

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อการกระจายของสนสองใบ  
(*Pinus latteri* Mason) และสนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) ในประเทศไทย

The Impact of Climate Change on the Distribution of Tenasserim Pine  
(*Pinus latteri* Mason) and Benguet Pine (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) in Thailand

อาคม ตุลา<sup>1,2</sup>, ยงยุทธ ไตรสุรัตน์<sup>2\*</sup> และนันทิตา สุธรรมวงศ์<sup>2</sup>  
Arkorn Tula<sup>1,2</sup>, Yongyut Trisurat<sup>2\*</sup> and Nantida Sutummawong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สำนักงานจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 2 (เชียงใหม่) อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 57000

<sup>1</sup>Forest Resource Management Office No.2, Muang Chiang Rai, Chiang Rai, 57000, Thailand

<sup>2</sup>คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>2</sup>Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

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

รับต้นฉบับ 15 สิงหาคม 2567

Received: 15 August 2024

รับแก้ไข 4 พฤศจิกายน 2567

Revised: 4 November 2024

รับลงพิมพ์ 21 พฤศจิกายน 2567

Accepted: 21 November 2024

## ABSTRACT

Pine species have evolved extensively and been widely used as pioneer plants since they first emerged during the Mesozoic era. However, their natural populations are becoming increasingly rare under the global climate change scenario. These changes in native habitats could lead to their decline, particularly among pine species. Only two pine species are found in Thailand: Tenasserim pine (*Pinus latteri* Mason) and Benguet pine (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon). In this study, we focused on the impacts of climate change on the distribution of both species as a case study to determine suitable habitats and assess potential future changes. Data related to the presence of Tenasserim and Benguet pines, along with environmental factors—including physical, biological, and climatic variables—were used to develop a distribution model using MaxEnt software (version 3.3.3k). The results indicated that the current suitable areas for Tenasserim pine and Benguet pine are 72,198 km<sup>2</sup> and 59,703 km<sup>2</sup>, respectively. Under a best-case climate change scenario (SSP 1–2.6), suitable areas for Tenasserim pine and Benguet pine are projected to increase by 6.62% and 8.95%, respectively. Under the worst-case scenario (SSP 8–5.8), suitable areas for Tenasserim pine would still increase by 3.50%, whereas those for Benguet pine would decrease by 2.68%. These results demonstrate the impact of climate change on the distribution of both pine species, with potential habitat loss for Benguet pine. This reduction could lead to the invasion of other species, ultimately affecting the overall health of the ecosystem. To ensure the continued existence of Benguet pine in the protected areas of Thailand, authorities should develop and implement a management plan for forest restoration in suitable areas. Effective execution of such a plan would improve the chances of survival of the Benguet pine.

**Keywords:** Climate change; Distribution; Tenasserim pine; Benguet pine

## บทคัดย่อ

ไม้ในกลุ่มสนจัดเป็นพืชดึกดำบรรพ์กลุ่มแรกที่เกิดขึ้นในยุค มีโซโซอิก (Mesozoic era) มีวิวัฒนาการที่กว้างขวางและโดดเด่น ถือเป็นไม้เบิกนำในช่วงแรก แต่ในภายหลังพบไม้สนในป่าธรรมชาติไม่มากนักและมักกระจายเป็นหย่อม ๆ ประกอบกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันที่เกิดขึ้นทั่วโลกส่งผลให้พืชหลายชนิด มีพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายลดน้อยลง ซึ่งอาจทำให้ต้นไม้หรือพืชบางชนิดเกิดการสูญพันธุ์ได้ โดยเฉพาะกลุ่มไม้สน ซึ่งในประเทศไทย พบว่ามีพืชสกุล *Pinus* อยู่เพียงสองชนิดเท่านั้น คือ สนสองใบ (*Pinus latteri* Mason) และสนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าจึงได้เจาะจงไปที่ไม้สนทั้งสองชนิด เพื่อเป็นกรณีศึกษาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของ สนสองใบ และสนสามใบ ในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของชนิดไม้สนทั้งสองชนิด และประเมินผลกระทบต่อการกระจายตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยการรวบรวมข้อมูลการปรากฏของสนสองใบ สนสามใบ และปัจจัยแวดล้อมที่สำคัญ ประกอบด้วย ปัจจัยทางด้านกายภาพ ปัจจัยทางด้านชีวภาพ และปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองการกระจายโดยใช้โปรแกรมแบบจำลอง MaxEnt software version 3.3.3k ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบ และสนสามใบเท่ากับ 72,198 และ 59,703 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายในอนาคตภายใต้ภาพเหตุการณ์สถานการณ์ที่เลวร้ายน้อยที่สุด (SSP 1–2.6) มีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน ร้อยละ 6.62 และ 8.95 ตามลำดับ หากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศร้ายแรงสุด (SSP 5–8.5) สนสองใบจะมีพื้นที่การกระจายที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.5 ส่วนสนสามใบ จะมีพื้นที่การกระจายลดลงร้อยละ 2.68 จากปัจจุบัน ดังนั้นผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อการกระจายของสนทั้งสองชนิด โดยเฉพาะสนสามใบ จะมีพื้นที่การกระจายลดลง เป็นไปได้ว่าในอนาคต ไม้สนสามใบอาจจะหายไปจากหลาย ๆ พื้นที่ และอาจจะมีไม้ชนิดอื่นเข้ามาทดแทน ส่งผลให้ระบบนิเวศมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นหากต้องการรักษาไม้สนสามใบให้คงอยู่ในพื้นที่อนุรักษ์ของประเทศไทย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรวางแผนการจัดการ และส่งเสริมการปลูกไม้สนสามใบ ในพื้นที่ที่เหมาะสมให้มากขึ้น ทั้งนี้หากมีการจัดการด้านพื้นที่การปลูกได้แม่นยำ จะส่งผลให้อัตราการรอดตายของไม้สนสามใบที่นำไปปลูก สูงขึ้น และลดการหายไปจากพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การกระจาย สนสองใบ สนสามใบ

## บทนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นทั่วโลกส่งผลให้พืชหลายชนิด มีการกระจายที่เปลี่ยนไปจากเดิม หรือมีพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายลดน้อยลง ซึ่งอาจทำให้ต้นไม้หรือพืชบางชนิดเกิดการสูญพันธุ์ได้ในอนาคต และหากเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง ก็จะทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศมากยิ่งขึ้น (Trisurat *et al.*, 2011; Trisurat *et al.*, 2023) ถึงแม้ว่าในพื้นที่คุ้มครองของประเทศไทย เช่น อุทยานแห่งชาติ และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าที่ได้รับการคุ้มครอง และป้องกันการบุกรุกทำลายป่าเป็นอย่างดี (Para, 1997) หากมีปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง ก็อาจจะส่งผลให้เกิดความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศได้ เช่น เกิดการสูญพันธุ์ของพันธุ์ไม้บางชนิด หรือการทดแทนพื้นที่ป่าด้วยชนิดพันธุ์ไม้อื่นที่ไม่ใช่ไม้เดิม โดยเฉพาะกลุ่มไม้สน ซึ่งจากการศึกษาของ Yordtong (2019) พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดต่ำลงจะเป็นปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของไม้สนสองใบ ในขณะที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงปลายปีถึงต้นปี จะส่งผลให้อัตราการเติบโตของไม้ สนสองใบเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในวงกว้าง

ในส่วนของประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อน (tropical) พบว่ามีพืชสกุล *Pinus* อยู่เพียงสองชนิดเท่านั้น คือ สนสองใบ (*Pinus latteri* Mason) และสนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) ที่พบว่ามีกระจายในปัจจุบัน บริเวณที่ความสูงใกล้เคียงระดับน้ำทะเล จนถึง 1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (Thomas, 2019) ซึ่งพืชในกลุ่มสน (conifers) จัดเป็นพืชดึกดำบรรพ์กลุ่มแรกที่เกิดขึ้นในยุค มีโซโซอิก (mesozoic era) เป็นพืชในกลุ่มเมล็ดเปลือย (gymnosperm) ที่มีวิวัฒนาการได้กว้างขวางและเด่นทั้งขนาดและจำนวนเหนือกลุ่มอื่น ๆ ถือเป็นไม้เบิกนำ แต่ในภายหลังไม้ใบกว้างได้พัฒนาจนกลายเป็นไม้เด่นในสังคมส่วนแห่งแล้งของโลกและผลัดกันกลุ่มอื่นให้ถอยร่นไปอยู่ในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะกลุ่มไม้สนต้องถอยร่นไปอยู่แถบขั้วโลก ดังนั้นจึงพบไม้สนในป่าธรรมชาติไม่มากนักและมักกระจายเป็นหย่อม ๆ (Forest Research and Development Office, 2008) อีกทั้งไม้สนสองใบ (*Pinus latteri* Mason) ถือเป็นหนึ่งในชนิดไม้ที่มีความสามารถในการศึกษาด้านรุกขกาลวิทยา เนื่องจากเป็นไม้ที่เห็นลักษณะวงปีชัดเจน ไม้สนสองใบที่เกิดตามธรรมชาติในประเทศไทยส่วนใหญ่กระจายอยู่ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในจังหวัดที่มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นและยาวนาน ดังนั้นสังคมสนสองใบจึงมักปรากฏอยู่บนภูเขาสูง (Marod and Kudintra, 2009) ซึ่งจากการศึกษาของ Pepin *et al.* (2022)

พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่ภูเขา จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ได้เร็วกว่าพื้นที่ราบในบริเวณใกล้เคียงกัน ดังนั้นพืชที่พบกระจายในพื้นที่สูงจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมากกว่าพืชที่มีการกระจายในพื้นที่ความสูงในระดับต่ำ ซึ่งการทำนายการกระจายของสนทั้งสองชนิดจะทำให้ทราบถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศต่อการกระจายของสนสองชนิดนี้ในประเทศไทย

ดังนั้นในการศึกษารุ่นนี้ได้เจาะจงไปที่สนสองใบ และสนสามใบ เพื่อเป็นกรณีศึกษาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบ และสนสามใบ โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ และทำนายการกระจายในอนาคตของสนทั้งสองชนิดเพื่อเป็นการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อการกระจายของพืชในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนการสร้างแผนที่พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจาย และการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบและสนสามใบ ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน (Planisong *et al.*, 2019) **ขั้นตอนที่ 1** การวางแผนงานและรวบรวมข้อมูล **ขั้นตอนที่ 2** การวิเคราะห์ข้อมูลการกระจาย **ขั้นตอนที่ 3** การจัดทำแผนที่พื้นที่ที่เหมาะสมการกระจายของสนสองใบและสนสามใบ และ **ขั้นตอนที่ 4** การประเมินผลกระทบ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อการกระจายของสนสองใบและสนสามใบในอนาคต และนำข้อมูลที่ได้มาซ้อนทับกับพื้นที่ป่าในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 และพื้นที่คุ้มครองในประเทศไทย ดัง Figure 1

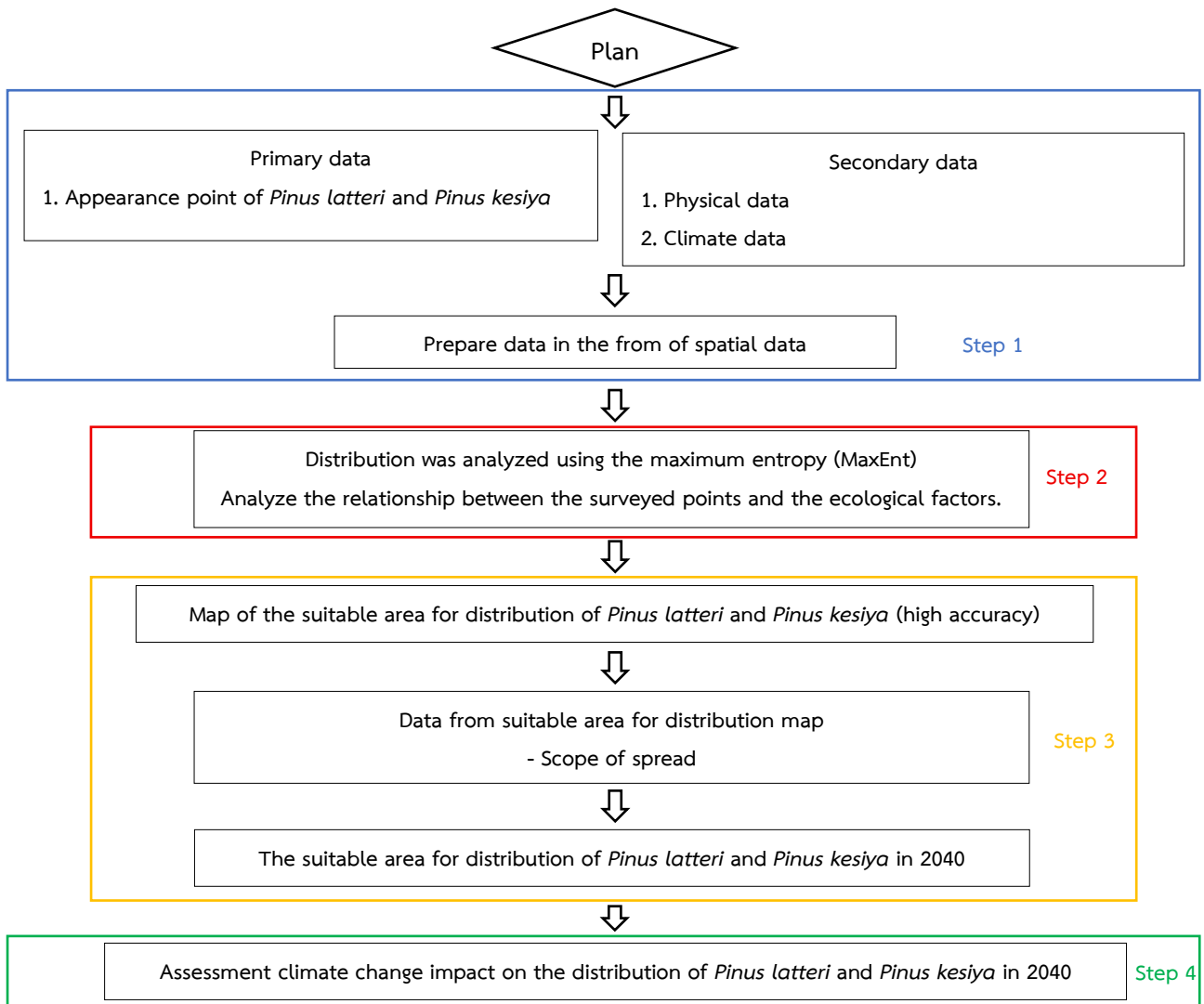


Figure 1 Outline of the procedures used for constructing the distribution map of Tenasserim pine (*Pinus latteri*) and Benguet pine (*Pinus kesiya*) in Thailand

**การรวบรวมข้อมูล**

ข้อมูลทุติยภูมิของพื้นที่ที่พบการปรากฏของสนสองใบและสนสามใบ ตำแหน่งการปรากฏของสนสองใบและสนสามใบจากข้อมูลของกลุ่มงานวิจัยพันธุศาสตร์ป่าไม้และ

พืชป่าหายาก สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้ และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่า และพันธุ์พืช ในปี พ.ศ. 2565 พบตำแหน่งการปรากฏของสนสองใบและสนสามใบจำนวน 82 จุด และ 134 จุดตามลำดับ รวมทั้งหมด 216 จุด ดัง Figure 2

