

การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในอนาคต ภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ณัฐพล เย็นสกุลสุข* และปริเวท วรรณโกวิท

ศูนย์วิศวกรรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ และนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ

* Corresponding author: nuttapon.ysk@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและคาดการณ์ความเปลี่ยนแปลงระดับความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในสภาวะที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย โดยการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของพืชพันธุ์ ด้วยเทคนิคทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านภูมิอากาศกับพื้นที่ปลูกพืชในช่วงอดีตที่ผ่านมา ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองพบว่าแบบจำลองป่าสุ่มให้ค่าทดสอบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ โดยมีค่า AUC อยู่ในช่วงร้อยละ 0.92 – 0.95 และ TSS มีค่าช่วงร้อยละ 0.78 – 0.85 โดยตัวแปรข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ BIO2, BIO8, BIO10, BIO12, BIO14, BIO15, BIO17, BIO18 และ BIO19

ผลการศึกษาคาดการณ์ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ปลูกพืชในอนาคต (ค.ศ. 2021-2040) พบว่า พื้นที่ที่มีความเหมาะสมปลูกพืชมากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ พื้นที่เพาะปลูกข้าว 240,970.52 ตร.กม., อ้อย 39,063.60 ตร.กม., มันสำปะหลัง 5,498.83 ตร.กม., และข้าวโพด 93,294.44 ตร.กม. โดยพื้นที่ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ -5.06, -7.85, -7.10 และ 1.01 ตามลำดับเมื่อเทียบกับผลคาดการณ์ในช่วง ค.ศ. 2021-2100 พื้นที่ที่มีความเหมาะสมสูงพบมากในภาคเหนือ กลาง ตะวันตก และตะวันออกเฉียงเหนือฝั่งตะวันตก ในขณะที่พื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่ำพบในภาคใต้ ตะวันออก และ ตะวันออกเฉียงเหนือฝั่งตะวันออก ซึ่งได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ โดยเฉพาะพื้นที่ภาคใต้และตะวันออกตอนล่าง ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงเกินความต้องการ (1,500-4,500 มม.) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและน้ำฝนมีผลโดยตรงต่อการเกษตร ซึ่งอาจแตกต่างกันตามความอ่อนไหวของพืชแต่ละชนิดต่อสภาพอากาศ

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ / แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ / แบบจำลองการกระจายพันธุ์ / พืชเศรษฐกิจ

Forecasting Suitable Areas for Future Economic Crop Cultivation Under Climate Change Impacts

Nuttapon Yensakunsuk* and Pariwate Varnakovida

*The KMUTT Geospatial Engineering and Innovation Center, Faculty of Science,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand*

* Corresponding author: nuttapon.ysk@gmail.com

Abstract

This article presents a study that aims to investigate and predict changes in the suitability of agricultural land for key economic crops, including rice, sugarcane, cassava, and maize, in Thailand under the impact of climate change. A species distribution model was developed using statistical techniques to examine the relationship between climate variables and crop cultivation areas in the past. The performance evaluation of the model revealed that the Random Forest model provided the highest efficiency compared to other models, with an AUC value ranging from 0.92 to 0.95 and a TSS value between 0.78 and 0.85. The climate variables identified as most suitable for the model included BIO2, BIO8, BIO10, BIO12, BIO14, BIO15, BIO17, BIO18, and BIO19.

The future prediction (2021-2040) of crop cultivation suitability indicated that areas with more than 50% suitability include rice (240,970.52 km²), sugarcane (39,063.60 km²), cassava (5,498.83 km²), and maize (93,294.44 km²). However, all areas are expected to decrease on average by -5.06%, -7.85%, -7.10%, and 1.01% respectively when compared to predictions for the period 2021-2100. Areas of high suitability were mostly found in the northern, central, western, and western northeastern regions, while areas with low suitability were located in the southern, eastern, and eastern northeastern regions, mainly due to variations in rainfall and temperature. The southern and southeastern regions, which receive excess rainfall (1,500-4,500 mm), are particularly affected. Temperature and rainfall changes directly impact agriculture, with effects varying depending on the sensitivity of each crop to climate conditions.

Keywords: Climate Change / Climate Model / Species Distribution Model / Economic Crops

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ตามนิยามของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) คือการเปลี่ยนแปลงในสถานะของสภาพภูมิอากาศที่สามารถระบุได้จากการทดสอบทางสถิติ เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยหรือความแปรปรวนของคุณสมบัติภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเกิดได้ทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ [1] หากไม่มีการดำเนินการแก้ไขอย่างทันทั่วถึงที่ อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกอาจเพิ่มขึ้นเกิน 2 องศาเซลเซียส ภายในปี 2050 ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะภาคเกษตรกรรม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยเชื่อมโยงกับหลายปัจจัยระดับโลก เช่น การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล ความแปรปรวนของระบบมหาสมุทร และปรากฏการณ์เอลนีโญ ซึ่งมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิในประเทศไทย การทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับโลกและภูมิภาคเป็นสิ่งสำคัญในการวางแผนรับมือปัญหาที่เกิดขึ้น ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีภาคเกษตรกรรมเป็นส่วนสำคัญของเศรษฐกิจ โดยภาคเกษตรกรรมคิดเป็นร้อยละ 8.4 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ [2] การเกษตรมีความอ่อนไหวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปัจจัยสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้น และการระเหย ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่พึ่งพาสภาพอากาศอย่างมาก (IPCC, 2014) พืชเศรษฐกิจหลักของไทย ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ซึ่งเป็นแหล่งรายได้สำคัญและช่วยเสริมความมั่นคงทางอาหารทั้งในประเทศและต่างประเทศ [3]

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบโดยตรงต่อการมีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในระบบเกษตรกรรมและมีผลกระทบต่อเสถียรภาพทางเศรษฐกิจของประเทศในระยะยาว การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ภายใต้สถานการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการกระจายพันธุ์พืช (Species Distribution Model) ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศกับพื้นที่เพาะปลูกในอดีต และคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เกษตรกรรมที่อาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของพื้นที่ที่เหมาะสมของพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในประเทศไทย โดยใช้ตัวแปร Bioclimatic เป็นปัจจัยในการประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกพืชในอนาคต

2. เพื่อระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพในการปลูกพืชเศรษฐกิจทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในสภาวะที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ขอบเขตเชิงพื้นที่

พื้นที่ศึกษารอบคอบคลุมทั้งประเทศไทย โดยศึกษาพื้นที่เกษตรกรรมที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด การเลือกพื้นที่เกษตรกรรมจะอ้างอิงจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อระบุพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกพืช

2. ขอบเขตเชิงเวลา

งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตเชิงเวลาออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ 1) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่เกษตรกรรม 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ค.ศ. 2000-2001, ค.ศ. 2010-2012 และ ค.ศ. 2018-2019 และ 2) การวิเคราะห์

พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชในอนาคตโดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) ภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ใช้แบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ค.ศ. 2021-2040, ค.ศ. 2041-2060, ค.ศ. 2061-2080 และ ค.ศ. 2081-2100 โดยทั้ง 4 ช่วงเวลาที่เลือกจาก CMIP6 ถูกกำหนดตามขอบเขตการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 เพื่อให้ครอบคลุมช่วงเวลาที่สำคัญสำหรับการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว โดยเฉพาะผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรม

3. ขอบเขตการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ดำเนินการวิเคราะห์ใน 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การรวบรวมและเตรียมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศ 2) การสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของพืชพันธุ์และการคาดการณ์พื้นที่เพาะปลูกในอนาคตโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ ได้แก่ Generalized Additive Model (GAM), Generalized Linear Model (GLM), Maximum Entropy (MaxEnt), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), และ Classification And Regression Trees (CART) และ 3) การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดย Area Under the Curve (AUC) และ True Skill Statistic (TSS) และแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบแผนที่

4. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในอดีตและคาดการณ์ความน่าจะเป็นของพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกในอนาคต ภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรม และประเมินความเหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกผ่านแบบจำลองการกระจายตัวของพืชพันธุ์ ซึ่งอาศัยตัวแปร Bioclimatic จากชุดข้อมูลภูมิอากาศ CMIP6 ภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับความเหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในอนาคต

4.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามีพิกัด ละติจูดที่ 5° 36' 45.86" ถึง 20° 27' 53.73" เหนือ และลองจิจูดที่ 97° 20' 37.32" ถึง 105° 38' 13.29" ตะวันออก ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ประเทศไทย มีจังหวัดทั้งหมด 77 จังหวัด มีเนื้อที่ประมาณ 517,633 ตารางกิโลเมตร ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการขอบเขตตัดพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อุทยานแห่งชาติ และพื้นที่ชลประทานออกไป เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่อุทยานแห่งชาติเป็นพื้นที่ควบคุมเฉพาะ ไม่สามารถทำการเกษตรใด ๆ โดยศึกษาพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด โดยพื้นที่ปลูกข้าว มีพื้นที่ประมาณ 108,524.29 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ปลูกอ้อย มีพื้นที่ประมาณ 31,863.87 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง มีพื้นที่ประมาณ 23,595.66 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ปลูกข้าวโพด มีพื้นที่ประมาณ 13,551.50 ตารางกิโลเมตร อ้างอิงจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ปี ค.ศ. 2018-2019

4.2 ข้อมูลที่ใช้การศึกษา

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากสามช่วงเวลา ได้แก่ ค.ศ. 2000–2001, ค.ศ. 2010–2012 และ ค.ศ. 2018–2019 โดยข้อมูลดังกล่าวมีความละเอียดเชิงพื้นที่ระดับที่ 3 ซึ่งได้รับจากกรมพัฒนาที่ดิน นอกจากนี้ ยังใช้ข้อมูลปัจจัยภูมิอากาศด้านชีววิทยา (Bioclimatic variables) จำนวน 19 ตัวแปร ซึ่งถูกจัดแบ่งออกเป็นสองชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วง 30 ปี (ค.ศ. 1970–2000) สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลอง และชุดข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตภายใต้โครงการ Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) ซึ่งครอบคลุมช่วงเวลา

ตั้งแต่ ค.ศ. 2021–2040, ค.ศ. 2041–2060, ค.ศ. 2061–2080 และ ค.ศ. 2081–2100 โดยใช้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งคำนึงถึงมิติทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งประกอบด้วยสองสถานการณ์หลัก ได้แก่ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยใช้แบบจำลอง MRI-ESM2-0 เป็นหนึ่งในแบบจำลองภูมิอากาศที่ใช้ในการจำลองแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับโลก ซึ่งภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 จาก CMIP6 จะช่วยในการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้เงื่อนไขการพัฒนาเศรษฐกิจที่แตกต่างกัน

โดยสถานการณ์ SSP2-4.5 สะท้อนถึงสถานการณ์การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมที่สมดุล โดยมีการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับปานกลาง ซึ่งตั้งเป้าหมายให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 4.5 W/m^2 ภายในปี 2100 โดยมีกระบวนการพัฒนาเศรษฐกิจรวมกับมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับหนึ่ง ซึ่งเป็นการจำลองที่ไม่รุนแรงมากนัก แต่ยังคำนึงถึงความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ในทางตรงกันข้าม SSP5-8.5 เป็นสถานการณ์ที่แสดงถึงการขยายตัวของเศรษฐกิจในระดับสูง โดยไม่มีการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเพียงพอ ส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ที่รุนแรงที่สุด เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะสูงขึ้นถึง 8.5 W/m^2 ภายในปี 2100 ทำให้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความรุนแรง และอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสังคมในระยะยาว

การเลือกใช้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 เป็นการศึกษาที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดย SSP2-4.5 ถูกเลือกเพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับปานกลางที่สมดุลและไม่รุนแรง ส่วน SSP5-8.5 ถูกเลือกเพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงที่สุดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงที่สุด การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลกระทบจากสองสถานการณ์นี้จะช่วยให้สามารถประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชในอนาคต โดยพิจารณาภายใต้เงื่อนไขภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการวางแผนการเกษตรที่สามารถปรับตัวได้ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

ข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.04177 องศา หรือประมาณ 4,625 เมตรต่อหนึ่งพิกเซล โดยอ้างอิงระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS 1984 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลสำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในการศึกษาด้านภูมิศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

4.3 กระบวนการก่อนการประมวลผล

ทำการเตรียมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เพื่อใช้สำหรับนำไปวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศของในอดีตและข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคต แสดงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

4.3.1 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การจัดเตรียมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อยู่จัดเก็บอยู่รูปแบบฐานข้อมูล GIS เนื่องจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้รับมาจากกรมแผนที่ดินถูกแบ่งออกเป็นหลายไฟล์แยกตามภูมิภาค ดังนั้นจึงต้องทำการรวมข้อมูลทั้งหมด ให้อยู่ใน 1 ไฟล์ และทำการคัดเลือกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกพืชข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดออกมา คัดกรองข้อมูลจากฐานข้อมูล GIS โดยอ้างอิงค่า LU_CODE ในตารางข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Table)

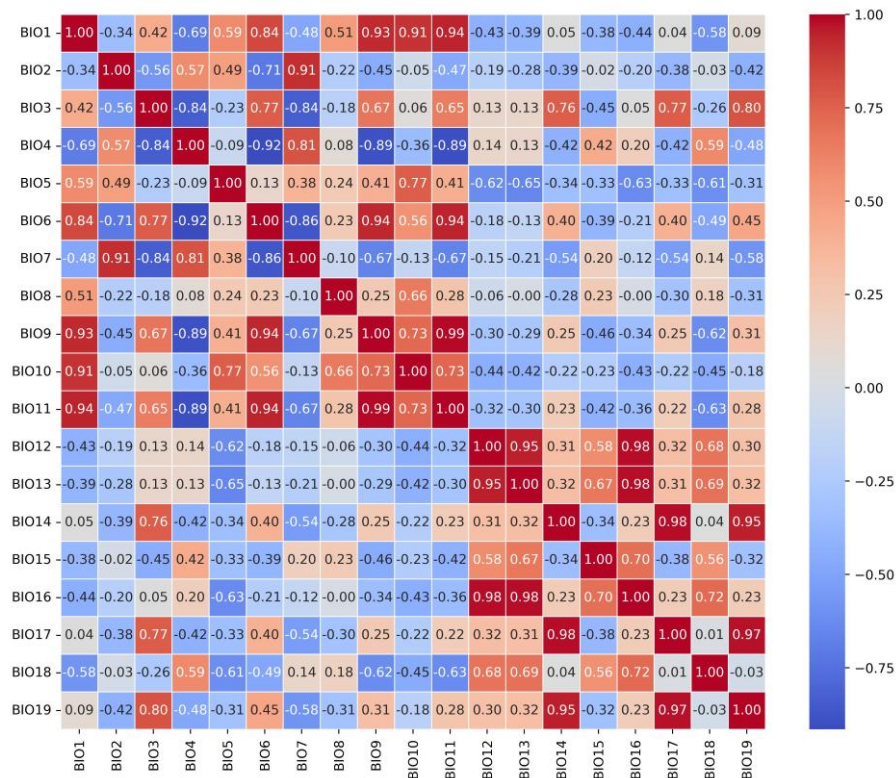
4.3.2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

