นิพนธ์ต้นฉบับ

การใช้แบบจำลองแมกซ์เซนประเมินศักยภาพถิ่นที่ขึ้นของไม้สัก (*Tectona grandis* Linn.f.) ในธรรมชาติพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ติณณ์ วงรินยอง[1] มณฑล นอแสงศรี[2] อิสรีย์ ฮาวปินใจ[3] กันตพงศ์ เครือมา[4] และ ต่อลาภ คำโย[*4]

รับต้นฉบับ: 6 กุมภาพันธ์ 2566 ฉบับแก้ไข: 21 มีนาคม 2566 รับลงพิมพ์: 28 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ

สักนับเป็นพรรณไม้มีค่าทางเศรษฐกิจที่มีถิ่นการกระจายตามธรรมชาติค่อนข้างจำกัด การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพถิ่นที่ขึ้นของไม้สักในธรรมชาติพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยการระบุปัจจัยแวดล้อมด้านชีวภูมิอากาศและลักษณะเชิงพื้นที่ ที่มีผลต่อการกระจายของไม้สักในธรรมชาติ โดยนำพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่สำรวจพบไม้สักที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางมากกว่า 700 เมตร จำนวน 20 จุดสำรวจ มาใช้ในการวิเคราะห์ถิ่นอาศัยที่เหมาะสมด้วยแบบจำลองแมกซ์เซน

ผลการศึกษาการทดสอบแบบจำลอง พบค่า พื้นที่ใต้โค้ง มีค่าเท่ากับ 0.917 มีความสามารถในการทำนายที่ดีเยี่ยม โดยปัจจัยแวดล้อมที่เป็นตัวกำหนดการกระจายของไม้สัก คือ ความลาดชัน ปริมาณน้ำฝนรายเดือนสูงสุดในช่วงฤดูแล้ง และปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยสูงสุด พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับไม้สักธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ส่วนใหญ่อยู่ระดับความเหมาะสมน้อยที่สุด ความเหมาะสมต่ำ ความเหมาะสมปานกลาง และความเหมาะสมสูง คิดเป็นร้อยละ 62.12, 19.80, 9.59 และ 8.49 ตามลำดับ สำหรับระดับความเหมาะสมสูงพบที่อำเภอปางมะผ้า อำเภอปาย อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน และอำเภอขุนยวม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดการปลูกฟื้นฟูไม้สักในพื้นที่เหมาะสมสูงตามธรรมชาติเพื่อเพิ่มเติมประชากรไม้สัก รวมไปจนถึงการวางแผนการป้องกันพื้นที่ที่มีไม้สักได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ: แบบจำลองแมกซ์เซน, ถิ่นอาศัย, ไม้สัก, จังหวัดแม่ฮ่องสอน

[1]สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่

[2]สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่

[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่

[4]สาขาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่

***ผู้รับผิดชอบบทความ**: Email: torlarp66@yahoo.com

วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 7(1): 111-124 (2566)

ORIGINAL ARTICLE

Using the Maximum Entropy Modeling to assess the habitat suitability of natural Teak (*Tectona grandis* Linn.f.) in Mae Hong Son Province

Tin Wongrinyong[1] Monthon Norsaengsri[2] Itsaree Howpinjai[3] Kunthaphong Krueama[4] and Torlarp Kamyo[*4]

Received: 6 February 2023 Revised: 21 March 2023 Accepted: 28 March 2023

Abstract

Teak (*Tectona grandis* Linn.f.) is the most valuable commercial woods which had low distributed in the nature. The objective of this research aimed to assess habitat suitability of natural Teak in Mae Hong Son province based on some bioclimate and physical environmental factors related to its distribution higher than 700 m asl. The GPS coordinates of the 20 sites where Teak is presented were used for suitability analysis based on Maximum Entropy Modeling (MaxEnt).

The results showed that the area under the curve (AUC) of natural Teak was 0.917. Indicating MaxEnt result is high effective for predicting the suitable habitat. Environmental factors that determined the natural Teak distribution were slope, highest monthly precipitation in the driest month, and the highest annual mean precipitation. As a result, the suitability habitat of Teak can be divided as Least suitable, Low suitable, Medium suitable and High suitable at 62.12, 19.80, 9.59 and 8.49 %, respectively. High habitat suitability was found in Pang Mapha District, Pai District, Mueang District and Khun Yuam District.This finding can be applied in the Teak restoration management plan in these areas to increase the teak population in nature, in addition, the protected plan also can be promoted with high capacity management.

Keyword: Maximum Entropy Modeling, Habitat Suitability, Teak (*Tectona grandis* Linn.f.), Mae Hong Son province

[1]Department of Forest Management, Maejo University Phrae Campus. Phrae 54140

[2]Department of Applied Biology, Maejo University Phrae Campus. Phrae 54140

[3]Department of Forest Industry Technology, Maejo University Phrae Campus. Phrae 54140

