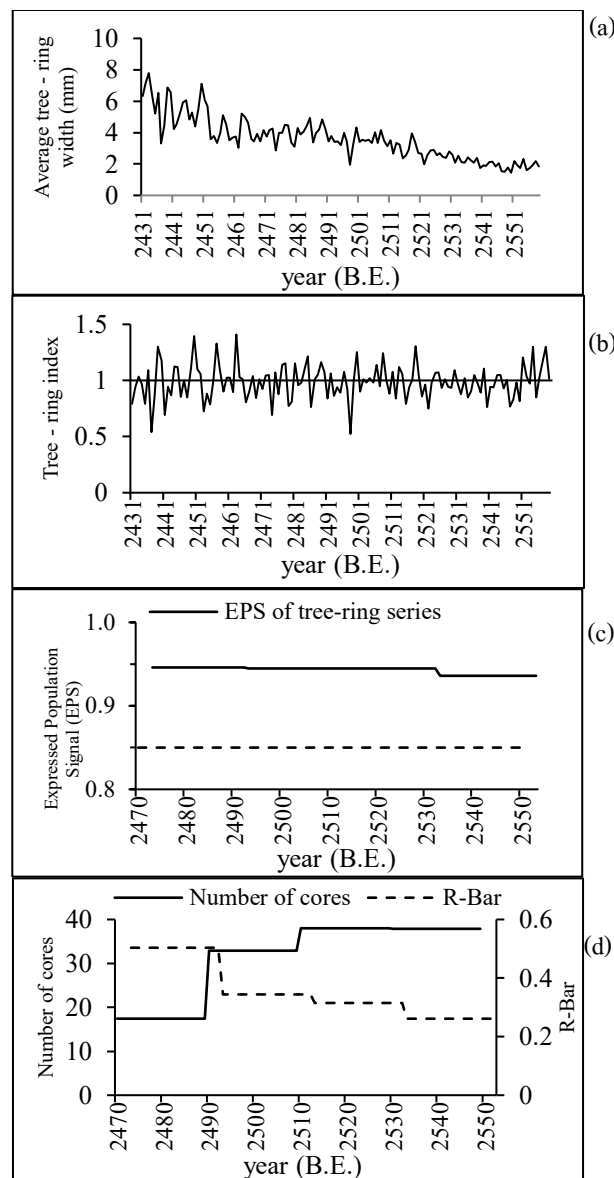


Figure 2 Average tree - ring width (a), tree - ring index (b), expressed population signal of *Pinus latteri* along the growing periods (c) and number of cores & R-Bar (d).

การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ

เมื่อนำ Residual index มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดรายเดือน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน และปริมาณน้ำฝนรวม

รายเดือน ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายนของแต่ละปีมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้ ดังแสดงใน Figure 3 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.263, 0.295, 0.274 และ 0.309 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม

และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และ พฤศจิกายน ที่ลดต่ำลงเป็นปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของไม้สนสองใบ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นในช่วงปลายปีประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงปลายปีถึงต้นปีจะส่งผลให้อัตราการเติบโตของไม้สนสองใบเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นปริมาณความชื้นสัมพัทธ์จะมากหรือน้อยในช่วงปลายฤดูฝนและในช่วงฤดูแล้งมี

ความสำคัญต่อการเติบโตของไม้สนสองใบเป็นอย่างมาก ส่วนปัจจัยด้านภูมิอากาศอื่น ๆ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน และปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างไม่มีนัยสำคัญกับเส้นดัชนีวงปีไม้

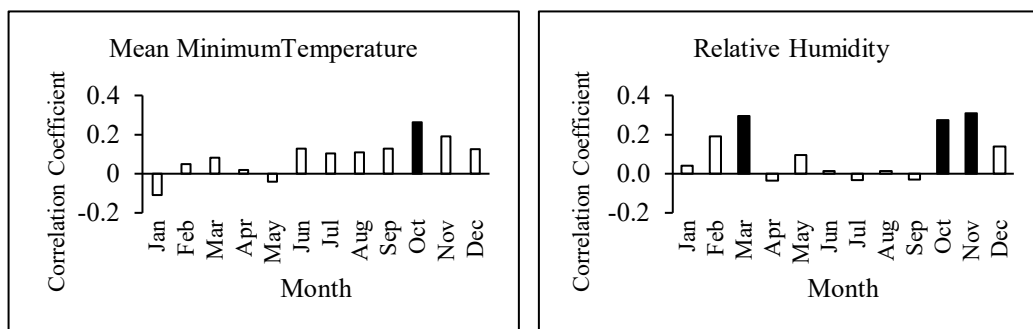


Figure 3 Correlation coefficient between the tree - ring index and mean minimum temperature and relative humidity of the current year; black bar indicates a correlation significant at $p < 0.05$.