เตรียมข้อมูล Bioclimatic 19 ตัวแปรโดยดึงค่าจากพื้นที่เพาะปลูกพืช โดยอ้างอิงตำแหน่งของพื้นที่เพาะปลูกพืชจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลแรสเตอร์ถูกแปลงเป็นโครงสร้างตัวเลข (Array) เพื่อการวิเคราะห์ จากนั้นคัดเลือกตัวแปร Bioclimatic ที่เหมาะสมโดยลดปัญหา multi-collinearity โดยพิจารณาจาก variance inflation factor (VIF) < 10 และ

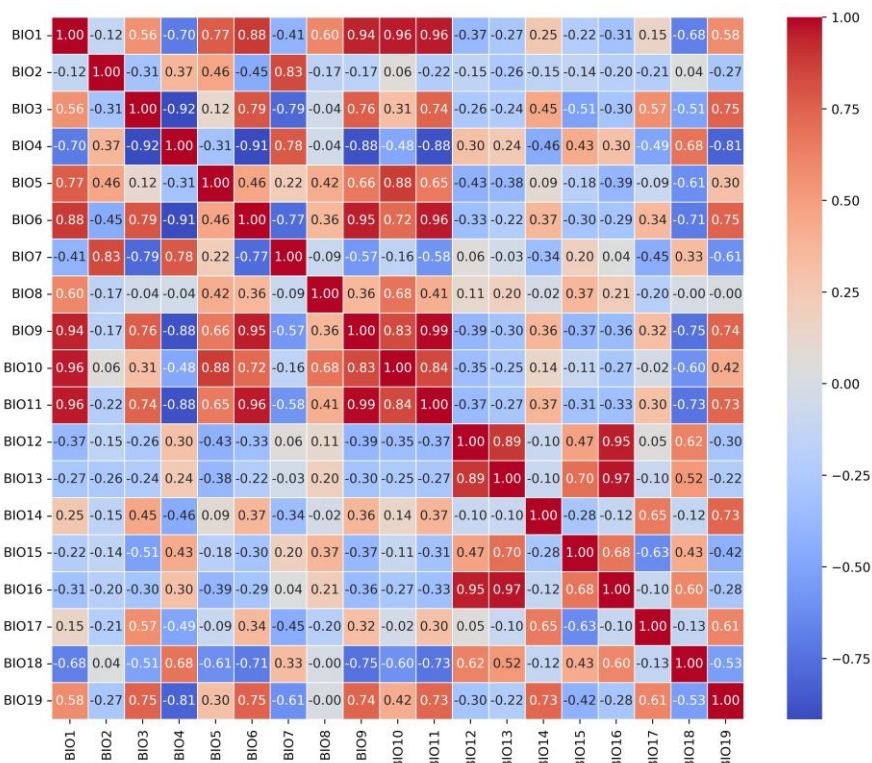
Pearson Correlation Coefficient < 0.7 [4-6] ตัวแปร Bioclimatic ที่คัดเลือกถูกนำไปใช้สร้างแบบจำลองและคาดการณ์พื้นที่เพาะปลูกที่เหมาะสมในอนาคต

ตารางที่ 1 ตัวแปร Bioclimatic ที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากค่า VIF

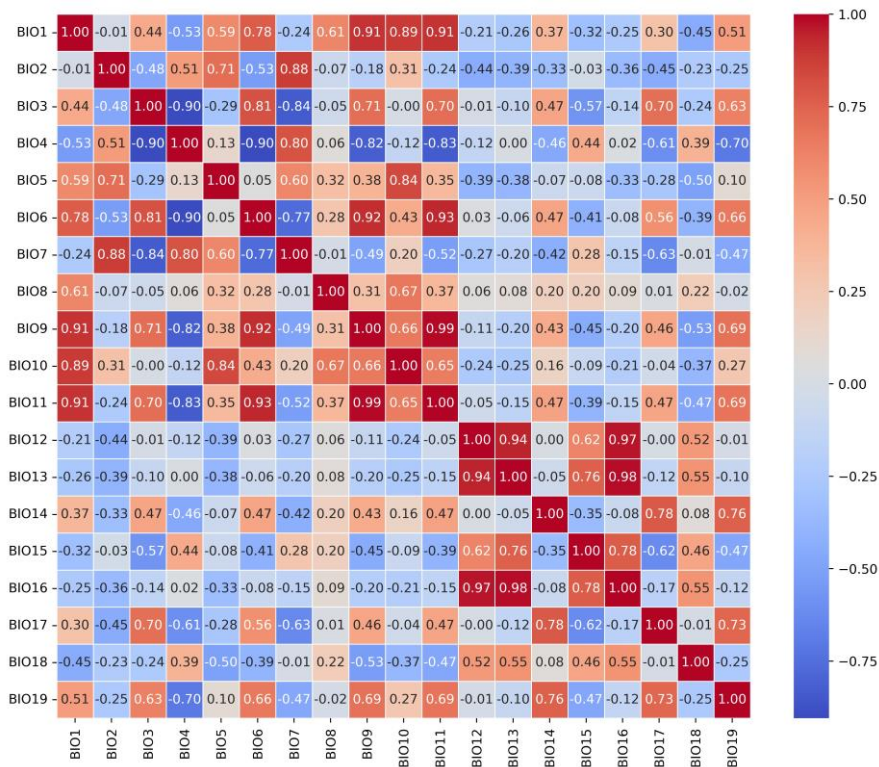
พืช	ตัวแปร Bioclimatic	VIF
ข้าว	BIO2 (Mean Diurnal Range)	1.53
	BIO8 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	4.71
	BIO10 (Mean Temperature of Warmest Quarter)	4.78
	BIO12 (Annual Precipitation)	3.74
	BIO14 (Precipitation of Driest Month)	2.51
	BIO15 (Precipitation Seasonality)	3.12
	BIO18 (Precipitation of Warmest Quarter)	3.93
อ้อย	BIO2 (Mean Diurnal Range)	1.36
	BIO8 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	1.27
	BIO12 (Annual Precipitation)	8.95
	BIO14 (Precipitation of Driest Month)	3.72
	BIO15 (Precipitation Seasonality)	8.71
	BIO17 (Precipitation of Driest Quarter)	5.78
	BIO18 (Precipitation of Warmest Quarter)	2.70
มันสำปะหลัง	BIO19 (Precipitation of Coldest Quarter)	4.93
	BIO2 (Mean Diurnal Range)	1.52
	BIO8 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	1.21
	BIO12 (Annual Precipitation)	3.08
	BIO14 (Precipitation of Driest Month)	3.45
	BIO15 (Precipitation Seasonality)	2.87
	BIO18 (Precipitation of Warmest Quarter)	1.97
ข้าวโพด	BIO2 (Mean Diurnal Range)	1.32
	BIO8 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	1.06
	BIO12 (Annual Precipitation)	2.86
	BIO14 (Precipitation of Driest Month)	4.42
	BIO15 (Precipitation Seasonality)	3.65
	BIO18 (Precipitation of Warmest Quarter)	1.66
	BIO19 (Precipitation of Coldest Quarter)	1.75



