

การคาดการณ์ผลผลิตข้าวในประเทศไทยด้วยแบบจำลอง AquaCrop Forecasting Rice Yields in Thailand with the AquaCrop Model

ยุทธศาสตร์ อนุรักติพันธุ์^{1,*} พงศ์ธร เพียรพิทักษ์¹ ปรางทิพย์ อุจนจะนำ¹ และ พาฝัน อภิปริญา¹
Yuthasart Anuluxtipun^{1,*}, Phongthorn Phianphitak¹, Prangtip Unjanam¹ and Pafun Apiparinya¹

¹ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 16 พฤษภาคม 2566 Received: 16 May 2023

ปรับปรุงแก้ไข: 31 ตุลาคม 2566 Revised: 31 October 2023

รับตีพิมพ์: 6 พฤศจิกายน 2566 Accepted: 6 November 2023

* Corresponding author: ayuthasart@gmail.com

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญแต่การเผชิญภัยพิบัติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ภัยแล้ง และน้ำท่วม สร้างความเสียหายต่อผลผลิตเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ผลผลิตข้าวในอนาคต ให้เกษตรกรสามารถเตรียมความพร้อมต่อการปรับตัวในการทำเกษตรกรรม

วิธีดำเนินการวิจัย: การศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากเกษตรกรปี พ.ศ. 2562 เป็นปีฐาน นำไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน จำนวน 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และรังสีดวงอาทิตย์ ข้อมูลการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตจากแบบจำลอง PRECIS และข้อมูลการจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Special Report Emissions Scenarios: SRES) แบบการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจเป็นหลัก (A2) และการพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน (B2) พร้อมทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของแบบจำลอง AquaCrop ด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error; MAPE) ที่เปรียบเทียบผลผลิตจริงและผลผลิตที่คาดการณ์ด้วยแบบจำลองในปี พ.ศ. 2563 และ 2564 พบว่ามีค่าเฉลี่ย MAPE -0.10% ในรูปแบบ A2 และ -0.04% ในรูปแบบ B2 โดยค่าที่ต่ำแสดงถึงความแม่นยำสูง

ผลการวิจัย: ปีฐานมีผลผลิตข้าวเฉลี่ย 562.24 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อนำมาคาดการณ์ผลผลิตข้าวทั้งในรูปแบบ A2 และ B2 ปี พ.ศ. 2573 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปีฐาน ได้ผลผลิตเฉลี่ย 646.00 และ 600.77 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับปี พ.ศ. 2603 ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ได้ผลผลิตเฉลี่ย 668.95 และ 669.16 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งทุกคู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สรุป: ผลผลิตข้าวในอนาคตที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง AquaCrop มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากปีฐาน โดยข้อมูลการเพิ่มขึ้นและลดลงของผลผลิตข้าวที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับตัวและวางแผนการทำเกษตรกรรมในอนาคต รวมถึงการจัดการพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวของเกษตรกรต่อไป

คำสำคัญ: ผลผลิตข้าว, แบบจำลอง AquaCrop, แบบจำลอง PRECIS, แบบจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ABSTRACT

Background and Objectives: Rice is a staple economic crop in Thailand, but calamities induced by climate change, such as drought and flooding, are admonishing productivity. Therefore, the goal of this study is to predict future rice yields, enabling farmers to prepare for agricultural adaptation.

Methodology: This study used 2019 farmer data as a baseline year. It was then analyzed with daily climate databased on six parameters: minimum and maximum temperature, precipitation, wind speed, relative humidity, and solar radiation. The study incorporated future climate simulation data from the PRECIS model and considers economic development (A2) and environmentally sustainable development (B2). The data was then statistically analyzed using a Least Significant Difference (LSD) at a 95% confidence level. The accuracy of the AquaCrop model was tested by calculating the Mean Absolute Percent Error (MAPE), comparing the actual yield with the predicted yield for 2020 and 2021. The MAPE values were -0.10% in A2 and -0.04% in B2, with lower values indicating higher accuracy.

Main Results: In the reference year, the average rice yield was 562.24 kg/rai. Future production was then forecasted. In 2030, scenarios A2 and B2 show an increase compared to the base year, with average yield of 646.00 and 600.77 kg/rai, respectively. In 2060, there is also a tendency for an increase, with average yields of 668.95 and 669.16 kg/rai, respectively. All pairs exhibit a statistically significant difference ($P < 0.05$).

Conclusions: The AquaCrop model predicts an increase in future rice yield compared to the base year. The projected results can serve as a guide for future agricultural planning and adjustment, as well as for the proper management of rice fields.

Keywords: Rice yield, AquaCrop model, PRECIS model, SRES model, climate change

Agric. Sci. Innov. J. (2024) Vol. 55(1): 79–92

ว. วิทย. นวัตกรรม. กษ. (2567) 55(1): 79–92

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเกษตรหลักของประเทศไทยทั้งในด้านการบริโภคและเป็นสินค้าเกษตรส่งออก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 45.20 ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมดของประเทศ) และมีจำนวนครัวเรือนมากถึง 4.3 ล้านครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 74.40 ของจำนวนครัวเรือนภาคเกษตรทั้งหมด (Sowcharoensuk, 2019) โดยผลผลิตข้าวเฉลี่ยทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2556–2558 มีปริมาณ 466, 451 และ 441 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (Office of Agricultural

Economics, 2023) แสดงให้เห็นว่า ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากภัยแล้งในปี พ.ศ. 2558 ที่มีปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยทั้งประเทศเพียง 1,251 มิลลิเมตร น้อยกว่าปกติประมาณร้อยละ 14.73 สืบเนื่องมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ทำให้ในบางพื้นที่ไม่สามารถปลูกข้าวได้เพราะประสบภัยด้านน้ำเพื่อการเกษตร (Hydro - Informatics Institute (Public Organization), 2016) อีกทั้งการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ยังส่งผลต่อปริมาณผลผลิตข้าวอีกด้วย โดย Anuluxtipun (2016) ศึกษาการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิ

