

การคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในประเทศไทยด้วยแบบจำลอง AquaCrop Forecasting Sugarcane in Thailand with the AquaCrop Model

ยุทธศาสตร์ อนุรักติพันธุ์^{1,*} พงศธร เพียรพิทักษ์¹ ปรางทิพย์ อุณจะนา¹ และ พาฝัน อภิปรินญา¹

Yuthasart Anuluxtipun^{1,*}, Phongthorn Phianphitak¹, Prangtip Unjanam¹ and Pafun Apiparinya¹

¹ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Land Development Department, Ministry of Agriculture and Co-operatives, Bangkok 10900

รับเรื่อง: 16 พฤษภาคม 2566 Received: 16 May 2023

ปรับแก้ไข: 17 สิงหาคม 2566 Revised: 17 August 2023

รับตีพิมพ์: 29 สิงหาคม 2566 Accepted: 29 August 2023

* Corresponding author: ayuthasart@gmail.com

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย แต่ปริมาณผลผลิตต่อไร่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีสาเหตุสำคัญประการหนึ่งจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2573 และ 2603 ร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ด้วยแบบจำลอง AquaCrop

วิธีดำเนินการวิจัย: ใช้ข้อมูลจากเกษตรกรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562–2564 เป็นปีฐาน วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน จำนวน 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และรังสีดวงอาทิตย์ ข้อมูลการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตจากแบบจำลอง PRECIS และข้อมูลการจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Special Report Emissions Scenarios, SRES) รูปแบบการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจเป็นหลัก (A2) และการพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน (B2) พร้อมวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย: ปีฐานมีผลผลิตเฉลี่ย 8.73 ตันต่อไร่ และเมื่อนำมาคาดการณ์ในปี พ.ศ. 2573 ทั้งรูปแบบ A2 และ B2 มีแนวโน้มลดลงจากปีฐาน ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 8.60 และ 8.70 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่ปี พ.ศ. 2603 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปีฐาน ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 9.14 และ 8.90 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ผลผลิตในปีคาดการณ์ไม่แตกต่างจากผลผลิตในปีฐาน ยกเว้นปี พ.ศ. 2603 ในรูปแบบ A2 ที่คาดการณ์ผลผลิตอ้อยจากปี พ.ศ. 2563 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2573 และ 2563

สรุป: ข้อมูลจากการคาดการณ์อาจสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับตัวและวางแผนการทำเกษตรกรรมที่รวมถึงการจัดการพื้นที่ให้เหมาะสมต่อการปลูกอ้อยในอนาคต

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

ABSTRACT

Background and Objectives: Sugarcane is Thailand's primary cash crop but the yield per rai tends to decrease annually. The primary factor behind this decline is climate change. This study employed the AquaCrop model with the climate information to forecast sugarcane yields between 2030 and 2060.

Methodology: Agricultural data were collected from 2019 to 2021, serving as the baseline years for this study. Daily climate data encompassing six variables, namely rainfall, the highest and lowest temperatures, wind speed, relative humidity, and solar radiation, were included. Additionally, future climate simulation data from PRECIS models, as well as other variables, were incorporated. We typically present emission scenario data (SRES) for two scenarios: conventional economic development (A2) and environmentally friendly development (B2). For statistical analysis, we applied the Least Significant Difference (LSD) approach at a 95% confidence level.

Main Results: Sugarcane production averaged 8.73 tons/rai during the baseline year. Subsequently, future projections were made. In comparison to the baseline year, the average yield in 2030 under the A2 and B2 scenarios is projected to be 8.60 and 8.70 tons/rai, respectively. By 2060, the average yield under the A2 and B2 scenarios is expected to reach 9.14 and 8.90 tons/rai respectively which increase from the baseline year. While the annual forecasted production remains relatively consistent in the A2 scenario for 2030, there is a significant increase in sugarcane productivity projected for 2060.

Conclusions: The forecasted data can serve as a guideline for adapting and planning farming practices, including land management for future sugarcane cultivation.

Keywords: Sugarcane production, AquaCrop model, PRECIS model, SRES model, climate change

Agricultural Sci. J. (2023) Vol. 54(3): 290–304

ว. วิทย์. กษ. (2566) 54(3): 290–304

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยประมาณ 11 ล้านไร่ มีผลผลิต 105 ล้านตัน รวมทั้งประเทศมีผลผลิตเฉลี่ย 9.66 ตันต่อไร่ (Office of the Cane and Sugar Board, 2021) โดยอ้อยเป็นอีกพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย ความต้องการน้ำน้อย เมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้วสามารถเก็บเกี่ยวได้อีกหลายครั้ง อีกทั้งอ้อยเหมาะสมกับ

สภาพอากาศร้อนและชื้น จึงทำให้เพาะปลูกได้ดีในประเทศไทย (Saranukromthai, n.d.) และมีการจัดตั้งกองทุนอ้อยและน้ำตาลทรายตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาลทราย พ.ศ. 2527 เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของไทยให้เติบโตอย่างมีเสถียรภาพ (Office of the Cane and Sugar Fund, 2020) ด้วยเหตุนี้ จึงเห็นสมควรที่จะเลือกปลูกอ้อยแทนพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อนโยบายของ

รัฐบาลในการลดจำนวนพื้นที่ปลูกข้าวในพื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูก (N) และพื้นที่ที่เหมาะสมน้อยต่อการปลูก (S3) ไปปลูกพืชเกษตรกรรมอื่นแทน จากงานวิจัยการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกปลูกอ้อยของเกษตรกรในอำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น เกษตรกรเริ่มเปลี่ยนรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่จากเกษตรกรรมอื่น ๆ มาปลูกอ้อย โดยปัจจัยที่ทำให้เกษตรกรหันมาปลูกอ้อยคือ ปัจจัยด้านปริมาณผลผลิตต่อไร่และราคา รongลงมาคือ อ้อยเป็นพืชที่ปลูกและดูแลรักษาง่าย รวมถึงมีแหล่งรับซื้อภายในพื้นที่ อีกทั้งผลผลิตของพืชเดิมที่ปลูกอยู่จำหน่ายได้ราคาต่ำ (Khansila *et al.*, 2014)