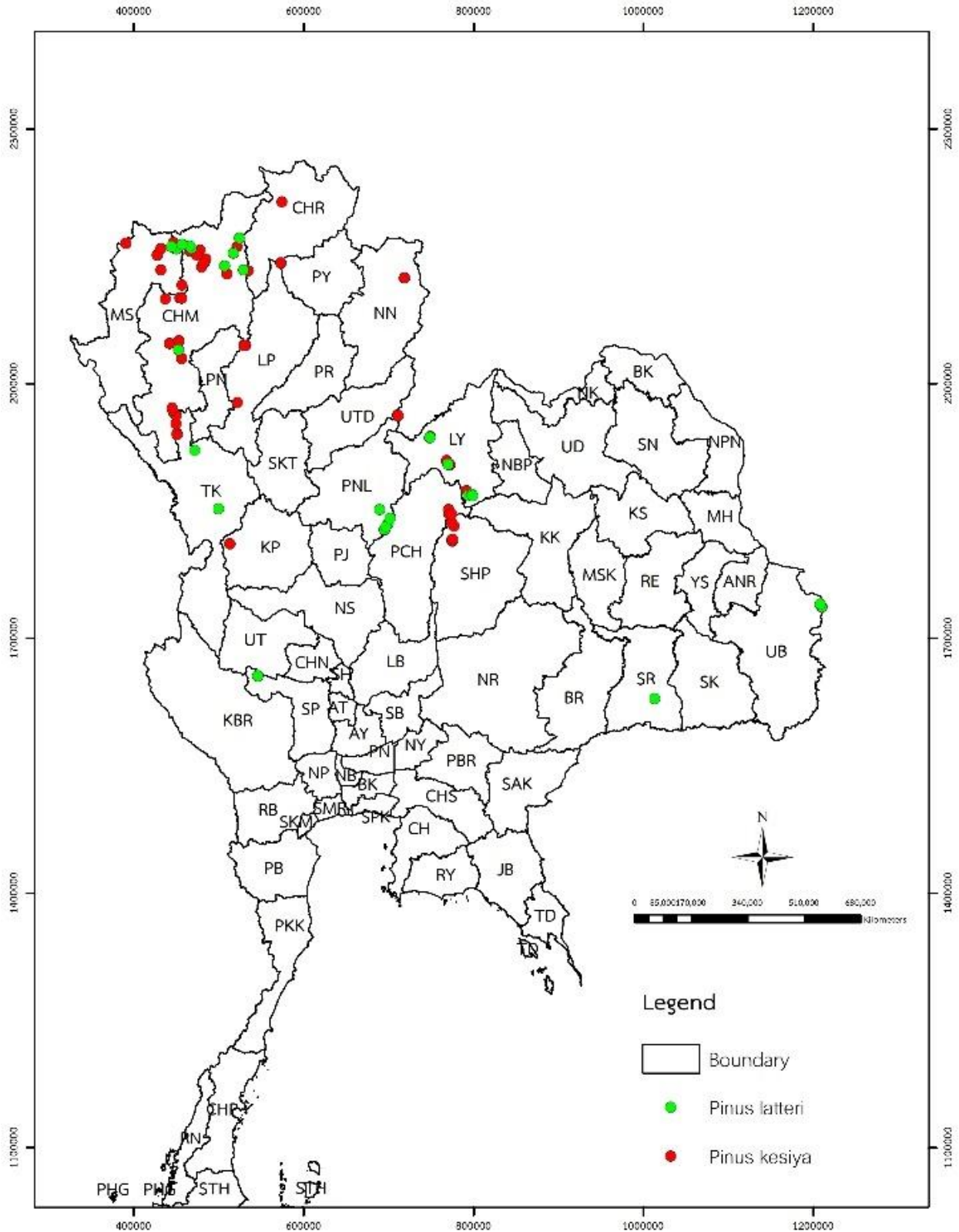


Figure 2 Locations of *Pinus latteri* and *Pinus kesiya* in Thailand

การศึกษาการรวบรวมข้อมูลปัจจัยทางด้านนิเวศต่าง ๆ แวดล้อม จำนวน 3 กลุ่มปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยทางด้านกายภาพ ปัจจัยทางด้านชีวภาพ และปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศ ดัง Table 1

**ปัจจัยทางด้านกายภาพ** ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง กลุ่มชุดดิน ความลาดชัน และทิศด้านลาดเนื่องจาก สนสองใบสามารถพบได้ในพื้นที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางได้ถึง 1,200 เมตร สามารถอยู่ได้ในดินที่มีลักษณะเป็นดินปนทราย หรือดินกรวดบนป่าดิบเขา (Thomas, 2019) สนสามใบสามารถพบได้ในพื้นที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางได้ถึง 1,600 เมตร สามารถเติบโตได้ในดินที่มีธาตุอาหารต่ำ และดินที่ไม่กักเก็บน้ำ (Heaney and Regalado, 1998)

**ปัจจัยทางด้านชีวภาพ** ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อทราบถึงการปรากฏของสนสองใบ และสนสามใบ

**ปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศ** โดยใช้ข้อมูลจาก CMIP6 ประกอบด้วยปัจจัยภูมิอากาศด้านชีวภาพ (bioclimatic variable) จำนวน 19 ปัจจัย ที่บอกลักษณะภูมิอากาศรายเดือน รายไตรมาส และรายปี โดยสร้างจากข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) และปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มิลลิเมตร) (Trisurat *et al.*, 2014) ซึ่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันและอนาคต ใช้แบบจำลอง CMCC-ESM2 เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่มีการศึกษาวิจัยในประเทศไทยและเป็นแบบจำลองที่ให้ค่า Outlier ต่ำ (Sittichok, 2022) ใช้ภาพเหตุการณ์ (scenarios) SSP1–2.6 และ SSP5–8.5 ในการศึกษาเนื่องจากภาพเหตุการณ์ SSP1–2.6 เป็นภาพฉายอนาคตในสถานการณ์ที่มีผลกระทบน้อย ส่วนภาพเหตุการณ์ SSP5–8.5 เป็นภาพฉายอนาคตในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด ทั้งนี้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันได้จากค่าเฉลี่ยปี ค.ศ. 1979–2000 และข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคตจากค่าเฉลี่ยปี ค.ศ. 2021–2040 (World Climate Research Programme, 2023) ดัง Table 1

### การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง Maximum Entropy (MaxEnt)

การแปลงข้อมูลปัจจัยแวดล้อมให้อยู่ในรูปแบบข้อมูล ASCII ที่มีขนาดจุดภาพเท่ากันทุกชั้นข้อมูล (Pomoi *et al.*, 2016) และทำการแบ่งจุดสำรวจของสนสองใบและสนสามใบ ออกเป็น 2 ส่วนโดยใช้โปรแกรมคำนวณทางสถิติสุ่มตัวอย่างข้อมูล (random sampling) ประกอบด้วย **ส่วนที่ 1** ข้อมูลการปรากฏ (presence) ของสนสองใบและสนสามใบร้อยละ 75 สำหรับนำไปวิเคราะห์ข้อมูล (training data) และสร้างแผนที่ความน่าจะเป็นในการกระจายของสนสองใบและสนสามใบ

และ**ส่วนที่ 2** ข้อมูลร้อยละ 25 สำหรับการนำมาใช้ทดสอบความถูกต้อง (testing) ของแผนที่ (Trisurat *et al.*, 2014) กำหนดการแสดงผลแบบ Logistic ส่วนค่าอื่น ๆ กำหนดตามค่า Default ของโปรแกรม MaxEnt software version 3.3.3k และดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล จำนวน 10 ครั้ง (replication) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการจำลองข้อมูล (Trisurat *et al.*, 2014) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของการปรากฏ (probability of presence) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ค่าความสำคัญของปัจจัยแวดล้อมต่อการกระจายของสนทั้งสองชนิด (contribution) และค่าความน่าเชื่อถือแบบจำลอง Area Under Curve (AUC) ของสมการ หากค่าของ AUC เข้าใกล้ 1 หมายถึงแบบจำลองจะมีความน่าเชื่อถือมาก (Phillips and Dudik, 2008)

การวิเคราะห์ทั้งหมด 2 ครั้ง เนื่องจากปัจจัยสภาพภูมิอากาศบางปัจจัยอาจส่งผลกระทบต่อกระจายของสนทั้งสองชนิดแตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งแรกใช้ข้อมูลปัจจัยสภาพภูมิอากาศทั้งหมด 19 ปัจจัย และทำการคัดปัจจัยแวดล้อมที่มีค่าความสำคัญ (percent contribution) มากกว่า 0.5 ของสนทั้งสองชนิด โดยค่าความสำคัญจากการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งแรกของสนสองใบ และสนสามใบ ดัง Table 2 เมื่อเรียบร้อยแล้วจะได้ค่า logistic threshold ซึ่งเป็นค่าจุดตัดการปรากฏ (cut-off value) จำนวน 11 ค่า ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ 4 ค่า ประกอบไปด้วย

1. Maximum Training Sensitivity Plus Specificity Logistic Threshold
2. Equal Training Sensitivity and Specificity Logistic Threshold
3. 1 0 Percentile Training Presence Logistic Threshold
4. Minimum Training Presence Logistic Threshold

เนื่องจากให้ค่าความถูกต้องสูง (Trisurat and Bhumpakphan, 2018) มาแบ่งชั้น ความน่าจะเป็นในการปรากฏ (presence) และไม่ปรากฏ (absence) ของสนสองใบและสนสามใบในแต่ละค่า โดยให้ค่าการปรากฏเท่ากับหนึ่งและไม่ปรากฏเท่ากับศูนย์ และทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง จากข้อมูลการปรากฏและไม่ปรากฏร้อยละ 25 ของแต่ละชนิดที่จัดเตรียมไว้ มาซ้อนทับกับแผนที่ ทั้ง 4 แผนที่ (overlay) แล้วเลือกแผนที่ที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดเป็นตัวแทนในการจัดทำแผนที่ จากนั้นจึงนำพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายในปัจจุบันและในปี ค.ศ. 2040 มาเปรียบเทียบเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของขนาดพื้นที่

