RESEARCH ARTICLE ISSN 2730-2261 (Online)

การประมาณค่าฟังก์ชันการผลิตเชิงโมเมนต์และจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย

THE ESTIMATION OF MOMENT-BASED PRODUCTION FUNCTIONS AND SIMULATIONS OF FUTURE CLIMATE CHANGE IMPACTS FOR ECONOMIC CROP OF THAILAND

***นิโรจน์ สินณรงค์*[1*]*, วราภรณ์ นันทะเสน*[2]*, ศิวรัตน์ กุศล*[3]*, นลินี คงสุบรรณ์*[4]**

***Nirote Sinnarong*[1*]*, Waraporn Nunthasen*[2]*, Siwarat Kuson*[3]*, Nalinee Kongsuban*[4]**

[1]สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[1]Applied Economics Program, Faculty of Economics, Maejo University.

[2]สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[2]Agricultural and Environmental Economics Program, Faculty of Economics, Maejo University.

[3]สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ระหว่างประเทศ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[3]International Economics Program, Faculty of Economics, Maejo University.

[4]สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์เพื่อการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ

[4]Applied Economics for Community Development Program, Maejo University Phrae Campus.

**Corresponding author, e-mail: nirote1980@gmail.com*

***Received:** 29 July 2021; **Revised:** 20 April 2022; **Accepted:** 20 May 2022*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าฟังก์ชันการผลิตเชิงโมเมนต์และจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย 4 ชนิด คือ ข้าว อ้อย ปาล์มน้ำมัน และยางพารา โดยใช้ข้อมูลการผลิตพืชและสภาพอากาศแบบพาเนลระดับจังหวัด ระหว่างปี พ.ศ. 2532-2560 และข้อมูลการทำนายสภาพภูมิอากาศในปี ค.ศ. 2030 2040 และ 2050 วิเคราะห์ความนิ่งของข้อมูลและการวิเคราะห์ฟังก์ชันการผลิตเชิงโมเมนต์ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปแบบเป็นไปได้ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรหลักทางสภาพอากาศ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรวมในฤดูกาลเพาะปลูกส่งผลต่อผลผลิตเฉลี่ย จากการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ผลผลิตข้าวนาปี มีโอกาสลดลงร้อยละ 0.34 ถึง 2.74 ผลผลิตปาล์มน้ำมันลดลงร้อยละ 11.96 ถึง 41.17 เช่นเดียวกับผลผลิตยางพาราจะลดลงร้อยละ 29.89 ถึง 59.71 โดยที่ผลกระทบต่อความแปรปรวนของผลผลิตและโอกาสการสูญเสียผลผลิตแตกต่างไปตามแต่ละภาคและสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

คำสำคัญ: ฟังก์ชันการผลิต; การจำลองผลกระทบ; การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ; พืชเศรษฐกิจ

Abstract

The purpose of this study is to estimate moment-based production functions and simulate the impact of climate change on Thailand's four main economic crops production, which are rice, sugarcane, oil palm, and rubber tree. The unit root test and feasible generalized least squares are assessed to obtain reliable estimates of the moment-based production function based on panel data of crop productions and weathers from province level from 1989 to 2018, combined with climate change projection data for 2030, 2040, and 2050. The findings revealed that during the growing season, the main-driven weather variables (mean temperature and total rainfall) have a significant impact on mean crop production. According to the results of a numerical simulation of the future impacts of climate change, crop mean production for rice, oil palm, and rubber tree is expected to decrease by 0.34 to 2.74 percent, 11.96 to 41.17 percent, and 29.89 to 59.71 percent, respectively. Crop production variance and skewness vary across regions and climate change scenarios.

Keywords: Production Function; Impact Simulation; Climate Change; Economic Crop

บทนำ

การเกษตรเป็นภาคการผลิตที่มีความเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่จะส่งผลต่อกิจกรรมการทำฟาร์ม รูปแบบการเพาะปลูกและทรัพยากรการผลิต จากการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ย ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส ในช่วงกลางศตวรรษที่ 21 เป็นต้นไป รูปแบบของฝนจะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น รวมถึงเหตุการณ์ความผิดปกติของสภาพอากาศและภัยธรรมชาติจะมีความถี่และความรุนแรงมากขึ้น [1] ซึ่งโดยปกติการทำการเกษตรในประเทศไทยเป็นการเกษตรแบบพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติและสภาพอากาศเป็นหลัก การผลิตพืชเศรษฐกิจสำคัญ 4 ชนิด ของประเทศไทย ได้แก่ ข้าว อ้อย ปาล์มน้ำมัน และยางพารา จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [2] พบว่าข้าวนาปีมีพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งประเทศ จำนวน 59.220 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 24.934 ล้านตัน โดยมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 36.636 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 12.189 ล้านตัน สำหรับการผลิตอ้อยมีพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 10.988 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 103.533 ล้านตัน โดยเพาะปลูกมากที่สุดในภาคกลาง จำนวน 4.750 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 44.221 ล้านตัน ในขณะที่ปาล์มน้ำมัน มีพื้นที่เพาะปลูก จำนวน 5.664 ล้านไร่ ให้ผลผลิตรวม 14.452 ล้านตัน ปลูกมากที่สุดในภาคใต้ จำนวน 4.877 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 13.037 ล้านตัน และยางพารามีพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 22.852 ล้านไร่ ให้ผลผลิตรวม 4.503 ล้านตัน โดยปลูกมากที่สุดในภาคใต้ จำนวน 13.798 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 2.979 ล้านตัน

การผลิตพืชเศรษฐกิจมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจการเกษตรโดยรวม และมีความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ผลกระทบและหาแนวทางการปรับตัวที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้องค์ความรู้เรื่องผลกระทบและการปรับตัวจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจเป็นประเด็นที่สำคัญในการยกระดับขีดความสามารถในการผลิต รวมถึงการรักษาระดับคุณภาพและสร้างมูลค่าเพิ่มของพืชเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากการศึกษาของ Sinnarong [3] พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยส่งผลกระทบเชิงลบต่อการผลิตข้าวในทุกภาค ปริมาณน้ำฝนส่งผลดีต่อการผลิตข้าวนาปีในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่มีผลในเชิงลบต่อการผลิตข้าวในภาคกลางและภาคใต้ เช่นเดียวกับการศึกษาโดยเกริก ปั้นเหน่งเพ็ชร และคณะ [4] พบว่าความแปรปรวนของสภาพอากาศในอนาคตส่งผลให้ผลผลิตอ้อยมีความแปรปรวนโดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือ สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อการผลิตปาล์มน้ำมัน โดยจรีวรรณ จันทร์คง และคณะ [5] พบว่า

อุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิจะส่งผลกระทบทางลบต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ส่งผลกระทบทางบวกต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน เช่นเดียวกับ Abubakar et al. [6] ที่ยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันรวมถึงกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม [7] พบว่าพายุฝนตกหนักจะสร้างความเสียหายให้กับสวนยางพารา โดยจำนวนวันกรีดยางลดลงและผลผลิตที่ได้รับมีปริมาณลดลง นอกจากนี้พรพรรณ สุทธิแย้ม [8] พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ความแห้งแล้งหรือฝนทิ้งช่วง ส่งผลให้ผลผลิตพืชไร่และพืชทดแทนพลังงานลดลง และการเริ่มต้นและการสิ้นสุดของฤดูฝนมีความไม่แน่นอนมากขึ้น ส่งผลให้ฤดูเพาะปลูกและพื้นที่ปลูกพืชไร่เปลี่ยนไปจากเดิม

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการทางเศรษฐมิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบพาเนลในระดับภูมิภาค (Regional level) ซึ่งมีความสำคัญต่อการเสนอแนะเชิงนโยบายในระดับภาคที่มีลักษณะทางภูมิประเทศและพื้นฐานทางทรัพยากรการผลิตที่คล้ายคลึงกัน โดยศึกษาผลกระทบจากสภาพอากาศและความแปรปรวนของสภาพอากาศในอดีตจนถึงปัจจุบันต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด ด้วยการวิเคราะห์ฟังก์ชันการผลิตเชิงโมเมนต์ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถวิเคราะห์ปัจจัยสภาพอากาศที่ส่งผลต่อผลผลิตพืชเศรษฐกิจได้ทั้งแบบจำลองผลผลิตเฉลี่ย ความแปรปรวนของผลผลิต และความเบ้ของผลผลิต ร่วมกับผลการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต เพื่อเป็นแนวทางการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่จะส่งผลกระทบต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประมาณค่าฟังก์ชันการผลิตเชิงโมเมนต์สำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย
2. เพื่อจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การรวบรวมข้อมูลสถิติ จาก 2 หน่วยงานหลัก ดังนี้

1. ข้อมูลการผลิต ข้าว อ้อย ปาล์มน้ำมัน และยางพารา ระดับจังหวัดเป็นรายปี จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [9] และข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน จากกรมอุตุนิยมวิทยา [10] ซึ่งข้อมูลสภาพอากาศจะคำนวณเฉพาะช่วงฤดูกาลเพาะปลูก คือ ข้าวนาปี ใช้ข้อมูลเดือน พ.ค.-ต.ค. และการผลิตอ้อย ปาล์มน้ำมันและยางพารา ใช้ข้อมูลรายเดือนตลอดทั้งปี โดยวิเคราะห์เป็นรายพืชสำหรับภาคที่มีการผลิตพืชเศรษฐกิจมากที่สุด คือ ข้าวนาปีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 19 จังหวัด ตั้งแต่ปี 2532-2560 อ้อยในภาคกลาง 17 จังหวัด ตั้งแต่ปี 2532-2557 ปาล์มน้ำมันในภาคใต้ 14 จังหวัด ตั้งแต่ปี 2532-2560 และยางพาราในภาคใต้ 14 จังหวัด ตั้งแต่ปี 2532-2559 โดยผลผลิตข้าวนาปี อ้อย ปาล์มน้ำมันและยางพารา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 534,715.30 1,292,762.00 612,636.20 และ 159,278.90 ตัน/จังหวัด/ปี ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26.41-28.03 °C โดยมีความแปรปรวนของอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 0.64-1.08 $°C^2$ และปริมาณน้ำฝนรวมอยู่ระหว่าง 467.44-2,555.73 มม. โดยมีความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนอยู่ระหว่าง 5,177.06-39,258.78 $มม.^2$

2. ข้อมูลการคาดการณ์สภาพอากาศจากแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค PRECIS จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [11] ที่ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4 เป็นข้อมูลตั้งต้นและคำนวณเพิ่มรายละเอียดโดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดในอดีตเป็นตัวเทียบและปรับให้มีความสอดคล้องกัน เป็นชุดข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในลักษณะตารางกริด (Grid) ขนาด 20x20 กิโลเมตร เป็นรายวันตลอดช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 21 โดยในการจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตพืชจะใช้ข้อมูลการคาดการณ์สภาพ

ภูมิอากาศจากกริดที่เป็นศูนย์กลางของจังหวัด เป็นรายเดือนตลอดปี เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในอดีตด้วย

การประมาณค่าฟังก์ชันการผลิตเชิงโมเมนต์สำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มี 2 วิธีหลัก [12] คือวิธีการวิเคราะห์แบบจำลองกระบวนการเชิงคณิตศาสตร์ (Process-based mathematical models) ด้วยการใส่ข้อมูลปัจจัยการผลิตรวมถึงตัวแปรสภาพอากาศในโปรแกรมสำเร็จรูปและทำนายผลผลิตตามเงื่อนไขที่กำหนด และวิธีการวิเคราะห์แบบจำลองเชิงสถิติหรือเศรษฐมิติ (Statistical or econometric models) เป็นการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตรวมถึงตัวแปรสภาพอากาศกับผลผลิตจริงในอดีต (Observational data) มีข้อดีคือได้รวมผลการจัดการฟาร์มอยู่ในข้อมูลและครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอากาศตามธรรมชาติแล้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์จะสื่อถึงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างสภาพอากาศกับผลผลิตมากกว่า

งานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติหรือเศรษฐมิติ เป็นการใช้ข้อมูลจากการสังเกตจริงมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลผลิตและสภาพอากาศในอดีตและจำลองการเปลี่ยนแปลงในอนาคต มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เช่น การศึกษาของ McCarl et al. [13] Cabas et al. [14] Huang and Khanna [15] and Shayanmehr et al. [16] โดยการกำหนดแบบจำลองเชิงทฤษฎี (Theoretical model) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจสำหรับข้อมูลแบบพาเนล มีข้อดีในการคำนึงถึงผลกระทบของความแตกต่างเชิงพื้นที่และความแตกต่างเชิงเวลาในช่วงที่ศึกษา จากแนวคิดของ Just and Pope [17] กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบ stochastic production function (SPF) หรือ $y = f(x,v)$ เมื่อ y คือผลผลิตพืชเศรษฐกิจ และ *x* เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตทั่วไป เช่น ที่ดิน ทุน แรงงาน และ *v* เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยเสี่ยงที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ ทั้งนี้การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต (Moment-based specification of the SPF) สามารถวิเคราะห์ฟังก์ชันผลต่อผลผลิตเฉลี่ย (Mean function) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่หนึ่งของข้อมูลผลผลิต รวมถึงการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่สูงขึ้นในโมเมนต์ที่สอง คือฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิต (Variance function) และในโมเมนต์ที่สามคือฟังก์ชันความเบ้ของผลผลิต (Skewness function) เพื่อศึกษาความเสี่ยงที่ผลผลิตจะลดลงหรือโอกาสความสูญเสียผลผลิต (Downside risk exposure) ตามแนวคิดของ Di Falco and Chavas [18] และ Antle [19] ได้ โดยกำหนดให้แบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต *y* (*x, v*) เป็นดังสมการที่ (1)

$$y(x,v) = f_1(x,\beta_1) + u \tag{1}$$

โดยที่ $f_1(x,\beta_1) \equiv E[y(x,v)]$ คือ ฟังก์ชันผลผลิตพืชเฉลี่ย

$u \equiv y(x,v) - f_1(x,\beta_1)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์

ฟังก์ชันเชิงโมนต์ที่สองและโมเมนต์ที่สูงขึ้นของ *y* (*x, v*) กำหนดได้ตามสมการที่ (2)

$$E\left\{[y(x,v) - f_1(x,\beta_1)]^m \middle| x\right\} = f_m(x,\beta_m), \text{ สำหรับ } m = 2, 3 \tag{2}$$

เมื่อ *m* คือค่าโมเมนต์ของฟังก์ชัน *y* (*x, v*)

การประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยและฟังก์ชันในระดับโมเมนต์ที่สูงขึ้น สำหรับข้อมูลแบบพาเนล กำหนดแบบจำลองเชิงทฤษฎี ดังสมการที่ (3)

$$y_{it} = f(x_{itk}, \beta_k) + u_{it} = f_1(x_{itk}, \beta_{1k}) + f_2(x_{itk}, \beta_{2k})^{1/2}.\varepsilon_{it} \quad (3)$$

โดยที่ y_{it} คือ ผลผลิตพืชเศรษฐกิจ ในพื้นที่จังหวัดที่ *i* ณ ช่วงเวลา *t*

x_{itk} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรอธิบาย ในพื้นที่จังหวัดที่ *i* ณ ช่วงเวลา *t* จำนวน *k* ตัวแปร

$f_1(x_{itk}, \beta_{1k})$ คือ ฟังก์ชันผลผลิตพืชเศรษฐกิจเฉลี่ย

$u_{it} = f_2(x_{itk}, \beta_{2k})^{1/2}.\varepsilon_{it}$ คือ ฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิตแบบมีค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroskedastic disturbance) เมื่อ $u_{it} = \mu_i + \nu_{it}$ (μ_i คือค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้ในเชิงพื้นที่และ ν_{it} คือค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้ในเชิงพื้นที่และเวลา)

จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ย คือ ฟังก์ชัน $f_1(x, \beta_1)$ และปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนของผลผลิตตามฟังก์ชัน $f_2(x, \beta_2)$ ทั้งนี้โมเมนต์ที่สามของการผลิตพืชเศรษฐกิจหรือฟังก์ชัน $f_3(x, \beta_3)$ สามารถกำหนดได้ตามสมการที่ (4)

$$(u_{it})^3 = f_3(x_{itk}, \beta_{3k}) + e_{it} \quad (4)$$

โดยกำหนดแบบจำลองเชิงประจักษ์ (Empirical model) สำหรับแบบจำลองผลผลิตเฉลี่ย สามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (Feasible generalized least squares, FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ ให้ได้ผลการประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพและกระบวนการอ้างอิงทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นสูง ดังสมการที่ (5) การประมาณค่าแบบจำลองความแปรปรวนของผลผลิต สามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการที่ (5) เป็นตัวประมาณค่าของ u_{it} และประมาณค่าฟังก์ชัน u_{it}^2 กับตัวแปรอธิบายลักษณะเดียวกับสมการที่ (5) นั่นคือการประมาณค่าฟังก์ชัน $f_2(x_{itk}, \beta_{2k})$ โดยสมมุติให้ $f_2(.)$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง คือ $E(u_{it}^2) = (x_{itk}, \beta_{2k})$ เมื่อ $f_2 = (u_{it})^2$ และ x_{itk} คือตัวแปรอธิบาย ตามสมการที่ (6) และการประมาณค่าแบบจำลองโอกาสความสูญเสียของผลผลิต สามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการที่ (5) เป็นตัวประมาณค่าของ u_{it} โดยสมมุติให้ฟังก์ชันความเบ้ $f_3 = (u_{it})^3$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ดังสมการที่ (7)

$$PROD_{it} = \alpha_1 + \beta_{11}ATEM_{it} + \beta_{12}VTEM_{it} + \beta_{13}TRAI_{it} + \beta_{14}VRAI_{it} + \beta_{15}TIME_{it} + \mu_i + \nu_{it} \quad (5)$$

$$(u_{it})^2 = \alpha_2 + \beta_{21}ATEM_{it} + \beta_{22}VTEM_{it} + \beta_{23}TRAI_{it} + \beta_{24}VRAI_{it} + \beta_{25}TIME_{it} + e_{it} \quad (6)$$

$$(u_{it})^3 = \alpha_3 + \beta_{31}ATEM_{it} + \beta_{32}VTEM_{it} + \beta_{33}TRAI_{it} + \beta_{34}VRAI_{it} + \beta_{35}TIME_{it} + e_{it} \quad (7)$$