การปลูกอ้อยสามารถสร้างอาชีพและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร แต่การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากภาวะโลกร้อน ส่งผลกระทบต่อภาคเกษตรทำให้ศักยภาพการผลิตลดลง (Srithamboon, 2011) โดย Moonsri and Pochanart (2019) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณผลผลิตอ้อยในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า ผลผลิตมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอุตุนิยมวิทยา คือความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยปริมาณผลผลิตอ้อยมีแนวโน้มลดลงในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ แต่ผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดปรากฏการณ์ลานีญา และเมื่อพิจารณาถึงสภาพอากาศที่มีแนวโน้มจะทวีความรุนแรงขึ้นในอนาคต ปริมาณผลผลิตอ้อยอาจได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในประเทศไทยด้วยแบบจำลอง AquaCrop โดยแบบจำลอง AquaCrop ได้รับความนิยมและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ ในประเทศไทย เนื่องจากสามารถคาดการณ์ผลผลิตของพืชไม้ล้มลุกที่มีรูปแบบการใช้งานไม่ซับซ้อน ใช้พารามิเตอร์จำนวนน้อย แต่ให้ความแม่นยำ เหมาะสำหรับการวางแผนและการวิเคราะห์สถานการณ์ (Steduto *et al.*, 2009) โดย Plengwuttikrai and Kositsakulchai (2020) นำแบบจำลอง AquaCrop จำลองการปลูกข้าวพันธุ์ กข 43 ภายใต้ระดับ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ต่างกัน และ Veerakachen *et al.* (2020) ศึกษาการพัฒนาต้นแบบ SMART Agriculture Platform ด้วยการบูรณาการเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลร่วมกับแบบจำลอง AquaCrop การคาดการณ์ผลผลิตอ้อยมีสมมติฐานคือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากอ้อยเป็นพืช C4 ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อเพิ่มผลผลิต และสังเคราะห์แสงได้ดีในช่วงที่อากาศของโลกมีระดับความเข้มข้นในช่วง 200 ppm CO₂ (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2017) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในอนาคตปี พ.ศ. 2573 และ 2603 ด้วยแบบจำลอง AquaCrop ภายใต้ปัจจัยต่าง ๆ ของพื้นที่ โดยรูปแบบภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Model) PRECIS ร่วมกับแบบจำลอง AquaCrop ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกอาจเปลี่ยนแปลงในอนาคตตามการพัฒนาของเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) ได้กำหนดความเป็นไปได้ของการพัฒนาเป็น 4 รูปแบบหลัก ได้แก่ A1 A2 B1 และ B2 โดยการศึกษาเน้นไปที่การวิเคราะห์ความร่วมมือระดับภูมิภาคในรูปแบบ A2 คือ การพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก มีการใช้เทคโนโลยีและประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงปานกลาง และรูปแบบ B2 คือ การพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน มีการใช้เทคโนโลยีและการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกอย่างช้า ๆ ต่ำกว่าการพัฒนาในรูปแบบ A2 ทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลาง-ต่ำ (Chidthaisong, 2010) ผลจากการคาดการณ์สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับตัวและวางแผนทำการเกษตรในอนาคต รวมถึงการจัดการพื้นที่ให้เหมาะสมต่อการปลูกอ้อยของเกษตรกร

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนสำรวจข้อมูลและวางจุดสำรวจ

สำรวจข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยในประเทศไทย ตามแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จากฐานข้อมูลกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2561 และเลือกจุดศึกษาแบบสุ่มให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ปลูกอ้อย โดยสามารถแบ่งเป็นรายภาคและจำนวนจุดศึกษา รวมทั้งสิ้น 4 ภาค 47 จังหวัด รวมทั้งสิ้น 329 จุด ประกอบด้วย ภาคเหนือ 70 จุด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 140 จุด ภาคกลาง 77 จุด และภาคตะวันออก 42 จุด (Figure 1)

การรวบรวมและจัดเก็บข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลสามารถแบ่งเป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านกายภาพ และปัจจัยด้านสังคม ดังนี้

ปัจจัยด้านกายภาพ

พิจารณาปัจจัยทางกายภาพ 4 ปัจจัย เพื่อให้การคาดการณ์ผลผลิตอ้อยด้วยแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด ได้แก่ ปัจจัยภูมิอากาศ (Climate) ปัจจัยผลผลิตพืช (Crop) ปัจจัยการจัดการ (Management) และปัจจัยดิน (Soil)

ปัจจัยภูมิอากาศเป็นข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวันในจุดที่ศึกษา จำนวน 6 พารามิเตอร์ คือ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในปฏิฐาน พ.ศ. 2562–2564 ของกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลสภาพภูมิอากาศปีคาดการณ์ พ.ศ. 2573 และ 2603 ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PRECIS ที่คำนึงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศร่วมด้วย โดยการศึกษาเน้นไปที่การวิเคราะห์ความร่วมมือระดับภูมิภาคในรูปแบบ A2 คือ การพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก และรูปแบบ B2 คือ การพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลผลิตทั้ง 2 รูปแบบ

จากการคาดการณ์ตามการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งทั้ง 2 ปีคาดการณ์ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบการพัฒนาทางเศรษฐกิจ (A2) ปริมาณ 451 และ 580 ppm และในรูปแบบการเติบโตทางสิ่งแวดล้อม (B2) ปริมาณ 429 และ 504 ppm ตามลำดับ

ปัจจัยผลผลิตพืชเป็นข้อมูลด้านลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช เช่น วันปลูก วันเก็บเกี่ยว การเจริญเติบโตของลำต้นและใบในการปกคลุมดิน และรวมถึงการคายน้ำของพืช เป็นต้น ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้เก็บรวบรวมจากข้อมูลภาคสนามที่จัดบันทึกจากการลงพื้นที่ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 ถึงกันยายน พ.ศ. 2564 โดยใช้แบบสอบถามการจัดการพื้นที่เพาะปลูก