อากาศบริเวณขอบแม่น้ำโขงภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือร่วมกับ Mekong River Commission (MRC) โดยใช้แบบจำลอง SimCLIM ทำนายสภาพภูมิอากาศในอนาคตจากการจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ (Representative Concentration Pathways หรือ RCPs) ที่เรียงตามความเข้มข้นต่ำมาก จนถึงสูงมาก 4 รูปแบบ ได้แก่ RCP2.6, RCP4.5, RCP6 และ RCP8.5 จากนั้น ใช้แบบจำลอง AquaCrop คาดการณ์ผลผลิตข้าวและข้าวโพดในปี พ.ศ. 2573 และ 2603 พบว่า ผลผลิตของพืชทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

การปลูกข้าวสามารถสร้างอาชีพและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร แต่การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากภาวะโลกร้อน ส่งผลกระทบต่อภาคเกษตร ทำให้ศักยภาพการผลิตลดลง (Srithamboon, 2011) งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการคาดการณ์ผลผลิตข้าวในประเทศไทยที่มีสมมติฐาน คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากพืชตระกูลข้าวเป็นพืช C3 ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อเพิ่มผลผลิต และสังเคราะห์แสงได้ดีในช่วงที่อากาศของโลกมีระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง โดย Souksomphan *et al.* (2023) พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในพื้นที่ชุมชนบ้านทราย เมืองขอนแก่น จังหวัดอุดรธานี ทำให้ฝนตกไม่ตรงตามฤดูกาล ส่งผลต่อการเติบโตของเมล็ดข้าว และทำให้ต้นข้าวเหี่ยวเฉาก่อนระยะเวลาเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศยังเป็นตัวเร่งการขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูพืชโดยเฉพาะตั๊กแตน อีกทั้งในจังหวัดสุรินทร์พื้นที่ที่มีเนื้อดินเหนียว อัตราการขาดน้ำน้อย ภูมิประเทศมีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาดจึงเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่ายเมื่อฝนตกหนัก ระดับความสูง-ต่ำของพื้นที่จึงมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ธาตุอาหารในดินจะถูกพัดพาสูญเสียไปกับน้ำ (Inthavong *et al.*, 2011) เช่นเดียวกับการลดลงของความอุดมสมบูรณ์ของดินใน

พื้นที่สูง (Haefele and Konboon, 2009) เมื่อดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ข้าวที่ปลูกจึงได้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ซึ่งการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ประยุกต์ใช้แผนที่ดินแบบดิจิทัล (Digital soil mapping; DSM) และปัจจัยสภาพแวดล้อม สามารถสื่อถึงผลผลิตข้าวได้อย่างแม่นยำ (Srisomkiew *et al.*, 2022)

ในปัจจุบันแบบจำลอง AquaCrop ได้รับความนิยมและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ ในประเทศไทย เนื่องจากสามารถคาดการณ์ผลผลิตของพืชไม้ล้มลุกที่มีรูปแบบการใช้งานไม่ซับซ้อน ใช้พารามิเตอร์จำนวนน้อย แต่ให้ความแม่นยำในการคาดการณ์ เหมาะสำหรับการวางแผนและการวิเคราะห์สถานการณ์ (Hsiao *et al.*, 2009) ร่วมกับแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Providing Regional Climates for Impacts Studies; PRECIS) ซึ่งเป็นแบบจำลองภูมิอากาศที่พัฒนาขึ้นโดย The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research ประเทศอังกฤษ แล้วนำมาใช้ในการคาดการณ์ลักษณะภูมิอากาศในรอบ 100 ปีข้างหน้าของประเทศไทย ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ได้กำหนดความเป็นไปได้ของการพัฒนาเป็น 4 รูปแบบหลัก ได้แก่ A1, A2, B1 และ B2 โดยผู้พัฒนาเลือกใช้ชุดข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4 ในรูปแบบของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบ A2 และ B2 โดยที่การคาดการณ์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกอาจเปลี่ยนแปลงในอนาคตตามรูปแบบ A2 คือ การพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก มีการใช้เทคโนโลยีและประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง-ปานกลาง และรูปแบบ B2 คือ การพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน มีการใช้เทคโนโลยีและการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกอย่างช้า ๆ ต่ำกว่าการพัฒนาแบบ A ทำให้มีการปล่อย

ก๊าซเรือนกระจกปานกลาง-ต่ำ (Chidthaisong, 2010) นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง AquaCrop เพื่อคาดการณ์ผลผลิตของพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นของประเทศไทย เช่น อ้อย (Anuluxtipun *et al.*, 2023) ในปี พ.ศ. 2573 ทั้งรูปแบบ A2 และ B2 มีแนวโน้มของผลผลิตเฉลี่ยลดลงจากปีฐาน มีค่าเท่ากับ 8.60 และ 8.70 ตันต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ ในขณะที่ ผลการคาดการณ์ของปี พ.ศ. 2603 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 9.14 และ 8.90 ตันต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งอาจสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับตัวของเกษตรกรและใช้เพื่อการวางแผนการทำเกษตรกรรมที่เหมาะสมในอนาคต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ผลผลิตข้าวในอนาคตด้วยแบบจำลอง AquaCrop ปี พ.ศ. 2573 และ 2603