**Table 1** Environmental factors used to determine the distribution of *Pinus latteri* and *Pinus kesiya*

| Environmental factors                   | Scale    | Sources   |
|---|----------|---|
| <b>1. Physical factor</b>               |          | Department of National Parks<br>Wildlife and Plant Conservation   |
| 1. Height above mean sea level (m.)     | 1:50,000 |   |
| 2. Soil series                          | 1:50,000 | Department of Land<br>Development   |
| 3. Slope (%)                            | 1:25,000 |   |
| 4. Aspect                               |          | Department of Land<br>Development   |
| <b>2. Biological factors</b>            |          |   |
| 1. Land use                             |          |   |
| <b>3. Climate factors</b>               |          | Climate Statistical Model<br>2000–2040<br>( <a href="http://www.worldclim.org/">http://www.worldclim.org/</a> ) |
| 1. Annual Mean Temperature              |          |   |
| 2. Mean Diurnal Range                   |          |   |
| 3. Isothermality                        |          |   |
| 4. Temperature Seasonality              |          |   |
| 5. Max Temperature of Warmest Month     |          |   |
| 6. Min Temperature of Coldest Month     |          |   |
| 7. Temperature Annual Range             |          |   |
| 8. Mean Temperature of Wettest Quarter  |          |   |
| 9. Mean Temperature of Driest Quarter   |          |   |
| 10. Mean Temperature of Warmest Quarter |          |   |
| 11. Mean Temperature of Coldest Quarter |          |   |
| 12. Annual Precipitation                |          |   |
| 13. Precipitation of Wettest Month      |          |   |
| 14. Precipitation of Driest Month       |          |   |
| 15. Precipitation Seasonality           |          |   |
| 16. Precipitation of Wettest Quarter    |          |   |
| 17. Precipitation of Driest Quarter     |          |   |
| 18. Precipitation of Warmest Quarter    |          |   |
| 19. Precipitation of Coldest Quarter    |          |   |

### ผลและวิจารณ์

#### แบบจำลองพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของ สนสองใบและสนสามใบในประเทศไทย

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม MaxEnt ครั้งแรก พบว่า ปัจจัยแวดล้อมที่มีค่าความสำคัญสูงสุด 3 ลำดับของสนสองใบ ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (เมตร) กลุ่มชุดดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งมีความสำคัญอยู่ที่ร้อยละ 29.0, 22.4 และ 19.5 ตามลำดับ ในขณะที่สนสามใบ ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (เมตร) กลุ่มชุดดิน และอุณหภูมิเฉลี่ยของไตรมาสที่มีฝนตกชุกที่สุด (°C) ซึ่งมีความสำคัญอยู่ที่ร้อยละ 36.4, 33.1 และ 10 ตามลำดับ ดัง Table 2 และผลจากการวิเคราะห์ครั้งที่สอง

หลังจากคัดเลือกปัจจัยแวดล้อมที่มีค่าความสำคัญมากกว่า 0.5 ของสนสองใบ พบว่าปัจจัยแวดล้อมที่ค่าความสำคัญสูงสุด ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (เมตร) กลุ่มชุดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งมีความสำคัญอยู่ที่ร้อยละ 30.8, 25.3 และ 16.8 ตามลำดับ ดัง Table 3 สอดคล้องกับที่ Thomas (2019) ได้ระบุไว้ว่าสนสองใบจะพบได้เฉพาะในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางได้ถึง 1,200 เมตร อยู่ในดินที่มีลักษณะเฉพาะ เป็นดินปนทราย หรือดินกรวดบนป่าดิบเขาที่ค่อนข้างแห้งแล้ง ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,500 มิลลิเมตร อีกทั้งปัจจัยปริมาณน้ำฝนของไตรมาสที่หนาวที่สุด (มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีค่าความสำคัญสูงถึงร้อยละ 10.6 ที่จะส่งผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Yordtong (2019) ที่พบว่า

อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ลดต่ำลงจะเป็นปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของไม้สนสองใบ ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการเติบโตของไม้สนสองใบเพิ่ม และในส่วนของสนสามใบ ได้แก่ กลุ่มชุดดินอุณหภูมิเฉลี่ยของไตรมาศที่มีฝนตกชุกที่สุด ( $^{\circ}\text{C}$ ) และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี ( $^{\circ}\text{C}$ ) ซึ่งมีค่าความสำคัญอยู่ที่ร้อยละ 37.4, 22.6

และ 13.2 ตามลำดับ ดัง Table 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจัยดังกล่าวสอดคล้องกับที่ Heaney and Regalado (1998) ได้ระบุไว้ว่าสนสามใบสามารถพบได้ในพื้นที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางได้ถึง 1,600 เมตร สามารถเติบโตได้ในดินที่มีธาตุอาหารต่ำ และดินที่ไม่กักเก็บน้ำ

**Table 2** Contribution (in terms of percentages) of various environmental factors to the current presence of the two pine species

| Environmental factors                   | <i>Pinus latteri</i> | <i>Pinus kesiya</i> |
|---|----------------------|---------------------|
| <b>1. Physical factor</b>               |                      |                     |
| 1. Height above mean sea level (m.)     | 29                   | 36.4                |
| 2. Soil series                          | 22.4                 | 33.1                |
| 3. Slope (%)                            | 2.1                  | 1.6                 |
| 4. Aspect                               | 1.6                  | 0.3                 |
| <b>2. Biological factors</b>            |                      |                     |
| 1. Landuse                              | 19.5                 | 1.1                 |
| <b>3. Climate factors</b>               |                      |                     |
| 1. Annual Mean Temperature              | 0.6                  | 4.1                 |
| 2. Mean Diurnal Range                   | 1.5                  | 1                   |
| 3. Isothermality                        | 0.1                  | 0.4                 |
| 4. Temperature Seasonality              | 0.8                  | 1.2                 |
| 5. Max Temperature of Warmest Month     | 0.3                  | 1.5                 |
| 6. Min Temperature of Coldest Month     | 1.3                  | 0.6                 |
| 7. Temperature Annual Range             | 0                    | 0.1                 |
| 8. Mean Temperature of Wettest Quarter  | 3.7                  | 10                  |
| 9. Mean Temperature of Driest Quarter   | 0.7                  | 1.1                 |
| 10. Mean Temperature of Warmest Quarter | 0.4                  | 1.8                 |
| 11. Mean Temperature of Coldest Quarter | 0.4                  | 2.5                 |
| 12. Annual Precipitation                | 0.1                  | 0.7                 |
| 13. Precipitation of Wettest Month      | 0.2                  | 0.3                 |
| 14. Precipitation of Driest Month       | 1.1                  | 0.3                 |
| 15. Precipitation Seasonality           | 0.3                  | 0                   |
| 16. Precipitation of Wettest Quarter    | 0.7                  | 1.7                 |
| 17. Precipitation of Driest Quarter     | 0.4                  | 0.1                 |
| 18. Precipitation of Warmest Quarter    | 2.4                  | 0                   |
| 19. Precipitation of Coldest Quarter    | 10.4                 | 0.1                 |

**Table 3** Contribution (in terms of percentages) of various environmental factors to the current presence of the two pine species using a second data analysis

| Environmental factors                  | Contribution (%) |
|--|------------------|
| <i>Pinus latteri</i>                   |                  |
| <b>1. Physical factor</b>              |                  |
| 1. Height above mean sea level (m.)    | 30.8             |
| 2. Soil series                         | 25.3             |
| 3. Slope (%)                           | 3.7              |
| 4. Aspect                              | 1.4              |
| <b>2. Biological factors</b>           |                  |
| 1. Landuse                             | 16.8             |
| <b>3. Climate factors</b>              |                  |
| 1. Annual Mean Temperature             | 1.1              |
| 2. Mean Diurnal Range                  | 1.6              |
| 3. Temperature Seasonality             | 0.8              |
| 4. Min Temperature of Coldest Month    | 0.6              |
| 5. Mean Temperature of Wettest Quarter | 2.9              |
| 6. Mean Temperature of Driest Quarter  | 0                |
| 7. Precipitation of Driest Month       | 1                |
| 8. Precipitation of Wettest Quarter    | 0.5              |
| 9. Precipitation of Warmest Quarter    | 2.8              |
| 10. Precipitation of Coldest Quarter   | 10.6             |
| <i>Pinus kesiya</i>                    |                  |
| <b>1. Physical factor</b>              |                  |
| 1. Height above mean sea level (m.)    | 9.5              |
| 2. Soil series                         | 37.4             |
| 3. Slope (%)                           | 1.6              |
| 4. Aspect                              | 0.8              |
| <b>2. Biological factors</b>           |                  |
| 1. Land use                            | 0.7              |
| <b>3. Climate factors</b>              |                  |
| 1. Annual Mean Temperature             | 13.2             |
| 2. Mean Diurnal Range                  | 1.5              |
| 3. Temperature Seasonality             | 2                |
| 4. Max Temperature of Warmest Month    | 1.1              |
| 5. Min Temperature of Coldest Month    | 2                |
| 6. Mean Temperature of Wettest Quarter | 22.6             |
| 7. Mean Temperature of Driest Quarter  | 1.2              |
| 8. Mean Temperature of Warmest Quarter | 1.2              |
| 9. Mean Temperature of Coldest Quarter | 2.4              |
| 10. Annual Precipitation               | 0.9              |
| 11. Precipitation of Wettest Quarter   | 2                |

แบบจำลองพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบและสนสามใบ ผลการศึกษาค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของสนทั้งสองชนิด พบว่า แบบจำลองการกระจายของสนสองใบและสนสามใบมีค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลองเท่ากับ 0.93 และ 0.97 ตามลำดับ หรือแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งหมายถึงปัจจัยทางด้านนิเวศมี

ความสัมพันธ์ต่อการกระจายของสนทั้งสองชนิด และเมื่อทำการทดสอบค่าความถูกต้องของแผนที่ซึ่งได้จากค่า Logistic Threshold จำนวน 4 ค่า โดยใช้ข้อมูลร้อยละ 25 พบว่าค่า Minimum Training Presence Logistic Threshold มีความเหมาะสมทั้งสนสองใบและสนสามใบ ดัง Table 4

**Table 4** Map accuracy percentage of *Pinus latteri* and *Pinus kesiya* Distribution in Thailand

| Species   | Cut-off value | Map accuracy percentage |
|---|---------------|-------------------------|
| <i>Pinus latteri</i> (AUC = 0.93)                                   |               |                         |
| 1. Maximum training sensitivity plus specificity logistic threshold | 0.2647        | 72.72                   |
| 2. Equal training sensitivity and specificity logistic threshold    | 0.2448        | 72.72                   |
| 3. 10 percentile training presence logistic threshold               | 0.3731        | 68.18                   |
| 4. <b>Minimum training presence logistic threshold</b>              | <b>0.1219</b> | <b>81.81 **</b>         |
| <i>Pinus kesiya</i> (AUC = 0.976)                                   |               |                         |
| 1. Maximum training sensitivity plus specificity logistic threshold | 0.2268        | 80                      |
| 2. Equal training sensitivity and specificity logistic threshold    | 0.1964        | 82.85                   |
| 3. 10 percentile training presence logistic threshold               | 0.2855        | 80                      |
| 4. <b>Minimum training presence logistic threshold</b>              | <b>0.0215</b> | <b>91.42 **</b>         |

### พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบและสนสามใบในประเทศไทย

จากข้อมูลจุดสำรวจที่พบการปรากฏของสนสองใบและสนสามใบ พบว่าแบบจำลองพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบ (*Pinus latteri*) ในปี ค.ศ. 2022 คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 72,198 ตารางกิโลเมตร หรือ 45,123,750 ไร่ ส่วนมากพบใน

พื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางบางจังหวัด (Figure 3) พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสามใบ (*Pinus kesiya*) คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 59,703 ตารางกิโลเมตร หรือ 37,314,375 ไร่ (Figure 4) ส่วนมากพบในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพื้นที่ป่าในประเทศไทยอ้างอิงมาจาก Royal Forest Department (2022)

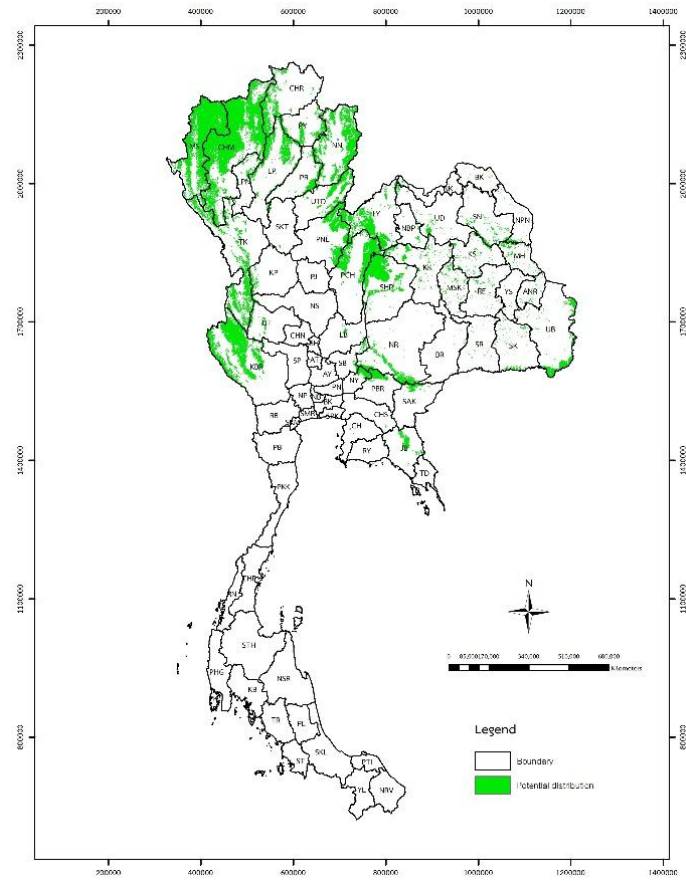


Figure 3 The modeled area suitable for the distribution of *Pinus latteri*

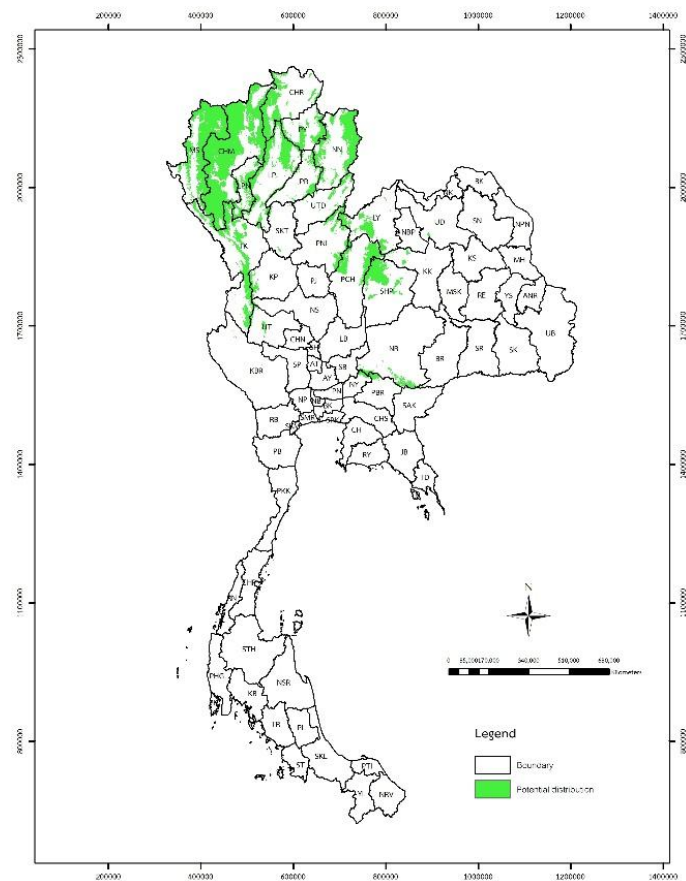
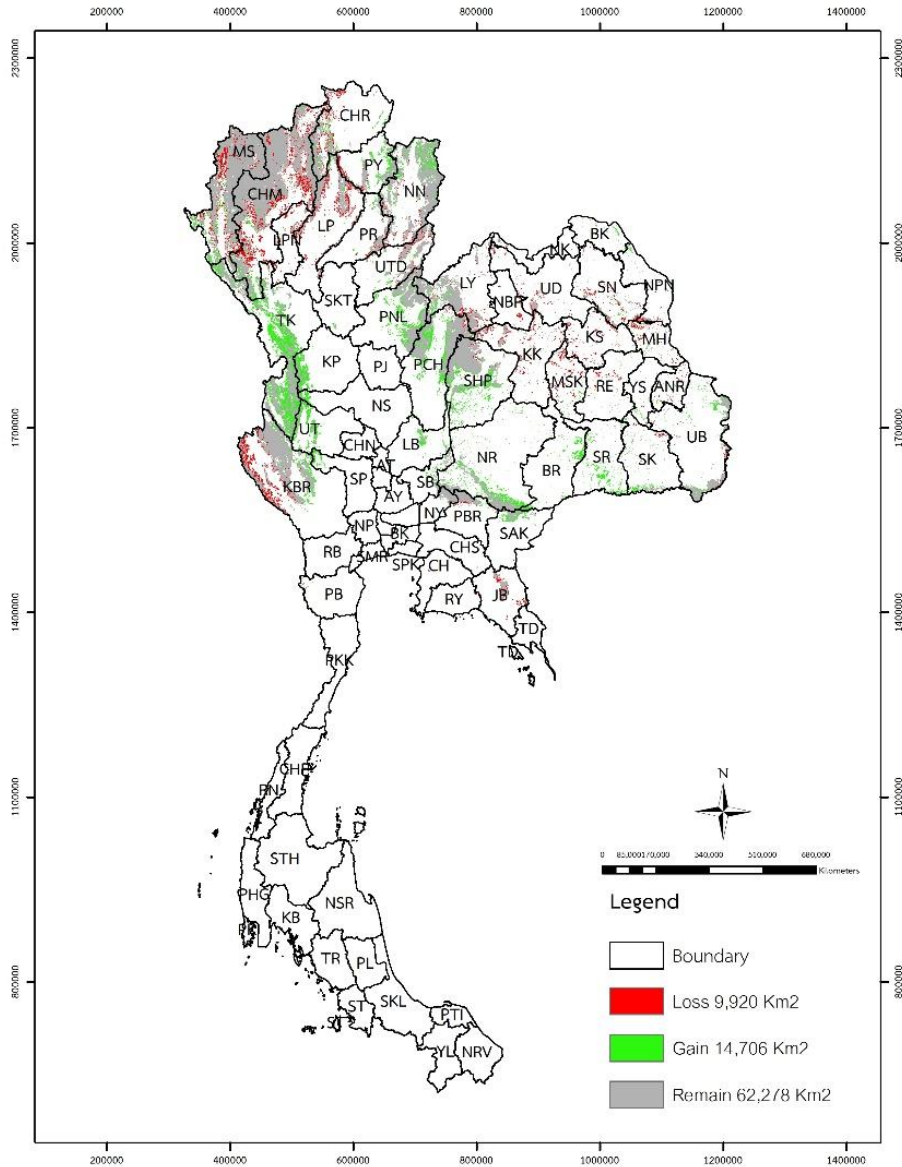