ปัจจัยการจัดการเป็นข้อมูลสำหรับการจัดการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ การจัดการแปลงเพาะปลูก ประกอบด้วย ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การปกคลุมดิน น้ำผิวดิน และการกำหนดระดับความสูงของคันนา และส่วนที่ 2 คือ การจัดการน้ำชลประทานที่สามารถเลือกได้ทั้งระบบเกษตรน้ำฝน และระบบเกษตรชลประทาน โดยระบบเกษตรชลประทานสามารถเลือกวิธีการให้น้ำได้ทั้งแบบผิวดิน สปริงเกลอร์ น้ำหยด และการให้น้ำทางใต้ผิวดิน นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดปริมาณน้ำ ระยะเวลาการให้น้ำ และคุณภาพของน้ำที่ให้น้ำ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ปัจจัยดินเป็นข้อมูลลักษณะกายภาพของดินแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่ 1 คือ หน้าตัดดินที่สามารถเลือกลักษณะของเนื้อดิน 14 ชนิด ลักษณะผิวดินและชั้นดิน การระเหยของน้ำในดิน และการขยายของรากในชั้นดิน และส่วนที่ 2 คือ น้ำใต้ดินที่สามารถกำหนดระดับน้ำใต้ดินและคุณภาพของน้ำใต้ดินได้ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ร่วมกับฐานข้อมูลดินในปี พ.ศ. 2563 ของกรมพัฒนาที่ดิน อย่างไรก็ตาม การคาดการณ์ผลผลิตด้วยแบบจำลอง AquaCrop ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยด้านภัยพิบัติ โรคพืช และศัตรูพืช รวมถึงระยะของอ้อยต่อ เนื่องจากแบบจำลองมีข้อจำกัด สามารถคาดการณ์ผลผลิตได้เพียงปี

ต่อปีตามสภาพอากาศที่คาดการณ์ในอนาคต และพืชล้มลุกที่มีอายุน้อยกว่า 500 วันเท่านั้น

ปัจจัยด้านสังคม

สำรวจและสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบสอบถาม เพื่อประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ประกอบด้วยหัวข้อเรื่อง ต้นทุน รายได้ และผลผลิตแล้วคำนวณค่าใช้จ่ายในการจัดการเพาะปลูกของเกษตรกร

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่รวบรวมจาก 3 ปีฐาน (พ.ศ. 2562–2564) ทางด้านกายภาพทั้ง 4 ปัจจัย ใส่ลงในแบบจำลอง AquaCrop เวอร์ชัน 5 (Figure 2) เพื่อประเมินผลผลิตอ้อยในปีฐาน โดยอ้างอิงผลผลิตจริงจากสำนักงานอ้อยและน้ำตาลทราย ปีการผลิต พ.ศ. 2562–2564 แล้วประมวลผลต่อไปในปีคาดการณ์แต่ละรูปแบบ โดยเปลี่ยนปัจจัยด้านภูมิอากาศให้เป็นของปีคาดการณ์ที่ต้องการทราบผลผลิต แต่ยังคงปัจจัยด้านอื่น ๆ ไว้ เนื่องจากต้องการทราบปริมาณผลผลิตในอนาคตที่วิเคราะห์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิ

อากาศตามสภาพเงื่อนไขของการใช้พลังงานของโลกที่ต่างกันแบบ Special Report Emissions Scenarios (SRES) โดยสนใจในระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาคทั้ง 2 รูปแบบ คือ รูปแบบด้านการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก (A2) และรูปแบบการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก (B2) พร้อมจัดทำแผนที่ผลผลิตอ้อยทั่วประเทศในแต่ละปี จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Quantum GIS โดยประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ปริมาณผลผลิตอ้อยที่คาดการณ์ด้วยเทคนิค Inverse Distance Weight (IDW) สามารถนำมาแบ่งระดับความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกได้ กำหนดให้สีแดงแสดงถึงพื้นที่ที่มีผลผลิตน้อยที่สุด และสีเขียวแสดงถึงพื้นที่ที่มีผลผลิตมากที่สุด แบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ พื้นที่เหมาะสมสูง (S1) พื้นที่เหมาะสมปานกลาง (S2) พื้นที่เหมาะสมน้อย (S3) และพื้นที่ไม่เหมาะสม (N) และนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของผลผลิตอ้อยที่คาดการณ์ปี พ.ศ. 2573 และ 2603 จากข้อมูลในปีฐาน โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

