

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประเมินถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสมของกวางผา (*Naemorhedus griseus*)
ในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ด้วยแบบจำลองแมกซ์เซน

Assessment of Habitat Suitability of Burmese Goral (*Naemorhedus griseus*)
in Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai Province,
using the Maximum Entropy Model

บุญยัง ศรีจันทร์¹Boonyang Srijan¹ปิยะพิศ ขอนแก่น¹Piyapit Khonkaen¹มณฑล นอแสงศรี²Monthon Norsaengsri²ต่อลาภ คำโย^{3*}Torlarp Kamyo^{3*}¹สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่¹Department Forest Management, Maejo University Phrae Campus, Thailand²สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่²Department of Applied Biology, Maejo University Phrae Campus, Thailand³สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่³Department of Agroforestry, Maejo University Phrae Campus, Thailand

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

รับต้นฉบับ 19 มีนาคม 2566

รับแก้ไข 1 มิถุนายน 2566

รับลงพิมพ์ 8 มิถุนายน 2566

ABSTRACT

This study aims to assess the habitat suitability of Burmese Goral (*Naemorhedus griseus*) in the Chiang Dao Wildlife Sanctuary. Bioclimatic and environmental factors were collected through a series of Spatial Monitoring and Reporting Tool Patrols (SMART Patrols) from 244 coordinate locations where the presence of Burmese Goral was observed. Out of these, the most suitable bioclimatic and environmental factors were then determined using the Maxent model.

The resultant habitat suitability model of Burmese Goral (*Naemorhedus griseus*) in Chiang Dao Wildlife Sanctuary had a very high prediction performance with an area under the curve (AUC) of 0.857. The key factors affecting the habitat selection of Burmese Goral were elevation, precipitation, temperature, and slope. The area can be classified into four classes based on habitat suitability as lowest, low, moderate, and high, with a proportion of 67.23%, 20.07%, 5.39% and 7.32%, respectively. The most suitable habitats were located in Chiang Dao sub-district, Mae Na sub-district, Muang Ngai sub-district, and Muang Kong sub-district, which cover the area of Doi Luang Chiang Dao and Doi Nang. The results of this study indicate the key areas that can be the focus of conservation and protection measures to minimize disturbance of human activities to the survival of Burmese Goral and to safeguard the key genetic resource of this species.

Keywords: Burmese Goral; Chiang Dao Wildlife Sanctuary; Habitat Suitability; Maximum entropy modeling

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสมของกวางผา (*Naemorhedus griseus*) ในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว โดยใช้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยปัจจัยด้านชีวภูมิอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ที่มีผลต่อการเลือกถิ่นที่อาศัยของกวางผา โดยนำค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่สำรวจพบร่องรอยของกวางผาขณะเดินลาดตระเวนเชิงคุณภาพ (SMART Patrol) ในพื้นที่ จำนวน 244 พิกัด มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองแมกซ์เซน

จากการศึกษานี้ พบว่าความสามารถในการทำนายมีค่าที่ดีมาก คือ ค่าพื้นที่ใต้กราฟ (area under the curve: AUC) เท่ากับ 0.857 โดยปัจจัยแวดล้อมที่มีความสำคัญในการกำหนดการเลือกถิ่นที่อาศัยของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความลาดชันของพื้นที่ ตามลำดับ พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับเป็นที่อยู่อาศัยของกวางผา แบ่งออกได้ 4 ระดับ โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้ มีความเหมาะสมน้อยที่สุด มีความเหมาะสมต่ำ มีความเหมาะสมสูง และมีความเหมาะสมปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 67.23 , 20.07 , 7.32 และ 5.39 ของพื้นที่ทั้งหมด เมื่อแบ่งพื้นที่ตามขอบเขตการปกครอง ตำบลที่มีความเหมาะสมสำหรับเป็นที่อยู่อาศัยของกวางผา ได้แก่ ตำบลเชียงดาว ตำบลแม่นะ ตำบลเมืองงาย และตำบลเมืองคอง พื้นที่ดังกล่าวจึงต้องอนุรักษ์ ปกป้อง ค้ำครอง โดยให้มีกิจกรรมของมนุษย์น้อยที่สุด เพื่อลดผลกระทบต่อการดำรงชีพของกวางผาในพื้นที่ และยังสามารถใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในธรรมชาติที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทยที่จะเพาะพันธุ์และกระจายพันธุ์ออกไปในพื้นที่ป่าอนุรักษ์แห่งอื่นที่มีความเหมาะสมที่อยู่ใกล้เคียง ต่อไป

คำสำคัญ: กวางผา เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว ถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสม c

คำนำ

กรมป่าไม้ ได้ประกาศพื้นที่ป่าในท้องที่ตำบลเชียงดาว ตำบลเมืองงาย ตำบลเมืองคอง ตำบลแม่นะ อำเภอเชียงดาว และตำบลเมืองแหง อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ ให้เป็นเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว เมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2521 มีเนื้อที่ประมาณ 521 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 325,625 ไร่ (Division of land and forest resources, 1999) เป็นพื้นที่อนุรักษ์ที่มีความสำคัญทางระบบนิเวศ เนื่องจากเป็นแหล่งรวมความหลากหลายทางชีวภาพทั้งพืชและสัตว์ สภาพของภูมิประเทศเป็นเทือกเขา หินปูนทั้งลูก มียอดดอยเชียงดาวเป็นยอดเขาที่สูงที่สุด และเป็นภูเขาหินปูนที่สูงที่สุดของประเทศ มีความสูง 2,225 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าสงวน 2 ใน 19 ชนิด ของประเทศไทย คือ กวางผา (*Naemorhedus griseus*) และ เลียงผา (*Capricornis sumatraensis*) อีกทั้งยังเป็นพื้นที่พิเศษที่มีสังคมพืชกึ่งอัลไพน์ (subalpine) อีกด้วย ต่อมาคณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบในการเสนอพื้นที่ดอยหลวงเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ เป็น “พื้นที่สงวนชีวมณฑล (biosphere

reserve)” ต่อองค์การเพื่อการศึกษา วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ หรือ ยูเนสโก (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: UNESCO) เมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2563 และยูเนสโก ได้ประกาศจัดตั้งให้เป็นพื้นที่สงวนชีวมณฑล เมื่อวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2564 ดอยเชียงดาว ได้ประกาศเป็นพื้นที่สงวนชีวมณฑลแห่งที่ 5 ของประเทศไทย (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2021)