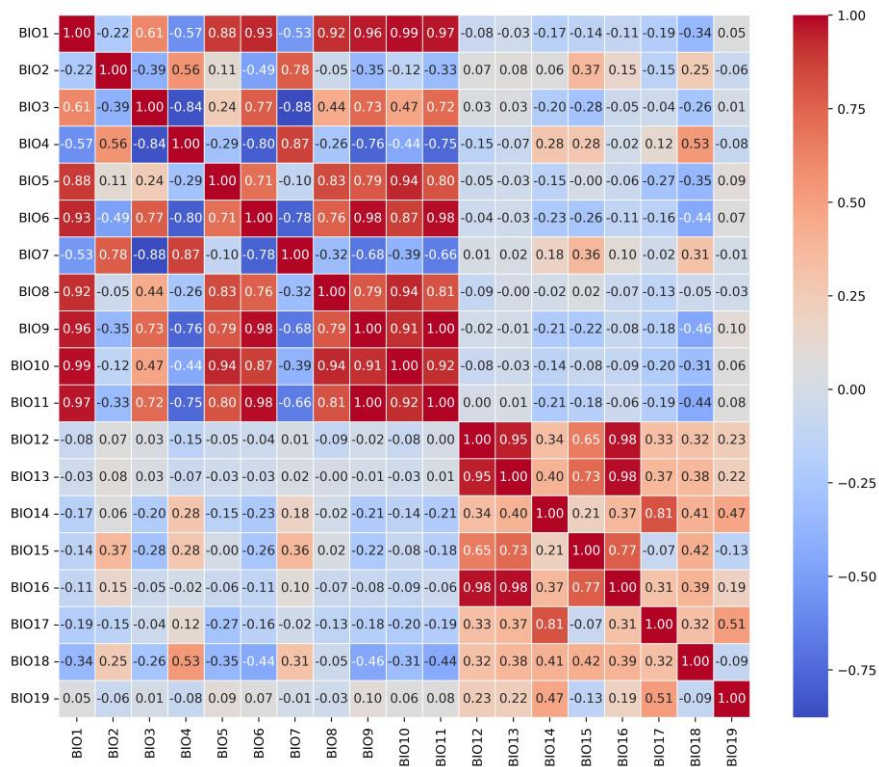
รูปที่ 1 Pearson Correlation Matrix ตัวแปร Bioclimatic ของข้าว



รูปที่ 2 Pearson Correlation Matrix ตัวแปร Bioclimatic ของอ้อย



รูปที่ 3 Pearson Correlation Matrix ตัวแปร Bioclimatic ของลำปะหลัง



รูปที่ 4 Pearson Correlation Matrix ตัวแปร Bioclimatic ของข้าวโพด

4.4 การประมวลผลข้อมูล

4.4.1 การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่เพาะปลูกพืช 4 ชนิดใน 3 ช่วงเวลา โดยใช้วิธีการซ้อนทับ (Overlay Analysis) เพื่อศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในแต่ละช่วงเวลา

4.4.2 การสร้างแบบจำลองและการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของพืชพันธุ์เพื่อคาดการณ์ในอนาคตโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศและพื้นที่เพาะปลูก ใช้ข้อมูลภูมิอากาศในอดีตในการสร้างแบบจำลอง และข้อมูลในอนาคตจากแบบจำลอง MRI-ESM2-0 ภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 เพื่อคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมในการเพาะปลูกพืชในอนาคต

ใช้แบบจำลองทางสถิติที่นิยม ได้แก่ Generalized Additive Model (GAM), Generalized Linear Model (GLM), Maximum Entropy (MaxEnt), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), และ Classification And Regression Trees (CART) [7,8,6] โดยใช้โปรแกรม R และฟังก์ชันจากแพ็คเกจ biomod2 สำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยชุดข้อมูลแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ training set (70%) สำหรับฝึกสอน และ test set (30%) สำหรับทดสอบ โดยใช้วิธี K-Fold Cross Validation (K=10) เพื่อลดความเสี่ยงของการเลือกข้อมูลชุดทดสอบไม่เหมาะสม [9] การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองใช้ AUC และ TSS เพื่อเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการคาดการณ์การกระจายตัวของพืชพันธุ์ [10,11]

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษา

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

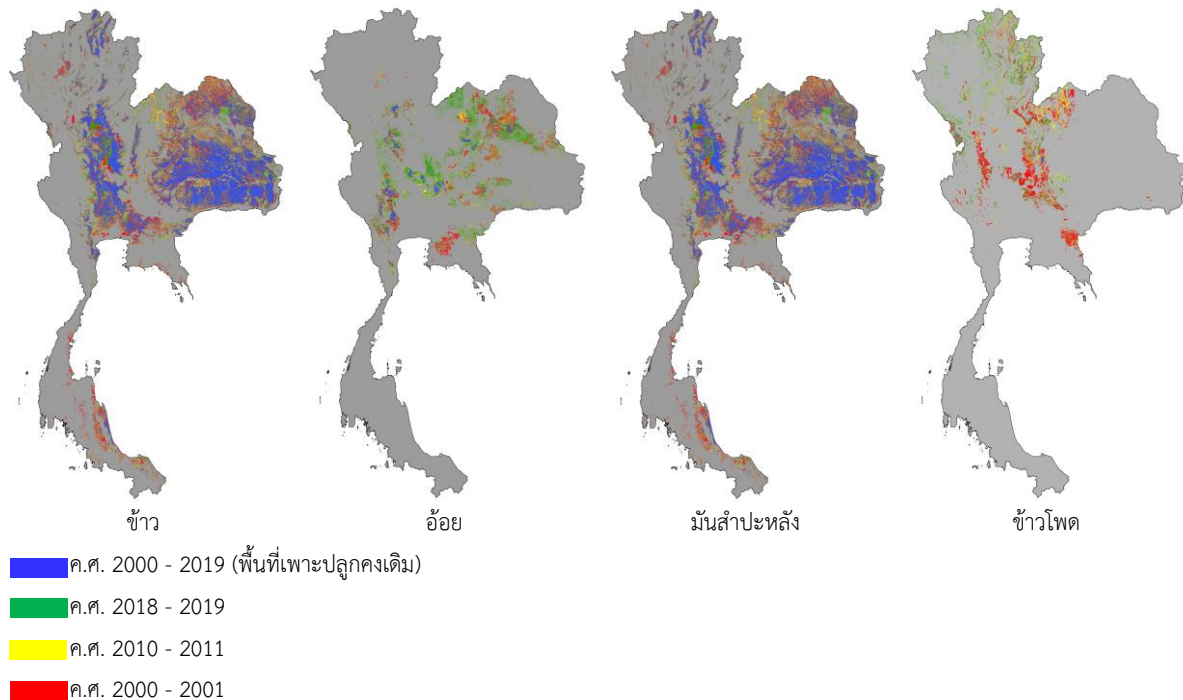
ผลการศึกษาความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในอดีตระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001, ค.ศ. 2010–2012, และ ค.ศ. 2018–2019