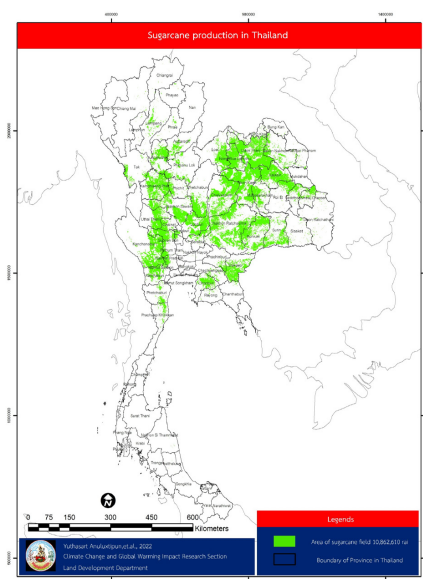


Figure 1 Sugarcane production at 47 provinces in Thailand

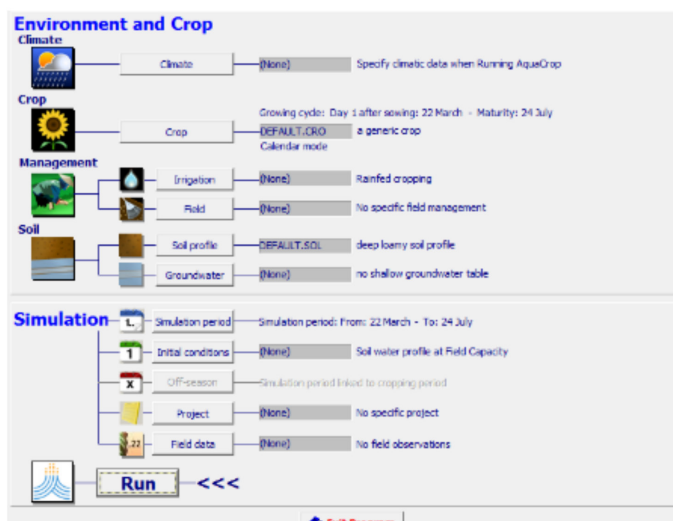


Figure 2 Home page of AquaCrop model

ผลการทดลองและวิจารณ์

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนปีฐาน ค.ศ. 2019–2021 (พ.ศ. 2562–2564) จากกรมอุตุนิยมวิทยา และปีคาดการณ์ ค.ศ. 2030 และ 2060 (พ.ศ. 2573 และ 2603) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PRECIS ในพื้นที่ 47 จังหวัดที่ศึกษา โดยวิเคราะห์เป็นรายปี ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนทั้งหมด ร้อยละการเพิ่มขึ้นและลดลง ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำฝน ที่ใช้เป็นฐานข้อมูลปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศสำหรับการวิเคราะห์ในแบบจำลอง AquaCrop (Table 1) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า น้ำฝนในปีฐานมีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกปี โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,218.01–1,399.03 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดและมากที่สุด คือ 585.60 และ 3,872.60 มิลลิเมตรต่อปี จากการคาดการณ์น้ำฝนในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) พบว่ามีปริมาณลดลง ร้อยละ 1.44 เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2021 (พ.ศ. 2564) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,378.84 มิลลิเมตรต่อปี แต่ในปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) มีปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นถึง ร้อยละ 6.53 จากปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,468.83 มิลลิเมตรต่อ

ปี โดยปริมาณการเพิ่มขึ้นและลดลงของน้ำฝนเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่นำไปวิเคราะห์และคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในอนาคต

พื้นที่เพาะปลูกอ้อยในปี ค.ศ. 2019–2021 (พ.ศ. 2562–2564) จากสำนักงานอ้อยและน้ำตาลทราย มีพื้นที่ปลูกรวมในช่วง 10,862,610–12,236,074 ไร่ต่อปี โดยพื้นที่เพาะปลูกในปัจจุบันมีจำนวนลดลงจากอดีต ร้อยละ 2.26 ในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) และร้อยละ 9.17 ในปี ค.ศ. 2021 (พ.ศ. 2564) เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า

การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ใน Table 2 แสดงข้อมูลจากแบบสอบถามผลผลิตอ้อยของเกษตรกรปี ค.ศ. 2019–2021 (พ.ศ. 2562–2564) จำนวน 329 ราย ในพื้นที่ที่ศึกษาถึงรายได้ของเกษตรกร ที่สอบถามถึงต้นทุนค่าวัสดุการเกษตร ได้แก่ เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และสารกำจัดศัตรูพืช ต้นทุนค่าจ้างแรงงานในการไถ ปลูก และเก็บเกี่ยว ต้นทุนค่าเช่าที่ดิน ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าพลังงานไฟฟ้า รวมถึงปริมาณผลผลิตและรายได้ทั้งหมด เพื่อนำมาคำนวณหากำไรสุทธิจากการปลูกอ้อยในพื้นที่ 1 ไร่

Table 1 Rainfall in base and forecast year

Rainfall	Base year			Forecast year	
	2019	2020	2021	2030	2060
Total (mm/year)	57,246.40	57,320.80	65,754.50	64,805.56	69,034.96
Average (mm/year)	1,218.01	1,219.59	1,399.03	1,378.84	1,468.83
		(+0.13%)	(+14.71%)	(-1.44%)	(+6.53%)
Minimum (mm/year)	585.60	661.00	967.50	852.49	1,033.56
Maximum (mm/year)	2,538.10	2,534.00	3,872.60	2,216.63	2,643.46

The numbers in parentheses are values compared to the previous year.

ราคาต่ำสุด-สูงสุดของกำไรสุทธินั้นมีค่าต่างกันมากกว่าสองเท่า โดยกำไรสุทธิมีค่าติดลบ แสดงถึงค่าใช้จ่ายสำหรับต้นทุนนั้นมากกว่ารายได้ เกิดการขาดทุน อาจเนื่องมาจากราคาต้นทุนวัสดุที่ใช้สูง หรือในปีนั้นเกิดโรคแมลงระบาด ภัยแล้ง หรือน้ำท่วม จึงทำให้ผลผลิตมีปริมาณต่ำกว่าที่คาดการณ์ แต่ราคาอ้อยเฉลี่ยมีต้นทุนอยู่ที่ 8,687 บาทต่อไร่ มีผลผลิตเท่ากับ 15,964 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาขาย 0.68 บาทต่อกิโลกรัม รวมรายได้ทั้งหมด 10,910 บาทต่อไร่ เมื่อนำมาคำนวณกำไรสุทธิจะเท่ากับ 2,223 บาทต่อไร่ ซึ่งราคาขายเฉลี่ยใกล้เคียงกับราคารับซื้ออ้อยจากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 0.7 บาทต่อกิโลกรัม (Office of Agricultural Economics, 2021) โดยระบบโคเวตามีผลต่อการขยายพื้นที่ปลูกของเกษตรกร หากให้ราคาดีจะสามารถขยายพื้นที่ได้มากขึ้น และปัญหาสังคมผู้สูงอายุในปัจจุบันส่งผลต่อโครงสร้างวัยแรงงาน เนื่องจากผู้สูงอายุไม่สามารถเป็นแรงงานในการทำการเกษตรได้อีกต่อไป คนวัยทำงานจึงเป็นตัวกำหนดการผลิตทางการเกษตร ต้นทุน รายได้ และค่าใช้จ่ายของครอบครัว ซึ่งประเทศญี่ปุ่นประสบปัญหาเช่นกัน จึงได้มีการพัฒนาแล้วนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในภาคการเกษตรและสังคมผู้สูงอายุ (Poungchompu *et al.*, 2012)

ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยในปีฐาน (พ.ศ. 2562–2564) เท่ากับ 8.73 ตันต่อไร่ เมื่อนำมาคาดการณ์