กวางผา จัดเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดกลาง ในวงศ์วัวป่า (Bovidae) คือ เป็นสัตว์ที่มีเขา 2 เขาทิ้งสองเพศ ไม่สามารถผลิตเขาได้ โดยลักษณะของเขามีสลักษณะเป็นกรวยแหลมตรงกลางกรวยจะกลวง เขาจะโค้ง ไปทางด้านหลัง แต่ไม่แตกกิ่งเหมือนกับกลุ่มของกวาง ตรงบริเวณโคนเขามีรอยหยักเกิดขึ้นตามอายุของกวางผา กวางผาเป็นสัตว์กึ่งคาวบอยมีลักษณะใกล้เคียงกับเลียงผาทั้งรูปร่างและอุปนิสัย ในการหากิน (Lekagul and McNeely, 1977) กวางผาเป็นสัตว์ป่าสงวนลำดับที่ 2 ตามบัญชีสัตว์ป่าสงวนแนบท้ายพระราชบัญญัติสงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2562

ห้ามล่า ครอบครอง ซื้อมาขาย ส่งออก นำเข้า หรือฆ่าโดยเด็ดขาด (Wildlife Conservation Office, 2020) กวางผาเป็นสัตว์ในบัญชีหมายเลข 1 ของอนุสัญญาว่าด้วยการค้าระหว่างประเทศซึ่งชนิดสัตว์ป่าและพืชป่าที่ใกล้จะสูญพันธุ์ (The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: CITES) ห้ามค้าโดยเด็ดขาด (IUCN, 2008) องค์การระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (International Union for Conservation of Nature: IUCN) ประเมินให้อยู่ในสถานภาพ มีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable: VU) ตามบัญชีรายชื่อของสัตว์ป่าที่ถูกคุกคามจนเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (The IUCN Red List of Threatened Species) ซึ่งสถานะดังกล่าวหมายถึงมีความเสี่ยงสูงที่จะสูญพันธุ์ไปจากธรรมชาติในภายภาคหน้า (IUCN, 2008) สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้ประเมินสถานภาพของกวางผาให้อยู่ในสถานภาพใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง (critically endangered: CR) (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2005) จากข้อมูลของกลุ่มงานวิจัยสัตว์ป่าของสำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า ในปี พ.ศ. 2561 เรื่องของการสำรวจประชากรและการกระจายของกวางผาในปัจจุบัน พบว่า กวางผามีการกระจายในพื้นที่ป่าอนุรักษ์จำนวน 11 พื้นที่ สำรวจพบกวางผา จำนวน 292 ตัว โดยพื้นที่ที่พบกวางผามากที่สุด คือ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว ซึ่งมีจำนวนถึง 100 ตัว (Safoowong, 2018) ดังนั้น เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการอนุรักษ์กวางผาในอนาคต

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสมของกวางผา ในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว โดยใช้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยปัจจัยด้านชีวภูมิอากาศและปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพที่มีผลต่อการเลือกถิ่นที่อาศัยของกวางผา หลังจากนั้นนำพื้นที่ที่เหมาะสมในการอยู่อาศัยของกวางผามาแบ่งตามพื้นที่ขอบเขตการปกครองเพื่อใช้ในการบริหารจัดการพื้นที่ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์การศึกษา

การศึกษานี้ใช้อุปกรณ์ที่สำคัญประกอบไปด้วยแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร เครื่องหาตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS) และโปรแกรม Maxent

พื้นที่ศึกษา

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว มีความหลากหลายทางชีวภาพ ทั้งด้านป่าไม้และสัตว์ป่า โดยป่าดอยเชียงดาวแต่เดิมเป็นป่าเขาที่มีภูมิประเทศเป็นเขาสูงชันประกอบด้วยเทือกเขาสูงสลับซับซ้อนอุดมไปด้วยป่าดิบเขา ป่าสนเขา ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณในท้องที่ตำบลเชียงดาว ตำบลแม่นะ ตำบลเมืองงาย ตำบลเมืองคอง อำเภอเชียงดาว และท้องที่ตำบลเมืองแหง อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าโดยเรียกว่าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 325,625 ไร่ (Figure 1)

ภูมิประเทศของป่าเชียงดาว ประกอบด้วยป่าเทือกเขาสูงสลับซับซ้อน ยอดเขาที่สูงที่สุด คือ ยอดดอยหลวงเชียงดาว ความสูง 2,225 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง บนยอดดอยหลวงเชียงดาวมักจะมีเมฆหมอกปกคลุมอยู่ตลอดเวลา โดยสภาพทั่วไปเป็นภูเขาเป็นภูเขาหินปูนจึงประกอบไปด้วยหุบเขา และ โขงถ้ำ มีถ้ำใหญ่ที่สวยงาม คือถ้ำเชียงดาวมีเทือกเขาที่สำคัญ ได้แก่ ดอยนางดอยนางแตะ ดอยผาแดง ดอยโป่ง ดอยแม่สันกลาง ดอยกิ่วลม ดอยปี ดอยสันคมพัว เป็นต้น สภาพป่าบนยอดเขาจะเป็นป่าดงดิบ และป่าเบญจพรรณอันเป็นป่าต้นน้ำลำธารและลำห้วยที่สำคัญหลายสายอาทิ ลำห้วยแม่ยาย ห้วยแม่ซ้อน ห้วยแม่กืด ห้วยแม่ก๊ะ ห้วยแม่นะ ซึ่งมีน้ำไหลหล่อเลี้ยงตลอดทั้งปีโดยไหลลงสู่แม่น้ำปิงทางทิศตะวันออกและมีห้วยแม่เหือง ห้วยฮ่อม ห้วยหญ้าไทร ห้วยบ้านช้าง ห้วยชี้เหล็ก ห้วยแม่หมื่น ลำน้ำแดง ลำน้ำคอง ห้วยแม่เมิน และห้วยแม่กอน้อย ที่ไหลลงสู่ลำน้ำแดงซึ่งเป็นแควใหญ่ที่สุดที่ไหลลงสู่ลำน้ำปิงด้านทิศตะวันตก (Figure 1)

