จะเกิดอะไรขึ้นหากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ 3 อันดับแรกของโลก : การวิเคราะห์ข้อมูลพาแนลทางเศรษฐมิติ

What If Climate Change Impacts The World's Top Three Rice Exporters? : An Econometric Analysis Of Panel Data

ธนากร แสนสาร[1*]

Thanakorn Saensan[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ 3 อันดับแรก ได้แก่ อินเดีย เวียดนาม และไทย ด้วยการวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าว การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อทำความเข้าใจผลที่ตามมาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าว ประเมินความเปราะบาง และให้ข้อมูลเชิงลึกสำหรับผู้กำหนดนโยบาย

การใช้การวิเคราะห์ข้อมูลพาแนลเพื่อขจัดแนวโน้มและความแปรปรวนของข้อมูล โดยการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของลอการิทึมธรรมชาติเพื่อลดผลกระทบของอิทธิพลต่อเวลาในระยะยาวก่อนที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติตามสมการ OLS และกรอบทฤษฎีฟังก์ชันการผลิต Stochastic Production Function การศึกษานี้ได้สร้างสภาพภูมิอากาศ - ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต Feasible Generalized Least Squares (FGLS) ใช้เพื่อระบุความแตกต่างและความสัมพันธ์อัตโนมัติ มีการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของการผลิตข้าวภายใต้สถานการณ์สภาพอากาศที่แตกต่างกัน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรสภาพอากาศจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติ

ข้อค้นพบนี้แสดงให้เห็นถึงความอ่อนไหวของผลผลิตข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ($p<0.00$) และปริมาณน้ำฝน ($p<0.00$) ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตในการผลิตข้าว โดยรวมแล้ว การศึกษาเน้นย้ำถึงความเร่งด่วนของการนำกลยุทธ์การปรับตัวและการบรรเทาผลกระทบมาใช้ เพื่อให้แน่ใจว่าภาคข้าวมีความยั่งยืนและคืนสภาพได้เมื่อเผชิญกับความท้าทายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติ, ข้อมูลแบบพาแนล, ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ , ผู้ส่งออกข้าว,

* Corresponding author Email : golf5174@gmail.com

[1*] นักวิชาการอิสระ

ABSTRACT

This research paper examines the impact of climate change on the top three rice exporters: India, Vietnam, and Thailand. By analyzing Effects and Risks of Climate Change for Rice Production, the study aims to understand the consequences of climate change on rice production, assess vulnerability, and provide insights for policymakers.

Using panel data analysis to eliminate the trend and variance of the data, by converting the data into the form of a Natural logarithm to reduce the impact of long-term influences on time, before using it for econometric analysis according to the OLS equation, and the Stochastic Production Function theory framework, the study establishes the climate-productivity relationship. Feasible Generalized Least Squares (FGLS) are used to address heterogeneity and autocorrelation. Numerical simulations are conducted to assess future changes in rice production under different climate scenarios, utilizing climate variable coefficients from econometric analysis.

The findings reveal the sensitivity of rice yields to Temperature mean ($p<0.00$) and Precipitation ($p<0.00$) variations. They provide insights into potential future changes in rice production. Overall, the study highlights the urgency of implementing adaptation and mitigation strategies to ensure the sustainability and resilience of the rice sector in the face of climate change challenges.

Keywords: Productivity and Climate change relationship, Rice exporters, Econometric analysis, Panel data,

ที่มาและความสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในความท้าทายที่สำคัญต่อระบบการเกษตรทั่วโลก โดยอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารและเสถียรภาพทางเศรษฐกิจ ในบรรดาสินค้าเกษตรต่าง ๆ ข้าวมีบทบาทสำคัญในการรับประกันอุปทานอาหารทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่พึ่งพาการผลิตและการค้าข้าวเป็นอย่างมาก อินเดีย เวียดนาม และไทยกลายเป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ 3 อันดับแรกของโลก ซึ่งคิดเป็นส่วนแบ่งจำนวนมากของการค้าข้าวทั่วโลก ดังนั้น การทำความเข้าใจผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่เหล่านี้จึงกลายเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง อย่างไรก็ตามผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงนโยบายการค้าและพฤติกรรมผู้บริโภค

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ 3 อันดับแรกของโลก ได้แก่ อินเดีย 21.5 ล้านตัน เวียดนาม 8.2 ล้านตัน และไทย 6.8 ล้านตัน จากข้อมูลการส่งออกข้าวในปี 2021/2022 (*Statista*, 2023) ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5.17 ของปริมาณข้าวในตลาดโลกทั้งหมด 705.4 ล้านตัน ความสำคัญของการพยายามทำความเข้าใจความหมายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับการผลิตข้าวของผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่และประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบถึงความท้าทายและโอกาสที่ตลาดส่งออกข้าวโลกต้องเผชิญ โดยประยุกต์กรอบทฤษฎีฟังก์ชันการผลิต Stochastic Production Function (Just & Pope, 1978) การวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติ

จากข้อมูลพาแนลซึ่งรวมอิทธิพลพื้นที่ของข้อมูลภาคตัดขวางและอิทธิพลของอนุกรมเวลาเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพอากาศและผลผลิตข้าวได้อย่างครอบคลุม ในขณะที่ควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ

แม้ว่าการศึกษาก่อนหน้านี้ได้สำรวจผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในบางภูมิภาค (Di Falco & Chavas, 2006; Kim & Chavas, 2003; Pakeechay, 2020; Sinnarong et al., 2022; Wang et al., 2017) แต่ก็ยังมีช่องว่างในเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์อย่างครอบคลุมของประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ของโลก การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อเติมเต็มช่องว่างดังกล่าวโดยใช้วิธีการทางเศรษฐมิติที่เข้มงวดเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการผลิตข้าวในอินเดีย เวียดนาม และไทย

และเพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้ การศึกษานี้ใช้ข้อมูลพาแนลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลสภาพอากาศและการผลิตข้าวในอดีตของแต่ละประเทศ การวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติจะใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น Feasible Generalized Least Squares (FGLS) เพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างที่อาจเกิดขึ้น (Heteroskedasticity) และความสัมพันธ์อัตโนมัติในข้อมูล (Autocorrelation) จากการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพอากาศกับผลผลิตข้าวและจำลองเหตุการณ์เชิงตัวเลขเพื่อวัดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ด้วยวิธีการนี้ทำให้สามารถประมาณค่าที่เชื่อถือได้ของความสัมพันธ์ด้านสภาพอากาศและผลผลิต และได้รับข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความเปราะบางของภาคข้าวต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง

โดยสรุป บทความนี้จะสนับสนุนวรรณกรรมที่มีอยู่โดยให้การวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติที่ครอบคลุมเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่สามอันดับแรกของโลก การค้นพบนี้จะมีความหมายสำหรับผู้กำหนดนโยบาย ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และนักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางปฏิบัติด้านการเกษตรแบบยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหารของโลกในการเผชิญกับความท้าทายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ทบทวนวรรณกรรม

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐมิติแบบพาแนล (Panel Data of Econometrics Approach)

การประมาณค่าความสัมพันธ์ของแบบจำลองพาแนลขึ้นอยู่กับข้อสมมติเบื้องต้นของค่าคงที่(α) ค่าสัมประสิทธิ์ (β) และค่าความคลาดเคลื่อน จากสมการสมมติให้ค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์มีค่าคงที่สำหรับทุกหน่วยภาคตัดขวางและทุกช่วงเวลาที่พิจารณาและให้ค่าความคลาดเคลื่อนของหน่วยภาคตัดขวางและช่วงเวลาที่ต่างกันมีค่าแตกต่างกันโดยไม่ได้ประมาณค่าความแตกต่างของหน่วยภาคตัดขวางและความแตกต่างของช่วงเวลา

การประมาณค่าความสัมพันธ์ของแบบจำลองพาแนลที่พิจารณาแยกความแตกต่างของหน่วยภาคตัดขวางและช่วงเวลาที่ต่างกัน จะทำการประมาณค่าโดยแยกปัจจัยที่มากระทบต่อหน่วยภาคตัดขวางและช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยข้อสมมติของค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์มีได้หลายแบบซึ่งการประมาณค่าแบบจำลองที่มีข้อสมมติของค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ต่างกันแบ่งออกเป็นการประมาณค่าแบบ Fixed Effects Model และการประมาณค่าแบบ Random Effects Model (Pakeechay, 2020)

การกำหนดแบบจำลองเชิงทฤษฎี (Theoretical Model) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าว สามารถประยุกต์แนวคิดการสร้างแบบจำลองทางเศรษฐมิติสำหรับข้อมูลแบบพาแนล (Dinar & Mendelsohn, 2011) Sinnarong et al. (2022) กล่าวว่า ข้อมูลแบบพาแนลมีข้อดีในการคำนึงถึงผลกระทบของความแตกต่างเชิงพื้นที่ในประเทศต่างแปลงและความแตกต่างเชิงเวลาในช่วงที่ศึกษาโดยมีแบบจำลองข้อมูลพาแนลอย่างง่าย ดังสมการ

$$\tilde{y}_{it} = \alpha + \beta X'_{it} + u_{it}$$

โดยกำหนดแบบจำลองแบบค่าคลาดเคลื่อนทางเดียว (One-way Error Component Model) ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจะเป็นดังสมการ

$$u_{it} = \mu_i + v_{it}$$

โดยที่ $\tilde{y}_{it}$ คือ ผลผลิตข้าวของประเทศที่ i ณ เวลา t

X'_{it} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรอธิบาย ของประเทศที่ i ณ เวลา t

β คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์ที่ต้องประมาณค่าจากแบบจำลอง

u_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม (White Noise Residuals)

μ_i คือ ผลของความแตกต่างเชิงพื้นที่ไม่สามารถสังเกตได้ (Unobservable Individual-Specific Effect)

v_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่และเวลา (Reminder Error Terns)

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐมิติ (Econometrics Approach)

การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าว กำหนดฟังก์ชันการผลิตโดยให้ y คือผลผลิตข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิต x ภายใต้สภาวะความเสี่ยง (Risk) จากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ จากแนวคิดฟังก์ชันการผลิตของ Just and Pope (1978, 1979) **กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function (SPF)** หรือ $y = f(x, v)$ เมื่อ x เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตทั่วไป เช่น ที่ดิน ทุน แรงงาน และ v เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศในพื้นที่เพาะปลูกทั้งนี้เพื่อนำปัจจัยเชิงสุ่มที่จะส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการผลิต เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเข้มของแสง เข้ามาพิจารณาในแบบจำลองตามแนวคิดของ Battese et al. (1997) และยังมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง (Jatuporn & Takeuchi, 2022; Yu et al., 2022)

โดยปกติแล้วการวิเคราะห์ข้างต้นเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่หนึ่ง (First Moment) หากต้องการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่สูงขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิต ฟังก์ชันความเบ้ ฟังก์ชันความโด่งของผลิต สามารถประยุกต์แนวคิดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิตตามแบบของ Antle (1983); Antle and Havenner (1983) ได้ โดยหากความเบ้ของผลผลิต (Skewness of Production) เพิ่มขึ้น จะเป็นการลดความเสี่ยงในพื้นที่ (Downside Risk Exposure) หรือความเสี่ยงที่ผลตอบแทนจากการผลิตข้าวที่ได้รับจริง (Actual Return) จะต่ำกว่าผลตอบแทนจากการผลิตข้าวเฉลี่ย (Expected Return) เช่น ลดโอกาสของความสูญเสียของพืชผล ตามแนวคิดของ Kim and Chavas (2003), Di Falco and Chavas (2006, 2009), และ Antle (2010)

กำหนดให้แบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต $y(x, v)$ เป็นดังสมการ

$$y(x, v) = f_1(x, \beta_1) + u$$

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

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

ฟังก์ชันเชิงโมนต์ที่สองและโมเมนต์ที่สูงขึ้นของ $y(x, v)$ กำหนดได้ตามสมการ

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

เมื่อ m คือค่าโมเมนต์ของฟังก์ชัน $y(x, v)$

วิธีการทางเศรษฐมิติสำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยและฟังก์ชันในระดับโมเมนต์ที่สูงขึ้น โดยคำนึงถึงความแตกต่างเชิงพื้นที่และเวลา คือ วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยสำหรับข้อมูลแบบพาแนล ตามแบบจำลองเชิงทฤษฎี ดังสมการ

$$y_{it} = f(x_{itk}, \beta_k) + (\mu_i + v_{it}) = f_1(x_{itk}, \beta_{1k}) + f_2(x_{itk}, \beta_{2k})^{\frac{1}{2}} \cdot \varepsilon_{it}$$

โดยที่ y_{it} คือ ผลผลิตข้าว ในพื้นที่ประเทศที่ i ณ ช่วงเวลา t

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

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

$u_{it} = f_2(x_{itk}, \beta_{2k})^{\frac{1}{2}}$ คือ ฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิตแบบมีค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroskedastic Disturbance)

μ_i คือค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้ในเชิงพื้นที่และ v_{it} คือค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้ในเชิงพื้นที่และเวลา

จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ย คือ ฟังก์ชัน $f_1(x, \beta_1)$ และปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนของผลผลิตตามฟังก์ชัน $f_2(x, \beta_2)$ ทั้งนี้จากสมการ โมเมนต์ที่สามของการผลิตข้าว หรือฟังก์ชัน $f_3(x, \beta_3)$ สามารถกำหนดได้ตามสมการ

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

การประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ย มีวิธีการประมาณค่าที่นิยมใช้ 2 วิธี (Pakeechay, 2020) คือ

(1) วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood estimation, MLE)