พบว่า พื้นที่ปลูกข้าวมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ. 2000–2001 มีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 140,224.23 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 27.09 ของพื้นที่ทั้งหมด ในปี ค.ศ. 2010–2012 มีพื้นที่ปลูกข้าวลดลงเหลือประมาณ 119,104.58 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 23.01 และในปี ค.ศ. 2018–2019 ลดลงเหลือ 108,524.29 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 20.97 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001 ถึง ค.ศ. 2018–2019 พบว่ามีแนวโน้มลดลงร้อยละ 22.61

สำหรับพื้นที่ปลูกอ้อย พบว่าในปี ค.ศ. 2000–2001 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 23,323.55 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4.51 ของพื้นที่ทั้งหมด ในขณะที่ในปี ค.ศ. 2010–2012 มีพื้นที่ปลูกอ้อยลดลงเล็กน้อยเป็น 22,993.66 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4.44 และในปี ค.ศ. 2018–2019 พื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นเป็น 31,863.87 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 6.16 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001 ถึง ค.ศ. 2018–2019 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.62

ในส่วนของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง พบว่าในปี ค.ศ. 2000–2001 มีพื้นที่ปลูก 17,406.41 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.36 ของพื้นที่ทั้งหมด และในปี ค.ศ. 2010–2012 เพิ่มขึ้นเป็น 20,097.17 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.88 และในปี ค.ศ. 2018–2019 เพิ่มขึ้นเป็น 23,595.66 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4.56 ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นร้อยละ 35.56 ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001 ถึง ค.ศ. 2018–2019

และพื้นที่ปลูกข้าวโพดในปี ค.ศ. 2000–2001 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 22,751.62 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4.40 ของพื้นที่ทั้งหมด แต่ในปี ค.ศ. 2010–2012 ลดลงเป็น 16,551.71 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.20 และในปี ค.ศ. 2018–2019 ลดลงเหลือ 13,551.50 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 2.62 ซึ่งแสดงการลดลงร้อยละ 40.44 ของพื้นที่ปลูกข้าวโพด เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001 ถึง ค.ศ. 2018–2019



รูปที่ 5 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เพาะปลูกพืช 4 ชนิด

5.1.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวพืชพันธุ์ เพื่อคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชในอนาคต โดยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศในอดีตกับพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ 4 ชนิด ผลจากการใช้แบบจำลองต่างๆ จำนวน 6 แบบ ได้แก่ Generalized Additive Model (GAM), Generalized Linear Model (GLM), Maximum Entropy (MaxEnt), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) และ Classification And Regression Trees (CART) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ AUC และ TSS ค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงถึงแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่ค่าที่เข้าใกล้ 0 แสดงถึงแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพต่ำ ผลการประเมินประสิทธิภาพจากการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำนายพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชในอนาคตที่แตกต่างกันไปตามแต่ละแบบจำลอง

ตารางที่ 2 ค่า AUC จากการฝึกอบรมของแบบจำลอง (สำหรับ Training)

แบบจำลอง	ข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด
Generalized Additive Mode (GAM)	0.92	0.93	0.91	0.95
Generalized Linear Model (GLM)	0.91	0.88	0.83	0.85
Maximum Entropy (Max Ent)	0.92	0.92	0.90	0.94
Random Forest (RF)	0.99	0.99	0.99	0.99
Support Vector Machine (SVM)	0.94	0.94	0.93	0.95
Classification And Regression Trees (CART)	0.89	0.89	0.89	0.89

ตารางที่ 3 ค่า AUC จากการฝึกอบรมของแบบจำลอง (สำหรับ Test)

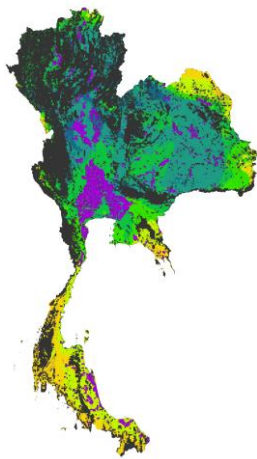
แบบจำลอง	ข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด
Generalized Additive Mode (GAM)	0.91	0.92	0.90	0.92
Generalized Linear Model (GLM)	0.90	0.88	0.83	0.84
Maximum Entropy (Max Ent)	0.91	0.91	0.89	0.92
Random Forest (RF)	0.93	0.93	0.92	0.95
Support Vector Machine (SVM)	0.92	0.92	0.92	0.91
Classification And Regression Trees (CART)	0.87	0.88	0.87	0.84

ตารางที่ 4 ค่าทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยวิธี True Skill Statistic (TSS)

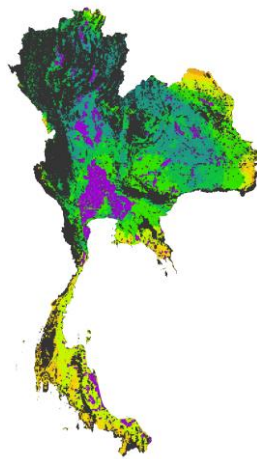
แบบจำลอง	ข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด
Generalized Additive Mode (GAM)	0.75	0.76	0.70	0.78
Generalized Linear Model (GLM)	0.74	0.69	0.62	0.64
Maximum Entropy (Max Ent)	0.75	0.75	0.70	0.79
Random Forest (RF)	0.78	0.85	0.79	0.82
Support Vector Machine (SVM)	0.76	0.79	0.74	0.78
Classification And Regression Trees (CART)	0.70	0.71	0.67	0.65

5.1.3 ผลการคาดการณ์ระดับความเหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกพืชในอนาคต

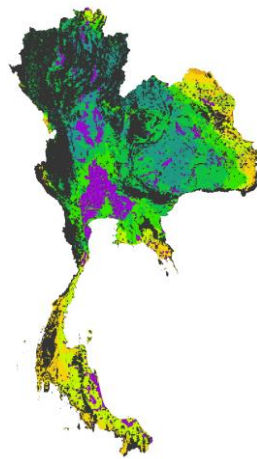
ผลการศึกษาการคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิดในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในสถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 โดยใช้แบบจำลอง Random Forest แบ่งช่วงเวลาการศึกษาเป็น 4 ช่วงระยะเวลา 20 ปี ได้แก่ ปี ค.ศ. 2021-2040, ค.ศ. 2041-2060, ค.ศ. 2061-2080, และ ค.ศ. 2081-2100 และทำการตัดพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อุทยานแห่งชาติ รวมถึงพื้นที่เขตชลประทานออกจากการวิเคราะห์ เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้ไม่สามารถใช้ในการเกษตรได้ ซึ่งผลการศึกษาถูกนำเสนอในรูปแบบเชิงพื้นที่ โดยค่าความเหมาะสมที่ใกล้เคียง 1 แสดงถึงพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสูงสำหรับการเพาะปลูก ขณะที่ค่าที่ใกล้เคียง 0 แสดงถึงความเหมาะสมที่ต่ำ