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนสำรวจข้อมูลและวางจุดสำรวจ

สำรวจข้อมูลพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยเพื่อใช้เป็นปีฐาน โดยแบ่งอัตราส่วนการสุ่มสำรวจตามชุดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และเลือกจุดศึกษาแบบสุ่มครอบคลุมทุกภูมิภาค สามารถแบ่งเป็นรายภาคและจำนวนจุดศึกษาทั้งสิ้น 113 จุด (Figure 1) ได้แก่ ภาคเหนือ 45 จุด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 20 จุด ภาคกลาง 27 จุด ภาคตะวันออก 7 จุด และภาคใต้ 14 จุด

การรวบรวมและจัดเก็บข้อมูล

รวบรวมข้อมูล 2 ปีปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านกายภาพที่ใช้สำหรับคาดการณ์ผลผลิตด้วยแบบจำลอง และปัจจัยด้านสังคมที่นำมาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

ปัจจัยด้านกายภาพ

การคาดการณ์ผลผลิตข้าวด้วยแบบจำลอง AquaCrop ให้มีความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุดจะต้องมีการปรับค่าแต่ละปัจจัยให้ตรงกับความเป็นจริง โดยทำการรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ จาก

การเก็บข้อมูลภาคสนามที่จัดบันทึกการลงพื้นที่ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 ถึงกันยายน พ.ศ. 2562 โดยใช้ข้อมูลจากแบบสอบถามเกษตรกรด้านการปลูกข้าวซึ่งแบบจำลองประกอบด้วย 4 ปัจจัย ดังนี้

1) สภาพภูมิอากาศ (Climate) เป็นข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวันของจุดที่ศึกษา จำนวน 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศในปีฐาน พ.ศ. 2562 ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลสภาพภูมิอากาศปีคาดการณ์ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PRECIS ในปี พ.ศ. 2573 และ 2603 ที่คำนึงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศร่วมด้วย โดยการศึกษาเน้นไปที่การวิเคราะห์ความร่วมมือระดับภูมิภาคในรูปแบบ A2 คือ การพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก และรูปแบบ B2 คือ การพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลผลิตทั้ง 2 รูปแบบ จากการคาดการณ์ตามการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งทั้ง 2 ปี มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบ A2 อยู่ที่ 451 และ 580 ppm และรูปแบบ B2 ปล่อย 429 และ 504 ppm ตามลำดับ

2) พืชไร่ (Crop) เป็นข้อมูลด้านลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช เช่น จำนวนเมล็ดปลูก วันที่ปลูก และวันที่เก็บ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

3) การจัดการ (Management) เป็นข้อมูลสำหรับการจัดการ แบ่งออกเป็น (1) การจัดการแปลงเพาะปลูก ประกอบด้วย ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การปกคลุมดิน น้ำผิวดิน และการกำหนดระดับความสูงของคันนา เป็นต้น และ (2) การจัดการน้ำชลประทานที่สามารถเลือกได้ทั้งระบบเกษตรน้ำฝน และระบบเกษตรชลประทาน โดยระบบเกษตรชลประทานเป็นวิธีการให้น้ำแบบผิวดิน นอกจากนี้ ยังสามารถกำหนดปริมาณน้ำ ระยะเวลาการให้น้ำ และคุณภาพของน้ำที่ให้อื่นๆ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

4) ดิน (Soil) เป็นข้อมูลลักษณะกายภาพของดิน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) หน้าตัดดินที่สามารถเลือกลักษณะเนื้อดิน 14 ชนิด ลักษณะผิวดินและชั้นดิน และการขยายของรากในชั้นดิน และ (2) น้ำใต้ดินที่สามารถกำหนดระดับน้ำและคุณภาพได้ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ร่วมกับฐานข้อมูลดินที่ปรับปรุงล่าสุดในปี พ.ศ. 2561 ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยดินที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว คือ ดินร่วนหรือดินเหนียว เนื่องจากมีการระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงเร็ว สามารถอุ้มน้ำได้ดี และมีปฏิกริยาในดินเป็นกรดจัด-ด่างปานกลาง (Department of Land Development, n.d.)

อย่างไรก็ตาม การคาดการณ์ผลผลิตด้วยแบบจำลอง AquaCrop ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยด้านภัยพิบัติ โรคพืช และศัตรูพืช เนื่องจากแบบจำลองมีข้อจำกัดที่สามารถคาดการณ์ผลผลิตได้เพียงปีต่อปีตามสภาพอากาศที่คาดการณ์ในอนาคต และเหมาะสมสำหรับพืชล้มลุกที่มีอายุน้อยกว่า 500 วัน เท่านั้น

ปัจจัยด้านสังคม

สำรวจและสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบสอบถามเพื่อประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ประกอบด้วย หัวข้อเรื่อง ต้นทุน รายได้ และผลผลิต แล้วคำนวณค่าใช้จ่ายในการจัดการเพาะปลูกของเกษตรกร โดยต้นทุนค่าวัสดุการเกษตร ได้แก่ เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ สารกำจัดศัตรูพืช น้ำมันเชื้อเพลิง ต้นทุนค่าจ้างแรงงานในการไถ ปลูก และเก็บเกี่ยว ต้นทุนค่าเช่าที่ดิน รวมถึงปริมาณผลผลิตและรายได้ทั้งหมด เพื่อนำมาคำนวณหากำไรสุทธิจากการปลูกข้าวในพื้นที่ 1 ไร่

การวิเคราะห์และคาดการณ์ผลผลิตข้าว

นำข้อมูลทางด้านกายภาพที่รวบรวมได้ทั้ง 4 ปัจจัย กรอกลงในแบบจำลอง AquaCrop เวอร์ชัน 5 (Figure 2; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015) เพื่อหาผลผลิตข้าวในปี