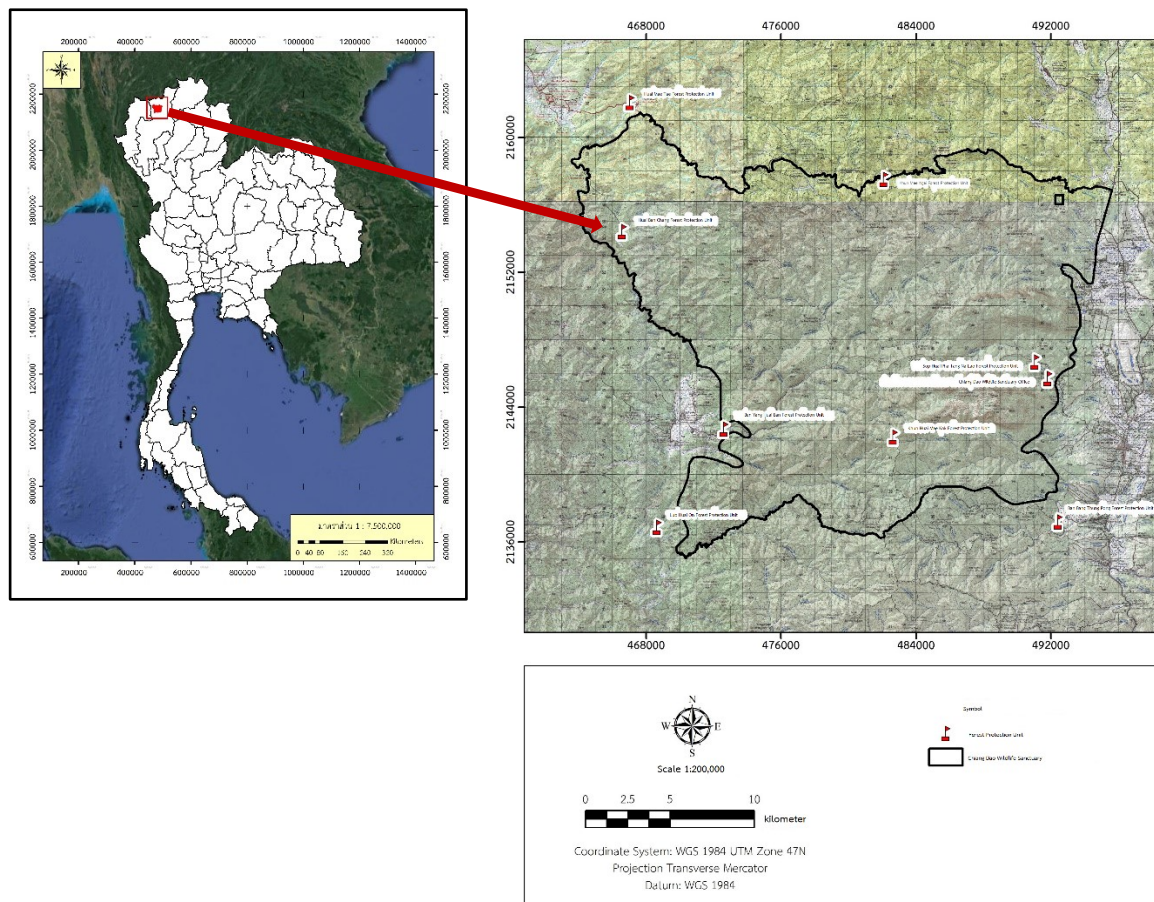


Figure 1 Map showing the extent of the study area in the Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai province.

วิธีการเก็บข้อมูล

1. นำข้อมูลจากการสำรวจร่องรอยของสัตว์ป่าที่ได้จากการเดินลาดตระเวนเชิงคุณภาพ (Spatial Monitoring and Reporting Tool Patrols: SMART Patrol) ในพื้นที่ โดยทำการเก็บข้อมูล จำนวน 3 ปี คือ ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2564 โดยการเดินตามด่านสัตว์ ถนน เส้นทางลาดตระเวนของเจ้าหน้าที่และเส้นทางศึกษาธรรมชาติในพื้นที่ โดยทำการเดินสำรวจให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา และจุดที่เดินสำรวจควรที่ต้องกระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ (Figure 2) ขณะเดินลาดตระเวนเชิงคุณภาพ ต้องทำการบันทึกร่องรอยของกวางผาที่พบ เช่น เห็นตัวโดยตรง รอยตีน กองมูล ร่องรอยหากิน เสียงร้อง เป็นต้น (Wildlife Conservation Society, 2015) แล้วบันทึกข้อมูลโดยอ้างอิงกับระบบพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ ซึ่งร่องรอยที่สำรวจพบต่อครั้ง จะบันทึกเป็นหนึ่งเหตุการณ์ที่พบ ถึงแม้ว่ามีร่องรอยบริเวณ

นั้นมีมากเท่าใดก็ตาม นอกจากนั้นยังบันทึกสภาพแวดล้อมทางนิเวศวิทยา เช่น ชนิดป่าที่เป็นแหล่งอาหาร ความสูงจากระดับน้ำทะเล วันเวลาที่บันทึกข้อมูล เป็นต้น (Deeprasai, 2006)

2. นำข้อมูลที่ได้จากการลาดตระเวน SMART ที่เก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผลการลาดตระเวนของพื้นที่ ป่าอนุรักษ์ หลังจากนั้นทำการสืบค้นข้อมูลการพบเห็นร่องรอยของกวางผาทุกร่องรอยที่พบขณะลาดตระเวนในพื้นที่ในโปรแกรม SMART นำข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ได้จากการสืบค้นข้อมูลกวางผาในโปรแกรม SMART ที่เป็นข้อมูลดิบ จำนวน 244 พิกัด (Figure 2) แล้วส่งออกข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบไฟล์นามสกุล “CSV” สำหรับใช้เป็นไฟล์นำเข้าโปรแกรม MaxEnt Version 3.4.1 เพื่อสร้างแบบจำลองร่วมกับข้อมูลปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ทิศด้านลาดและความลาดชันต่อไป