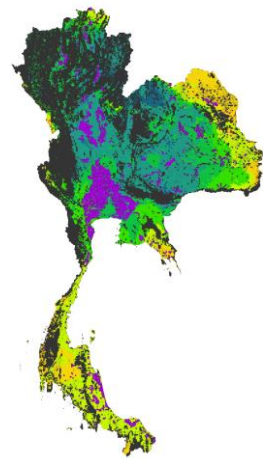
ค.ศ. 2021 – 2040



ค.ศ. 2041 – 2060

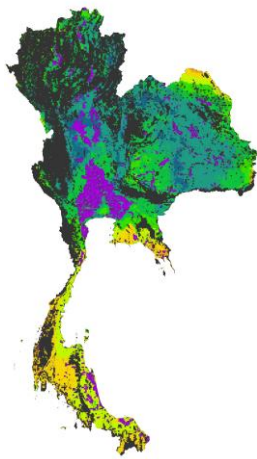


ค.ศ. 2061 – 2080

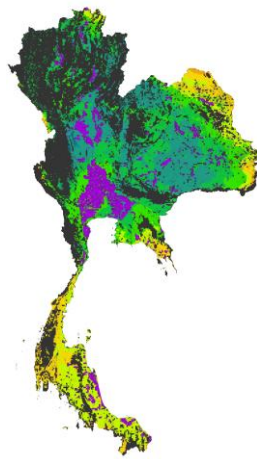


ค.ศ. 2081 – 2100

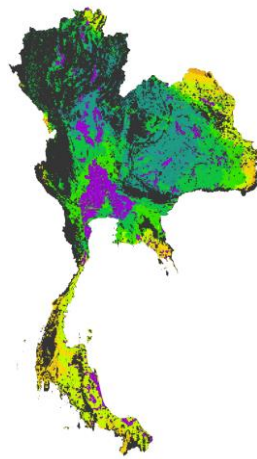
รูปที่ 6 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5



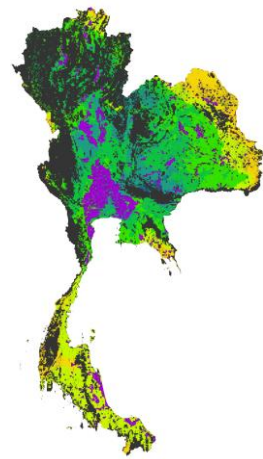
ค.ศ. 2021 – 2040



ค.ศ. 2041 – 2060

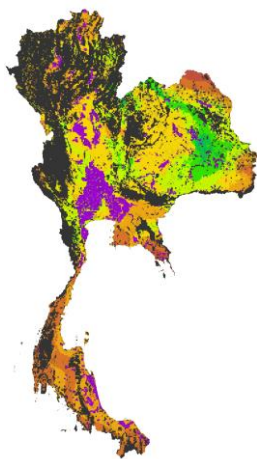


ค.ศ. 2061 – 2080

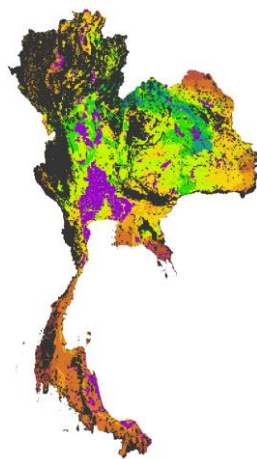


ค.ศ. 2081 – 2100

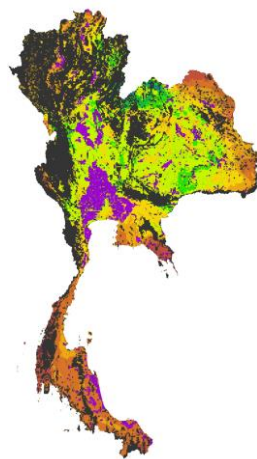
รูปที่ 7 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5



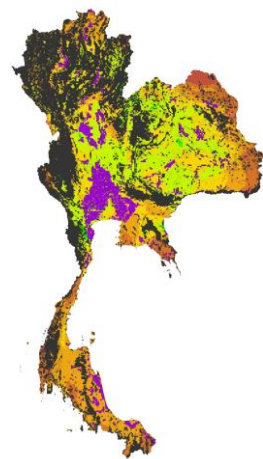
ค.ศ. 2021 – 2040



ค.ศ. 2041 – 2060

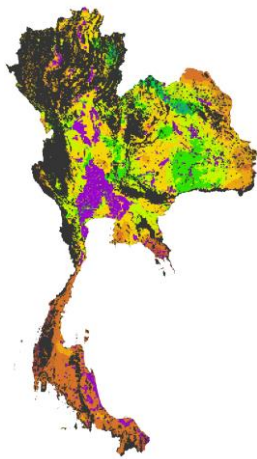


ค.ศ. 2061 – 2080

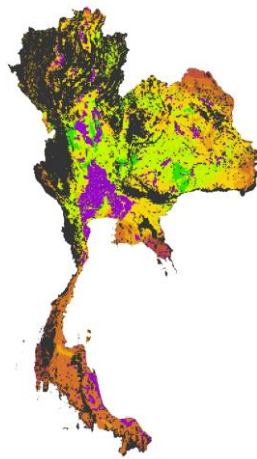


ค.ศ. 2081 – 2100

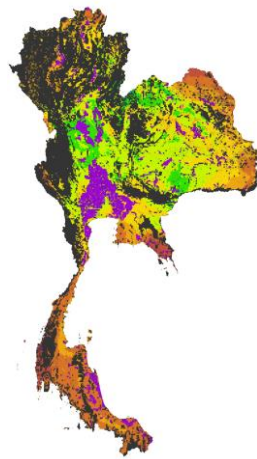
รูปที่ 8 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกอ้อยภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5



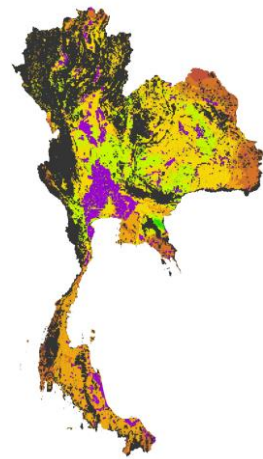
ค.ศ. 2021 – 2040



ค.ศ. 2041 – 2060

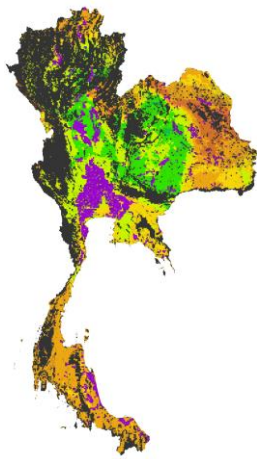


ค.ศ. 2061 – 2080

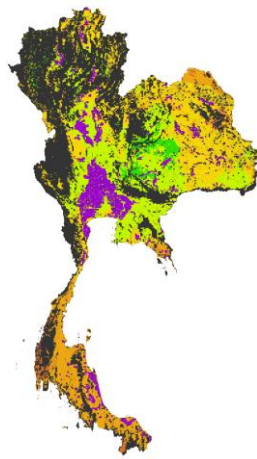


ค.ศ. 2081 – 2100

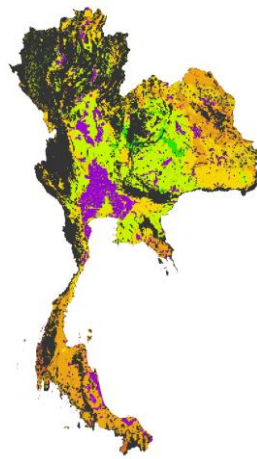
รูปที่ 9 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกอ้อยภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5