ฐานที่อ้างอิงผลผลิตจริงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2562 แล้วประมวลผลต่อไปในปีคาดการณ์ โดยเปลี่ยนปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศให้เป็นของปีคาดการณ์ที่ต้องการทราบผลผลิต แต่ยังคงปัจจัยด้านอื่น ๆ ไว้ เนื่องจากต้องการทราบปริมาณผลผลิตในอนาคตที่วิเคราะห์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามสภาพเงื่อนไขของการใช้พลังงานของโลกที่ต่างกันแบบ Special Report Emissions Scenarios (SRES) โดยสนใจในระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาคทั้ง 2 ด้าน คือ ด้านการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก (A2) และด้านการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก (B2) พร้อมจัดทำแผนที่ผลผลิตข้าวทั่วประเทศในแต่ละปี จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Quantum GIS โดยการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ปริมาณผลผลิตข้าวที่คาดการณ์ด้วยเทคนิค Inverse Distance Weight (IDW) โดยกำหนดให้สีแดงแสดงถึงพื้นที่ที่มีผลผลิตน้อยที่สุด และสีเขียวเข้มแสดงถึงพื้นที่ที่มีผลผลิตมากที่สุด และนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของผลผลิตข้าวที่คาดการณ์ปี พ.ศ. 2573 และ 2603 จากฐานข้อมูลปี พ.ศ. 2562 โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของแบบจำลอง AquaCrop ที่ใช้คาดการณ์ผลผลิตข้าวในประเทศไทย ด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error; MAPE) ที่เปรียบเทียบผลผลิตจริงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี พ.ศ. 2563 และ 2564 ร่วมกับผลผลิตที่คาดการณ์ด้วยแบบจำลองในปี พ.ศ. 2563 และ 2564 พบว่า มีค่าเฉลี่ย MAPE -0.10% ในรูปแบบ A2 และ -0.04% ในรูปแบบ B2 (Table 1) ค่าเฉลี่ย MAPE ที่ติดลบแสดงถึงค่าจริงที่มีค่าต่ำกว่าการคาดการณ์ และค่าที่ต่ำคือจะมีความแม่นยำสูง (Lohmood, 2022)



Table 1 MAPE calculation that compares actual yield and forecast yield in 2020 and 2021

Region	2020						2021					
	A2 scenario model (kg/rai)			B2 scenario model (kg/rai)			A2 scenario model (kg/rai)			B2 scenario model (kg/rai)		
	Actual	Forecast	Absolute percent error									
North	541.88	545.70	0.00	541.88	546.54	-0.01	546.88	549.02	-0.02	546.88	547.26	0.00
Northeast	357.14	365.66	-0.07	357.14	364.93	0.01	362.21	361.49	-0.06	362.21	360.40	0.01
Central	636.00	690.24	-0.24	636.00	688.75	-0.03	683.00	690.95	-0.24	683.00	694.81	-0.05
East	359.50	376.16	-0.13	359.50	375.92	-0.16	358.00	378.24	-0.13	358.00	377.20	-0.15
South	447.00	456.04	-0.06	447.00	455.84	-0.01	454.25	456.24	-0.06	454.25	455.12	-0.01
MAPE			-0.10			-0.04			-0.10			-0.04