(2) วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (a Feasible generalized least squares, FGLS)

การประยุกต์ใช้แบบจำลองตามแบบของ Just and Pope (1978, 1979) กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic production function (SPF) ภายใต้ภาวะความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (heteroskedastic disturbance) สามารถประมณค่าได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (a Feasible generalized least squares, FGLS) ตามแนวคิดของ Saha et al. (1997) จากการศึกษาพบว่า การประมาณค่าด้วยวิธีการ FGLS มีประสิทธิภาพมากกว่าการประมาณค่าด้วยวิธีการ MLE แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการประมาณค่าแบบ MLE จะเหมาะสมกว่าในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้การศึกษาเชิงประจักษ์ส่วนใหญ่ใช้วิธีการ FGLS

การทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test)

การกำหนดแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรอธิบายที่มีผลต่อตัวแปรตามคือผลผลิตข้าว ได้ทั้งผลผลิตเฉลี่ย ความแปรปรวนของผลผลิต ความเบ้ของผลผลิต อีกทั้งยังแก้ไขปัญหาความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ตามแนวคิดของ Just and Pope (1979) ซึ่งจะส่งผลให้ผลการประมาณค่าสมการถดถอยมีประสิทธิภาพและกระบวนการอ้างอิงทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นสูง อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์แบบจำลองให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test) ได้มี 3 การทดสอบ (Sinnarong, 2013) คือ

1) การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาแนล (Panel Unit Root Test)

การทดสอบพาแนลยูนิทรูทเป็นการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ที่จะนำมาศึกษาว่ามีความนิ่งของข้อมูลหรือไม่ (มีความนิ่ง (Stationary) หรือความไม่นิ่ง (Non-Stationary) ตามแนวคิดของ Isik and Devadoss (2006) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Spurious Correlation ข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่ไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันโดยหากมียูนิทรูทแสดงว่าข้อมูลมีลักษณะที่ไม่นิ่งจะต้องทำการทดสอบในระดับผลต่างที่สูงขึ้น โดยการทดสอบพาแนลยูนิทรูทของตัวแปรที่ทำการศึกษา ด้วยวิธีของ Levin, Lin & Chu (LLC) test (Levin et al., 2002) และวิธี Im-Pesaran and Shin (IPS) test (Im et al., 2003)

การทดสอบพาแนลยูนิทรูทซึ่งสมมติฐานของวิธีนี้ คือ

H_0: ข้อมูลมีคุณสมบัติเป็นลักษณะไม่นิ่ง (Non-stationary)

H_1: ข้อมูลมีคุณสมบัติเป็นลักษณะนิ่ง (Stationary)

หากค่า p-value < 0.05 จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 แสดงว่าข้อมูลมีคุณสมบัติเป็นStationary ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถนำตัวแปรที่ผ่านการทดสอบความนิ่งมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองการประมาณสมการ Panel Data ตามขั้นตอนถัดไป

2) การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Hausman's Specification Test

เพื่อทดสอบแบบจำลองที่หมาะสมเมื่อการกำหนดลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถสังเกตได้กับตัวแปรอธิบาย การศึกษาข้อมูลแบบพาแนล (Panel Data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยตัวอย่างหลายตัวอย่างและตัวแปรอิสระต่าง ๆ ที่มาจากตัวอย่างเดียวกันและจุดเวลาเดียวกันหลายช่วงเวลาติดต่อกัน (Studenmund, 2011) ดังนั้น เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรปัจจัยการผลิตแต่ละตัว การวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะนี้จึงแตกต่างกันไป ข้อมูลพาแนลจะมีตัวแปร Time Invariant Variable: a_i คือ ตัวแปรที่มีค่าคงที่เสมอไม่ว่าเวลาจะเปลี่ยนไปแค่ไหน และไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะแฝงอยู่นอกสมการอีกทั้งตัวอย่างที่แตกต่างกันอาจได้รับอิทธิพลจากตัวแปรนี้คนละตัวกัน ด้วยเหตุนี้ a_i จึงกลายเป็น Unobserved Individual Specific Effect ที่แฝงอยู่กับสมการแล้วก่อให้เกิดปัญหา Serial Correlation และปัญหา Heteroskedasticity ตามมา จากปัญหาข้างต้นการวิเคราะห์ข้อมูลแบบพาแนลได้นำเสนอวิธีการจัดการตัวแปร Time Invariant Variable: a_i ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