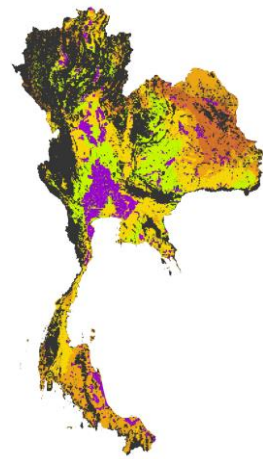
ค.ศ. 2021 – 2040



ค.ศ. 2041 – 2060

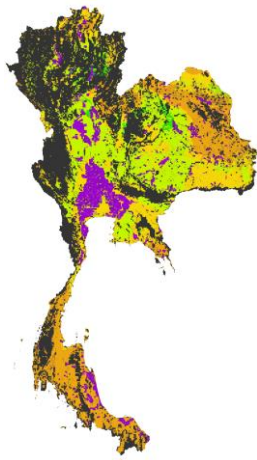


ค.ศ. 2061 – 2080

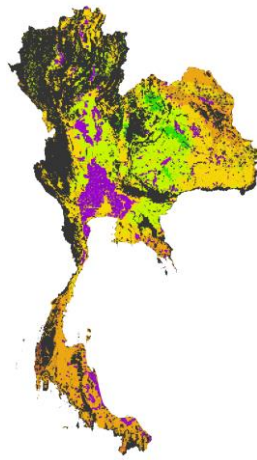


ค.ศ. 2081 – 2100

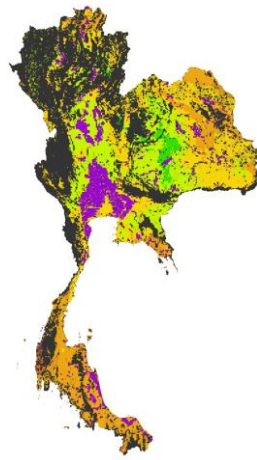
รูปที่ 10 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกมันสำปะหลังภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5



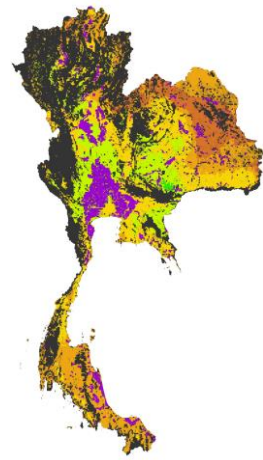
ค.ศ. 2021 – 2040



ค.ศ. 2041 – 2060

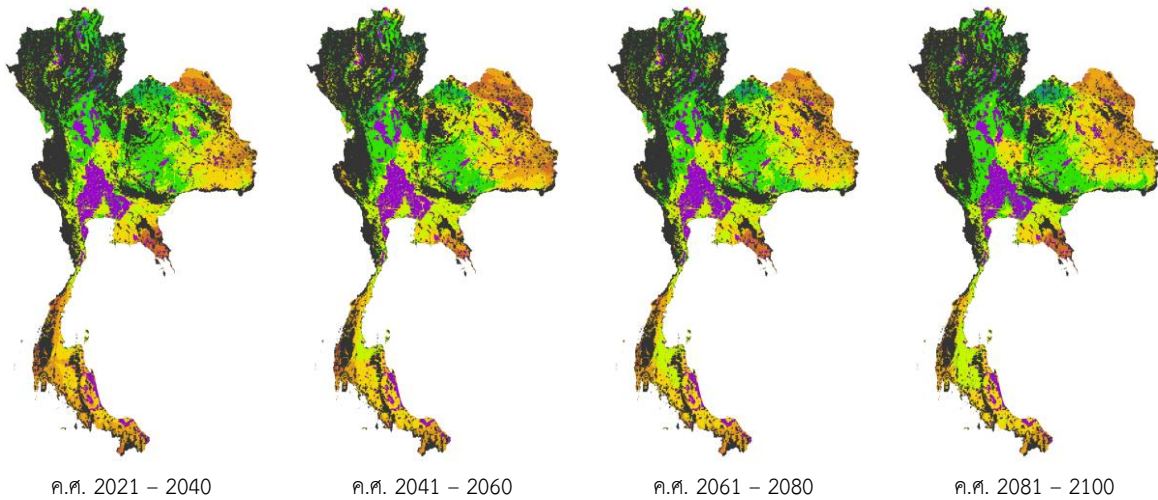


ค.ศ. 2061 – 2080

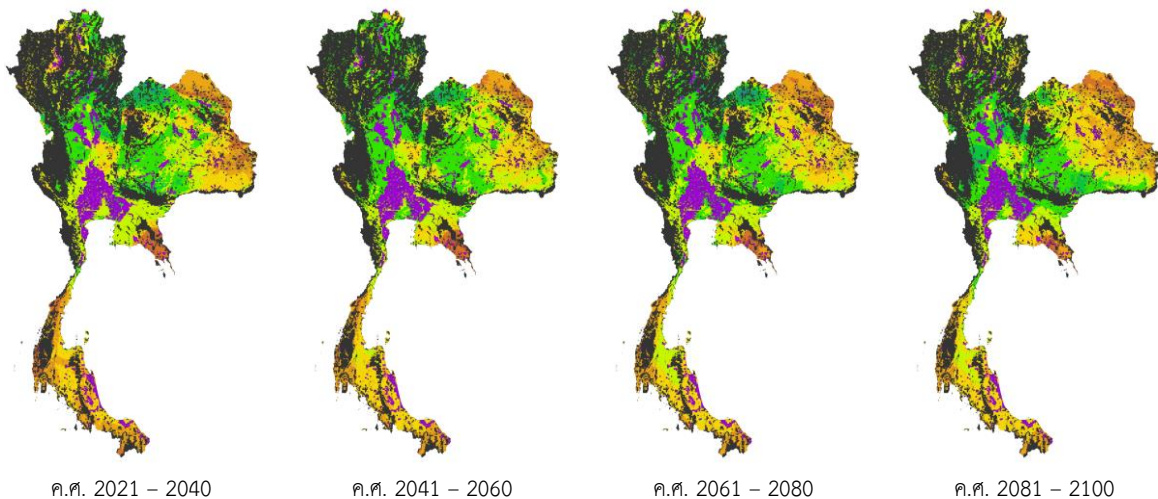


ค.ศ. 2081 – 2100

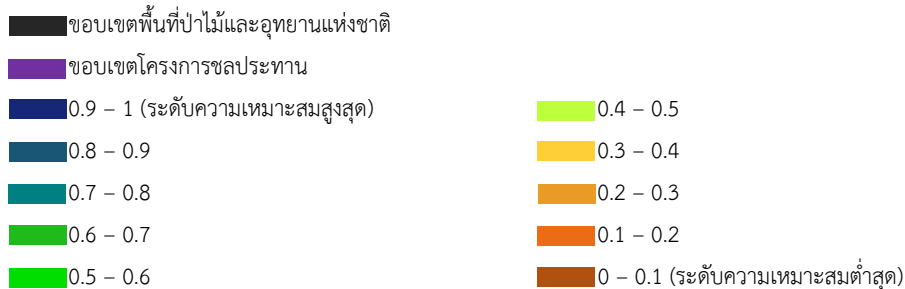
รูปที่ 11 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกมันสำปะหลังภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5



รูปที่ 12 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวโพดภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5



รูปที่ 13 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวโพดภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5