Figure 4 The modeled area suitable for the distribution of *Pinus kesiya*

**แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อพื้นที่การกระจายของสนสองใบและสนสามใบในประเทศไทย**

พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบตามแบบจำลองภูมิอากาศในอนาคต ภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียสในปี ค.ศ. 2040 (SSP1-2.6) พบว่าการกระจายของสนสองใบคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 76,984

ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายที่ไม่พบในปี ค.ศ. 2022 แต่เพิ่มขึ้นในอนาคตประมาณ 14,706 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 20.37 พื้นที่ที่พบในปี ค.ศ. 2022 แต่ลดลงในอนาคตประมาณ 9,920 ตารางกิโลเมตร หรือ 6,200,000 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 13.74 พื้นที่คงสภาพประมาณ 62,278 ตารางกิโลเมตร หรือ 38,923,750 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 86.26 ของพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบในปี ค.ศ. 2022



**Figure 5** Areas predicted to be suitable for *Pinus latteri* in a future climate change scenario in 2040 (SSP1-2.6)

พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบตามแบบจำลองภูมิอากาศในอนาคตภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 1.6 องศาเซลเซียสในปี ค.ศ. 2040 (SSP5-8.5) พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด

74,748 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายที่ไม่พบในปี ค.ศ. 2022 แต่เพิ่มขึ้นในอนาคตประมาณ 16,785 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 23.25 พื้นที่ที่พบในปี ค.ศ. 2022 แต่ลดลงในอนาคตประมาณ 14,235 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 19.72 พื้นที่คงสภาพประมาณ 57,963 ตาราง

กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 80.28 ของพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบในปี ค.ศ. 2022 ดัง Figure 6 จะเห็นได้ว่าภาพเหตุการณ์ SSP5–8.5 แตกต่างจากภาพเหตุการณ์ SSP1–2.6 ถึงร้อยละ 3.71 ซึ่งหนึ่งในปัจจัยแวดล้อมที่มีค่าความสำคัญ คือ อุณหภูมิ สอดคล้องกับการศึกษาของ Naumthong *et al.* (2021) ที่ได้แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่สูง

โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนและสิงหาคมนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การเจริญเติบโตของสนสองใบนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และยังส่งผลให้อัตราการตายของกล้าไม้สนสองใบเพิ่มมากขึ้น และมีโอกาสที่ประชากรจะลดจำนวนลงและสูญพันธุ์ไปจากพื้นที่

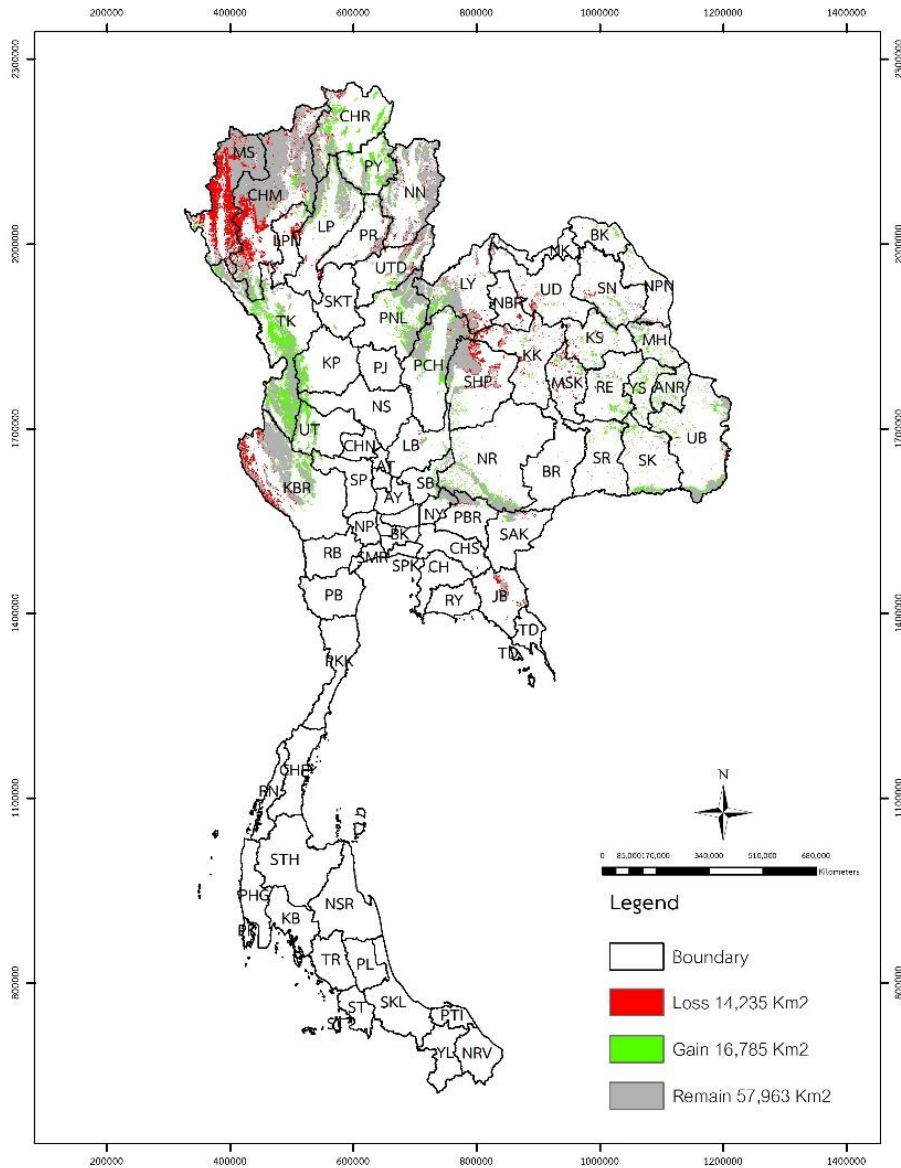


Figure 6 Areas predicted to be suitable for *Pinus latteri* in a future climate change scenario in 2040 (SSP5–8.5)

พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสามใบตามแบบจำลองภูมิอากาศในอนาคต ภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียสในปี ค.ศ. 2040 (SSP1–2.6) พบว่าการกระจายของสนสามใบคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 65,050 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายที่ไม่พบในปี

ค.ศ. 2022 แต่เพิ่มขึ้นในอนาคตประมาณ 9,088 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 15.22 พื้นที่ที่พบในปี ค.ศ. 2022 แต่ลดลงในอนาคตประมาณ 3,741 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 6.27 พื้นที่คงสภาพประมาณ 55,962 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 93.73 ของพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสามใบในปี ค.ศ. 2022