ผลผลิตในอนาคตจากรูปแบบ A2 (Table 3) พบว่า ได้ผลผลิตเฉลี่ย 8.60 และ 9.14 ตันต่อไร่ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงจากปีฐาน ร้อยละ 1.49 ในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) แต่ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากปีฐาน ร้อยละ 4.70 ในปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) ตามลำดับ และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.15 (451 ppm) และ 39.09 (580 ppm) จากปีฐาน (417 ppm) ในขณะที่รูปแบบ B2 พบว่า ได้ผลผลิตเฉลี่ย 8.70 และ 8.90 ตันต่อไร่ ในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) และ 2060 (พ.ศ. 2603) ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงจากปีฐาน ร้อยละ 0.34 ในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) แต่ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากปีฐาน ร้อยละ 1.95 ในปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.88 (429 ppm) และ 20.86 (504 ppm) จากปีฐาน และเมื่อนำผลผลิตที่ได้ในแต่ละปีมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ผลผลิตในอนาคตปี ค.ศ. 2030 และ ค.ศ. 2060 ไม่แตกต่างจากผลผลิตในปีฐาน ยกเว้นผลผลิตอ้อยปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) ในรูปแบบ A2 ที่คาดการณ์จากปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) และปีฐาน ทั้งนี้ การคาดการณ์ทุกรูปแบบพบว่า ผลผลิตปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากที่สุด อาจเนื่องมาจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นมีส่วนช่วยในการเพิ่มผลผลิต หากมีปริมาณน้ำฝนที่เพียงพอ

Table 2 Cost and return investment

Detail	Minimum	Maximum	Average
Total cost (baht/rai)	1,346	22,860	8,687
Cost of agricultural materials (baht/rai)	358	19,610	5,524
- Seed (baht/rai)	150	15,000	4,039
- Manure (baht/rai)	53	600	255
- Chemical fertilizer/organic fertilizer (baht/rai)	165	4,010	1,230
- Pesticide (baht/rai)	35	500	168
Total labor wages (baht/rai)	700	16,600	5,049
- Ploughing (baht/rai)	200	3,500	1,155
- Planting (baht/rai)	200	3,500	1,343
- Harvesting (baht/rai)	300	9,600	2,551
Rental value of owned land (baht/rai)	667	3,000	1,403
Other: fuel, electricity bills (baht/rai)	640	2,600	1,263
Production average (kg/rai)	6,500	44,444	15,964
Cost of production average (baht/kg)	0.40	1.10	0.68
Income (baht/rai)	2,600	33,333	10,910
Net profit (baht/rai)	-18,860	16,245	2,223

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

Year	Baseline	Scenario A2		Scenario B2	
		2030	2060	2030	2060
2019	11.69	11.55	12.22	11.70	11.97
2020	7.09 ^b	7.03 ^b	7.45 ^a	7.06	7.31
2021	7.40	7.21	7.75	7.34	7.55
Average (ton/rai)	8.73 ± 2.15	8.60 ± 2.17 (-1.49%)	9.14 ± 2.24 (+4.70%)	8.70 ± 2.12 (-0.34%)	8.90 ± 2.14 (+1.95%)
CO ₂ (ppm)	417	451 (+8.15%)	580 (+39.09%)	429 (+2.88%)	504 (+20.86%)

^{a,b} Means with different letters in the same row and each scenario model are significantly different (P < 0.05). The numbers in parentheses are values compared from the baseline.

ผลผลิตอ้อยจากการคาดการณ์ เมื่อนำมาจัดทำแผนที่สามารถแบ่งระดับความเหมาะสมได้เป็น 4 ระดับ โดยในแต่ละระดับมีผลผลิตอ้อย ดังนี้ พื้นที่ที่เหมาะสมสูง (S1) มีผลผลิตมากกว่า 11.14 ตันต่อไร่ พื้นที่ที่เหมาะสมปานกลาง (S2) มีผลผลิตอยู่ในช่วง 5.57–11.14 ตันต่อไร่ พื้นที่ที่เหมาะสมน้อย (S3) มีผลผลิตอยู่ในช่วง 2.79–5.57 ตันต่อไร่ และพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม (N) มีผลผลิตน้อยกว่า 2.79 ตันต่อไร่ (Figures 3–5)

จากฐานข้อมูลปี ค.ศ. 2019 (พ.ศ. 2562) (Figure 3A) พบว่า รูปแบบ A2 คาดการณ์ผลผลิตในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) (Figure 3B) พื้นที่ที่มีผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นชัดเจน ได้แก่ จังหวัดสุรินทร์ ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ ยโสธร และอุบลราชธานี ในขณะที่พื้นที่ที่มีผลผลิตอ้อยลดลงชัดเจน ได้แก่ จังหวัดแพร่ บึงกาฬ และนครพนม การคาดการณ์ผลผลิตในปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) (Figure 3C) พื้นที่ที่มีผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นชัดเจนจากปี ค.ศ. 2019 และ 2030 (พ.ศ. 2562 และ 2573) ได้แก่ จังหวัดนครพนม บึงกาฬ ศรีสะเกษ ชัยภูมิ นครราชสีมา บุรีรัมย์ แพร่ ระยอง กาญจนบุรี ราชบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ในรูปแบบ B2 การคาดการณ์ผลผลิตในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) (Figure 3D) พื้นที่ที่มีผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นชัดเจน ได้แก่ จังหวัดบึงกาฬ อุบลราชธานี สุรินทร์ ร้อยเอ็ด ชัยภูมิ มหาสารคามหนองบัวลำภู และพิษณุโลก ในขณะที่พื้นที่ที่มีผลผลิตอ้อยลดลงชัดเจน ได้แก่ จังหวัดแพร่ กาญจนบุรี นครราชสีมา และนครพนม การคาดการณ์ผลผลิตในปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) (Figure 3E) พื้นที่ที่มีผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นชัดเจนจากปี ค.ศ. 2019 และ 2030 (พ.ศ. 2562 และ 2573) ได้แก่ จังหวัดอุบลราชธานี ศรีสะเกษ

สุรินทร์ บุรีรัมย์ ชัยภูมิ มหาสารคาม นครพนม นครราชสีมา เพชรบูรณ์ กาญจนบุรี และราชบุรี

จากฐานข้อมูลปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) (Figure 4A) พบว่า รูปแบบ A2 คาดการณ์ผลผลิตในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) (Figure 4B) พื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้น ในขณะที่จังหวัดสุพรรณบุรีมีผลผลิตอ้อยลดลง และการคาดการณ์ผลผลิตในปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) (Figure 4C) พื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเดิมเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อย (S3) ถึงเหมาะสมปานกลาง (S2) กลายเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลาง (S2) ทั้งหมด ในขณะที่จังหวัดสุพรรณบุรียังคงมีผลผลิตอ้อยลดลง และรูปแบบ B2 คาดการณ์ผลผลิตอ้อยพบว่ามีสอดคล้องกับรูปแบบ A2 ทั้งในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) (Figure 4D) และ ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) (Figure 4E)