(1) Random Effect Model เป็นการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ a_i สามารถเข้ามามีผลกระทบต่อตัวแปรในสมการโดยการใช้วิธี Feasible generalized least squares, (FGLS) เพื่อแก้ปัญหา Serial Correlation ซึ่ง Random Effect Model จะนำ a_i ไปรวมอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อน U_{it} กลายเป็นค่าความคลาดเคลื่อนใหม่ V_{it} การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะมีข้อสมมติฐานสำคัญ คือ a_i ต้องไม่สัมพันธ์กับตัวแปรอิสระใด ๆ ในสมการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ σ_a^2 จากนั้นจะเปลี่ยนรูปของตัวแปรด้วยวิธี FGLS

(2) Fixed Effect Model เป็นการวิเคราะห์ที่ควบคุม โดยการกำจัดอิทธิพลนี้ออกไปจากสมการไม่ให้มารบกวนการวิเคราะห์ ด้วยวิธี demean ที่มีสมมติฐานสำคัญคือ a ต้องมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในสมการและต้องไม่สัมพันธ์กันเองหรือ Cov(a, a) = 0; itj โดยวิธีdemean จะแยกตัวแปร a ออกมาจากค่าความคลาดเคลื่อน V: ก่อนกลายเป็น a+U: หลังจากนั้นนำค่าตัวแปรของตัวอย่างลบด้วยค่าเฉลี่ยของตัวแปรของตัวอย่างนั้น ๆ และบวกด้วยเวลาและตัวอย่างทั้งหมด วิธีการ Fixed Effect จะให้ผลการศึกษาที่หมายความว่า ตัวอย่างมีพฤติกรรมคงที่ตลอดเวลาไม่ว่าจะมีอิทธิพลภายนอกมากระทบก็ไม่เปลี่ยนแปลงพฤติกรรม

เนื่องจากการประมาณการข้อมูลพาแนล สามารถประมาณได้ทั้ง 2 วิธี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือเพื่อช่วยทดสอบว่าวิธีใดเหมาะสมกับแบบจำลองมากที่สุด โดยการทดสอบด้วยวิธี Hausman's Specification Test เมื่อสมการทดสอบ คือ

$$(\beta_{FE} - \beta_{RE})'[Var_{FE} - Var_{RE}]^{-1}(\beta_{FE} - \beta_{RE})$$

โดยที่ β_{FE} คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสัมประสิทธิ์จาก Fixed Effect Model

β_{RE} คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสัมประสิทธิ์จาก Random Effect Model

Var_{FE} คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสัมประสัมประสิทธิ์จาก Fixed Effect Model

Var_{RE} คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสัมประสัมประสิทธิ์จาก Random Effect Model

เมื่อสมมติฐาน คือ

H_0: $Cov(\beta_i, x_{it}) = 0$ การใช้ Random Effect Model มีความเหมาะสม

H_1: $Cov(\beta_i, x_{it}) \neq 0$ การใช้ Fixed Effect Model มีความเหมาะสม

3) การทดสอบปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity test)

ปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroskedasticity) ซึ่งผิดข้อสมมติพื้นฐานของวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งมีข้อสมมติพื้นฐานว่าตัวคลาดเคลื่อนต้องมีค่าความแปรปรวนคงที่ปกติ การใช้ข้อมูลภาคตัดขวางมักจะมีโอกาสที่ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีความแปรปรวนไม่คงที่สูงกว่ากรณีที่ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา เนื่องจากค่าสังเกตของข้อมูลภาคตัดขวางจะมีความแตกต่างกันตามขนาดหรือลำดับการเกิดปัญหาความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ซึ่งจะทำให้ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยยังคงมีคุณสมบัติ Unbiased และ Consistency ดังนั้นจึงต้องทดสอบปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

H_o : ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ (Homoscedasticity)

H_1:ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroscedasticity)

หากผลการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ Chi-Square ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต (Prob. < วิกฤต (Prob. < (α) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า สมการถดถอยมีปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroscedasticity) การตรวจสอบปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ และแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความความคลาดเคลื่อนมีคำไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (a Feasible generalized least squares, FGLS) ตามวิธีการศึกษาของ Sinnarong et al. (2022)

วิธีการศึกษา

1. ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

1.1. ข้อมูลการผลผลิตข้าวรวมรายประเทศ ตั้งแต่ปี 1961-2021 จาก FAOSTAT (2020) ประกอบด้วย พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตข้าว ผลผลิตเฉลี่ย

1.2. ข้อมูลสภาพอากาศในอดีตโดยสังเกต ตั้งแต่ปี 1961-2021 ของ CRU และข้อมูลสภาพอากาศในอนาคตจากการสมมุติเหตุการณ์ของ CMIP6 ที่เผยแพร่โดย World Bank (2019) ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณหยาดน้ำฟ้า หรือปริมาณน้ำฝน