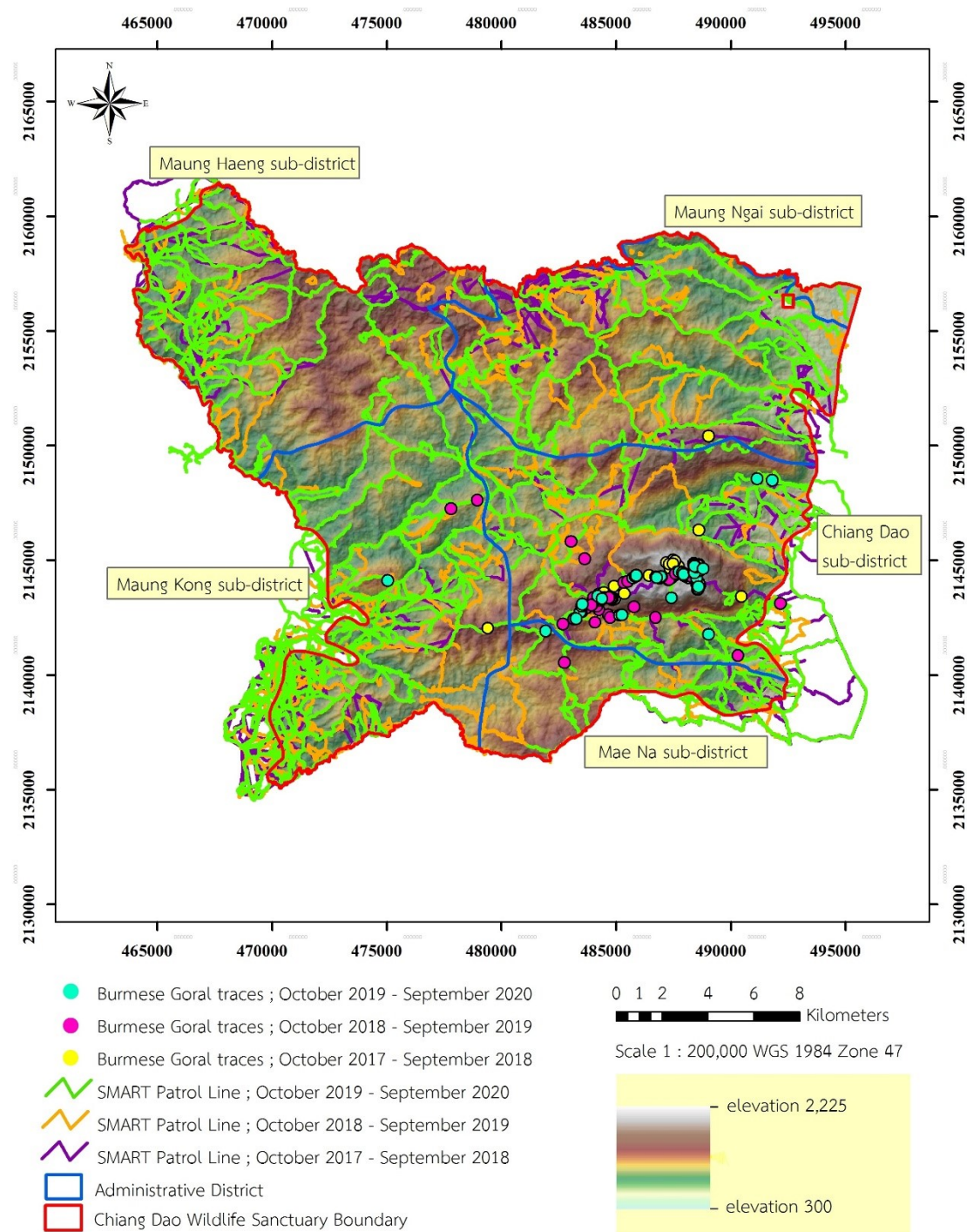


Figure 2 Map showing the SMART Patrol boundaries and the distribution of Burmese Goral in Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai province (the surveillance was done during the period of October 2017 – September 2020).

การสร้างและวิเคราะห์แบบจำลอง

ส่งออกข้อมูลทางภูมิศาสตร์จากโปรแกรม SMART ในรูปแบบไฟล์นามสกุล “CSV” สำหรับใช้เป็นไฟล์นำเข้าสำหรับโปรแกรม MaxEnt Version 3.4.1 เพื่อสร้างแบบจำลอง ร่วมกับข้อมูลปัจจัยแวดล้อม โดยข้อมูลสำหรับพารามิเตอร์ทางชีวภูมิอากาศ จำนวน 19 รายการจากข้อมูล Worldclim (<http://www.worldclim.org>) ตัวแปรทางชีวภาพเหล่านี้ แสดงถึงแนวโน้มและฤดูกาลประจำปีในปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ตลอดจนปัจจัยที่จำกัดแสดงช่วงสูงที่สุดหรือต่ำที่สุด (Table 1) ข้อมูลชีวภูมิอากาศสามารถใช้ได้อย่างอิสระและมีความละเอียด 30 อาร์ควินาที ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้ในการสร้างแบบจำลองได้ (Hijmans *et al.*, 2005; Berhanu *et al.*, 2022) ก่อนสร้างแบบจำลองมีการตรวจสอบความสัมพันธ์ด้วยการทำ Correlation (Dormann *et al.*, 2007) โดยใช้โปรแกรม R Version 3.4.1 ตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r^2 > 0.90$ ถูกเลือกเป็นปัจจัยชีวภูมิอากาศ จำนวน 12 รายการ (Table 2) พารามิเตอร์ทางนิเวศวิทยาที่สำคัญอีกอย่างคือ ลักษณะเชิงพื้นที่ที่เป็นปัจจัยแวดล้อมจำกัด เช่น ทิศด้านลาด ความลาดชัน และระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล (Planisong *et al.*, 2019) 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 กิโลเมตร $\times$ 1 กิโลเมตร จากนั้นจะถูกแปลงเป็นรูปแบบ “ASCII” โดยใช้

โปรแกรม ARCGIS ESRI Version 10.6 (Scheldeman and Zonneveld, 2010) เพื่อสร้างข้อมูลที่เข้ากันวิเคราะห์ร่วมกันได้กับโปรแกรม MaxEnt โดยให้คะแนนความเหมาะสมของถิ่นที่อยู่สิ่งมีชีวิตในระดับ 0 (พื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่ำสุด) ถึง 1 (พื้นที่ที่มีความเหมาะสมสูงสุด) เพื่อสร้างการกระจายเชิงพื้นที่ของกวางผาในโปรแกรม ARCGIS จากนั้นใช้โปรแกรม MaxEnt สร้างเส้นโค้งการตอบสนองสำหรับตัวแปรทำนายแต่ละตัวแปรด้วยวิธี Jackknife เพื่อเน้นอิทธิพลสัมพัทธ์ของตัวแปรแต่ละตัว (Fielding and Bell, 2007; Khanum *et al.*, 2013) ในการศึกษานี้ได้พิจารณาประสิทธิภาพของโมเดล โดยกำหนดค่าร้อยละที่ใช้ทดสอบโดยการสุ่ม (random test percentage) ที่ร้อยละ 15 ส่วนค่าอื่น ๆ กำหนดตามค่า Default ของโปรแกรม นอกจากนี้ใช้ Omission-commission rate ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ ซึ่งพิจารณาจากการพื้นที่คาดการณ์ (Phillips and Dudk, 2008) ความเหมาะสมถิ่นที่อยู่อาศัยของกวางผาที่คาดการณ์ไว้แบ่งออกเป็น 4 ระดับ (IPCC, 2007; Kamyo and Asanok, 2020) 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 ทดสอบแบบเปอร์เซ็นต์ที่ 10 เกณฑ์นี้ถูกนำไปใช้โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบทั้งหมดที่ดำเนินการ เพื่อจัดประเภทผลลัพธ์แบบจำลองเฉลี่ยใหม่เพื่อให้ตรงกับค่าขีดจำกัดในโปรแกรม ARCGIS แสดงออกมาเป็นฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับข้อมูลเขตการปกครองในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

Table 1 Description of the 19 bioclimatic variables used in MaxEnt modeling.

Variable code	Parameter	Unit
BIO1*	Mean annual temperature	°C
BIO2	Mean diurnal range (the mean monthly difference between maximum and minimum temperature)	°C
BIO3	Isothermality ((BIO2/BIO7) × 100)	°C
BIO4*	Temperature seasonality (standard deviation × 100)	°C
BIO5*	Maximum temperature in the warmest month	°C
BIO6*	Minimum temperature in the coldest month	°C
BIO7*	Annual temperature range (BIO5-BIO6)	°C
BIO8*	Mean temperature of the wettest quarter	°C
BIO9*	Mean temperature of the driest quarter	°C
BIO10*	Mean temperature of the warmest quarter	°C
BIO11*	Mean temperature of the coldest quarter	°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

Remark : *Asterisks indicate variables used as model input.