[4]Department of Agroforestry, Maejo University Phrae Campus. Phrae 54140

***Corresponding author**: E-mail: torlarp66@yahoo.com

คำนำ

ไม้สักถือได้ว่าเป็นไม้ที่เป็นสัญลักษณ์ของประเทศไทยที่มีการนำมาใช้เป็นสินค้าออกอันดับต้น ๆ ของประเทศและในอดีตมีการทำไม้สักเป็นอันดับต้น ๆ ของโลกก็ว่าได้ (Moonsan, 1992) ซึ่งโดยปกติไม้สักสามารถเติบโตได้ดีในพื้นที่ป่าผสมผลัดใบซึ่งเป็นพื้นที่ป่าส่วนใหญ่ในภาคเหนือแต่ก็ไม่ได้มีรายงานของสักที่ขึ้นในพื้นที่สูงเกินกว่า 750 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง แต่จากการสำรวจสวนป่าสักนวมินทรราชินีในจังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่า เป็นไม้สักที่เป็นแหล่งไม้สักที่สำคัญแล้วยังพบไม้สักที่สามารถขึ้นได้ในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางถึง 1,236 เมตร จากที่เคยมีการบันทึกไว้ว่าไม้สักในธรรมชาติจะกระจายพันธุ์อยู่ไม่เกินระดับความสูง 750 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (Royal Forest Department, 2013) แต่ในปัจจุบันได้มีการบุกรุกตัดไม้ทำลายป่าเป็นจำนวนมากเพื่อทำธุรกิจโดยไม่คำนึงถึงความยั่งยืนในการใช้ไม้สัก ทำให้ไม้ที่มีอยู่ในปัจจุบันมีน้อยและขนาดไม้ยังไม่ได้ขนาดที่ต้องการ ไม่สามารถตอบสนองความต้องการการใช้ไม้สักได้ และการปลูกไม้สักในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมทำให้ไม้สักที่ปลูกไม่สามารถเจริญเติบโตได้เต็มประสิทธิภาพ ทำให้การศึกษาการกระจายของไม้สักในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีความจำเป็นเพื่อที่จะได้ทำการส่งเสริมการปลูกไม้สักในพื้นที่สูงได้ตามศักยภาพ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นคณะผู้วิจัยได้คำนึงถึงปัญหาเรื่องการใช้พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกไม้สัก ซึ่งเป็นไม้เศรษฐกิจที่สำคัญ รวมทั้งไม้สักที่ทำการวิจัยครั้งนี้เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ และเป็นไม้ในป่าผสมผลัดใบซึ่งพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีสภาพภูมิประเทศเป็นป่าผสมผลัดใบในพื้นที่สูงและเป็นพื้นที่ที่มีไม้สักคุณภาพดีขึ้นอยู่ได้ตามธรรมชาติแล้ว การใช้โปรแกรม Maximum Entropy Modeling (Maxent) สามารถที่จะศึกษาพื้นที่ที่เหมาะสมของไม้สัก จะช่วยให้ทราบได้ถึงการกระจายของพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการอนุรักษ์ไม้สักในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งต่อประชาชน ในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนและจังหวัดใกล้เคียงที่จะได้ทราบถึงการกระจายพื้นที่เหมาะสมของไม้สักในพื้นที่สูง และสามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทางกายภาพ กับการปรากฏของไม้สักในพื้นที่สูงในธรรมชาติ ด้วยโปรแกรม Maxent จำแนกศักยภาพความเหมาะสม ของการปรากฏของไม้สักตามธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อที่จะส่งเสริมการปลูกไม้สักในพื้นที่สูงได้อย่างยั่งยืนในอนาคตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา

โครงการอนุรักษ์แหล่งพันธุกรรมไม้สักอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ฯ สำรวจป่าเบญจพรรณโซนป่าสักนวมินทรราชินีและจับพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องมือ Garmin GPS (Jaryan *et al*., 2013) ที่พบไม้สักธรรมชาติขึ้นกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้าง ในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าแม่ปายฝั่งซ้าย และไม้สักธรรมชาติที่พบขึ้นอยู่ตลอดแนวสองฝั่งของ

ลำน้ำของ และฝั่งขวาของลำน้ำปาย พื้นที่สำรวจประมาณ 497.20 ตารางกิโลเมตร (Land Development Department, 2019) และพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนประมาณ 12,780.58 ตารางกิโลเมตร

2. การสร้างแบบจำลอง

นำพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่สำรวจพบไม้สักโซนป่าสักนวมินทรราชินี จำนวน 20 จุดสำรวจ บันทึกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ "CSV" สำหรับใช้เป็นไฟล์นำเข้าสำหรับโปรแกรม MaxEnt Version 3.4.1 เพื่อสร้างแบบจำลอง ร่วมกับข้อมูลปัจจัยแวดล้อม โดยข้อมูลสำหรับพารามิเตอร์ทางชีวภูมิอากาศ จำนวน 19 รายการ จากข้อมูล Worldclim (http://www.worldclim.org) ตัวแปรทางชีวภาพเหล่านี้ แสดงถึงแนวโน้มและฤดูกาลประจำปีในปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ตลอดจนปัจจัยที่จำกัดแสดงช่วงสูงที่สุดหรือต่ำที่สุด (Table 1) ข้อมูลชีวภูมิอากาศสามารถใช้ได้อย่างอิสระและมีความละเอียด 30 อาร์คนาที ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้ในการสร้างแบบจำลองได้ (Hijmans *et al.*, 2005) ก่อนสร้างแบบจำลองมีการตรวจสอบความสัมพันธ์ด้วยการทำ Correlation (Dormann *et al*., 2007) โดยใช้โปรแกรม R Version 3.4.1 ตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ >0.90 ถูกเลือกเป็นปัจจัยชีวภูมิอากาศ จำนวน 15 รายการ (Table 2) พารามิเตอร์ทางนิเวศวิทยาที่สำคัญอีกอย่างคือ ลักษณะเชิงพื้นที่ที่เป็นปัจจัยแวดล้อมจำกัด เช่น ทิศด้านลาด ความลาดชัน และระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล (Kamyo and Asanok, 2020) ถูกเลือกเป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับแบบจำลอง จำนวน 3 รายการ เป็นข้อมูลรูปแบบ Digital Elevation Model (DEM) จากข้อมูล Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (http://www.srtm.usgs.gov/index.php) โดยข้อมูลปัจจัยชีวภูมิอากาศและลักษณะเชิงพื้นที่ถูกสร้างอยู่ในรูปแบบ "GRID" ข้อมูลเชิงพื้นที่ (raster data) มีขนาดกริด เท่ากับ 1 × 1 กิโลเมตร จากนั้นจะถูกแปลงเป็นรูปแบบ "ASCII" โดยใช้โปรแกรม ARCGIS ESRI Version 10.6 (Scheldeman and Zonneveld, 2010) เพื่อสร้างข้อมูลที่เข้ากันวิเคราะห์ร่วมกันได้กับโปรแกรม MaxEnt