โดยที่ $PROD_{it}$ คือ ผลผลิต (ตัน) $ATEM_{it}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (°C) $VTEM_{it}$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ($°C^2$) $TRAI_{it}$ คือ ปริมาณน้ำฝนรวม (มม.) $VRAI_{it}$ คือ ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน (มม.^{2}) และ $TIME_{it}$ คือ ตัวแปรแนวโน้มเวลา ซึ่งเป็นตัวแทนของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่มีผลต่อผลผลิต เช่น การพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร การพัฒนาระบบการเกษตร การพัฒนาด้านปัจจัยการผลิต ในช่วงเวลาที่ศึกษา โดย μ_i, ν_{it} และ e_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้

การวิเคราะห์แบบจำลองให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูล 3 การทดสอบ คือ 1) การทดสอบความนิ่ง (Stationary) ของข้อมูลพาเนล (Panel unit root test) ด้วยวิธี Levin, Lin and Chu (LLC) และ Im, Pesaran and Shin (IPS) ซึ่งเป็นการทดสอบข้อมูลอนุกรมเวลาที่มี

องค์ประกอบ 4 ส่วน คือ แนวโน้ม ฤดูกาล วัฏจักร และเหตุการณ์ที่ผิดปกติหรือความไม่แน่นอน ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่นิ่งของข้อมูล (Non-Stationary) เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาความสัมพันธ์ไม่แท้จริง (Spurious Regression) ในการวิเคราะห์การถดถอยได้ 2) การทดสอบปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity test) ด้วยวิธี Breusch-Pagan-Godfrey test และ White's test ซึ่งปัญหาความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ จะส่งผลต่อความไม่มีประสิทธิภาพของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองการถดถอย ทดสอบโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนกับตัวแปรอธิบายในแบบจำลอง หากมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าการถดถอยมีปัญหาความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ จึงต้องใช้วิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไป (Generalized Least Square, GLS) และ 3) การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Redundant Fixed Effect ซึ่งโดยปกติการประมาณค่าแบบจำลองข้อมูลพาเนล สามารถประมาณค่าได้ 2 แบบ คือ แบบจำลอง Fixed Effects (FE) ที่กำหนดให้ตัวแปรที่ไม่ได้นำเข้ามาในแบบจำลอง (Omitted Variables) มีความแตกต่างกันระหว่างจังหวัดแต่ให้คงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป และแบบจำลองแบบ Random Effects (RE) ที่กำหนดให้ตัวแปรที่ไม่ได้นำเข้ามาในแบบจำลอง อาจคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนไปแต่มีความแตกต่างกันระหว่างจังหวัด จึงทำการทดสอบแบบจำลองที่เหมาะสมเมื่อมีการกำหนดลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถสังเกตได้กับตัวแปรอธิบาย

การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต (Climate Change Projection) ด้วยการจำลองเชิงตัวเลข (Numerical simulation) โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลของตัวแปรหลัก (Key driven variable) ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรวม จากแบบจำลองทางเศรษฐมิติมาคำนวณผลกระทบร่วมกับข้อมูลภาพฉายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Projection) ในระดับพื้นที่ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจก (Emissions Scenarios) ตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ แบบ A2 และ B2 โดยแบบ A2 เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง-ปานกลาง ในกรณีที่มีการเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค จำนวนประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และแบบ B2 เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับปานกลาง-ต่ำ ในกรณีที่เน้นการปกป้องและแก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และความเสมอภาคระดับท้องถิ่นและภูมิภาค จำนวนประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่น้อยกว่า A2 [20]

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูล (Pre-estimation Specification Test)

การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาเนลด้วยวิธี LLC และ IPS พบว่าข้อมูลทุกตัวแปรมีความนิ่งที่ระดับ I(0) หรือ Stationary at level ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน ด้วยวิธี Breusch-Pagan-Godfrey test และวิธี White test พบว่าแบบจำลองการผลิตพืชเศรษฐกิจ เกิดปัญหาความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ การศึกษานี้จึงทำการวิเคราะห์การถดถอยทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาและให้ได้ผลการประมาณค่าที่มีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูลสำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจ

Panel unit root test		ข้าวนาปี (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)	อ้อย (ภาคกลาง)	ปาล์มน้ำมัน (ภาคใต้)	ยางพารา (ภาคใต้)
ผลผลิต (ตัน/จังหวัด/ปี)	LLC	-2.328***	1.379**	5.960**	-2.184***
	IPS	-0.364**	2.706**	8.208**	1.190
อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	LLC	-23.407***	10.680**	-3.977***	-2.011**
	IPS	-19.616***	-7.261***	-2.975***	-3.498***
ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ($°C^2$)	LLC	-14.517***	34.374**	-8.459***	-10.426***
	IPS	-14.253***	2.937**	-7.235***	-10.237***
ปริมาณน้ำฝนรวม (มม.)	LLC	-15.934***	-8.931***	-3.987***	-7.255***
	IPS	-15.701***	-9.286***	-7.060***	-8.235***
ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ($มม.^2$)	LLC	-16.538***	-9.501***	-4.476***	-7.840***
	IPS	-15.622***	-9.694***	-6.371***	-8.850***
Heteroskedasticity Test					
Breusch-Pagan-Godfrey (F-statistic)		7.798***	9.282***	26.205***	7.939***
White (F-statistic)		2.493***	3.572***	11.391***	9.906***

Note: **, and *** indicate that the significant at the 95%, and 99% confidence level.

ผลการประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ย (Mean Production Function Estimations)

การศึกษาครั้งนี้ใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Cobb-Douglas เพื่ออธิบายค่าความยืดหยุ่น (elasticity) ของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิต ผลการทดสอบ Redundant Fixed Effects Tests เพื่อประกอบการเลือกแบบจำลอง โดยใช้ค่าสถิติ F-statistic แสดงการยอมรับสมมุติฐานหลัก หมายถึง การใช้แบบจำลองแบบ Fixed Effects จะให้ตัวประมาณค่าที่สอดคล้องและมีประสิทธิภาพ (Consistent and Efficient) และการศึกษานี้วิเคราะห์แบบจำลอง 2 เทคนิค เพื่อทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลอง คือ เทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดสำหรับข้อมูลพาเนล (Panel least square, PLS) และเทคนิคแบบจำลอง Fixed Effect แบบตัดขวางร่วมกับวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ (Cross section FE SUR with FGLS) ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ร่วมกับปัญหาอัตตสหสัมพันธ์ (Cross-section heteroscedasticity and contemporaneous correlation) พบว่า FGLS ให้ค่า adjusted R^2 สูงกว่า จึงใช้แบบจำลองนี้อธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิต โดยตัวแปรที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย *(ATEM)* ส่งผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตอ้อย (β=3.428) และมีผลเชิงลบต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน (β=-5.491) และยางพารา (β=-9.403) ความแปรปรวนของอุณหภูมิ *(VTEM)* มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปี (β=0.044) อ้อย (β=0.271) และยางพารา (β=0.108) ในขณะที่มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน (β=-0.084) ปริมาณน้ำฝนรวม *(TRAI)* มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตอ้อย (β=0.303) ในขณะที่มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน (β=-0.907) และยางพารา (β=-0.935) ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน *(VRAI)* ส่งผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าว (β=-0.096) อ้อย (β=-0.200) และปาล์มน้ำมัน (β=-0.146) และมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตยางพารา 0.100 และแนวโน้มเวลา *(TIME)* มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตพืชเศรษฐกิจทั้ง 4 ชนิด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยสำหรับพืชเศรษฐกิจ

	ข้าวนาปี (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)	อ้อย (ภาคกลาง)	ปาล์มน้ำมัน (ภาคใต้)	ยางพารา (ภาคใต้)
อุณหภูมิเฉลี่ย (*ATEM*)	0.046	3.420***	-5.491***	-9.403***
	(0.394)	(0.548)	(1.324)	(0.496)
ความแปรปรวนของอุณหภูมิ (*VTEM*)	0.044**	0.271***	-0.084*	0.108***
	(0.019)	(0.065)	(0.048)	(0.017)
ปริมาณน้ำฝนรวม (*TRAI*)	0.073	0.303***	-0.907***	-0.935***
	(0.085)	(0.085)	(0.150)	(0.048)
ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน (*VRAI*)	-0.096***	-0.200***	-0.146***	0.100***
	(0.026)	(0.035)	(0.044)	(0.017)
แนวโน้มเวลา (*TIME*)	0.206***	0.810***	1.090***	0.521***
	(0.021)	(0.047)	(0.067)	(0.019)
ค่าคงที่ (constant)	13.788***	-1.059	35.817***	47.798***
	(1.439)	(1.974)	(4.399)	(1.691)
Adjusted R^2 (**FGLS**/PLS)	**0.798**/0.715	**0.468**/0.115	**0.716**/0.194	**0.807**/0.293
F-statistic	24.687***	74.897***	126.683***	329.020***

Note: Numbers in parentheses are standard errors. *, **, and *** indicate that the significant at the 90%, 95%, and 99% confidence level.

ผลการประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวนและฟังก์ชันความเบ้ของผลผลิต (Variance and Skewness Function Estimations)

ผลการประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิตใช้รูปแบบสมการ Cobb-Douglas ด้วยวิธี PLS ค่าสัมประสิทธิ์ (β) เชิงบวกแสดงถึงตัวแปรอธิบายเป็นตัวแปรที่ส่งผลในการเพิ่มความแปรปรวนของผลผลิต (Risk-increased variables) พบว่า ตัวแปรที่เพิ่มความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความแปรปรวนอุณหภูมิ *(VTEM)* สำหรับการผลิตปาล์มน้ำมัน (β=1.887) และยางพารา (β=0.552) ปริมาณน้ำฝนรวม *(TRAI)* สำหรับการผลิตยางพารา (β=0.994) โดยตัวแปรที่ลดความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย *(ATEM)* สำหรับการผลิตข้าว (β=-1.559) และยางพารา (β=-11.685) ความแปรปรวนของอุณหภูมิ *(VTEM)* สำหรับการผลิตอ้อย (β=-1.002) ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน *VRAI)* สำหรับยางพารา (β=-0.452) และแนวโน้มเวลา *(TIME)* สำหรับการผลิตอ้อย (β=-1.025) และยางพารา (β=-0.305) สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันความเบ้ของผลผลิตใช้รูปแบบสมการ Cobb-Douglas ด้วยวิธี PLS ค่าสัมประสิทธิ์เชิงบวกจะแสดงถึงตัวแปรอธิบายเป็นตัวแปรที่ส่งผลในการเพิ่มโอกาสความสูญเสียของผลผลิตหรือตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงที่ผลผลิตจะลดลง (Downside risk variables) พบว่า ตัวแปรที่เพิ่มความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย *(ATEM)* ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน *(VRAI)* และแนวโน้มเวลา *(TIME)* สำหรับการผลิตยางพารา (β=42.675, 1.405, และ 0.818) โดยตัวแปรที่ลดความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความแปรปรวนอุณหภูมิ *(VTEM)* และปริมาณน้ำฝนรวม *(TRAI)* สำหรับการผลิตยางพารา (β=-1.743 และ -2.798) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวนและความเบ้ของผลผลิตพืชเศรษฐกิจ