Table 2 Correlations between the various bioclimatic variables.

	bio1	bio2	bio3	bio4	bio5	bio6	bio7	bio8	bio9	bio10	bio11	bio12	bio13	bio14	bio15	bio16	bio17	bio18	bio19
bio1	1.00	0.60	-0.69	0.98*	1.00	1.00	0.92*	1.00	0.98*	1.00	1.00	-0.82	0.67	-0.10	0.90*	0.13	-0.97	-0.87	-0.97
bio2		1.00	-0.24	0.55	0.62	0.60	0.72	0.60	0.507	0.61	0.61	-0.86	-0.08	0.53	0.28	-0.56	-0.61	-0.83	-0.66
bio3			1.00	-0.77	-0.70	-0.69	-0.79	-0.69	-0.706	-0.69	-0.68	0.59	-0.44	-0.17	-0.60	-0.07	0.62	0.63	0.62
bio4				1.00	0.98*	0.98*	0.93*	0.98	0.98*	0.98*	0.98*	-0.80	0.67	-0.06	0.88	0.15	-0.94	-0.84	-0.94
bio5					1.00	1.00	0.93*	1.00	0.98*	1.00	1.00	-0.84	0.65	-0.07	0.89	0.10	-0.97	-0.88	-0.97
bio6						1.00	0.91*	1.00	0.98*	1.00	1.00	-0.83	0.66	-0.10	0.90*	0.13	-0.98	-0.87	-0.97
bio7							1.00	0.92*	0.93*	0.92*	0.92*	-0.91	0.41	0.24	0.71	-0.14	-0.88	-0.93	-0.90
bio8								1.00	0.98*	1.00	1.00	-0.83	0.67	-0.10	0.90*	0.13	-0.97	-0.87	-0.97
bio9									1.00	0.98*	0.98*	-0.81	0.66	-0.01	0.89	0.13	-0.93	-0.85	-0.93
bio10										1.00	1.00	-0.83	0.66	-0.09	0.89	0.12	-0.98	-0.87	-0.97
bio11											1.00	-0.83	0.66	-0.09	0.90*	0.12	-0.98	-0.87	-0.97
bio12												1.00	-0.13	-0.36	-0.52	0.45	0.84	1.00	0.87
bio13													1.00	-0.66	0.89	0.83	-0.61	-0.21	-0.55
bio14														1.00	-0.41	-0.79	0.16	-0.32	0.09
bio15															1.00	0.51	-0.86	-0.58	-0.83
bio16																1.00	-0.07	0.38	0.00
bio17																	1.00	0.87	1.00
bio18																		1.00	0.90*
bio19																			1.00

Remark: *Asterisks indicate a correlation coefficient of >0.90. The environmental variables are described in Table 1.

ผลและวิจารณ์

ประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ประสิทธิภาพแบบจำลองทางระบบนิเวศ สามารถประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ค่า Omission-commission rate (Phillips and Dudk, 2008) ซึ่งค่า Omission-commission rate ถูกคำนวณจากทั้งชุดข้อมูลภาคสนามและการทดสอบ (Figure 3) โดยแสดงเส้นสีแดงคือ พื้นที่เฉลี่ย เส้นสีดำ คือ อัตราการละเว้นที่คาดการณ์ไว้ และเส้นสีเขียว คือ Omission-commission rate ของตัวอย่างโมเดล (Figure 3) โดยใช้บันทึกการแสดงผลรูปแบบที่ใช้สำหรับข้อมูลในภาคสนามและการทดสอบ (Anderson *et al.*, 2003)

การวิเคราะห์เส้นโค้งลักษณะการทำงานของตัวรับสัญญาณที่ไม่ขึ้นกับเกณฑ์ประสิทธิภาพของ Receiver operating characteristic (ROC) แสดงโดยพื้นที่ใต้เส้นโค้ง Area under the curve (AUC) (Figure 3) เมื่อเส้นโค้ง ROC คือ พล็อตของการตอบสนองของแบบจำลอง (เศษส่วนที่เป็นบวกจริง) กล่าวคือ ไม่มีข้อผิดพลาดในการละเว้นและสัดส่วนของการขาดที่คาดการณ์ไว้ไม่ถูกต้อง (1-ความจำเพาะ) หรือเศษส่วนที่เป็นเท็จ เช่น ข้อผิดพลาด

ค่าคอมมิชชัน ความจำเพาะถูกกำหนดโดยใช้พื้นที่คาดการณ์ แทนที่จะเป็นค่าคอมมิชชันที่แท้จริง ค่า AUC เป็น 0.50 บ่งชี้ว่า แบบจำลองนั้นใกล้เคียงกับการสุ่มและเป็นตัวทำนายที่ไม่ดี ในขณะที่ค่า 1 แสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลองที่ดีที่สุด (Swets, 1988) ผลลัพธ์ของแบบจำลองควรได้รับการประเมินอย่างเข้มงวด เนื่องจากนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตนั้น ครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างกว่าช่วงทางภูมิศาสตร์ของสิ่งมีชีวิตและไม่ใช่พื้นที่ที่เหมาะสมทั้งหมดที่อาศัยอยู่ ดังนั้นแนะนำให้ใช้จำนวนข้อมูลสูงสุดที่มีอยู่สำหรับการกระจายพันธุ์และตัวแปรที่เชื่อมโยงโดยตรงกับการกระจายพันธุ์ในบริบทนี้มีการสำรวจพื้นที่สำหรับการปรากฏร่องรอยต่างๆ การเห็นตัวโดยตรงของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

เมื่อค่า AUC < 0.50 บ่งชี้ว่าแบบจำลองใกล้เคียงกับการสุ่มและมีความสามารถในการทำนายที่ไม่ดี ในขณะที่ค่า AUC = 1 หมายถึง การทำนายที่สมบูรณ์แบบ (Swets, 1988) ในการศึกษาครั้งนี้ พบค่า AUC ของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเท่ากับ 0.857 สำหรับชุดข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจ มีค่า AUC เข้าใกล้ 1 มาก ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการทำนายที่ดีมาก (Figure 4)