3. การวิเคราะห์แบบจำลอง

ใช้โปรแกรม MaxEnt เพื่อสร้างแบบจำลองทางระบบนิเวศ สามารถประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ค่า Omission-commission rate (Phillips and Dudk, 2008) ซึ่งค่า Omission-commission rate ถูกคำนวณจากทั้งชุดข้อมูลภาคสนามและการทดสอบ (Anderson *et al*., 2003)

การวิเคราะห์เส้นโค้งลักษณะการทำงานของตัวรับสัญญาณที่ไม่ขึ้นกับเกณฑ์ประสิทธิภาพของ ROC (Receiver operating characteristic curve) แสดงโดยพื้นที่ใต้เส้นโค้ง AUC (Area under the curve) เมื่อเส้นโค้ง ROC คือ พล็อตของการตอบสนองของแบบจำลอง (เศษส่วนที่เป็นบวกจริง) กล่าวคือ ไม่มีข้อผิดพลาดในการละเว้นและสัดส่วนของการขาดที่คาดการณ์ไว้ไม่ถูกต้อง (1-ความจำเพาะ) หรือเศษส่วนที่เป็นเท็จ เช่น ข้อผิดพลาดค่าคอมมิชชัน ความจำเพาะถูกกำหนดโดยใช้พื้นที่

คาดการณ์ แทนที่จะเป็นค่าคอมมิชชันที่แท้จริง ค่า AUC เป็น 0.50 บ่งชี้ว่า แบบจำลองนั้นใกล้เคียงกับการสุ่มและเป็นตัวทำนายที่ไม่ดี ในขณะที่ค่า 1 แสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลองที่ดีที่สุด (Swets, 1988) ผลลัพธ์ของแบบจำลองควรได้รับการประเมินอย่างเข้มงวดสำหรับการตัดสินใจเลือก Suitability โดยใช้พื้นที่ใต้เส้นโค้ง AUC ซึ่งค่าแบบจำลองที่ดีจะมีค่าเข้าใกล้ 1 โดยสร้างตัวแปรทำนายแต่ละตัวด้วยวิธี Jacknife เพื่อเน้นอิทธิพลสัมพัทธ์ของตัวแปรแต่ละตัว (Fielding and Bell., 2007; Khanum *et al.*, 2013; Swanti *et al.*, 2018)

Table 1 The 19 bioclimatic variables for used in MaxEnt modeling.

Variable code	Parameter	Unit
BIO1*	Mean annual temperature	^{o}C
BIO2	Mean diurnal range (the mean monthly difference between maximum and minimum temperature)	^{o}C
BIO3	Isothermality ((BIO2/BIO7) × 100)	^{o}C
BIO4	Temperature seasonality (standard deviation × 100)	^{o}C
BIO5*	Maximum temperature in the warmest month	^{o}C
BIO6*	Minimum temperature in the coldest month	^{o}C
BIO7	Annual temperature range (BIO5-BIO6)	^{o}C
BIO8*	Mean temperature of the wettest quarter	^{o}C
BIO9*	Mean temperature of the driest quarter	^{o}C
BIO10*	Mean temperature of the warmest quarter	^{o}C
BIO11*	Mean temperature of the coldest quarter	^{o}C
BIO12*	Annual precipitation	mm
BIO13*	Precipitation in the wettest month	mm
BIO14*	Precipitation in the driest month	mm
BIO15*	Precipitation seasonality (coefficient of variation)	mm
BIO16*	Precipitation in the wettest quarter	mm
BIO17*	Precipitation in the driest quarter	mm
BIO18*	Precipitation in the warmest quarter	mm
BIO19*	Precipitation in the coldest quarter	mm

Asterisks (*) indicate variables used as model input.

Table 2 Correlations between bioclimatic variables.

	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19
BIO1	1	-0.55	NA	0.75	1	1	-0.27	0.99*	1	1	1	0.52	0.83	-0.92	0.93*	0.70	-0.90	0.78	-0.90
BIO2		1	NA	-0.21	-0.52	-0.55	0.74	-0.53	-0.55	-0.52	-0.54	-0.11	-0.33	0.34	-0.38	-0.22	0.28	-0.30	0.50
BIO3			1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BIO4				1	0.75	0.74	0.09	0.75	0.74	0.76	0.74	0.49	0.68	-0.72	0.66	0.6	-0.71	0.65	-0.50
BIO5					1	1	-0.25	1	1	1	1	0.53	0.84	-0.93	0.94*	0.71	-0.90	0.79	-0.89
BIO6						1	-0.30	1	1	1	1	0.54	0.84	-0.92	0.94*	0.72	-0.90	0.79	-0.90
BIO7							1	-0.27	-0.27	-0.23	-0.26	-0.28	-0.30	0.20	-0.28	-0.28	0.10	-0.32	0.36
BIO8								1	0.99*	0.99*	0.99*	0.59	0.88	-0.91	0.94*	0.76	-0.88	0.83	-0.90
BIO9									1	1	1	0.51	0.83	-0.93	0.93*	0.7	-0.91	0.77	-0.90
BIO10										1	1	0.53	0.83	-0.92	0.94*	0.7	-0.90	0.78	-0.89
BIO11											1	0.52	0.83	-0.93	0.94*	0.71	-0.91	0.78	-0.90
BIO12												1	0.90*	-0.55	0.62	0.95*	-0.43	0.94*	-0.48
BIO13													1	-0.82	0.87	0.97*	-0.74	0.99*	-0.78
BIO14														1	-0.92	-0.75	0.98*	-0.77	0.90*
BIO15															1	0.78	-0.90	0.82	-0.90
BIO16																1	-0.65	0.98*	-0.70
BIO17																	1	-0.67	0.86
BIO18																		1	-0.71
BIO19																			1