จากฐานข้อมูลปี ค.ศ. 2021 (พ.ศ. 2564) (Figure 5A) พบว่า รูปแบบ A2 คาดการณ์ผลผลิตในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) (Figure 5B) พื้นที่ที่มีผลผลิตลดลงมากคือ จังหวัดตากและสุพรรณบุรี ในขณะที่การคาดการณ์ผลผลิตในปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) (Figure 5C) จังหวัดตากและสุพรรณบุรีมีผลผลิตเพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2021 (พ.ศ. 2564) และ ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) ในรูปแบบ B2 คาดการณ์ผลผลิตปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) (Figure 5D) พบว่า มีความสอดคล้องกับรูปแบบ A2 ในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) (Figure 5B) ในขณะที่ปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) (Figure 5E) จังหวัดตากมีพื้นที่ที่มีผลผลิตอ้อยลดลงมากที่สุดในประเทศ

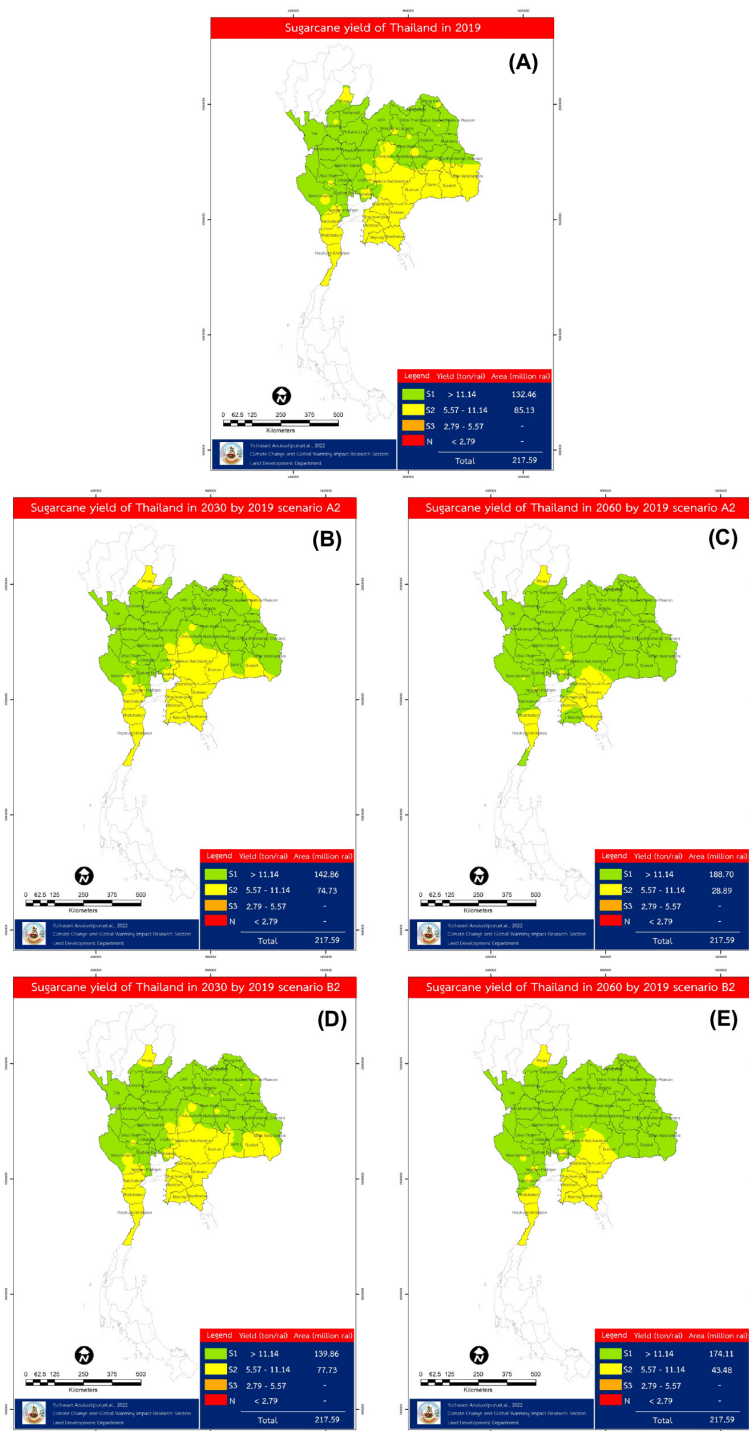


Figure 3 Forecast sugarcane yields in 2019 base year (A), 2030 scenario A2 (B), 2060 scenario A2 (C), 2030 scenario B2 (D), and 2060 scenario B2 (E)