MAPE = mean absolute percent error

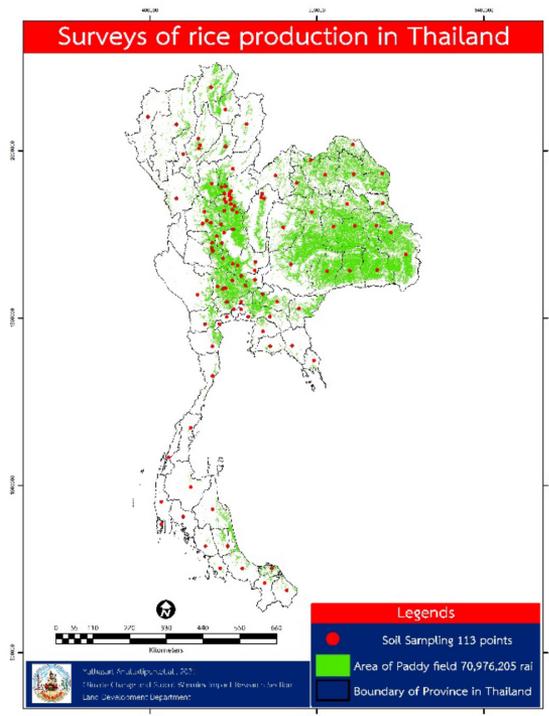


Figure 1 Study points for rice production in Thailand

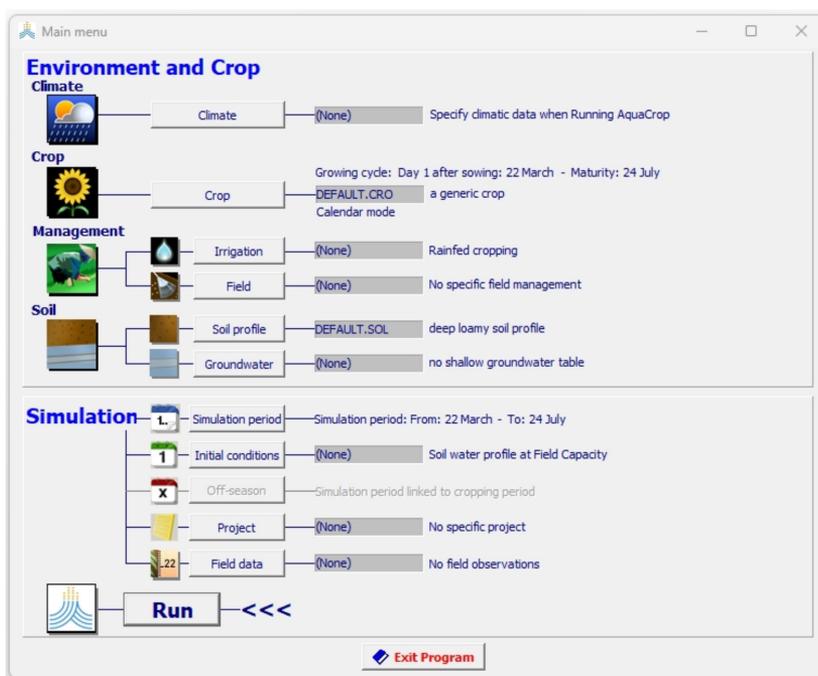


Figure 2 Home page of AquaCrop model

ผลการทดลองและวิจารณ์

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์จากข้อมูลแบบสอบถามผลผลิตข้าวของเกษตรกรปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) จำนวน 49 ราย ในพื้นที่ที่ศึกษา พบว่าต้นทุนรวม ผลผลิตเฉลี่ย ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัม รายได้ และกำไรสุทธิจากการปลูกข้าวในพื้นที่ 1 ไร่ ดังแสดงใน Table 2 ราคาต่ำสุด-สูงสุดของรายได้สุทธิมีค่าติดลบ แสดงให้เห็นว่า ค่าใช้จ่ายสำหรับต้นทุนนั้นมากกว่ารายได้ เกิดการขาดทุน อาจเนื่องมาจากราคาต้นทุนวัสดุสูง หรือในปีนั้นเกิดโรคแมลงระบาด

ภัยแล้ง หรือน้ำท่วม จึงทำให้ผลผลิตมีปริมาณต่ำกว่าที่เกษตรกรคาดการณ์ ในขณะที่ ต้นทุนการผลิตข้าวมีค่าเฉลี่ย 4,651 บาทต่อไร่ ราคาขาย 7 บาทต่อกิโลกรัม รวมรายได้ทั้งหมด 5,053 บาทต่อไร่ เมื่อนำมาคำนวณกำไรสุทธิมีค่าเท่ากับ 402 บาทต่อไร่ หรือ 1 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในปี พ.ศ. 2562 (Office of Agricultural Economics, 2019) ที่มีกำไรสุทธิเท่ากับ 1 บาทต่อกิโลกรัม โดยมีราคาข้าวเท่ากับ 8.7 บาทต่อกิโลกรัม และราคาต้นทุน 7.7 บาทต่อกิโลกรัม

Table 2 Cost and return on investment from paddy rice in 2019

Detail	Minimum	Maximum	Average
Total cost (Baht/rai)	919	16,879	4,651
1. Cost of agricultural materials (Baht/rai)	294	10,379	2,306
- Seed (Baht/rai)	9	5,250	804
- Fertilizer/Manure (Baht/rai)	248	2,700	858
- Pesticide (Baht/rai)	7	429	81
- Fuel (Baht/rai)	30	2,000	563
2. Total labor wages (Baht/rai)	125	3,200	1,038
- Ploughing (Baht/rai)	25	800	318
- Planting (Baht/rai)	50	1,200	242
- Harvesting (Baht/rai)	50	1,200	478
3. Rental value of owned land (Baht/rai)	500	3,300	1,307
Production average (kg/rai)	100	1,375	732
Cost of production average (Baht/kg)	6	13	7
Income (Baht/rai)	550	11,000	5,053
Net profit (Baht/rai)	-369	-5,879	402

ผลผลิตข้าวเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) ของทั้งประเทศเท่ากับ 562.24 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อนำมาคาดการณ์ผลผลิตในอนาคตด้วยแบบจำลองจากปีฐานพบว่า ผลผลิตข้าวด้านการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก (A2) ปี พ.ศ. 2573 และ 2603 (ค.ศ. 2030 และ 2060) เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.90 และ 18.99 มีผลผลิตเฉลี่ย 646.00 และ 668.95

กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ จากปีฐาน และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.15 (451.00 ppm) และ 39.09 (580.00 ppm) จากปีฐาน (417 ppm) ส่วนผลผลิตข้าวในด้านการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก (B2) ปี พ.ศ. 2573 และ 2603 (ค.ศ. 2030 และ 2060) เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.87 และ 19.03 มีผลผลิตเฉลี่ย 600.77

และ 669.16 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ จากปีฐาน และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.15 (429.00 ppm) และ 23.53 (504.00 ppm) จากปีฐาน โดยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในปีฐานเท่ากับ 1,218.01 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งใน พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.20 เท่ากับ 1,378.84 มิลลิเมตรต่อปี และปี พ.ศ. 2603 (ค.ศ. 2060) มีปริมาณ 1,468.83 มิลลิเมตรต่อปี เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.53 จากปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) เนื่องจากข้าวเป็นพืช C3 มีการใช้ประโยชน์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตในกรณีที่มีน้ำฝนเพียงพอ ดังนั้น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในอนาคตเนื่องจากภาวะโลกร้อนมีส่วนช่วยในการเพิ่มผลผลิต เมื่อแบ่งพื้นที่การปลูกข้าวเป็น 5 ภูมิภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ตะวันออก และภาคใต้ แล้วนำผลผลิตที่ได้ในแต่ละปีมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า รูปแบบ A2 ปี พ.ศ. 2603 ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝน และผลผลิตข้าวนั้นไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) ในส่วนของรูปแบบ B2 ปี พ.ศ. 2603 (ค.ศ. 2060) ให้ผลผลิตข้าวสูงสุดเช่นกัน และผลผลิตข้าวนั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2562 และ 2573 (ค.ศ. 2019 และ 2030) โดยสรุปภาพรวมได้ดัง Table 3