	ข้าวนาปี (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)		อ้อย (ภาคกลาง)	
	Variance	**Skewness**	**Variance**	**Skewness**
อุณหภูมิเฉลี่ย (*ATEM*)	-1.559***	-0.134	-2.286	16.879
	(0.493)	(0.75150)	(4.2344)	(18.086)
ความแปรปรวนของอุณหภูมิ (*VTEM*)	0.0004	-0.015	-1.002*	0.888
	(0.025)	(0.038)	(0.543)	(2.320)
ปริมาณน้ำฝนรวม (*TRAI*)	-0.105	0.146	-0.311	1.854
	(0.109)	(0.166)	(0.832)	(3.556)
ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน (*VRAI*)	0.028	0.012	-0.162	-0.040
	(0.033)	(0.050)	(0.340)	(1.452)
แนวโน้มเวลา (*TIME*)	0.013	-0.029	-1.025***	0.826
	(0.026)	(0.040)	(0.203)	(0.869)
ค่าคงที่ (constant)	6.028***	-0.772	18.379	-71.933
	(1.778)	(2.707)	(16.344)	(69.813)
Adjusted R^2	0.013	-0.003	0.060	-0.006
F-statistic	2.511**	0.577	6.356***	0.447
	ปาล์มน้ำมัน (ภาคใต้)		**ยางพารา (ภาคใต้)**	
	Variance	**Skewness**	**Variance**	**Skewness**
อุณหภูมิเฉลี่ย (*ATEM*)	17.598	-152.470	-11.685***	42.675***
	(22.484)	(148.905)	(3.105)	(10.218)
ความแปรปรวนของอุณหภูมิ (*VTEM*)	1.887*	-7.718	0.552***	-1.743***
	(0.980)	(6.493)	(0.138)	(0.454)
ปริมาณน้ำฝนรวม (*TRAI*)	-1.146	-9.119	0.994**	-2.798**
	(3.236)	(21.430)	(0.425)	(1.400)
ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน (*VRAI*)	-0.670	6.491	-0.452***	1.405***
	(1.182)	(7.830)	(0.153)	(0.504)
แนวโน้มเวลา (*TIME*)	-1.000	0.791	-0.305***	0.818***
	(0.700)	(4.639)	(0.093)	(0.306)
ค่าคงที่ (constant)	-34.854	493.701	37.4233***	-137.702***
	(76.579)	(507.144)	(10.635)	(34.993)
Adjusted R^2	0.029	-0.005	0.087	0.084
F-statistic	2.516**	0.728	8.462***	8.230***

Note: Numbers in parentheses are standard errors. *, **, and *** indicate that the significant at the 90%, 95%, and 99% confidence level.

การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตพืชเศรษฐกิจ

การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยการกำหนดตัวแปรหลักทางสภาพอากาศได้อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรวม จากนั้นคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรวมในอนาคตตามแบบ A2 และ B2 เทียบกับข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรวมของปีฐาน (Baseline-Temp, Baseline-Rain) ที่ศึกษาครั้งนี้ และจำลองผลกระทบโดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรอากาศ (Elastic-Temp และ Elastic-Rain) จากผลของข้อมูลปีฐานซึ่งอยู่ในรูปร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเมื่อตัวแปรอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 เทียบกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอากาศในอนาคต จะได้ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคตต่อผลผลิต (Effect-Temp และ Effect-Rain) และรวมผลกระทบ

ของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในอนาคต (Effect-Temp และ Effect-Rain) เป็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Effect-CC) ต่อผลผลิตพืชเศรษฐกิจ ในปี ค.ศ. 2030, 2040 และ 2050 ทั้งแบบ A2 และ B2 โดยข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในอนาคตที่ใช้ในการจำลองผลกระทบ (Projected Temp, Projected Rain: A2, B2) มีความแตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่ที่ผลิตพืชเศรษฐกิจ การจำลองผลกระทบต่อผลผลิตเฉลี่ยในพื้นที่ พบว่าผลผลิตข้าวนาปีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีโอกาสลดลงร้อยละ 0.344 ถึง 2.748 ผลผลิตปาล์มน้ำมันในภาคใต้ มีโอกาสลดลงร้อยละ 11.961 ถึง 41.175 เช่นเดียวกับผลผลิตยางพาราในภาคใต้ จะลดลงร้อยละ 29.899 ถึง 59.710 อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตอ้อยในภาคกลาง ร้อยละ 45.121 ถึง 60.429 การจำลองความเสี่ยงจากผลการประมาณค่าความแปรปรวน โดยใช้หลักการเดียวกับผลผลิตเฉลี่ย พบว่าผลผลิตอ้อยจะมีความแปรปรวนของผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 45.121 ถึง 60.429 สำหรับการจำลองความเบ้ของผลผลิตพบว่า ผลผลิตข้าวมีโอกาสเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศร้อยละ 0.193 ถึง 5.264 ผลผลิตอ้อยมีโอกาสสูญเสียร้อยละ 225.262 ถึง 320.246 และผลผลิตยางพารามีโอกาสสูญเสียร้อยละ 162.864 ถึง 330.288 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจปี ค.ศ. 2030 2040 และ 2050