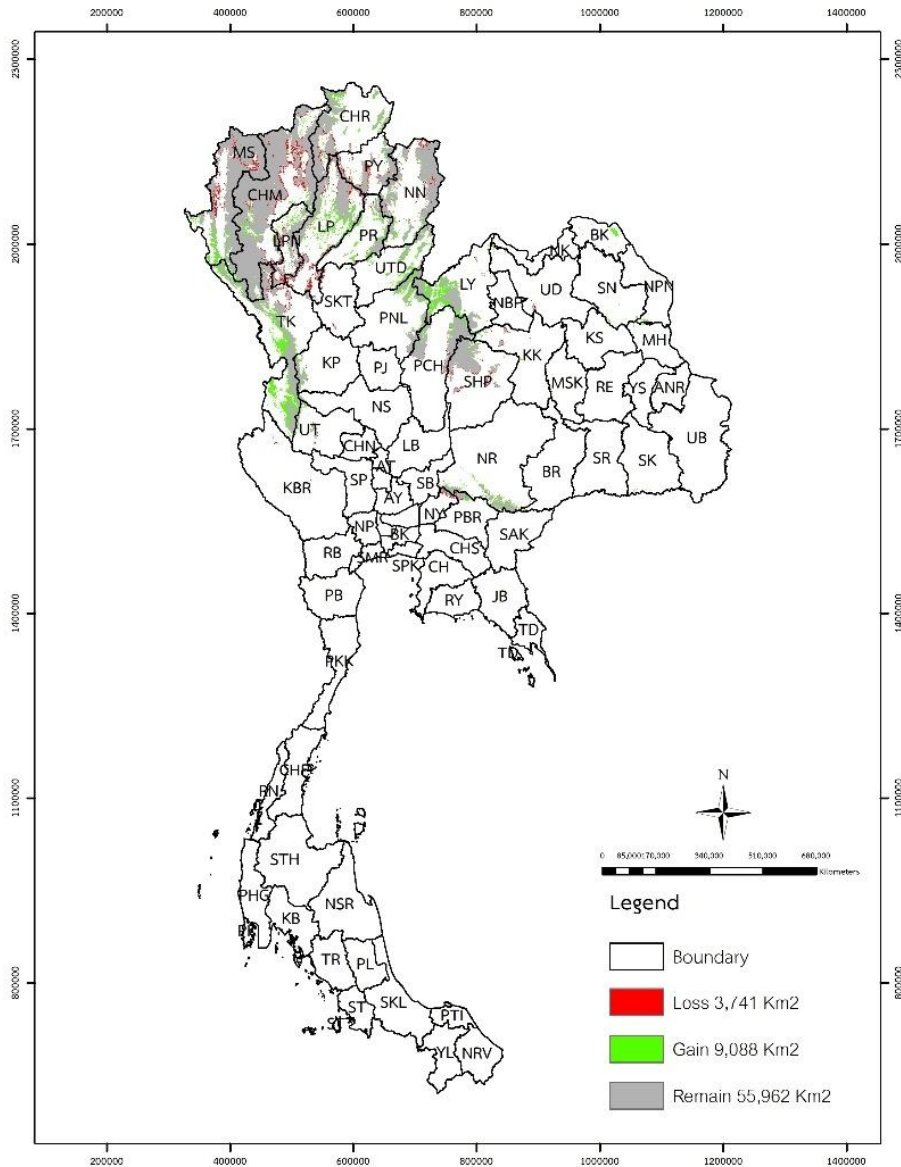


Figure 7 Areas predicted to be suitable for *Pinus latteri* in a future climate change scenario in 2040 (SSP1-2.6)

พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบตามแบบจำลองภูมิอากาศในอนาคต ภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิน 1.6 องศาเซลเซียสในปี ค.ศ. 2040 (SSP5-8.5) พบว่าการกระจายของสนสามใบคิดเป็นพื้นที่ดังนี้ พื้นที่ทั้งหมด 58,104 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่เพิ่มขึ้นในอนาคตประมาณ 5,790 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.70 พื้นที่ที่ลดลงในอนาคตประมาณ 7,389 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 12.38 พื้นที่คงสภาพประมาณ 52,314 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 87.62 ดัง Figure 6 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองภาพเหตุการณ์ SSP5-8.5 แตกต่างจากแบบจำลองภาพเหตุการณ์ SSP1-2.6 ถึงร้อยละ 10.71 ซึ่งหนึ่งในปัจจัยแวดล้อมที่มีค่าความสำคัญ

คือ อุณหภูมิ ที่เป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน สอดคล้องกับการศึกษาของ Doungsathaporn (1999) ที่ได้ระบุไว้ว่า ปริมาณน้ำฝนรายปีมีอิทธิพลต่อความกว้างของวงปีไม้สนสามใบในป่าธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง นั่นหมายความว่าส่งผลต่อการเติบโตของสนสามใบด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Costa e Silva (2007) พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่คาดการณ์ได้จาก CEM ไม่ส่งผลกระทบต่อประชากรของสนสามใบมากนัก เนื่องจากสนสามใบสามารถปรับตัวให้อยู่ในปัจจัยแวดล้อมที่หลากหลาย และด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สนสามใบสามารถทนทานต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตได้เป็นอย่างดี

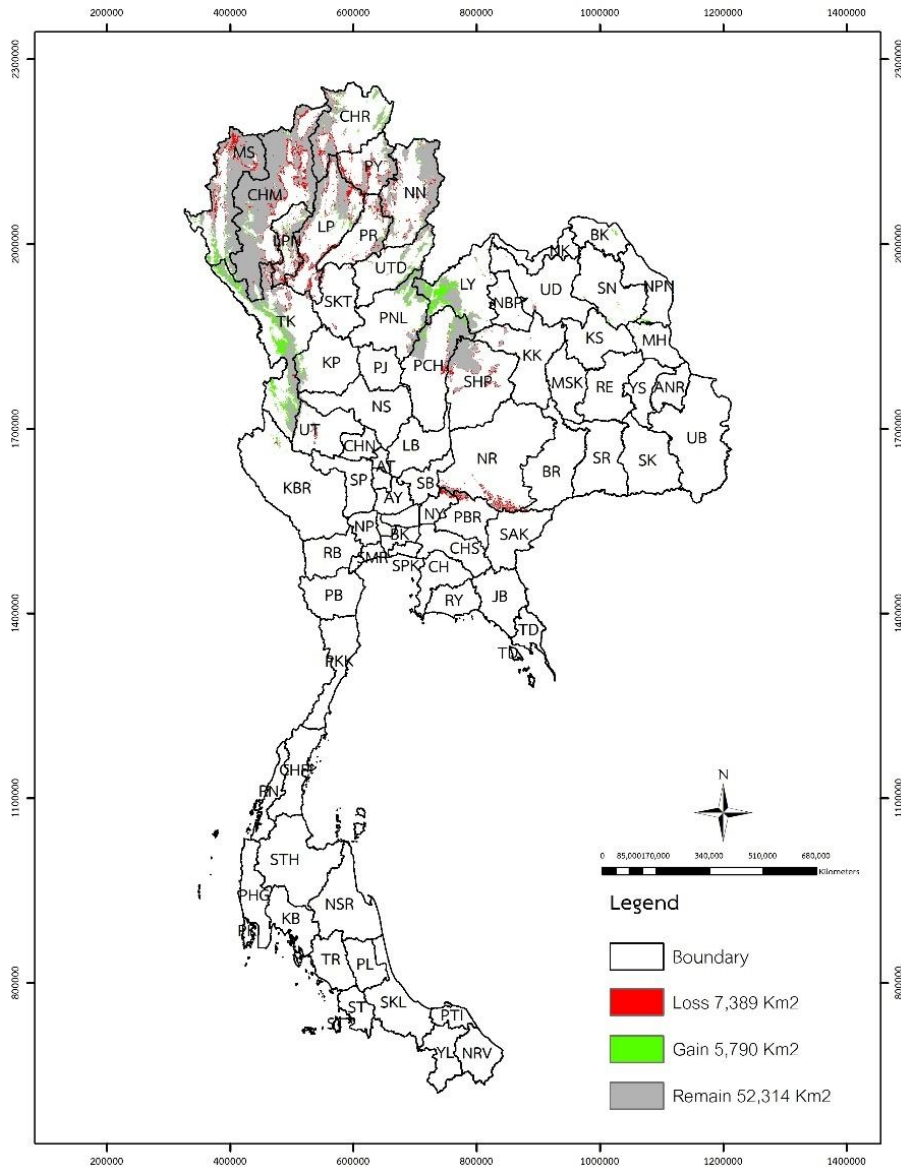


Figure 8 Areas predicted to be suitable for *Pinus latteri* in a future climate change scenario in 2040 (SSP5–8.5)

พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบและสนสามใบในปัจจุบันและในปี ค.ศ. 2040 เมื่อคำนึงถึงการคงอยู่ของพื้นที่ป่าในปัจจุบัน พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบ และสนสามใบในปัจจุบันมีพื้นที่ 62,529 และ 50,922 ตารางกิโลเมตรตามลำดับ และพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบ และสนสามใบในปี ค.ศ. 2040 ภายใต้แบบจำลองภาพเหตุการณ์ SSP 1–2.6 (Figure 7) มีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน ร้อยละ 5.18 และร้อยละ 6.38 ตามลำดับ ภายใต้แบบจำลองภาพเหตุการณ์ SSP 5–8.5 (Figure 8) สนสองใบจะมีพื้นที่การกระจายที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.28 ส่วนสนสามใบ จะมีพื้นที่การกระจายลดลง