ผลผลิตข้าวจากการคาดการณ์ เมื่อนำมาจัดทำแผนที่สามารถแบ่งเป็น 5 ช่วง โดยกำหนดให้สีเขียวเข้มมีผลผลิตมากกว่า 1,162.20 กิโลกรัมต่อไร่ สีเขียวอ่อนมีผลผลิตอยู่ในช่วง 949.40–1,162.20 กิโลกรัมต่อไร่ สีเหลืองมีผลผลิตอยู่ในช่วง 736.60–949.40 กิโลกรัมต่อไร่ สีส้มมีผลผลิตอยู่ในช่วง 523.80–736.60 กิโลกรัมต่อไร่ และสีแดงมีผลผลิตน้อยกว่า 523.80 กิโลกรัมต่อไร่ (Figures 3–4) โดยปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกันในแต่ละจังหวัดจะขึ้นกับปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ที่กรอกลงในแบบจำลอง จากข้อมูลในปีฐาน พบว่า รูปแบบ A2 ปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) (Figure 3A) มีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในภาคเหนือและกลาง ได้แก่ จังหวัด พิจิตร เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ อุทัยธานี ปทุมธานี กรุงเทพมหานคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี อีกทั้งในปี พ.ศ. 2603 (ค.ศ. 2060) (Figure 3B) ผลผลิตข้าวภาคเหนือเพิ่มขึ้นในจังหวัด ลำพูน ลำปาง และเชียงใหม่ จากปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) ในขณะที่ผลผลิตจากรูปแบบ B2 ปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) (Figure 4A) มีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในภาคเหนือและกลาง ได้แก่ จังหวัด พิจิตร เพชรบูรณ์ พิษณุโลก นครสวรรค์ ปทุมธานี นครปฐม เพชรบุรี และกาญจนบุรี อีกทั้งในปี พ.ศ. 2603 (ค.ศ. 2060) (Figure 4B) ผลผลิตข้าวภาคเหนือและภาคกลางเพิ่มขึ้นในจังหวัดลำพูน ลำปาง สุโขทัย กำแพงเพชร อุทัยธานี ราชบุรี กรุงเทพมหานคร สมุทรสงคราม สมุทรปราการ ลพบุรี และอ่างทอง จากปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030)

Table 3 Rice yield scenario A2 and B2 projection in 2030 and 2060

Region	A2 scenario model (kg/rai)			B2 scenario model (kg/rai)		
	2019	2030	2060	2019	2030	2060
North	640.15 ± 167.34 ^a	753.31 ± 368.21 ^a	743.78 ± 262.25 ^a	640.02 ± 167.27 ^a	691.85 ± 200.40 ^a	798.89 ± 225.97 ^a
Northeast	350.79 ± 19.95 ^c	374.14 ± 21.71 ^b	419.70 ± 25.05 ^b	350.80 ± 19.93 ^c	365.62 ± 21.25 ^b	404.78 ± 23.97 ^b
Central	703.44 ± 91.21 ^a	834.58 ± 266.90 ^a	865.52 ± 209.82 ^a	703.54 ± 91.21 ^a	754.01 ± 198.09 ^a	808.47 ± 193.32 ^a
East	444.34 ± 100.50 ^b	470.31 ± 106.26 ^b	523.20 ± 116.13 ^b	444.25 ± 100.51 ^b	461.46 ± 104.14 ^b	500.78 ± 111.91 ^b
South	400.29 ± 58.51 ^{bc}	413.60 ± 56.91 ^b	478.25 ± 71.60 ^b	400.22 ± 58.48 ^{bc}	418.07 ± 61.11 ^b	445.43 ± 81.35 ^b
Yield average (kg/rai)	562.21 ± 182.52 ^b	646.00 ± 325.48 ^a	668.95 ± 259.22 ^a	562.17 ± 182.50 ^b	600.77 ± 224.12 ^b	669.16 ± 249.45 ^a
		(+14.90%)	(+18.99%)		(+6.87%)	(+19.03%)
CO ₂ (ppm)	417.00	451.00	580.00	408.00	429.00	504.00
		(+8.15%)	(+39.09%)		(+5.15%)	(+23.53%)
Rainfall average (mm/year)	1,218.01	1,378.84	1,468.83	1,218.01	1,378.84	1,468.83
		(+13.20%)	(+6.53%)		(+13.20%)	(+6.53%)

^{a,b,c} Means within row followed by the same letter are not significantly different in each region and yield average in column followed by the same letter are not significantly different in each scenario model. The numbers in parentheses are rate of changes from 2019.