ในการศึกษานี้ได้พิจารณาประสิทธิภาพของโมเดล โดยกำหนดค่าร้อยละที่ใช้ทดสอบโดยการสุ่ม (Random test percentage) ที่ร้อยละ 15 ส่วนค่าอื่น ๆ กำหนดตามค่า default ของโปรแกรม นอกจากนี้ใช้ Omission-commission rate ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ ซึ่งพิจารณาจากการพื้นที่คาดการณ์ (Phillips and Dudk, 2008) ความเหมาะสมถิ่นที่อยู่ของไม้สักธรรมชาติจังหวัดแม่ฮ่องสอนคาดการณ์ไว้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท (IPCC, 2007) คือ 1) ความเหมาะสมน้อยที่สุด (0-0.2) 2) ความเหมาะสมต่ำ (>0.2-0.4) 3) ความเหมาะสมปานกลาง (>0.4-0.6) และ 4) ความเหมาะสมสูง (>0.6-1) การใช้เกณฑ์โลจิสติกส์ ทดสอบแบบเปอร์เซ็นไทล์ที่ 10 (Kamyo and Asanok, 2020) เกณฑ์นี้ใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบทั้งหมดที่ดำเนินการ เพื่อจัดประเภทผลลัพธ์แบบจำลองเฉลี่ยใหม่ โดยให้คะแนนความเหมาะสมของถิ่นที่อยู่สิ่งมีชีวิตในระดับ 0 (พื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่ำสุด) ถึง 1 (พื้นที่ที่มีความเหมาะสมสูงสุด) เพื่อสร้างการกระจายเชิงพื้นที่ของไม้สักในโปรแกรม ARCGIS เพื่อให้ตรงกับค่าขีดจำกัดในโปรแกรม ARCGIS แสดงออกมาเป็นฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับข้อมูลเขตการปกครองของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

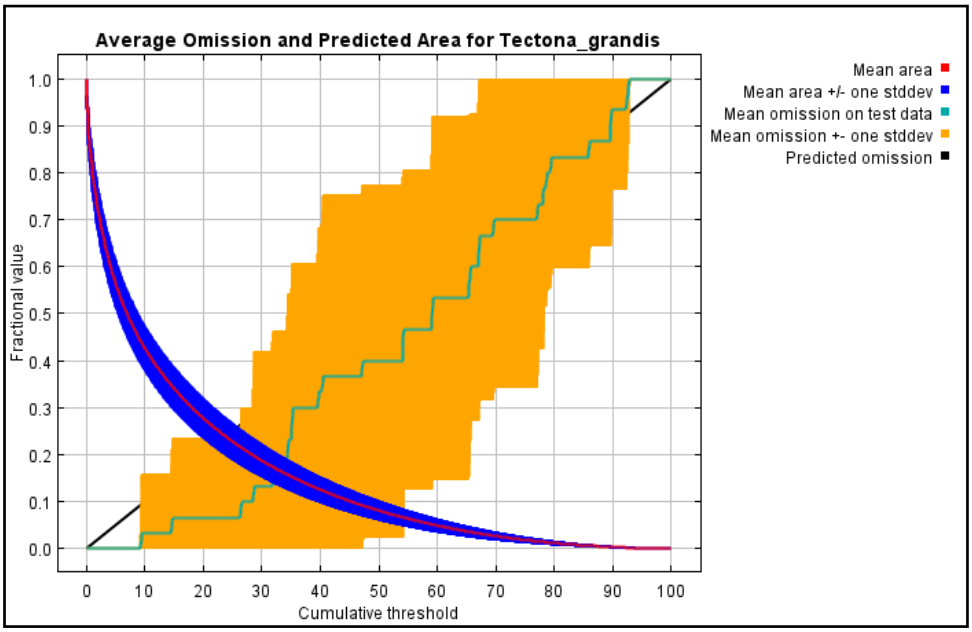
ผลและวิจารณ์

1. ประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ประสิทธิภาพแบบจำลองทางระบบนิเวศสามารถประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ค่า Omission-commission rate (Figure 1A) โดยแสดงเส้นสีแดง คือ พื้นที่เฉลี่ย เส้นสีดำ คือ อัตราการละเว้นที่คาดการณ์ไว้ และเส้นสีฟ้าอ่อน คือ Omission-commission rate ของตัวอย่างโมเดล (Figure 1A) สำหรับการวิเคราะห์เส้นโค้งลักษณะการทำงานของตัวรับสัญญาณที่ไม่ขึ้นกับเกณฑ์ประสิทธิภาพของ ROC แสดงโดยพื้นที่ใต้เส้นโค้ง AUC (Figure 1B) เมื่อเส้นโค้ง ROC คือพล็อตของการตอบสนองของแบบจำลอง (เศษส่วนที่เป็นบวกจริง) กล่าวคือ ไม่มีข้อผิดพลาดในการละเว้นและสัดส่วนของการขาดที่คาดการณ์ไว้ไม่ถูกต้อง (1-ความจำเพาะ) หรือเศษส่วนที่เป็นเท็จ เช่น ข้อผิดพลาดค่าคอมมิชชัน ความจำเพาะถูกกำหนดโดยใช้พื้นที่คาดการณ์ แทนที่จะเป็นค่าคอมมิชชันที่แท้จริง ค่า AUC เป็น 0.50 บ่งชี้ว่า แบบจำลองนั้นใกล้เคียงกับการสุ่มและเป็นตัวทำนายที่ไม่ดี ในขณะที่ค่า 1 แสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลองที่ดีที่สุด ผลลัพธ์ของแบบจำลองควรได้รับการประเมินอย่างเข้มงวด เนื่องจากนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตนั้น ครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างกว่าช่วงทางภูมิศาสตร์ของสิ่งมีชีวิตและไม่ใช่พื้นที่ที่เหมาะสมทั้งหมดที่อาศัยอยู่ ดังนั้นแนะนำให้ใช้จำนวนข้อมูลสูงสุดที่มีอยู่สำหรับการกระจายและตัวแปรที่เชื่อมโยงโดยตรงกับการกระจายพันธุ์ในบริบทนี้มีการสำรวจพื้นที่สำหรับการปรากฏของไม้สักธรรมชาติในพื้นที่