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1. การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาแนล (Panel Unit Root Test) เพื่อตรวจสอบปัญหาการถดถอยปลอม (Spurious Regression) ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ข้อมูล โดยทดสอบความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาวของข้อมูลแบบพาแนล (Panel Unit Root Test) ณ ระดับ Level หรือ I(0) ด้วยวิธีของ Levin, Lin & Chu (LLC) test (Levin et al., 2002) และวิธี Im-Pesaran and Shin (IPS) test (Im et al., 2003) โดยมีสมมติฐานหลัก H_0 แสดงว่าตัวแปรที่สนใจศึกษาข้อมูลมีลักษณะไม่นิ่ง (Non-stationary) แต่ถ้าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_1) แสดงว่าตัวแปรที่สนใจศึกษาข้อมูลมีลักษณะนิ่ง (Stationary)

2.2 การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Hausman's Specification Test เนื่องจากการประมาณการข้อมูลพาแนล สามารถประมาณได้ทั้ง 2 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือเพื่อช่วยทดสอบว่าวิธี

ใดเหมาะสมกับแบบจำลองมากที่สุด (Studenmund, 2011) โดยมีสมมติฐานหลัก H_0: มีความเหมาะสมการใช้ Random Effect Model แต่ถ้าปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_1: มีความเหมาะสมการใช้ Fixed Effect Model

2.3 การทดสอบแบบ Serial Correlation หรือ Autocorrelation การทดสอบหาค่าอัตสหสัมพันธ์ภายในระหว่างผลผลิตและปัจจัยนำเข้าในช่วงเวลา t ใด ๆ ด้วยวิธี Wooldridge (2002) โดยมีสมมติฐานหลัก H_0: ไม่มีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง แต่ถ้าปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_1: มีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง

2.4 การทดสอบปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity test) การใช้ข้อมูลภาคตัดขวางมักจะมีโอกาสที่ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีความแปรปรวนไม่คงที่สูงกว่ากรณีที่ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา ซึ่งผิดข้อสมมติพื้นฐานของวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด ด้วยวิธี Modified Wald test for Groupwise Heteroskedasticity (Greene, 2000) หากผลการทดสอบพบว่า ค่าสถิติ Chi-Square ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต (Prob. < วิกฤต (Prob. < (α) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า สมการถดถอยมีปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroscedasticity)

2.5 วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (Feasible Generalized Least Squares: FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการค่าเฉลี่ย ตามวิธีการศึกษาของ Sinnarong et al. (2022)

3. การกำหนดแบบจำลอง

จากแนวคิดฟังก์ชันการผลิตของ Just and Pope (1978, 1979) **กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function (SPF)** หรือ $y = f(x, v)$ เมื่อ x เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตทั่วไป เช่น ที่ดิน ทุน แรงงาน และ v เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ สภาพอากาศในพื้นที่เพาะปลูกทั้งนี้เพื่อนำปัจจัยเชิงสุ่มที่จะส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการผลิต เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเข้มของแสง (Battese et al., 1997; Jatuporn & Takeuchi, 2022; Yu et al., 2022) เพื่อให้ได้ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวโดยกำหนดให้อิทธิพลของตัวแปรอื่นที่ไม่ได้นำเข้ามาวิเคราะห์เป็นค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้จัดรูปแบบของสมกำไรให้อยู่ในรูปแบบ Double-Log

สมการผลผลิตเฉลี่ย (Mean Production Function)

$$\ln Production_{it} = \alpha_0 + \beta_a \ln Temp_a + \beta_b \ln Variance_Temp_b + \beta_c \ln Precipitation_c + \beta_d \ln Variance_Precipitation_d + \beta_{it} \ln Time_{it} + \mu_{it} + v_{it}$$

โดยที่

lnProduction	คือ ผลผลิตข้าวรายประเทศที่ i ณ ปีที่ t
lnTemp	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (องศาเซลเซียส)
lnVariance_Temp	คือ ความแปรปรวนอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (องศาเซลเซียส)^2
lnPrecipitation	คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปี (มิลลิเมตร)
lnVariance_Precipitation	คือ ความแปรปรวนปริมาณน้ำฝนสะสมรายปี (มิลลิเมตร)^2
lnTime	คือ ตัวแทนของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา
u_{it}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงสุ่มไม่สามารถสังเกตได้
i และ t	คือ พื้นที่แต่ละประเทศที่ i และ ณ เวลา t