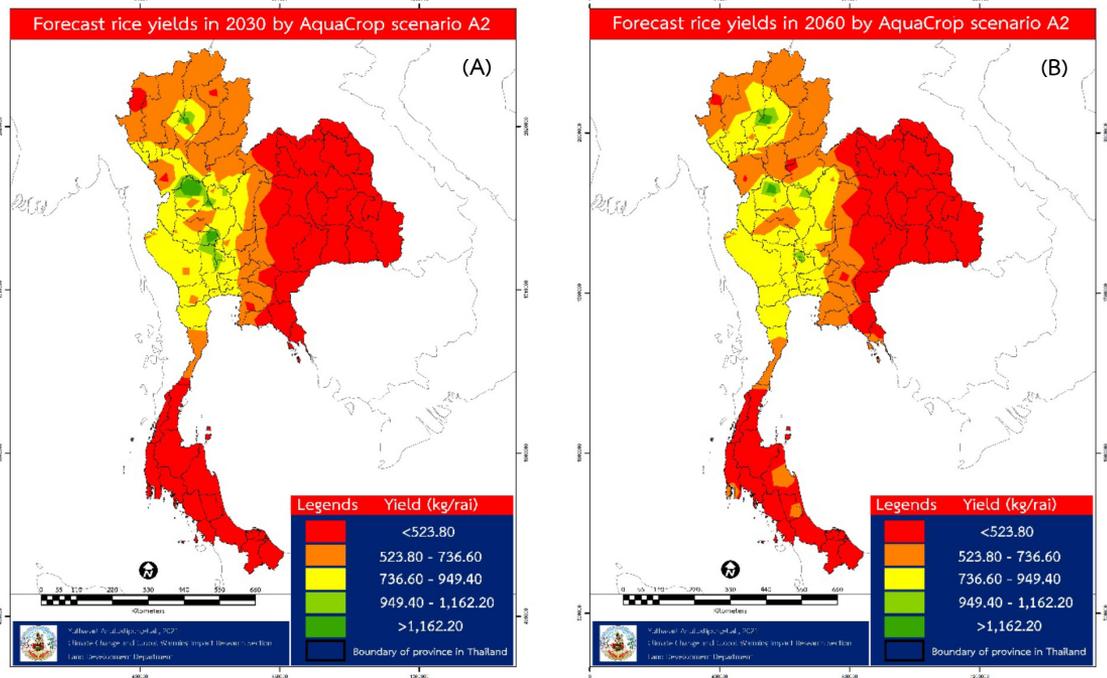


Figure 3 Rice yield A2 scenario in 2030 (A) and 2060 (B)

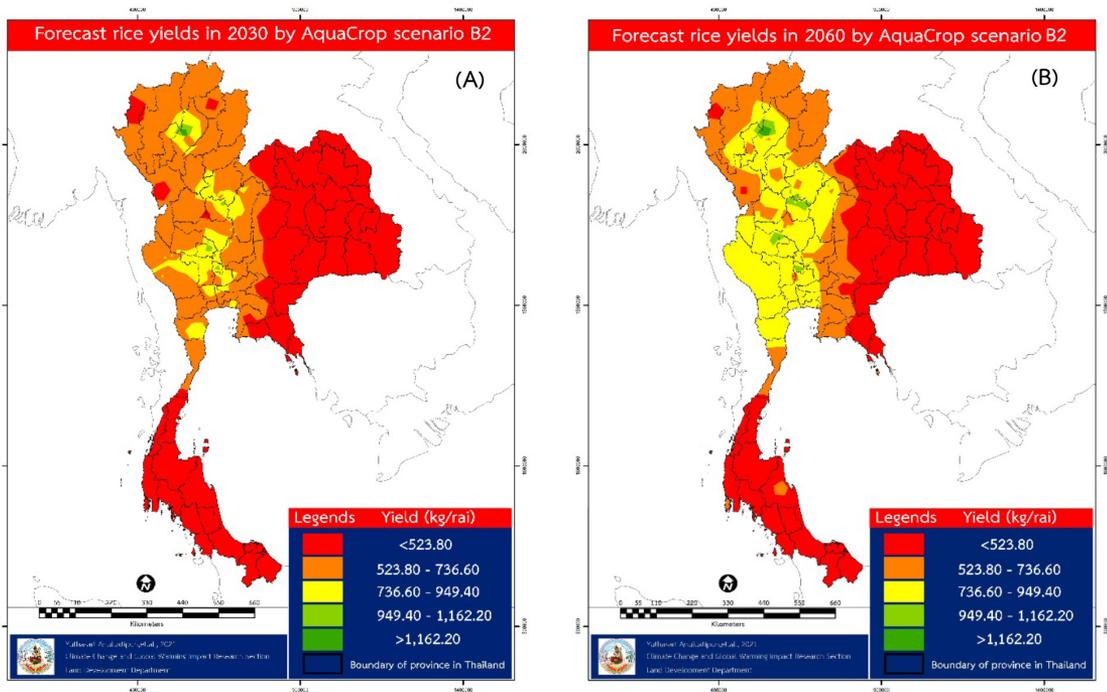


Figure 4 Rice yield B2 scenario in (A) 2030 and (B) 2060

จากการศึกษาการคาดการณ์ผลผลิตข้าวในประเทศไทย พบว่า ปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) มีผลผลิตเพิ่มขึ้นจากปีฐานทั้งรูปแบบ A2 และ B2 เช่นเดียวกับผลผลิตในปี พ.ศ. 2603 (ค.ศ. 2060) โดยในอนาคตผลผลิตข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากพืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อีกทั้งน้ำฝนที่คาดการณ์ในอนาคตยังมีปริมาณเพิ่มขึ้นช่วยส่งเสริมผลผลิตข้าวเช่นกัน โดย Sunthornsanan *et al.* (2017) ศึกษาการประเมินผลผลิตข้าวภายใต้สภาพภูมิอากาศรุนแรงในอนาคตรูปแบบ A2 และ B2 ด้วยแบบจำลอง EPIC จากปี พ.ศ. 2563–2569 (ค.ศ. 2020–2026) พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นโดยปี พ.ศ. 2563 และ 2569 (ค.ศ. 2020 และ 2026) ในรูปแบบ A2 มีฝนตกดีมาก ปริมาณผลผลิตจึงเพิ่มขึ้นแตกต่างจากรูปแบบ B2 ปี พ.ศ. 2566 (ค.ศ. 2023) ที่ฝนแล้งจัด ปริมาณผลผลิตจึงลดลงจากปีฐาน จากการศึกษาการคาดการณ์ผลผลิตข้าวในประเทศไทยด้วยแบบจำลอง AquaCrop นี้ ทำให้ทราบแนวโน้มผลผลิตในอนาคตสามารถนำมาใช้จัดการพื้นที่ให้เหมาะสมต่อการปลูกเป็นแนวทางในการปรับตัวและแก้ไขการทำเกษตรกรรมในอนาคต อีกทั้งเกษตรกรควรมีการวางแผนค่าใช้จ่าย เพื่อลดต้นทุน แต่ยังคงควบคุมคุณภาพของผลผลิตให้ตามเกณฑ์ เพื่อสร้างรายได้และอาชีพที่มั่นคง รวมถึงหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผน เพื่อต่อยอดการพัฒนาภาคเกษตรของไทยให้เท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