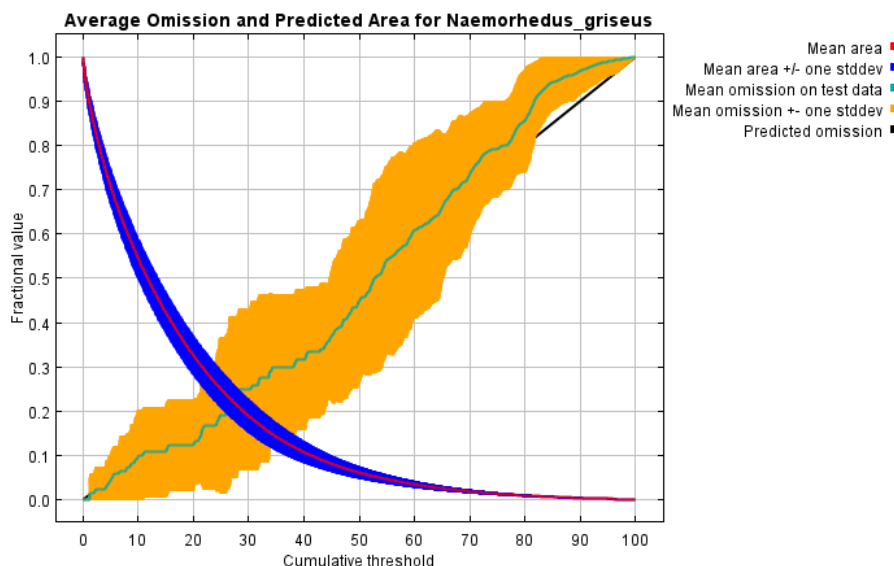


Figure 3 Omission rates versus the predicted area as obtained from the MaxEnt modeling of the predicted habitat suitability for Burmese Goral (*Naemorhedus griseus*) in Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai province.

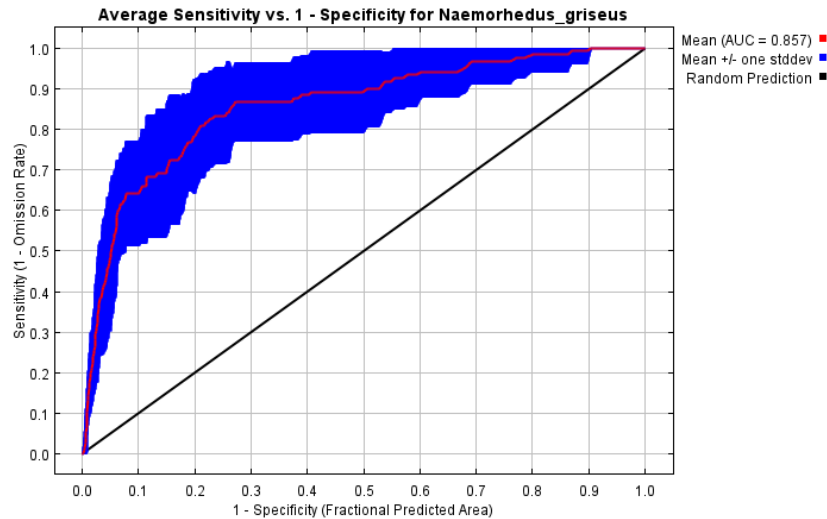


Figure 4 Depiction of the area under the receiver operating characteristics curve (ROC - AUC) for the MaxEnt model used to determine the habitat suitability for Burmese Goral (*Naemorhedus griseus*) in Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai province.

ความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อม

ความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อม ปัจจัยชีวภูมิอากาศ และลักษณะเชิงพื้นที่ แสดงเป็นแบบจำลองแผนภาพดัง Figure 5 โดยตัวแปรที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญมากจากแบบจำลองอยู่ที่ร้อยละ 70 (Planisong *et al.*, 2019) คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี อุณหภูมิสูงสุดในเดือนที่ร้อนที่สุด อุณหภูมิต่ำสุดในเดือนที่หนาวที่สุด

อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาว ปริมาณน้ำฝนทั้งปี และปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูหนาว ปัจจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความลาดชันของพื้นที่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน ต่างก็มีบทบาทสำคัญในเลือกถิ่นที่อาศัยของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

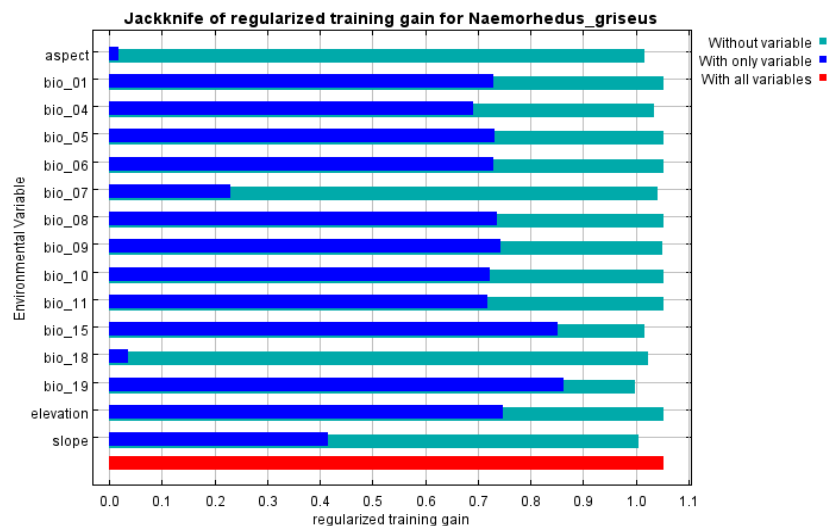


Figure 5 Relative predictive power of different environmental variables based on the jackknife of regularized training gain in MaxEnt models for Burmese Goral (*Naemorhedus griseus*) in Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai province.

ถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสมของกวางผาในพื้นที่เขต รักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

การใช้โปรแกรม MaxEnt สร้างข้อมูล Raster แบบต่อเนื่องที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งแสดงความเหมาะสมของแหล่งที่อยู่อาศัยต่ำสุดถึงสูงสุดตามลำดับ (Yackulic *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2020) ไม่มีกฎในการกำหนดเกณฑ์เพื่อแบ่งที่เหมาะสมจากที่อยู่อาศัยที่ไม่เหมาะสม แต่การกำหนดเกณฑ์ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้และแตกต่างกันไประหว่างชนิด และโปรแกรม MaxEnt จัดเตรียมค่าขีดจำกัดตามมาตรการทางสถิติที่หลากหลายในไฟล์ maxentResults.csv วิธีการกำหนดเกณฑ์ที่พบบ่อยที่สุดได้แก่ การใช้เกณฑ์โลจิสติกส์ สำหรับสถานะของข้อมูลขั้นต่ำเกณฑ์โลจิสติกส์ทดสอบเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 10 และความอ่อนไหวในการทดสอบที่เท่าเทียมกัน (Phillips *et al.*, 2006) เกณฑ์นี้ถูกนำไปใช้โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการทดสอบทั้งหมดที่ดำเนินการ เพื่อจัดประเภทผลลัพธ์แบบจำลองเฉลี่ยใหม่ เพื่อให้ตรงกับค่าขีดจำกัดในโปรแกรม ARCGIS สำหรับการประเมินถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสมของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

ถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสมของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท (Table 3; Figure 6) ส่วนใหญ่พบในระดับ (1) ความเหมาะสมน้อยที่สุด มีพื้นที่เท่ากับ 338.97 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 67.23 ของพื้นที่ทั้งหมด พบในทุกเขตการปกครองระดับตำบลในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว โดยตำบลเมืองคอง พบระดับความเหมาะสมน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 92.93 ตามมาด้วยตำบลเมืองแหง และตำบลเมืองงาย คิดเป็นร้อยละ 72.96 และ 81.06

ตามลำดับ (2) ความเหมาะสมต่ำ มีพื้นที่เท่ากับ 101.17 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 20.07 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในตำบลเชียงดาว ตำบลเมืองงาย และตำบลเมืองแหง คิดเป็นร้อยละ 27.68 , 22.57 และ 18.44 ตามลำดับ (3) ความเหมาะสมปานกลาง มีพื้นที่เท่ากับ 27.20 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 5.39 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในตำบลเชียงดาว ตำบลแม่่นะ และตำบลเมืองงาย คิดเป็นร้อยละ 12.78 , 18.56 และ 2.45 ตามลำดับ และ (4) ความเหมาะสมสูง มีพื้นที่เท่ากับ 36.89 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.32 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในตำบลเชียงดาว และ ตำบลแม่่นะ คิดเป็นร้อยละ 25.19 และ 8.31 ตามลำดับ และในพื้นที่ตำบลเมืองแหงไม่พบพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสูงในการเลือกถิ่นที่อาศัยของกวางผา

เมื่อพิจารณาถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสมของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ในเขตการปกครองระดับตำบล ระดับความเหมาะสมสูงอยู่ในเขตตำบลเชียงดาว ตำบลแม่่นะ ตำบลเมืองงาย และตำบลเมืองคอง ตามลำดับ ซึ่งบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะและสภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขาหินปูนที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลค่อนข้างสูง และภูมิอากาศที่เย็นตลอดทั้งปี มีความเหมาะสมกับการอยู่อาศัยและสืบพันธุ์ของกวางผาเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะบริเวณดอยหลวงเชียงดาวและดอยนางที่มีความเหมาะสมสูง (Figure 6) มีขนาดพื้นที่ไม่ใหญ่มากนักเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด จึงเป็นพื้นที่หลักที่มีความสำคัญในการใช้ดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของกวางผา ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องช่วยกันอนุรักษ์ปกป้อง คัดกรองพื้นที่ไม่ให้มีกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อดำรงชีพของกวางผาในพื้นที่

Table 3 Predicted potential distribution areas for Burmese Goral (*Naemorhedus griseus*) in the Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai Province.

Sub-District	Least suitable Km ² (%)	Low suitable Km ² (%)	Medium suitable Km ² (%)	High suitable Km ² (%)
Chiang Dao	39.16 (34.35)	31.56 (27.68)	14.57 (12.78)	28.73 (25.19)
Muang Ngai	93.98 (72.96)	29.07 (22.57)	3.16 (2.45)	2.60 (2.02)
Maung Kong	107.40 (92.93)	3.62 (3.13)	2.06 (1.78)	2.15 (2.15)
Mae Na	10.17 (27.53)	16.84 (45.60)	6.85 (18.56)	8.31 (8.31)
Maung Haeng	88.26 (81.06)	20.07 (18.44)	0.55 (0.51)	-
Overall	338.97 (67.23)	101.17 (20.07)	27.20 (5.39)	36.89 (7.32)

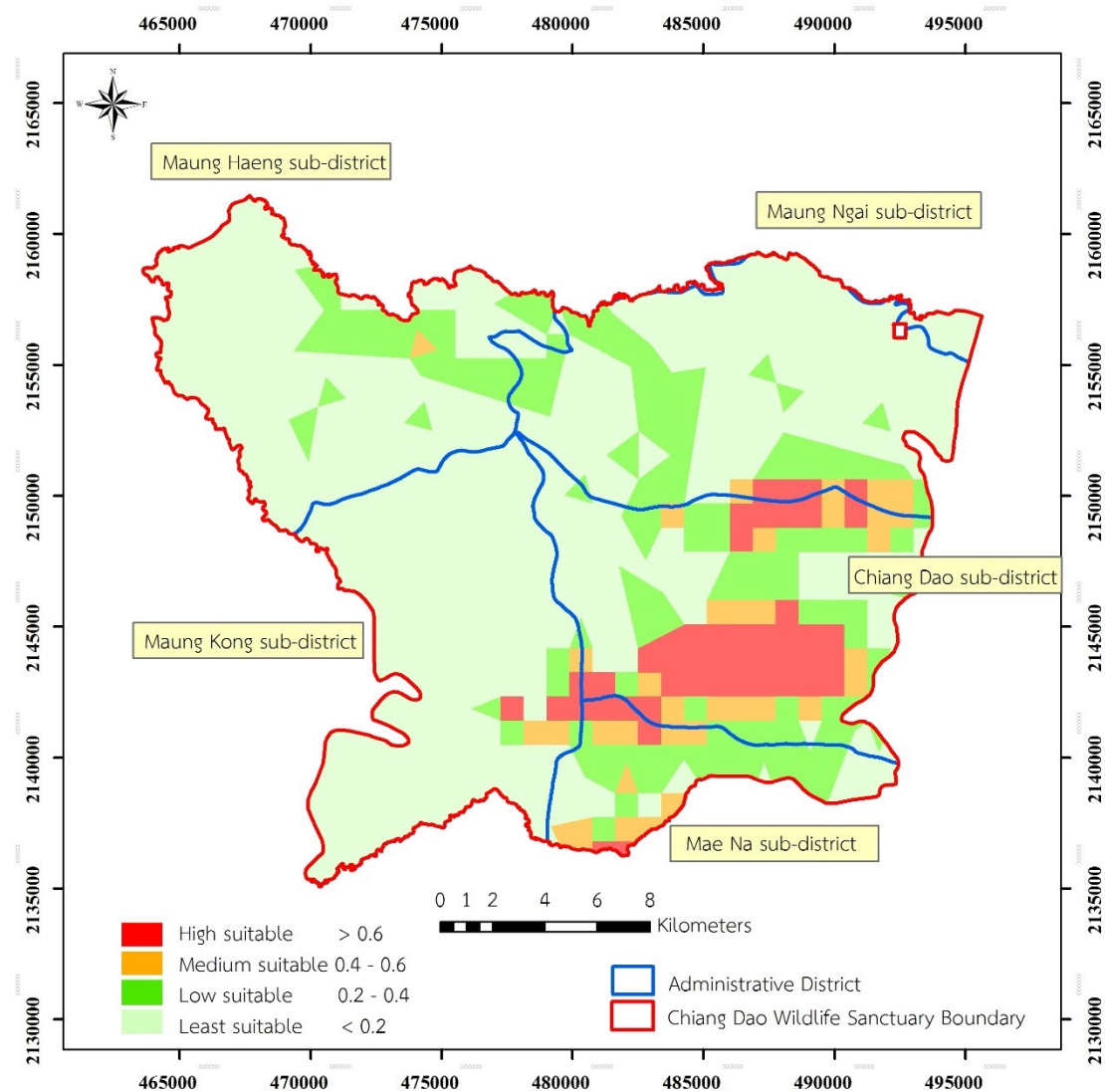


Figure 6 Suitability area of Burmese Goral (*Naemorhedus griseus*) in the Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai province.