เมื่อค่า AUC < 0.5 บ่งชี้ว่าแบบจำลองใกล้เคียงกับการสุ่มและมีความสามารถในการทำนายไม่ดี ในขณะที่ค่า AUC 1 หมายถึง การทำนายที่สมบูรณ์แบบพบค่า AUC ของไม้สักธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีค่าเท่ากับ 0.917 สำหรับชุดข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจ ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการทำนายที่ดีเยี่ยม (Figure 1B)

(A)



(B)

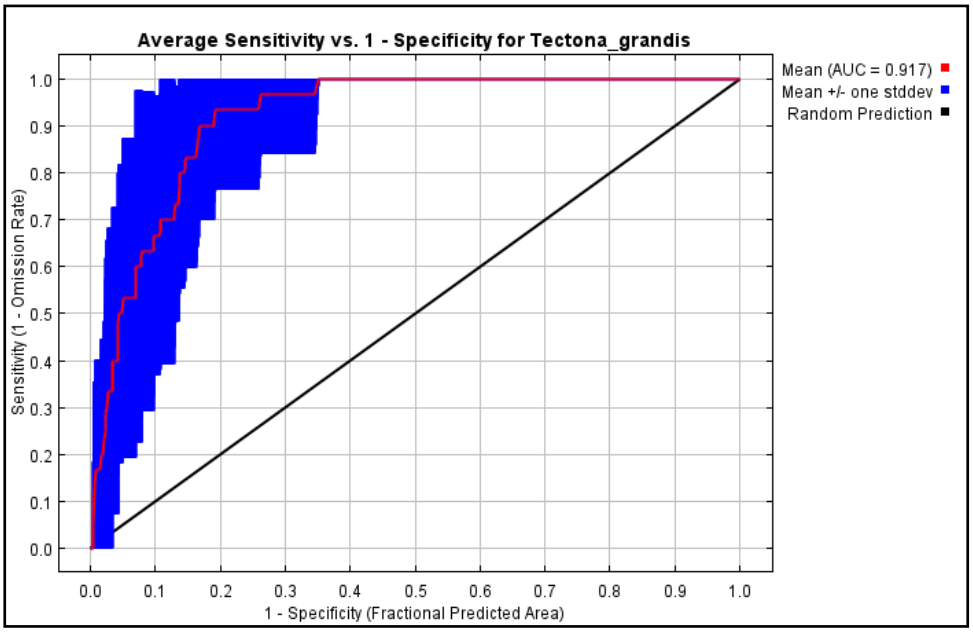


Figure 1 (A) Omission rates versus predicted area (B) Results of area under the receiver operating characteristics curve (ROC - AUC) analyses for a MaxEnt model of habitat suitability for natural Teak (*Tectona grandis* Linn.f.) in Mae Hong Son province

2. ความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อม

ความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อมปัจจัยชีวภูมิอากาศและลักษณะเชิงพื้นที่ แสดงเป็นแบบจำลองแผนภาพดัง Figure 2 โดยตัวแปรที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญมากจากแบบจำลองอยู่ที่ร้อยละ 20 คือปัจจัยความลาดชัน ปริมาณน้ำฝนรายเดือนสูงสุดในช่วงฤดูแล้ง และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุด ปัจจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความลาดชันและปริมาณน้ำฝนมีบทบาทสำคัญในการกระจายและการแพร่กระจายของไม้สัก

ธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยเฉพาะสภาพไม้สักที่สามารถขึ้นได้ในพื้นที่สูงกว่าจากระดับน้ำทะเลปานกลางถึง 1,236 เมตร โดยแตกต่างจากไม้สักธรรมชาติพื้นที่อุทยานแห่งชาติแม่ยม จังหวัดแพร่ (Kamyo *et al*., 2021) ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางน้อยกว่า 700 เมตร พบสภาพการกระจายที่มีความลาดชันและปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย

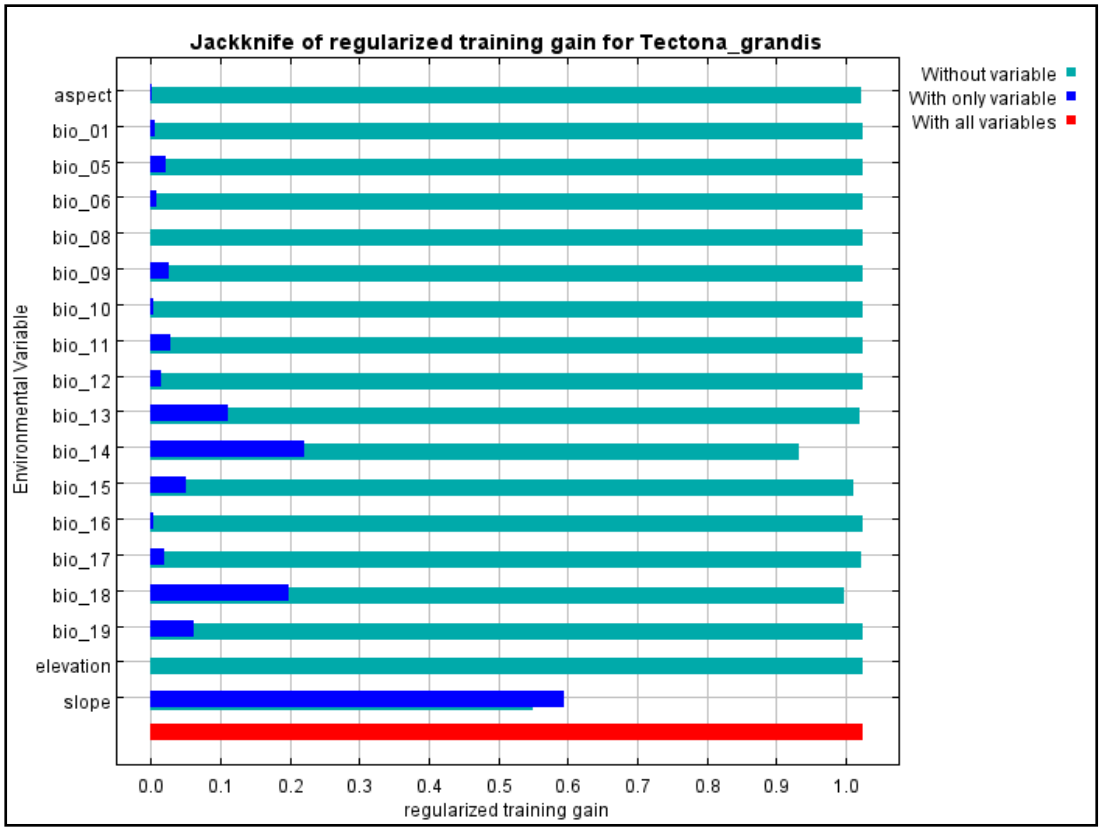


Figure 2 Relative predictive power of different environmental variables based on the jackknife of regularized training gain in MaxEnt models for natural Teak (*Tectona grandis* Linn.f.) in Mae Hong Son province.

3. พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับไม้สักธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน

การใช้โปรแกรม MaxEnt สร้างข้อมูล Raster แบบต่อเนื่องที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งแสดงความเหมาะสมของแหล่งที่อยู่อาศัยต่ำสุดถึงสูงสุดตามลำดับ (Yackulic *et al*., 2013; Xu *et al*., 2020) ไม่มีกฎในการกำหนดเกณฑ์เพื่อแบ่งที่เหมาะสมจากที่อยู่อาศัยที่ไม่เหมาะสม แต่การกำหนดเกณฑ์ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้และแตกต่างกันไประหว่างชนิด และโปรแกรม MaxEnt จัดเตรียมค่าขีดจำกัดตามมาตรการทางสถิติที่หลากหลายในไฟล์ MaxentResults.csv วิธีการกำหนดเกณฑ์ที่พบบ่อยที่สุด ได้แก่ การใช้เกณฑ์โลจิสติกส์ สำหรับสถานะของข้อมูลขั้นต่ำ เกณฑ์โลจิสติกส์ทดสอบเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 และความอ่อนไหวในการทดสอบที่เท่าเทียมกัน (Phillips *et al*., 2006) โดยเลือกเกณฑ์โลจิสติกส์ทดสอบแบบเปอร์เซ็นไทล์ที่ 10 (Kamyo and Asanok, 2020) เกณฑ์นี้ถูกนำไปใช้โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบทั้งหมดที่ดำเนินการ เพื่อจัด

ประเภทผลลัพธ์แบบจำลองเฉลี่ยใหม่ เพื่อให้ตรงกับค่าขีดจำกัดในโปรแกรม ARCGIS สำหรับการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับไม้สักธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน

พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับไม้สักธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนทั้งหมด แบ่งออกเป็น 4 ประเภท (Table 3; Figure 3) พบส่วนใหญ่ในระดับ (1) ความเหมาะสมน้อยที่สุด มีพื้นที่เท่ากับ 7,939.78 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 62.12 ของพื้นที่ทั้งหมด พบในทุกอำเภอของจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยอำเภอสบเมยพบระดับความเหมาะสมน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 98.64 ตามด้วย (2) ความเหมาะสมต่ำ มีพื้นที่ 2,530.00 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 19.80 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในอำเภอปาย อำเภอปางมะผ้า และอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน คิดเป็นร้อยละ 43.80, 41.69 และ 34.24 ตามลำดับ (3) ความเหมาะสมปานกลาง มีพื้นที่เท่ากับ 1,225.62 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.59 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในอำเภอปางมะผ้า อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน และอำเภอปาย คิดเป็นร้อยละ 27.73, 19.68 และ 18.17 ตามลำดับ และ (4) ความเหมาะสมสูง มีพื้นที่เท่ากับ 1,085.18 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 8.49 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในอำเภอ ได้แก่ อำเภอปางมะผ้า อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน และอำเภอปาย คิดเป็นร้อยละ 24.28, 24.14 และ 10.95 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถิ่นที่ขึ้นของไม้สักธรรมชาติโซนป่าสักนวมินทรราชินี ในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน เขตการปกครองในระดับอำเภอระดับความเหมาะสมสูงอยู่ในเขตอำเภอปางมะผ้า อำเภอปาย อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ซึ่งเป็นพื้นที่ทางตอนบนของจังหวัด อันเนื่องมาจากสภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกันทำให้เหมาะสมต่อการปรากฏของไม้สัก (Royal Forest Department, 2013)