สรุป

การคาดการณ์ผลผลิตในปี พ.ศ. 2573 ด้วยแบบจำลอง AquaCrop จากข้อมูลผลผลิตข้าวในปีฐานที่อ้างอิงผลผลิตจริงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2562 มีผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากปีฐานทั้งในรูปแบบ A2 และ B2 เช่นเดียวกับปี พ.ศ. 2603 ในการคาดการณ์นี้มีความแม่นยำ เนื่องจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) เปรียบเทียบผลผลิตที่คาดการณ์ด้วยแบบจำลองในปี พ.ศ. 2563 และ 2564 กับผลผลิตที่เก็บจริงจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร มีค่าเฉลี่ย MAPE -0.10% และ -0.04% ในรูปแบบ A2 และ B2 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อผลผลิตเฉลี่ยของข้าวในประเทศไทย โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นด้วยหากมีปริมาณน้ำฝนเพียงพอ เมื่อพิจารณาทิศทางการพัฒนาประเทศไทยในอนาคตมีความใกล้เคียงกับรูปแบบ A2 คือการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้พิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงภัยพิบัติทางธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้น เกษตรกรจึงควรเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์จากกรมอุตุนิยมวิทยาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเตรียมความพร้อมและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงในอนาคต นอกจากนี้ ยังควรมีการ validation model เพื่อความแม่นยำของการคาดการณ์ผลผลิตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาสำหรับความร่วมมือในการอนุเคราะห์ข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลในสภาพแปลง และขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับความอนุเคราะห์ชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน

เอกสารอ้างอิง

- Anuluxtipun, Y. 2016. Basin-Wide Assessment of Climate Change Impact and Adaptation Options in Lower Mekong Basin. Mekong River Commission, Vientiane, Lao. 95 pp. (in Thai)
- Anuluxtipun, Y., P. Phianphitak, P. Unjanam and P. Apiparinya. 2023. Forecasting sugarcane in Thailand with the AquaCrop model. *Agricultural Sci. J.* 54(3): 290–304. (in Thai)
- Chidthaisong, A. 2010. Climate Change in Thailand. Volume 2 Climate Models and Future Climate. The Thailand Research Fund, Bangkok, Thailand. 176 pp. (in Thai)
- Department of Land Development. n.d. Suitability of the soil Thailand’s agriculture. Available Source: http://iddindee.ddd.go.th/web/SoilData/1/pdf/05_กสด_ความเหมาะสมของดินด้านเกษตรกรรม.pdf, July 31, 2023 (in Thai)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. AquaCrop. Available Source: <https://www.fao.org/aquacrop/en/>, July 31, 2023.
- Haefele, S.M. and Y. Konboon. 2009. Nutrient management for rainfed lowland rice in northeast Thailand. *Field Crops Res.* 114(3): 374–385. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.09.007>.
- Hsiao, T.C., P. Steduto, D. Raes and E. Fereres. 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101(3): 426–437. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0139s>.
- Hydro - Informatics Institute (Public Organization). 2016. Records of drought events in 2015/2016. Available Source: <https://tiwrm.hii.or.th/current/2016/drought59/drought59.html>, April 19, 2023. (in Thai)
- Inthavong, T., M. Tsubo and S. Fukai. 2011. A water balance model for characterization of length of growing period and water stress development for rainfed lowland rice. *Field Crops Res.* 121(2): 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.12.019>.
- Lohmood, S. 2022. Testing the accuracy of predictive value. Available Source: <http://eit.bsru.ac.th/wp-content/uploads/2022/03/การทดสอบความแม่นยำของค่าพยากรณ์.pdf>, October 27, 2023. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2019. Office of Agricultural Economics explains the cost of important agricultural products in 2019. Available Source: <http://www.oae.go.th/view/1/รายละเอียดข้าว/Hot%20Issue/31442/TH-TH>, May 1, 2021. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2023. In-season rice: cultivated area, harvested area, production and yield per rai. Available Source: <https://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวนาปี/TH-TH>, April 19, 2023 (in Thai)

- Souksomphan, T., N. Mahawan and C. Wanitlerthanasarn. 2023. Impacts and adaptations of rice farmers from climate change: case study: Ban Sai Community, Muangxone, Huaphan province, Lao PDR. *Journal of Social Sciences and Modern Integrated Sciences*. 4(1): 54–64. (in Thai)
- Sowcharoensuk, C. 2019. Rice industry. Available Source: https://www.krungsri.com/getmedia/c27bd671-84eb-4e9e-a9ee-20c718be0c39/IO_Rice_190814_TH_EX.pdf.aspx, May 1, 2021. (in Thai)
- Srisomkiew, S., M. Kawahigashi, P. Limtong and O. Yuttum. 2022. Digital soil assessment of soil fertility for Thai jasmine rice in the Thung Kula Ronghai region, Thailand. *Geoderma*. 409: 115597. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115597>.
- Srithamboon, S. 2011. Organic agriculture: a way of Thai farmers under global warming. *Nakhon Phanom University Journal*. 1(2): 24–30. (in Thai)
- Sunthornsanant, C., N. Pumijumnon, P. Punwong and W. Wisawapipat. 2017. An assessment of rice yield under severe weather in the future under the A2 and B2 scenarios with EPIC model. *In Proc. the 12th RSU National Graduate Research Conference 2017*, August 17, 2017. pp. 1368–1375. (in Thai)