สรุป

การทดสอบแบบจำลองการประเมินถิ่นที่อาศัยที่เหมาะสมของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีขนาดพื้นที่ศึกษา 325,625 ไร่ จากการศึกษาค้นคว้า พบว่าความสามารถในการทำนายมีค่าที่ดีที่สุด คือ ค่า AUC เท่ากับ 0.857 ซึ่งยิ่งค่า AUC เข้าใกล้ 1 จะมีค่าความถูกต้องที่มากขึ้นตามลำดับ โดยปัจจัยแวดล้อมที่มีความสำคัญในการกำหนดการเลือกถิ่นที่อาศัยของกวางผาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความลาดชันของพื้นที่ ตามลำดับ

พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับเป็นที่อยู่อาศัยของกวางผาแบ่งออกได้ 4 ระดับ โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้ มีความเหมาะสมน้อยที่สุด มีความเหมาะสมต่ำ มีความเหมาะสมสูง และมีความเหมาะสมปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 67.23, 20.07, 7.32 และ 5.39 ของพื้นที่ทั้งหมด เมื่อแบ่งพื้นที่ตามขอบเขตการปกครอง ตำบลที่มีความเหมาะสมสำหรับเป็นที่อยู่อาศัยของกวางผา ได้แก่ ตำบลเชียงดาว ตำบลแม่ทะ ตำบลเมืองงาย และตำบลเมืองคอง โดยมีพื้นที่ที่เหมาะสมที่สำคัญอยู่บริเวณดอยหลวงเชียงดาว และดอยนาง ลักษณะของพื้นที่เป็นภูเขาสูงชันเหมาะสมกับการอยู่อาศัยของกวางผา โดยพบในระดับความเหมาะสมสูง

และความเหมาะสมปานกลาง มีพื้นที่ 64.09 ตาราง กิโลเมตร หรือ คิดเป็นร้อยละ 12.71 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งถือว่าพื้นที่น้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอนุรักษ์ ปกป้อง ค้ำครอง พื้นที่ดังกล่าว โดยให้มีกิจกรรมของมนุษย์ น้อยที่สุด เพื่อลดผลกระทบต่อการดำรงชีพของกวางผาใน พื้นที่ และยังสามารถใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในธรรมชาติที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย ที่จะเพาะพันธุ์และ กระจายพันธุ์ออกไปในพื้นที่ป่าอนุรักษ์แห่งอื่นที่มีความ เหมาะสมที่อยู่ใกล้เคียงต่อไป

คำนิยาม

ขอขอบคุณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว ที่ เอื้อเพื่อและสนับสนุนข้อมูลงานลาดตระเวนเชิงคุณภาพ (SMART Patrol) ในพื้นที่ และขอขอบคุณอาจารย์ที่ ปรึกษา คณะอาจารย์ บุคลากร และเพื่อน ๆ สาขาวิชาการ จัดการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ – แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ตลอดจนการดำเนินการวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

REFERENCES

- Anderson, R.P., Lew, D., Peterson, A.T. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162(3): 211–232.
- Berhanu, Y., Tassie, N., Sintayehu, W.D. 2022. Predicting the Current and Future suitable Habitats for Endemic and Endangered Ethiopian Wolf Using MaxEnt Model. Africa Center of Excellence for Climate Smart Agriculture and Biodiversity Conservation, Haramaya University, Ethiopia.
- Deeprasai, V. 2006. Application of Geographic Information System and Remote Sensing for Goral's Habitat Assessment in Omkoi Wildlife Sanctuary Changwat Chiang Mai. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Division of Land and Forest Resources. 1999. *Master Plan for Area Management in Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai Province*. Land and Forest Resources Division, Natural Resources Conservation Office, Royal Forest Department, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Dormann, F.C., McPherson, M.J., Araújo, B.M., Bivand, R., Bolliger, J., Carl, G., Davies, G.R., Hirzel, A., Jetz, W., Daniel Kissling, W., Kühn, I., Ohlemüller, R., Peres-Neto, R.P., Reineking, B., Schröder, B., Schurr, M.F., Wilson, R. 2007. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography*, 30: 609–628. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05171.x>
- Fielding, A.H., 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., 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, Switzerland.
- IUCN. 2008. *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/species/14303/430834/>, 24 July 2020.
- Kamyo, T., 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. (in Thai)
- Khanum, R., Mumtaz, A.S., Kumar, S. 2013. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. **Acta Oecologica**, 49: 23-31.
- Lekagul, B. McNeely, J.A. 1977. **Mammal of Thailand**. Kuruspha Ladprao, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2005. **Summary Thailand Red Data Vertebrates**. Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Planisong, K., Trisurat, Y., Sookchaloem, D., Bhumpakphan, N. 2019. **Co-habitats Model of Gaur and Elephant at Phu Khieo Wildlife Sanctuary, Chaiyaphum Provine**. Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Phillips, S.J., Dudik, M. 2008, Modeling of species distributions with maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, 31(2): 161-175.
- Phillips, S.J., Anderson R.R., Schapire, R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, 190(3-4): 231-259.
- Safoowong, M. 2018. **Population Status and Distribution of Chinese Goral in Thailand**. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Scheldeman, X., Zonneveld, M. 2010. **Training Manual on Spatial Analysis of Plant Diversity and Distribution**. Biodiversity International, Rome, Italy.
- Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. **Science**, 240: 1285-1293. doi: 10.1126/science.3287615
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 2021. **Biosphere reserves in Asia and the Pacific**. <https://en.unesco.org/biosphere/aspac/>, 20 December 2020.
- Wildlife Conservation Society – Thailand Program. 2015. **SMART Patrol Technique for Protected Area Management**. Saeng Muang Printing Company, Nonthaburi, Thailand. (in Thai)
- Wildlife Conservation Office. 2020. **Wild Animal Reservation and Protection Act, B.E., 2562 (2019)**. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Xu, N., Meng, F., Zhou, G., Li, Y., Wang, B., Lu, H. 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. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104052>.
- Yackulic, C.B., Chandler, R., Zipkin, E.F., Royle, J.A., Nichols, J.D., Campbell Grant, E.H., Veran, S. 2013. Presence only modelling using MAXENT: when can we trust the inferences? **Methods in Ecology and Evolution**, 4: 236-243. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.12004>