5.2 อภิปรายผล

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความสามารถของการบูรณาการเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศร่วมกับข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก (CMIP6) ในการศึกษาวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต เพื่อคาดการณ์สถานการณ์ด้านภูมิอากาศทั้งระยะสั้นและระยะยาว การศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อคาดการณ์พื้นที่ที่มีศักยภาพในการปลูกพืชเศรษฐกิจ

4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ภายใต้ภาวะภัยแล้งและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยอาศัยเทคนิคทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศและพื้นที่เพาะปลูกในอดีต

ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา (ค.ศ. 2000–2001, ค.ศ. 2010–2012, และ ค.ศ. 2018–2019) พบว่าพื้นที่เพาะปลูกข้าวและข้าวโพดมีแนวโน้มลดลง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ -22.61 และ -40.44 ตามลำดับ พื้นที่ที่ยังคงปลูกข้าวอย่างต่อเนื่องอยู่ในภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งอยู่ในเขตชลประทานทำให้สามารถเพาะปลูกได้ตลอดปี ขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่นอกเขตชลประทานต้องอาศัยน้ำฝนตามฤดูกาล พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือ ซึ่งเป็นข้าวโพดไร่ที่อาศัยน้ำฝน โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้พื้นที่เพาะปลูกลดลงคือภัยแล้ง ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน และต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น [12–14] ในทางกลับกัน พื้นที่เพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 36.62 และ 35.56 ตามลำดับ โดยพื้นที่การเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอย่างมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคตะวันตก ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการขยายพื้นที่เพาะปลูกคือความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ทั้งในระดับประเทศและระดับโลก โรงงานแปรรูปอ้อยและมันสำปะหลังมีบทบาทสำคัญในการรับซื้อผลผลิตจากเกษตรกร ซึ่งส่งผลให้การเพาะปลูกพืชทั้งสองชนิดขยายตัวอย่างต่อเนื่อง [15–17]

การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองพบว่า Random Forest เป็นแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ โดยมีค่าความถูกต้องของ AUC ในช่วงร้อยละ 0.92–0.95 และ TSS ในช่วงร้อยละ 0.78–0.85 ตัวแปร Bioclimatic ที่มีความสำคัญต่อแบบจำลอง ได้แก่ BIO2, BIO8, BIO10, BIO12, BIO14, BIO15, BIO17, BIO18 และ BIO19

ผลการคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชเศรษฐกิจในช่วงเวลาอนาคต 4 ช่วง (ค.ศ. 2021–2040, ค.ศ. 2041–2060, ค.ศ. 2061–2080, และ ค.ศ. 2081–2100) พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกข้าวกระจายตัวมากในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันตก แต่มีแนวโน้มลดลง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยร้อยละ -3.16 ภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และร้อยละ -5.06 ภายใต้ SSP5-8.5 สำหรับอ้อย พื้นที่ที่เหมาะสมมากกว่าร้อยละ 50 พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลาง ภาคตะวันตก ภาคเหนือ และภาคกลาง อย่างไรก็ตาม แนวโน้มพื้นที่เพาะปลูกอ้อยมีการลดลงในอนาคตเช่นกัน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ลดลง โดยเฉพาะภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 ที่แสดงให้เห็นความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนมากกว่าสถานการณ์ SSP2-4.5 ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการเกษตรที่เหมาะสมในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งในแง่ของการเลือกพืชที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง และการกำหนดพื้นที่เพาะปลูกที่มีศักยภาพเพื่อรองรับความต้องการในอนาคต

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับเพาะปลูกพืชข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดในอนาคตภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศ ผลการประเมินประสิทธิภาพจากตัวชี้วัด AUC และ TSS แสดงถึงความน่าเชื่อถือที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลมีข้อจำกัดด้านความละเอียดเชิงพื้นที่เนื่องจากการวัดความละเอียดเชิงพื้นที่อยู่ที่ 0.04177 องศา หรือประมาณ 4,625 เมตร ซึ่งเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในระดับภูมิภาคหรือระดับประเทศขึ้นไป อาจไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ในระดับจังหวัดหรือชุมชน

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตมีแนวโน้มที่จะมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่การเกษตร โดยอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลโดยตรงต่อผลผลิตทางการเกษตร การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในปริมาณและการกระจายตัวของฝน ล้วนส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่อาจแตกต่าง

กันไปตามความอ่อนไหวของพืชแต่ละชนิด การลดลงของผลผลิตการเกษตรอาจทำให้เกิดความจำเป็นในการวางแผนและเตรียมความพร้อมในการปรับตัว เพื่อให้การผลิตการเกษตรเพียงพอต่อความต้องการในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] IPCC. (2007). Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri & A. Reisinger, Eds.). IPCC.
- [2] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. (2561). อุตสาหกรรมการเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ.
- [3] Attavanich, W. (2016). Did the Thai rice-pledging program improve the economic performance and viability of rice farming? *Applied Economics*, 48(24), 2253–2265.
- [4] Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (2013). *Regression analysis by example*.
- [5] Babak Naimi, Nicholas A. S. Hamm, Thomas A. Groen, Andrew K. Skidmore & Albertus G. Toxopeus. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling. *Ecography*, 37, 191–203.
- [6] Trisurat, Y., Kanchanasaka, B., & Kreft, H. (2014). Assessing potential effects of land use and climate change on mammal distribution in Northern Thailand. *Wildlife Research*, 41, 522–536.
- [7] Iqbal, Z., Shahid, S., Ahmed, K., Ismail, T., Ziarh, G. F., Chung, E.-S., & Wang, X. (2021). Evaluation of CMIP6 GCM rainfall in mainland Southeast Asia. *Atmospheric Research*, 254, 105525. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105525>
- [8] Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M., & Chirici, G. (2019). Species distribution modelling to support forest management: A literature review. *Ecological Modelling*, 411, 108817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108817>
- [9] นิเวศ จิระวิชัย. (2553). การค้นหาเทคนิคเหมืองข้อมูลเพื่อสร้างโมเดลการวิเคราะห์โรคอัตโนมัติ.
- [10] Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24(1), 38–49.
- [11] Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa, and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43, 1223–1232.
- [12] กนกพร ภาควิชา, นิโรจน์ สนิมรงค์, กฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล, และ พชรินทร์ สุภาพันธุ์. (2560). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย. *วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ*, 7(2).
- [13] กัมปนาท วิจิตรศรีกรม, และ เอื้อ สิริจินดา. (2562). ศักยภาพและการปรับตัวของเกษตรกรผู้ผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้ความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศ. *แก่นเกษตร*, 47(6), 1227–1242. <https://doi.org/10.14456/kaj.2019.112>
- [14] National Science and Technology Development Agency. (2018). การจัดการวันปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อลดผลกระทบจากภัยแล้ง. สืบค้นจาก https://nsfrc-news.blogspot.com/2018/03/blog-post_6.html
- [15] วิโรจน์ ณ ระนอง. (2556). การศึกษาเพื่อปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของไทย. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย.
- [16] ธัญชนก ชันธิล และ วิรงรอง มงคลธรรม. (2557). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกปลูกอ้อยของเกษตรกรในอำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 9 (The 9th Graduate Research Conference 2014).
- [17] จักรกฤษณ์ พจนศิลป์, ธนาภรณ์ อธิปัญญากุล, และ ชมพูนุช นันทจิต. (2566). ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงนโยบาย และราคาต่อการผลิตอ้อยในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย. *วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ*, 10(1), 1–20.