Table 3 Predicted potential distribution areas for natural Teak (*Tectona grandis* Linn.f.) in Mae Hong Son province

District	Least suitable Km^2 (%)	Low suitable Km^2 (%)	Medium suitable Km^2 (%)	High suitable Km^2 (%)
Muang Mae Hong Son	508.83 (21.94)	793.86 (34.24)	456.37 (19.68)	559.79 (24.14)
Khun Yuam	1,504.30 (92.85)	99.93 (6.17)	15.94 (0.98)	0
Pai	622.59 (27.08)	1,007.12 (43.80)	417.88 (18.17)	251.72 (10.95)
Mae Sariang	2,483.92 (94.24)	121.66 (4.62)	23.82 (0.90)	6.42 (0.24)
Mae La Noi	1,331.63 (97.19)	33.90 (2.47)	4.58 (0.33)	0
Sop Moei	1,419.25 (98.64))	16.02 (1.11)	3.56 (0.25)	0
Pang Mapha	69.27 (6.31)	457.51 (41.69)	304.28 (27.73)	266.43 (24.28)
Overall	**7,939.78 (62.12)**	**2,530.00 (19.80)**	**1,225.62 (9.59)**	**1,085.18 (8.49)**

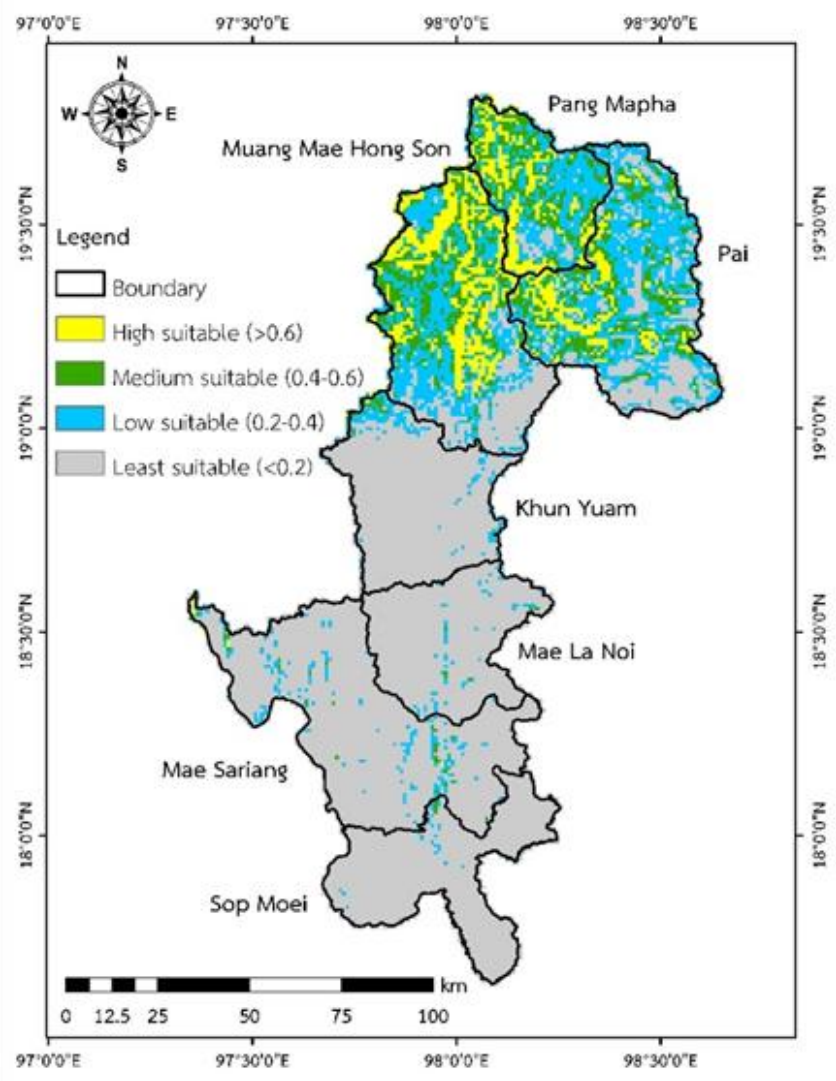


Figure 3 Suitability area of Teak (*Tectona grandis* Linn.f.) in natural area of the Nawamin Queen Teak forest

สำหรับระดับความเหมาะสมสูงส่วนใหญ่เป็นการอนุรักษ์แหล่งพันธุกรรมสักในถิ่นกำเนิด (In-situ gene conservation) ปัจจุบันได้รับการดูแลค่อนข้างดีเนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตป่าอนุรักษ์ (Khaosaard, 1992) ในอดีตเนื่องจากได้มีการทำไม้สักออกจากป่าธรรมชาติถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์ของไม้สักธรรมชาติทรุดโทรมลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้พื้นที่ป่าสักธรรมชาติก็ถูกบุกรุกทำลาย เพื่อใช้เป็นที่อยู่อาศัย และทำกินอย่างกว้างขวาง พื้นที่ป่าสักธรรมชาติที่มีอยู่ จึงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในเขตทางตอนล่างของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ส่วนใหญ่พบระดับความเหมาะสมน้อย และระดับความเหมาะสมน้อยมาก

สรุป

การทดสอบแบบจำลอง สำหรับชุดข้อมูลไม้สักธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ของพื้นที่โครงการอนุรักษ์แหล่งพันธุกรรมไม้สักฯ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่มีไม้สักธรรมชาติขึ้นกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้าง ซึ่งพบว่าความสามารถในการทำนายที่ดีเยี่ยม ค่า AUC มี