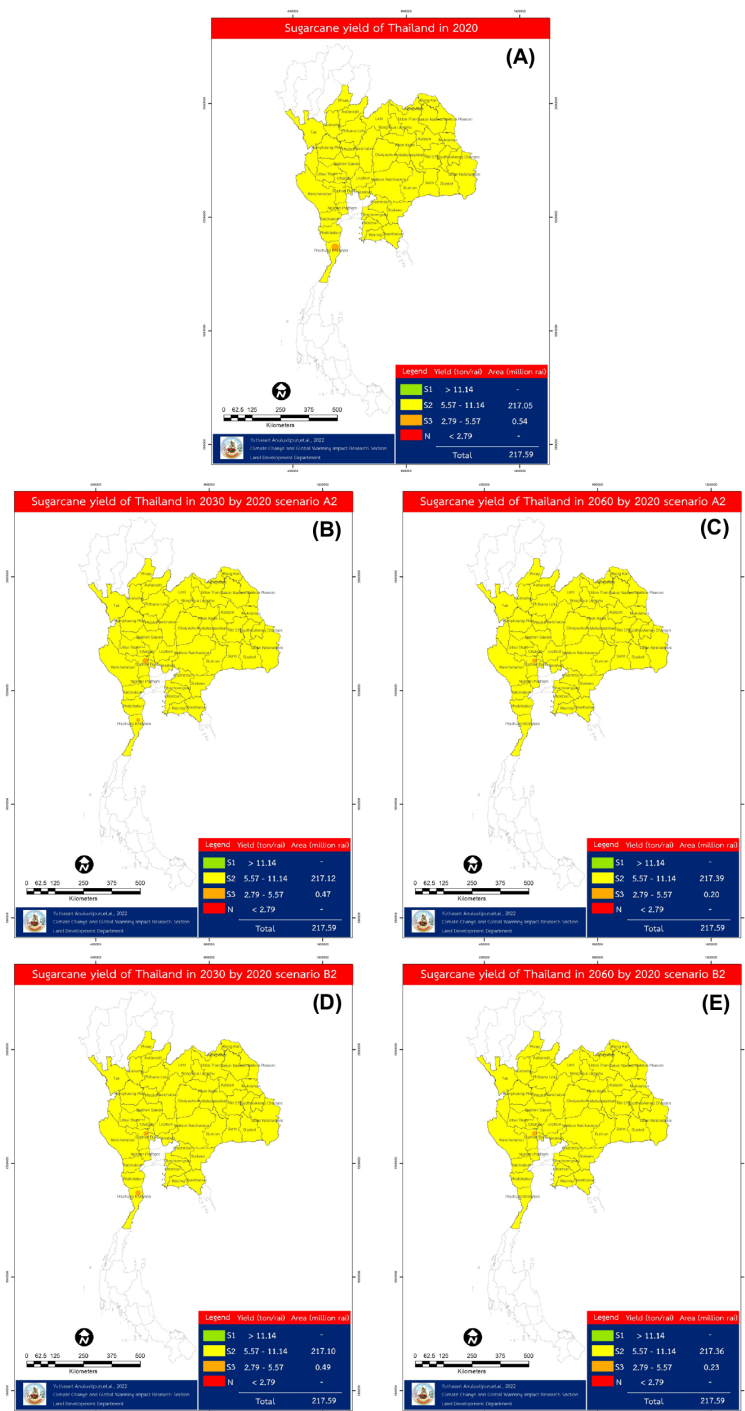


Figure 4 Forecast sugarcane yields in 2020 base year (A), 2030 scenario A2 (B), 2060 scenario A2 (C), 2030 scenario B2 (D), and 2060 scenario B2 (E)

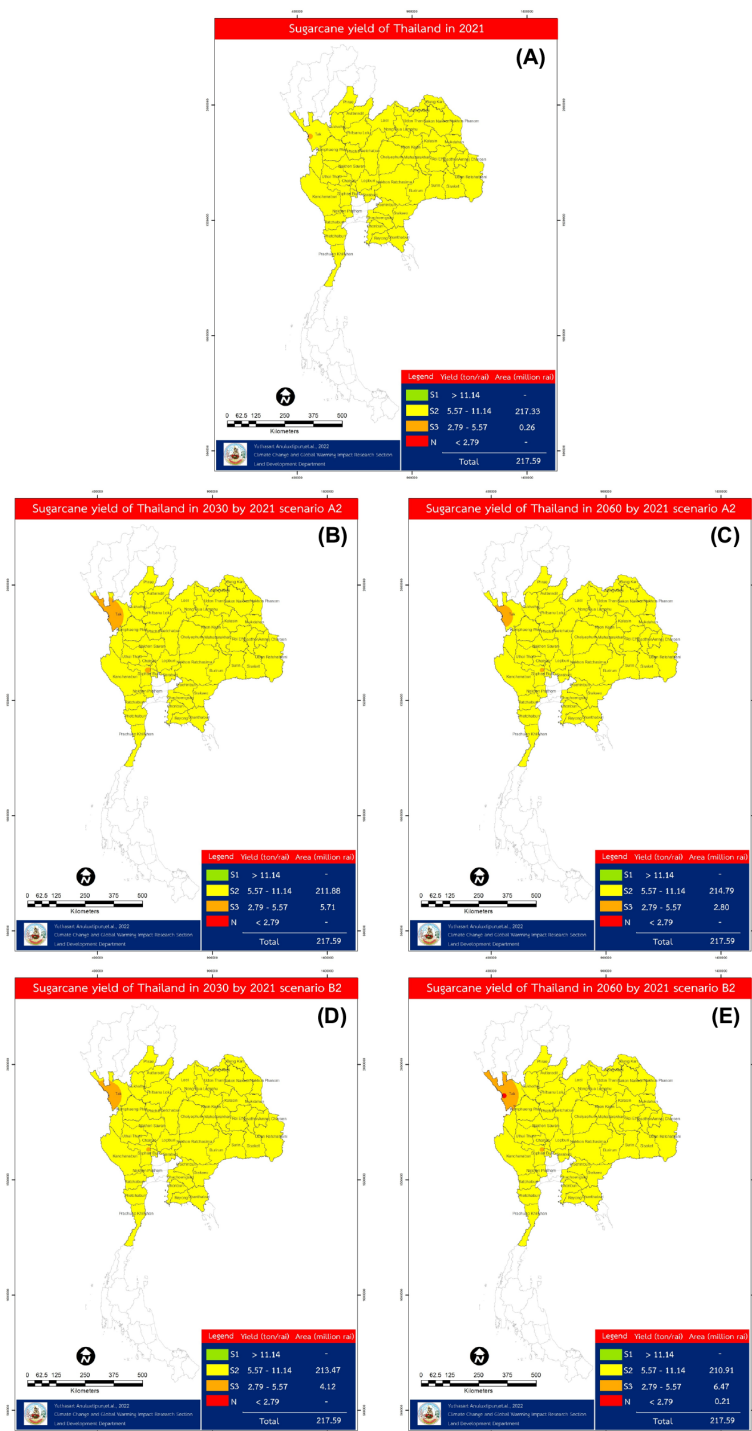


Figure 5 Forecast sugarcane yields in 2021 base year (A), 2030 scenario A2 (B), 2060 scenario A2 (C), 2030 scenario B2 (D), and 2060 scenario B2 (E)