	ข้าวนาปี (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)			อ้อย (ภาคกลาง)		
Baseline Temp (°C)		28.035			26.420	
Baseline Rain (mm.)		1275.661			467.444	
Elastic-Temp (%)		0.046			3.429	
Elastic- Rain (%)		-0.074			0.304	
Year	**2030**	**2040**	**2050**	**2030**	**2040**	**2050**
Projected Temp (A2)	29.648	29.438	30.260	29.991	29.587	30.631
Projected Temp (B2)	29.902	28.914	31.351	29.744	29.104	29.693
Projected Rain (A2)	1425.894	1791.679	1586.52	649.954	764.658	511.344
Projected Rain (B2)	1462.711	1471.933	1430.454	603.672	833.033	508.157
ผลผลิตเฉลี่ย	**2030**	**2040**	**2050**	**2030**	**2040**	**2050**
Effect Temp (A2)	0.267	0.233	0.369	46.348	41.114	54.649
Effect Temp (B2)	0.309	0.146	0.550	43.145	34.845	42.475
Effect Rain (A2)	-0.868	-2.980	-1.795	11.861	19.315	2.853
Effect Rain (B2)	-1.080	-1.134	-0.894	8.853	23.758	2.646
Effect CC A2 (%)	-0.600	-2.748	-1.427	58.209	60.429	57.502
Effect CC B2 (%)	-0.771	-0.988	-0.344	51.998	58.604	45.121
ความแปรปรวน	**2030**	**2040**	**2050**	**2030**	**2040**	**2050**
Effect CC A2 (%)	-10.211	-12.057	-14.939	58.209	60.429	57.502
Effect CC B2 (%)	-11.927	-6.507	-19.722	51.998	58.604	45.121
ความเบ้	**2030**	**2040**	**2050**	**2030**	**2040**	**2050**
Effect CC A2 (%)	0.956	5.264	2.510	300.554	320.246	286.455
Effect CC B2 (%)	1.258	1.837	0.193	266.412	316.513	225.262
	ปาล์มน้ำมัน (ภาคใต้)			ยางพารา (ภาคใต้)		
Baseline Temp (°C)		27.555			27.683	
Baseline Rain (mm.)		2555.739			2392.213	
Elastic-Temp (%)		-5.491			-9.403	
Elastic- Rain (%)		-0.908			-0.936	
Year	**2030**	**2040**	**2050**	**2030**	**2040**	**2050**
Projected Temp (A2)	28.926	29.017	29.590	28.926	29.017	29.590

Projected Temp (B2)	29.152	28.775	29.489	29.152	28.775	29.489
Projected Rain (A2)	2818.343	2759.424	2247.661	2818.343	2759.424	2247.661
Projected Rain (B2)	2452.131	2207.268	2081.879	2452.131	2207.268	2081.879
ผลผลิตเฉลี่ย	**2030**	**2040**	**2050**	**2030**	**2040**	**2050**
Effect Temp (A2)	-27.333	-29.158	-40.573	-42.238	-45.349	-64.806
Effect Temp (B2)	-31.849	-24.337	-38.560	-49.936	-37.132	-61.374
Effect Rain (A2)	3.680	-7.234	10.941	-16.666	-14.362	5.653
Effect Rain(B2)	-9.326	12.376	16.829	-2.343	7.233	12.137
Effect CC A2 (%)	-23.653	-36.392	-29.632	-58.904	-59.711	-59.152
Effect CC B2 (%)	-41.175	-11.961	-21.731	-52.279	-29.899	-49.237
ความแปรปรวน	**2030**	**2040**	**2050**	**2030**	**2040**	**2050**
Effect CC A2 (%)	-23.653	-36.392	-29.632	-58.904	-59.711	-59.152
Effect CC B2 (%)	-41.175	-11.961	-21.731	-52.279	-29.899	-49.237
ความเบ้	**2030**	**2040**	**2050**	**2030**	**2040**	**2050**
Effect CC A2 (%)	-852.317	-881.647	-1016.098	162.864	183.343	327.707
Effect CC B2 (%)	-846.698	-550.721	-901.057	237.799	206.492	330.288

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจ 4 ชนิด โดยใช้ข้อมูลพาเนลเป็นการเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์แทนการใช้ข้อมูลภาคตัดขวางหรือข้อมูลอนุกรมเวลาเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง ด้วยการวิเคราะห์ฟังก์ชันการผลิตเชิงโมเมนต์ พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยส่งผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตอ้อยและมีผลเชิงลบต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันและยางพารา ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปีและอ้อย ในขณะที่มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันและยางพารา ปริมาณน้ำฝนรวม มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตอ้อย ในขณะที่มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันและยางพารา ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ส่งผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าว อ้อย และปาล์มน้ำมัน และมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวยางพารา และแนวโน้มเวลา มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตพืชเศรษฐกิจทั้ง 4 ชนิด ผลการประมาณค่าความเสี่ยงจากฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิต พบว่า ตัวแปรที่เพิ่มความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความแปรปรวนอุณหภูมิสำหรับการผลิตปาล์มน้ำมันและยางพารา ปริมาณน้ำฝนรวมสำหรับการผลิตยางพารา โดยตัวแปรที่ลดความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยสำหรับการผลิตข้าวและยางพารา ความแปรปรวนอุณหภูมิสำหรับการผลิตอ้อย ความแปรปรวนปริมาณน้ำฝนสำหรับยางพาราและแนวโน้มเวลาสำหรับการผลิตอ้อยและยางพารา สำหรับผลการประมาณค่าฟังก์ชันความเบ้ของผลผลิต พบว่าตัวแปรที่เพิ่มความเสี่ยงที่จะสูญเสียผลผลิต ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ความแปรปรวนปริมาณน้ำฝน และแนวโน้มเวลาสำหรับการผลิตยางพารา โดยตัวแปรที่ลดความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความแปรปรวนอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนรวมสำหรับการผลิตยางพารา จะเห็นได้ว่าพืชเศรษฐกิจทั้ง 4 ชนิด ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะธรรมชาติและสภาวะอากาศที่เหมาะสม (Optimal weather condition) สำหรับพืชแต่ละชนิดด้วย ซึ่งการวิจัยนี้เน้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับตัวแปรสภาพภูมิอากาศเป็นหลัก การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปสามารถเพิ่มตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องได้ เช่น พื้นที่เพาะปลูก แรงงาน การใช้ปัจจัยการผลิต เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมมากขึ้น สำหรับการจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปี ค.ศ. 2030, 2040 และ 2050 พบว่าผลผลิตข้าวนาปี มีโอกาสลดลงร้อยละ 0.344 ถึง 2.748 ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีโอกาสลดลงร้อยละ11.961 ถึง 41.175 เช่นเดียวกับผลผลิตยางพาราจะลดลงร้อยละ 29.899 ถึง 59.710 อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตอ้อยร้อยละ 45.121