ค่าเท่ากับ 0.917 พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับไม้สักธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบ ความเหมาะสมน้อยที่สุด ความเหมาะสมต่ำ ความเหมาะสมปานกลาง และความเหมาะสมสูง คิดเป็นร้อยละ 62.12, 19.80, 9.59 และ 8.49 ของพื้นที่ทั้งหมด สำหรับอำเภอปางมะผ้า อำเภอปาย อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน และอำเภอขุนยวม พบในระดับความเหมาะสมสูงและความเหมาะสมปานปลาง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดการพัฒนาปลูกฟื้นฟูไม้สักธรรมชาติ สำหรับพัฒนาในพื้นที่เพื่อเพิ่มเติมประชากรไม้สักในพื้นที่เหมาะสมสูง รวมไปจนถึงการวางแผนการป้องกันพื้นที่ที่มีไม้สักได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่ที่มีไม้สักมีสภาพเสื่อมโทรมลงจากการบุกรุกพื้นที่ในอดีตและปัจจุบัน ทำให้ประชากรไม้สักไม่สามารถที่จะฟื้นตัวได้ ทำให้การวางแผนปลูกฟื้นฟูในพื้นที่เหมาะสมสูงจะช่วยให้ประชากรไม้สักในพื้นที่สูงเพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการดูแลรักษาพื้นที่สามารถวางแผนจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการอนุรักษ์แหล่งพันธุกรรมไม้สักและพัฒนาคุณภาพชีวิตราษฎรบริเวณป่าลุ่มน้ำของ-ลุ่มน้ำปาย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่การศึกษาวิจัย สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ และสาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่ให้ความอนุเคราะห์องค์ความรู้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

Anderson RP, Lew D, Peterson AT. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling.** 162(3):211–232.

Brooks, R.P. 1997. Improving habitat suitability index models. **Wildlife society bulletin.** 25(1): 163-167.

Dormann F, McPherson CM, Araujo JB, Bivand M, Bolliger R, Carl J, Davies GG, Hirzel R, Jetz A, Daniel KW, *et al*. 2007. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. **Ecography.** 30(5):609–628.

Fielding A.H. and Bell J.F. 2007. A review of methods for assessment of prediction errors in conservation presence/absence models**. Environment Conservation.** 24: 38-49.

Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G. and Jarvis A. 2005. A very high resolution interpolated climate surface for global land areas. **International Journal of Climatology.** 25: 1965-2198.

IPCC. 2007. **Contribution of Working Groups I, II, III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Climate Change 2007. Synthesis Report, Geneva.

Jaryan V, Datta A, Uniyal SK, Kumar A, Gupta RC, Singh RD. 2013. Modelling potential distribution of Sapium sebiferum – an invasive tree species in Western Himalaya. **Current Science.** 105(9):1282–1288.

Kamyo T. and Asanok L. 2020. Modeling habitat suitability of *Dipterocarpus alatus* (Dipterocarpaceae) using MaxEnt along the Chao Phraya River in Central Thailand. **Forest Science and Technology.** 16(1): 1-7.

Kamyo, T. Pattanakiat, S. Asanok, L. Samanmit, K. Cherpaiboon, A. Thinkamphaeng, S. and Marod, D. 2021. Predicting the Natural Suitability of Teak (*Tectona grandis* L.f.) at Mae Yom National Park, Phrae Province, Thailand Using Logistic Regression Model. **Environmental Science and Management.** 24-2: 48-53.

Khanum R., Mumtaz A.S. and Kumar S. 2013. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. **Acta Oecologica.** 49: 23-31.

Khaosaard, A. 1992. Teak origin test (part 2) yield and quality of wood. *In* **Seminar 50 years Huay Tak Teak plantation.** Kasetsart University. (in Thai)

Land Development Department. 2019. **The Royal-Initiated Teak gene conservation area and people development in Khong-Pai watershed, Mae Hong Son province.** Available source. http://www.ldd.go.th/web_kingproject/Project/Queen/6-034.pdf, January 4, 2022. (in Thai)

Moonsan, S. 1992. Import and Export Teak of Thailand. *In* **Seminar 50 years Huay Tak Teak plantation.** Kasetsart University. (in Thai)

Phillips S., and Dudk M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography.** 31(2): 161-175.

Phillips S., Anderson R.R., and Schapire R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling.** 190(3-4): 231-259.

Pomoim, N. 2017**.** ***Crinum thaianum*** **J. Schulze Endemic Aquatic plants in Thailand.** Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. (in Thai)

Royal Forest Department. 2013. **Thai Teak Knowledge.** Available source. http: / forprod. forest. go. th/ forprod/ KM/ PDF/ teak. pdf, January 4, 2022. (in Thai)

Scheldeman X. and Zonneveld M. 2010. **Training Manual on Spatial Analysis of Plant Diversity and Distribution**. Biodiversity International, Rome.

Swanti S., Kusum A., Dhruval B. and Rajkanti K. 2018. Modeling habitat suitability of *Perilla frutescens* with MaxEnt in Uttarakhand A conservation approach. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants.** 10: 99-105.

Swets J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. **Science.** 240: 1285-1293.

Xu N., Meng F., Zhou G., Li Y., Wang B., and Lu N. 2020. Assessing the suitable cultivation areas for *Scutellaria baicalensis* in China using the Maxent model and multiple linear regression. **Biochemical Systematics and Ecology.** 90: 104052.

Yackulic C.B., Chandler R., Zipkin E.F., Royle J.A., Nichols J.D., Campbell Grant E.H., and Veran S. 2013. Presence only modelling using MAXENT: when can we trust the inferences? **Methods in Ecology and Evolution.** 4: 236-243.