ร้อยละ 5.01 จากปัจจุบัน และหากพิจารณาการกระจายของสนสองใบเฉพาะในพื้นที่อนุรักษ์ในประเทศไทยพบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบ และสนสามใบในปัจจุบันมีพื้นที่ 45,195 และ 34,233 ตารางกิโลเมตรตามลำดับ และพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบ และสนสามใบในปี ค.ศ. 2040 ภายใต้แบบจำลอง SSP 1–2.6 มีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน ร้อยละ 6.42 และร้อยละ 5.98 ตามลำดับ ภายใต้แบบจำลองภาพเหตุการณ์ SSP 5–8.5 สนสองใบจะมีพื้นที่การกระจายที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.95 ส่วนสนสามใบจะมีพื้นที่การกระจายลดลงร้อยละ 5.25 จากปัจจุบัน ดัง Table 6

Table 6 Predicted extent (in km<sup>2</sup>) of pine distributions under various climate change scenarios

| Modeling option                                    | <i>Pinus latteri</i> | <i>Pinus kesiya</i> |
|--|----------------------|---------------------|
| <b>Current</b>                                     |                      |                     |
| Potential distribution                             | 72,198               | 59,703              |
| Current distribution within remaining forest cover | 62,529               | 50,922              |
| Distribution within protected areas                | 45,195               | 34,233              |
| <b>2040 SSP1–2.6 pathway</b>                       |                      |                     |
| Potential distribution at current                  | 76,984               | 65,050              |
| Current distribution within remaining forest cover | 65,768               | 54,174              |
| Distribution within protected areas                | 48,098               | 36,283              |
| <b>2040 SSP5–8.5 pathway</b>                       |                      |                     |
| Potential distribution at current                  | 74,748               | 58,104              |
| Current distribution within remaining forest cover | 63,328               | 48,367              |
| Distribution within protected areas                | 47,438               | 32,433              |

### สรุปและข้อเสนอแนะ

พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบในประเทศไทย มีขนาดพื้นที่ 72,198 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 44.18 ของพื้นที่ป่าในประเทศไทย ส่วนมากพบในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง บางจังหวัด ในขณะที่สนสามใบ มีขนาดพื้นที่ 59,703 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 36.5 ของพื้นที่ป่าในประเทศไทย ส่วนมากพบในพื้นที่จังหวัดภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของสนสองใบและสนสามใบในพื้นที่อนุรักษ์ในประเทศไทย พบว่าในปี ค.ศ. 2022 มีพื้นที่ 45,195 และ 34,233 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ และพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายในปี ค.ศ. 2040 ภายใต้แบบจำลองภาพเหตุการณ์ SSP 1–2.6 มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 6.42 และร้อยละ 5.98 ตามลำดับ แต่ภายใต้แบบจำลองภาพเหตุการณ์ SSP 5–8.5 สนสองใบจะมีพื้นที่การกระจายที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.95 ในขณะที่สนสามใบ จะมีพื้นที่การกระจายลดลงถึงร้อยละ 5.25 ซึ่งข้อมูลดังกล่าว จะทำให้ทราบได้ว่า ในอนาคต หากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงและเลวร้ายมากขึ้น จะส่งผลให้พื้นที่การกระจายที่เหมาะสมของสนสองใบในพื้นที่อนุรักษ์ของประเทศไทยเพิ่มขึ้น ในขณะที่สนสามใบ จะมีพื้นที่การกระจายลดลง เป็นไปได้ว่าในอนาคต ไม้สนสามใบอาจจะหายไปจากหลาย ๆ พื้นที่ และอาจจะมีไม้ชนิดอื่นเข้ามาทดแทน ส่งผลให้ระบบนิเวศมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นหากต้องการรักษาไม้สนสามใบให้คงอยู่ในพื้นที่อนุรักษ์ของประเทศไทย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรวางแผนการจัดการ และส่งเสริมการปลูกไม้สนสามใบในพื้นที่ที่เหมาะสมให้มากขึ้น ทั้งนี้หากมีการจัดการด้านพื้นที่

การปลูกได้แม่นยำ จะส่งผลให้ อัตราการรอดตายของไม้สนสามใบที่นำไปปลูก สูงขึ้น และลดการหายไปจากพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น อาจจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปัจจัยทางด้านกายภาพ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง กลุ่มชุดดิน ความลาดชัน รวมไปถึงปัจจัยทางด้านชีวภาพอื่น ๆ ที่เหมาะสมต่อการเติบโต และการกระจายของสนสองใบและสนสามใบเพื่อจะได้นำไปวางแผนการจัดการที่ได้ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### REFERENCES

- Costa e Silva, J. 2007. **Evaluation of an International Series of *Pinus kesiya* Provenance Trials for Adaptive, Growth and Wood Quality Traits.** Forest & Landscape. Copenhagen, Denmark.
- Doungsathaporn, K. 1999. **Effects of Climatic Factors and Thinning on Growth of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon at Bo Luang Plantation, Amphoe Hot, Changwat Chiang Mai.** M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Forest Research and Development Office. 2008. **Conifers Improvement in Thailand.** Forest Management and Forest Products Research Office, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Heaney, L.R., Regalado, Jr.J.C. 1998. **Vanishing Treasures of the Philippine Rain Forest.** The Field Museum. Chicago, IL, USA.

- Marod, D., Kuintara, U. 2009. **Forest Ecology**. Aksorn Siam Limited Partnership, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Naumthong, M., Palakit, K., Duangsathaporn, K., Prasomsin, P., Lumyai, P. 2021. Climate effects on the growth of *Pinus latteri* and *Pinus kesiya* at the Intakin Silvicultural Research Station, Chiang Mai Province, Thailand. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, 22(5): 2512–2519.
- Para, R. 1997. **Natural Resources and Environment**. Aksarapipat, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Pepin, N.C., Arnone, E., Gobiet, A., Haslinger, K., Kotlarski, S., Notarnicola, C., Palazzi, E., Seibert, P., Serafin, S., Schöner, W., Terzago, S., Thornton, J.M., Vuille, M., Adler, C. 2022. Climate changes and their elevational patterns in the mountains of the world. **Reviews of Geophysics**, 60(1): e2020RG000730. doi: 10.1029/2020RG000730.
- Phillips, J.S., Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with maxent: New extension and a comprehensive evaluation. **Ecography**, 31: 756–769.
- Planisong, K., Trisurat, Y., Sookchaloem, D. 2019. Suitable habitat of large mammals at Phu Khieo Wildlife Sanctuary, Chaiyaphum province. In: **The 57<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference**. Kasetsart University, Bangkok, Thailand, pp. 907–916. (in Thai)
- Pomoi, N., Trisurat, Y., Sukchalerm D. 2016. Distribution and conservation status of water onion (*Crinum thaianum* J. Schulze) in Thailand. **Thai Journal of Forestry**, 35 (2): 11–20.
- Royal Forest Department. 2022. **Forest Area Data Preparation Project**. Royal Forest Department, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Sittichok, K. 2022. Future rainfall characteristics under AR6 climate change scenarios: case study of Pasak River Basin, Thailand. In: **Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Scientific Conference Engineering for Rural Development**. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia, pp. 70–79. (in Thai)
- Thomas, P. 2019. ***Pinus latteri* | Threatened Conifers of the World (en-GB)**. <https://threatenedconifers.rbge.org.uk/conifers/pinus-latteri>, 25 January 2023.
- Trisurat, Y., Shrestha, R. Kjelgren, R. 2011. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand. **Applied Geography**, 31(3): 1106–1114.
- Trisurat, Y., Kanchanasaka, B., Krefft, H. 2014. Assessing potential effects of land use and climate change on mammal distributions in Northern Thailand. **Wildlife Research**, 41(6): 522–536.
- Trisurat, Y., Bhumpakphan, N. 2018. Effects of land use and climate change on Siamese eld's deer (*Rucervus eldii siamensis*) distribution in the transboundary conservation area in Thailand, Cambodia, and Lao PDR. **Frontiers in Environmental Science**, 6. doi: 10.3389/fenvs.2018.00035.
- Trisurat, Y., Sutummawong, N., Roehrdanz, P., Chitechote, A. 2023. Climate change impacts on species composition and floristic regions in Thailand. **Diversity**, 15(10): 1087.
- World Climate Research Programme. 2023. **WCRP Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)**. <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>, 11 March 2023.
- Yordtong, K. 2019. **Effects of Climatic Factors on Growth of *Pinus latteri* Mason in Phu Kradueng National Park, Loei Province**. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 112p. (in Thai)