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของวงปีไม้สนสองใบกับปัจจัยด้านภูมิอากาศของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.344 นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคมของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.258 และ -0.301 ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 4 ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดรายเดือน ตลอดจนปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับเส้นดัชนีวงปีไม้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Lumyai (2009) ที่ได้ศึกษาผลของภูมิอากาศ

ต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งผลการศึกษพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือนตุลาคมมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนมีอย่างเพียงพอในช่วงเดือนตุลาคม แต่อุณหภูมิมีการลดลงจนถึงระดับจำกัดที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ซึ่งหากอุณหภูมิสูงขึ้นในระดับที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเนื้อเยื่อเจริญจะทำให้ไม้สนสองใบมีการเติบโตที่ดีขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Linasmita (2004) ที่ได้สรุปว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมเนื้อเยื่อเจริญในไม้สนสามใบ และอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกระตุ้นให้เนื้อเยื่อเจริญเกิดกิจกรรม นอกจากนี้ Duangsathaporn and Palakit (2013) ได้ทำการศึกษาไม้สนสองใบในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ดัชนีวงปีไม้สนสองใบในพื้นที่ดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤษภาคมของปีปัจจุบัน และแสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิในเดือน

ชันวาคมของปีก่อนหน้า จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า นอกจากสภาพภูมิอากาศในปีปัจจุบัน (t) ยังมีสภาพภูมิอากาศของปีก่อนหน้า ($t-1$) ที่ส่งผลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ เช่นเดียวกับสภาพภูมิอากาศในปีปัจจุบันที่อาจส่งผลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในปีถัดไป ($t+1$) (Fritts, 1976) และความสัมพันธ์ของวงปีไม้สนสองใบกับการตอบสนองต่อปัจจัยด้านภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในแต่ละพื้นที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ต่างกัน เช่น แสง อุณหภูมิ ลม น้ำ รวมถึงมลพิษต่าง ๆ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจไม่ได้เปลี่ยนแปลงการเติบโตของต้นไม้โดยตรง แต่สามารถส่งผลทางอ้อมต่ออัตราการเติบโตและกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของต้นไม้โดยปัจจัยสิ่งแวดล้อมปัจจัยหนึ่งมักส่งผลต่ออีกปัจจัยหนึ่งเป็นลูกโซ่ และผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการเติบโตของต้นไม้ยังแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา (Puangchit, 2007)

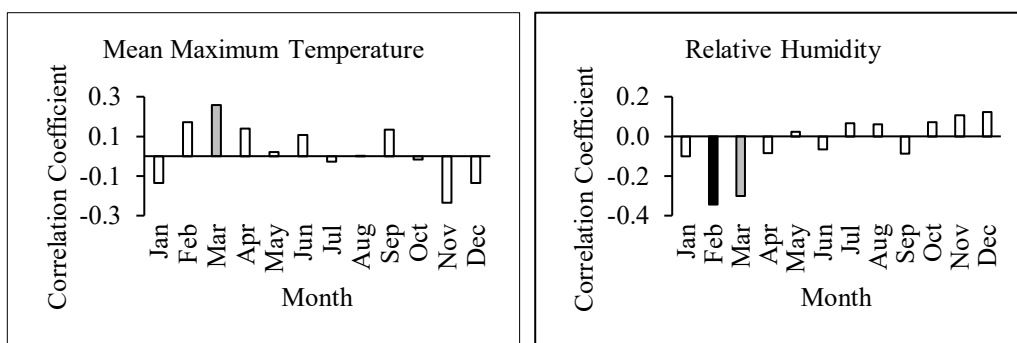


Figure 4 Correlation coefficient between the tree - ring index and mean maximum temperature and relative humidity of the previous year; black bar indicates a correlation significant at $p < 0.01$ while gray bar indicates a correlation significant at $p < 0.05$.

แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ (Climate reconstruction)

จากความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้กับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี สามารถสร้างสมการถดถอยโดยใช้เทคนิค Regression analysis สมการถดถอยที่ได้จากการสอบเทียบความสัมพันธ์ของข้อมูลในช่วง พ.ศ. 2498 - พ.ศ. 2541 (44 ปี) ได้แก่ $Y = -8.495x + 69.762$ โดยที่ Y คือค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี และ X คือค่าเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ จากนั้นทำการทวนสอบในช่วงปี พ.ศ. 2542 - พ.ศ. 2559 (18 ปี) ค่าสถิติที่ใช้อธิบายความน่าเชื่อถือของแบบ

จำลองแสดงใน Table 1 ซึ่งพบว่าในช่วงสอบเทียบ ค่า R , RE , T -value และค่า Sign test มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนในช่วงทวนสอบพบว่า มีเพียงค่า R และค่า T -value เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับค่าจริง (actual) ของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี และเมื่อนำค่าจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลอง (reconstructed) ของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มาสร้างกราฟเทียบความสัมพันธ์พบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Figure 5)

Table 1 Reconstruction of relative humidity in February of the previous year.

Statistic	Calibration 2498-2541 (B.E.)	Verification 2542-2559 (B.E.)	Full period
Variation explained	21.20 %		22.44 %
R	0.3261*	0.4881*	0.3512*
RE	0.1062*	0.1223	
T-value	2.5112*	2.7683*	
Sign test	16*	9	

Remark: * Statistically significant at the 0.05 level

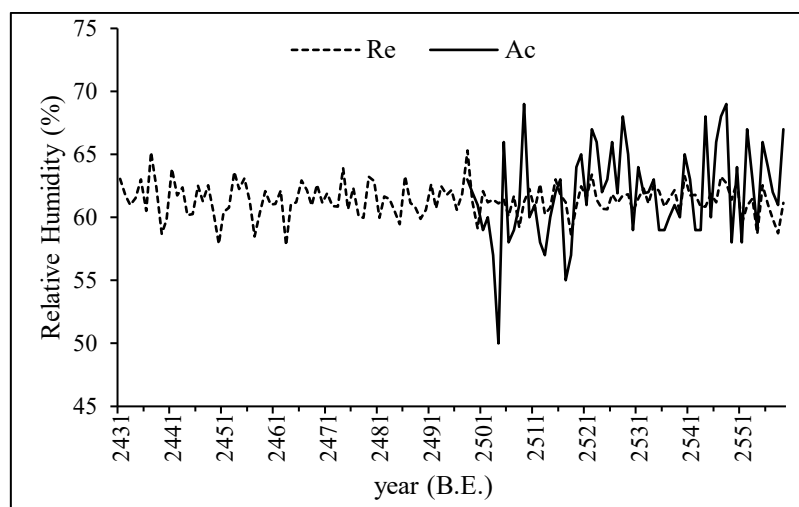


Figure 5 Actual relative humidity in February (Ac) of the previous year (2498 - 2559 B.E.) and reconstructed relative humidity in February (Re) of the previous year (2431 - 2559 B.E.).

จาก Figure 5 แสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2497 ก่อนที่จะมีการบันทึกข้อมูลด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยามีแนวโน้มลดลงและมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงในช่วง 43 ปีแรก (พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2473) โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2450 พ.ศ. 2457 และ พ.ศ. 2463 เป็นปีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุดในช่วง 129 ปี (พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559) คือ ร้อยละ 58 อาจเป็นไปได้ว่าในปียังกล่าวสภาพภูมิอากาศค่อนข้างแห้งแล้ง ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงปี พ.ศ. 2498 - พ.ศ. 2559 หลังมีการบันทึกข้อมูลด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยามีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในอดีตร้อยละ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา

ของ Pumijumnong *et al.* (1995) ที่ได้จำลองสภาพภูมิอากาศจากไม้สักย้อนหลังไปถึงปี พ.ศ. 2413 โดยพบว่าปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิโดยเฉลี่ยในช่วง พ.ศ. 2413 - พ.ศ. 2454 มีแนวโน้มต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดเลย ซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณที่ทำการศึกษาระยะทาง 80 กิโลเมตร และอยู่ในเขตพื้นที่ราบลุ่ม สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 250 เมตร ในขณะที่บริเวณที่ทำการศึกษายู่บนภูเขา สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,040 เมตร ซึ่งเป็นสังคมของป่าดิบเขาอันมีสภาพภูมิอากาศเฉพาะถิ่น ดังนั้น ข้อมูลภูมิอากาศที่นำมาวิเคราะห์อาจยัง

ไม้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่แท้จริงของบริเวณที่ทำการศึกษาส่งผลให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นอาจมีความคลาดเคลื่อน

สรุป

การเติบโตของไม้สนสองใบในป่าดิบเขาอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายนของแต่ละปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายนที่ลดต่ำลงเป็นปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของไม้สนสองใบ ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นในช่วงปลายปีประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงปลายปีถึงต้นปีจะส่งผลให้อัตราการเติบโตของไม้สนสองใบเพิ่ม นอกจากนี้ยังพบว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์เชิงลบทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคมของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคมของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์เชิงลบทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ สำหรับแบบจำลองสภาพภูมิอากาศที่สร้างขึ้นจากข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี แสดงให้เห็นว่า ในรอบ 62 ปีที่ผ่านมา ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของประเทศไทยสูงขึ้นจากในอดีต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2431 ร้อยละ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ

คำนิยาม

การศึกษานี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยบางส่วนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการ “สาเหตุการเกิดและการระบุงปีปลอม

ของไม้สนเขาร่วมกับการจำแนกขอบเขตที่แท้จริงของไม้ต้นฤดูและไม้ปลายฤดู เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการศึกษาการแปรผันของสภาพภูมิอากาศและการตอบสนองต่อการเติบโตของไม้สน” จึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

REFERENCES

- Bradley, R.S. 1999. **Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary**. 2nd ed. Academic Press, USA.
- Cheikeewong, U. 2012. **Global Warming**. Saengdao Publishing, Bangkok.
- Cook, E.R. and 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.
- Duangstaporn, K. and K. Palakit. 2013. Climatic signals derived from the growth variation and cycles of *Pinus merkusii* in Easternmost Thailand. **Thai Journal of Forestry** 32: 9-23.
- Fritts, H.C. 1976. **Tree Rings and Climate**. Academic Press, New York.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin** 43: 69-78.
- IPCC. 2007. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.
- Limsakul, A., B. Kachenchart, P. Singhruck, S. Saramul, J. Santisirisomboon and S. Apipattanavis. 2019. Updated basis knowledge of climate change summarized from the first part of Thailand's second assessment report on climate change. **Applied Environmental Research** 41: 1-12.

- Linasmith, V. 2004. **Seasonal Variation on Cambial Activity of *Pinus kesiya* in Doi Khun Tan National Park, Thailand.** M.S. Thesis, Mahidol University.
- Lumyai, P. 2009. **Climatic Effects on Growth of *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese in Phutoei National Park, Suphan Buri Province.** M.S. Thesis, Kasetsart University.
- Marod, D. and U. Kuintara. 2009. **Forest Ecology.** Aksorn Siam Limited Partnership, Bangkok.
- National Parks of Thailand. n.d. **Phu Kradueng National Park.** Available Source: <http://portal.dnp.go.th/Content/nationalpark?contentId=945>, January 10, 2018.
- Puangchit, L. 2007. **Silviculture: Foundation of Forest Planting.** Aksorn Siam Limited Partnership, Bangkok.
- Pumijumong, N. 1995. **Dendrochronologie mit Teak (*Tectona grandis* L.) in North-Thailand.** Dissertation, University Hamburg.
- _____ and D. Eckstein. 2011. Reconstruction of pre-monsoon weather conditions in northwestern Thailand from the tree-ring widths of *Pinus merkusii* and *Pinus kesiya*. **Trees** 25: 125-132.
- _____, _____ and U. Sass. 1995. Tree-ring research on *Tectona grandis* in northern Thailand. **IAWA Journal** 16: 385-392.
-