ถึง 60.429 นอกจากนี้ผลผลิตอ้อยจะมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นร้อยละ 45.121 ถึง 60.429 และผลผลิตข้าวมีโอกาสเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศร้อยละ 0.193 ถึง 5.264 ผลผลิตอ้อยมีโอกาสเสียหายร้อยละ 225.262 ถึง 320.246 และผลผลิตยางพารามีโอกาสเสียหายร้อยละ 162.864 ถึง 330.288

ดังนั้นเกษตรกรผู้ผลิตพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิดจึงต้องตระหนักถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะตัวแปรสภาพภูมิอากาศที่มีผลเชิงลบต่อผลผลิตเฉลี่ย ตัวแปรที่เพิ่มความแปรปรวนและเพิ่มโอกาสความสูญเสียของผลผลิต ร่วมกันหาแนวทางลดความเสี่ยง ติดตามข้อมูลสภาพอากาศและการเตือนภัยเพื่อการเกษตร รวมถึงการทำการเกษตรที่ปราดเปรื่องเรื่องสภาพภูมิอากาศ (Climate -smart agriculture) เพื่อการแก้ไขปัญหาอย่างมีระบบและยั่งยืน ทั้งนี้หน่วยงานภาครัฐต้องมีการวางแผนพัฒนาและส่งเสริมการเกษตรอย่างมีส่วนร่วมของชุมชน ด้วยการเผยแพร่และเสริมสร้างการรับรู้ข้อมูลข่าวสารรวมถึงการเตือนภัยด้านอากาศเพื่อการเกษตร การวิเคราะห์ผลกระทบเชิงประจักษ์ในระดับพื้นที่ การส่งเสริมการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบเพื่อรักษาระดับการผลิตพืชเศรษฐกิจภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้จากคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปี 2562

เอกสารอ้างอิง

[1] Chinvanno, S. (2009). *Future Climate Projection for Thailand and Surrounding Countries: Climate change scenario of 21st century.* In Proceedings of The First China-Thailand Joint Seminar on Climate Change. 23-24 March. Southeast Asia START Regional Center, Bangkok.

[2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). *ข้อมูลสถิติการผลิตสินค้าเกษตร.* กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

[3] Sinnarong, N. (2019). Estimating the Potential Effects of Climate Change on Rice Production in Thailand. *Paddy and Water Environment, 17*(4), 761-769.

[4] เกริก ปั้นเหน่งเพ็ชร, สหัสชัย คงทน, แคทลิยา เอกอุ่น, อิสระ พุทธสิมมา, สุกิจ รัตนศรีวงษ์, สมปอง นิลพันธ์, ชิษณุชา บุดดาบุญ, วิภารัตน์ ดำริเข้มตระกูล, ปรีชา กาเพ็ชร, สมชาย บุญประดับ, วินัย ศรวัต, และกิ่งแก้ว คุณเขต. (2552). *ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย.* ใน รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

[5] จรีวรรณ จันทร์คง, เกศสุดา สิทธิสันติกุล, นิโรจน์ สินณรงค์, และกฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล. (2562). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่ออผลผลิตปาล์มน้ำมัน ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัย, 11*(1), 54-66.

[6] Abubakar, A., Ishak, M. Y., and Makmom, A. A. (2021). Impacts of and Adaptation to Climate Change on the Oil Palm in Malaysia: A Systematic Review. *Environmental Science and Pollution Research, 28*, 54339-54361.

[7] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2559). *โครงการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อยางพาราในประเทศไทย.* ใน รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

[8] พรพรรณ สุทธิแย้ม. (2559). *การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน.* ใน รายงานโครงการวิจัย. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

[9] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). *ข้อมูลสถิติการผลิตสินค้าเกษตร.* กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

[10] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2560). *ข้อมูลสภาพอากาศ.* กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.

[11] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (2559). *ข้อมูลภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[12] Roberts, M. J., Braun, N. O., Sinclair, T. R., Lobell, D. B., and Schlenker, W. (2017). Comparing and Combining Process-based Crop Models and Statistical Models with some Implications for Climate Change. *Environmental Research Letters, 12*(9), Article 095010.

[13] McCarl, B. A., Villavicencio, X., and Wu, X. (2008). Climate Change and Future Analysis: Is Stationarity Dying? *American Journal of Agricultural Economics, 90*(5), 1241-1247.

[14] Cabas, J., Weersink, A., and Olale, E. (2010). Crop Yield Response to Economic, Site and Climatic Variables. *Climatic Change, 101*, 559-616.

[15] Huang, H., and Khanna, M., (2010). *An Econometric Analysis of U.S. Crop Yield and Cropland Acreage: Implications for the Impact of Climate Change.* 2010 Annual Meeting, July 25-27, 2010, Denver, Colorado 61527, Agricultural and Applied Economics Association.

[16] Shayanmehr, S., Henneberry, S. R., Sabouni, M. S., and Foroushani, N. S. (2020). Drought, Climate Change, and Dryland Wheat Yield Response: An Econometric Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(14), 1-18, Article 5264.

[17] Just, R. E., and Pope, R. D. (1979). Production Function Estimation and Related Risk Considerations. *American Journal of Agricultural Economics, 61*, 276-284.

[18] Di Falco, S., and Chavas, J. P. (2009). On Crop Biodiversity, Risk Exposure, and Food Security in the Highlands of Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics, 91*(3), 599-611.

[19] Antle, J. M. (2010). Asymmetry, Partial Moments, and Production Risk. *American Journal of Agricultural Economics, 92*(5), 1294-1309.

[20] Nakicenovic, N., and Swart, R. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios (SRES) – A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. New York. p. 599.