จากข้อมูลผลผลิตอ้อยในประเทศไทย พบว่า ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยในปี ค.ศ. 2019 (พ.ศ. 2562) สูงกว่าปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) และ ค.ศ. 2021 (พ.ศ. 2564) เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกในปัจจุบันมีจำนวนลดลงจากอดีต และเมื่อนำมาคาดการณ์ในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) ผลผลิตอ้อยลดลงหากเทียบกับปีฐานทั้งรูปแบบ A2 และ B2 เนื่องจากปริมาณน้ำฝนในปีนั้นไม่เพียงพอ ในขณะที่ปี ค.ศ. 2060 (พ.ศ. 2603) ผลผลิตอ้อยมีปริมาณเพิ่มขึ้นทั้งรูปแบบ A2 และ B2 ซึ่งในอนาคตผลผลิตอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หากมีปริมาณน้ำฝนที่เพียงพอ เนื่องจากพืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้ผลผลิตแปรผันกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในอนาคต สอดคล้องกับงานวิจัยผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชไร่หลักสามชนิดของประเทศไทยที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิส่งผลให้ผลผลิตอ้อยสูงขึ้นประมาณร้อยละ 6 (Boonpradub *et al.*, 2009) จากการคาดการณ์นี้ควรเฝ้าระวังผลผลิตอ้อยในอนาคตของจังหวัดตากและสุพรรณบุรี เนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนลดลง อย่างไรก็ตามแบบจำลอง AquaCrop คาดการณ์ผลผลิตโดยไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยด้านภัยพิบัติ โรคพืช ศัตรูพืช และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการศึกษาทำให้ทราบแนวโน้มผลผลิตอ้อยในอนาคต สามารถนำมาใช้จัดการพื้นที่ให้เหมาะสมต่อการปลูก เป็นแนวทางในการปรับตัวและแก้ไขการทำเกษตรกรรมในอนาคต อีกทั้งเกษตรกรควรมีการวางแผนค่าใช้จ่าย เพื่อลดต้นทุน แต่ยังคงควบคุมคุณภาพของผลผลิตให้ตามเกณฑ์เพื่อสร้างรายได้และอาชีพที่มั่นคง รวมถึงหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผน เพื่อต่อยอดการพัฒนาภาคเกษตรของไทยให้เท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งการศึกษานี้

สามารถทำ validation model ได้ยาก เนื่องจากใช้ทรัพยากรและงบประมาณที่สูง ซึ่งตรงนี้นับเป็นจุดที่ยังต้องมีการศึกษาพัฒนาต่อไป

สรุป

จากการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในอนาคตของประเทศไทยด้วยแบบจำลอง AquaCrop พบว่า ในปี พ.ศ. 2573 ผลผลิตเฉลี่ยลดลงจากปีฐานทั้งในรูปแบบ A2 และ B2 เนื่องจากปริมาณน้ำฝนในปีนั้นลดลง ในขณะที่ปี พ.ศ. 2603 มีผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณน้ำฝนและก๊าซเรือนกระจก เมื่อพิจารณาทิศทางการพัฒนาประเทศไทยในอนาคตพบว่ามีความใกล้เคียงกับรูปแบบ A2 คือการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก ส่งผลให้ในอนาคตผลผลิตอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นหากมีปริมาณน้ำฝนเพียงพอ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้พิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงภัยพิบัติทางธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้น เกษตรกรจึงควรเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์จากกรมอุตุนิยมวิทยาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเตรียมความพร้อมและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา ซึ่งอำนวยความสะดวกและร่วมมือในการให้ข้อมูลและตรวจวัดค่าพารามิเตอร์จากแปลงเพาะปลูก และขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน

เอกสารอ้างอิง

- Boonpradub, S., S. Ratanasriwong, V. Sarawat, P. Kapetch, K. Ek-un, W. Damrhikhemtrakul, I. Buddhasimma and K. Pannangpetch. 2009. Impact of global warming on three major field crops production of Thailand. *KKU Res. J.* 14(7): 626–649. (in Thai)
- Chidthaisong, A. 2010. Thailand Climate Change Information. Volume 2 Climate Models and Future Climate. The Thailand Research Fund, Bangkok, Thailand. 176 pp. (in Thai)
- Khansila, T., W. Mongkonthum and P. Phetcharaburanin. 2014. Factors affecting the selection of growing sugarcane in Nam Phong district, KhonKaen province, pp. 449–460. *In Proc. the 15th Graduate Research Conferences*, March 28, 2014. (in Thai)
- Moonsri, K. and P. Pochanart. 2019. The effect of climate change on sugarcane productivity in Northeastern Thailand. *Journal of Environmental Management.* 15(2): 46–61. <https://doi.org/10.14456/jem.2019.10>. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2021. Situation of Important Agricultural Products and Trends in 2021. Available Source: <https://www.opsmoac.go.th/nakhonphanom-dwl-files-431991791110>, September 8, 2021. (in Thai)
- Office of the Cane and Sugar Board. 2021. Sugarcane Planting Situation Report 2021/22. Available Source: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/13813-1585.pdf>, April 18, 2023. (in Thai)
- Office of the Cane and Sugar Fund. 2020. Establishment History. Available Source: <http://www.ocsf.or.th/ShowContent.aspx?id=300048>, September 8, 2021. (in Thai)
- Plengwuttikrai, N. and E. Kositsakulchai. 2020. Application of AquaCrop model for simulation of the RD43 rice cultivation under different soil fertilities, pp. 117–123. *In Proc. the 21st TSAE National Conference*, July 30–31, 2020. (in Thai)
- Poungchompu, S., K. Tsuneo and P. Poungchompu. 2012. Aspects of the aging farming population and food security in agriculture for Thailand and Japan. *Int. J. Environ. Rural Dev.* 3(1): 102–107. https://doi.org/10.32115/ijerd.3.1_102.
- Saranukromthai. n.d. Sugarcane Saranukromthai for Youth. Volume 5. Available Source: <https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=t5-3-infodetail01.html>, February 28, 2023. (in Thai)
- Srithamboon, S. 2011. Organic agriculture: a way of Thai farmers under global warming. *Nakhon Phanom University Journal.* 1(2): 24–30. (in Thai)



Steduto, P., T.C. Hsiao, 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>.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. 2017. Biology Volume 3: Photosynthesis. Available Source: <https://www.scimath.org/e-books/10300/flippingbook/index.html#227/z>, April 18, 2023. (in Thai)

Veerakachen, W., M. Raksapatcharawong and H. Sitthi. 2020. Prototype development of SMART agriculture platform integrating remote sensing technology with AquaCrop model. *NBTC Journal.* 4(4): 155–177. (in Thai)