วิเคราะห์ไนโมเมนต์ที่สูงขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิตฟังก์ชันความเบ้ ฟังก์ชันความโด่งของผลิต สามารถประยุกต์แนวคิดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิตตามแบบของ Antle (1983); Antle and Havenner (1983) ได้ดังสมการความแปรปรวนของผลผลิต โดยที่ u^2 คือ ความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ย

$$u^2 = \alpha_0 + \beta_a \ln Temp_a + \beta_b \ln Variance_Temp_b + \beta_c \ln Precipitation_c + \beta_d \ln Variance_Precipitation_d + \beta_{it} \ln Time_{it} + e_{it}$$

ฟังก์ชันความเบ้ของผลผลิต (Skewness of Production) เพิ่มขึ้นจะเป็นการลดความเสี่ยงในพื้นที่ (Downside Risk Exposure) หรือความเสี่ยงที่ผลตอบแทนจากการผลิตข้าวที่ได้รับจริง (Actual Return) จะต่ำกว่าผลตอบแทนจากการผลิตข้าวเฉลี่ย (Expected Return) เช่นการลดโอกาสของความสูญเสียของพืชผล ตามแนวคิดของ Kim and Chavas (2003), Di Falco and Chavas (2006, 2009), และ Antle (2010) ดังสมการความเบ้ของผลผลิต โดยที่ u3 คือ ความเบ้ของผลผลิตเฉลี่ย

$$u^3 = \alpha_0 + \beta_a \ln Temp_a + \beta_b \ln Variance_Temp_b + \beta_c \ln Precipitation_c + \beta_d \ln Variance_Precipitation_d + \beta_{it} \ln Time_{it} + e_{it}$$

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบทดสอบความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาวของข้อมูลแบบพาแนล (Panel Unit Root Test) ณ ระดับ Level หรือ I(0) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Levin-Lin-Chu และ Im-Pesaran-Shin พบว่า ตัวแปรที่ใช้ศึกษาแถบทุกตัวแปรมีลักษณะนิ่ง (Stationary) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีเพียงตัวแปรผลผลิตข้าว (Rice_Product) และตัวแปรผลผลิตข้าวในรูปของลอการิทึมธรรมชาติที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 1

ข้อมูลแบบพาแนล (Panel Unit Root Test)

VARIABLES	Levin-Lin-Chu			Im-Pesaran-Shin	
	Unadjusted t	Adjusted t*	p-value	W-t-bar (Stat)	p-value
Linear					
Rice_Product	-4.3580	-2.0852	0.0185**	-3.1976	0.0007***
Temp_Mean	-11.9090	-10.8782	0.0000***	-9.9747	0.0000***
Var_TempMean	-11.6503	-10.8344	0.0000***	-12.8147	0.0000***
Precipitation	-14.0530	-13.7264	0.0000***	-12.6684	0.0000***
Var_Precipitation	-13.9988	-13.4800	0.0000***	-12.8147	0.0000***
Natural Logarithm					
lnRice_Product	-5.3009	-2.6687	0.0038**	-3.6502	0.0001***
lnTemp_Mean	-11.9314	-10.9104	0.0000***	-10.0009	0.0000***
lnVar_TempMean	-11.7362	-10.9672	0.0000***	-9.7709	0.0000***
lnPrecipitation	-13.9448	-13.5960	0.0000***	-12.5388	0.0000***
lnVar_Precipitation	-12.4710	-11.3060	0.0000***	-11.0857	0.0000***
lnTrend	-37.4536	-43.5902	0.0000***	-41.5829	0.0000***

ที่มา : จากการวิเคราะห์

หมายเหตุ : ตัวเลขใน () หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* , ** , *** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10, 0.05, 0.01

ตารางที่ 2

การทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test)

Type of test	Hypothesis	Significance	
Breusch-Pagan Lagrange Multiplier (LM) test for random effects	H_0: No Random Effect	χ^2 (01) = 0.00	Prob > χ^2 = 1.0000
Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects	H_0: Difference in Coefficients Not Systematic	χ^2 (2) = 119.70	Prob > χ^2 = 0.0000***
Wooldridge Test for Serial Correlation	H_0: No First-Order Autocorrelation	F(1, 2) = 4.702	Prob > F = 0.1624
Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity	H_0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i	χ^2 (3) = 45.14	Prob > χ^2 = 0.0000***

ที่มา : จากการวิเคราะห์

หมายเหตุ : ตัวเลขใน () หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* , ** , *** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10, 0.05, 0.01

จากการผลการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลองได้ผลดังนี้ วิธี Breusch-Pagan Lagrange Multiplier (LM) ทดสอบอิทธิเชิงสุ่มของแบบจำลอง (Breusch & Pagan, 1980) พบว่า อิทธิเชิงสุ่มไม่มีระดับนัยสำคัญต่อแบบจำลอง และเมื่อทดสอบรูปแบบสมการ ด้วยวิธี Hausman's พบว่า มีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ปฏิเสธสมมติฐานหลักแบบจำลองมีความเหมาะสมการใช้ Fixed Effect Model เมื่อทดสอบ Serial Correlation ด้วยวิธี Wooldridge พบว่า ไม่มีระดับนัยสำคัญทำให้ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักกล่าวคือแบบจำลองไม่มีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง สุดท้ายเมื่อทดสอบปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) ด้วยวิธี Wald test for Groupwise Heteroskedasticity พบว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ปฏิเสธสมมติฐานหลักแบบจำลองมีค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ โดยสรุปแบบจำลองมีความเหมาะสมการใช้ Fixed Effect Model และมีปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ ด้วยเหตุนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความความคลาดเคลื่อนไม่คงที่

ตารางที่ 3

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองผลผลิตเฉลี่ย (Mean Production Function)

VARIABLES	Pooled OLS Estimation	Panel Effects Estimation		Generalized Least Square Estimation
		Fixed Effects (Robust)	Random Effects (Robust)	
Annual Average Temperature (°C)	-5.104***	6.239*	-5.104***	-5.558***
	(0.679)	(1.936)	(1.678)	(0.648)
Temperature variance ($°C^2$)	0.0176	0.00851	0.0176*	0.0156
	(0.0130)	(0.00293)	(0.00956)	(0.0130)
Annual Precipitation (mm.)	-2.597***	0.954***	-2.597***	-2.457***
	(0.151)	(0.0573)	(0.415)	(0.155)
Precipitation variance ($mm.^2$)	-0.00828	-0.00507	-0.00828*	-0.00938
	(0.0135)	(0.00450)	(0.00457)	(0.0130)
Trend Time	0.496***	0.391***	0.496***	0.484***
	(0.0330)	(0.0391)	(0.0490)	(0.0319)
Constant	51.31***	-10.82	51.31***	51.80***
	(1.958)	(6.347)	(3.986)	(1.797)
Observations	183	183	183	183
R-squared	0.815	0.788	0.815	Not Applicable
Adjusted R-squared	0.810	0.782	0.810	Not Applicable
Country FE	NO	YES	NO	AUTO
Log likelihood	-82.35	20.85	-82.35	-81.25
Number of Cross-sectional		3	3	3

ที่มา : จากการวิเคราะห์

หมายเหตุ : ตัวเลขใน () หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* , ** , *** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10, 0.05, 0.01

จากผลการวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์แบบจำลองผลผลิตเฉลี่ย แบบจำลองแรกการวิเคราะห์สมการถดถอยข้อมูลพาแนลรวมด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยที่ไม่คำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยภายนอกเฉพาะตัวที่ความแตกต่างกัน พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในทิศทางผกผันกับผลผลิตข้าว ในขณะที่ Trend Time ที่เป็นตัวแทนของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลามีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในทิศทางแปรผันตามกับผลผลิตข้าว ทั้งนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบและการละเมิดข้อตกลงของสมมติฐานสมการถดถอย ถัดมาแบบจำลองการวิเคราะห์ผลกระทบข้อมูลพาแนลและวิธีประมาณค่าคลาดเคลื่อนแบบ Robust เพื่อควบคุมปัญหา Heteroscedasticity และ Autocorrelation พบว่า ในแบบจำลองผลกระทบคงที่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีมีนัยสำคัญเช่นเดียวแบบจำลองผลกระทบเชิงสุ่ม แต่มีทิศทางอิทธิพลตัวแปรที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบ Hausman's ความแปรปรวนของเอฟเฟกต์ไม่คงที่ควรพิจารณาใช้แบบจำลองที่คำนึงถึงความแตกต่างแบบกลุ่ม หรือ Fixed Effect Model อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีมีระดับนัยสำคัญที่ 0.1 ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีและ Trend Time มีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในทิศทางแปรผันตามกับผลผลิตข้าว ที่ค่าประสิทธิ์การตัดสินใจเมื่อปรับค่าแล้ว 0.782 หรือ 78.2% และสุดท้ายแบบจำลองการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ ตามที่ได้มีผลการทดสอบด้วยวิธี Wald แล้วว่าเป็นปัญหาที่ละเมิดข้อสมมติฐาน พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในทิศทางผกผันกับผลผลิตข้าว ในขณะที่ Trend Time มีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในทิศทางแปรผันตามกับผลผลิตข้าว และมีค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเท่ากับ -5.558 และปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ -2.457 ซึ่งจะใช้ในการจำลองเชิงตัวเลขต่อไป

ตารางที่ 4

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองความแปรปรวนผลผลิตและโอกาสสูญเสียผลผลิต

VARIABLES	(1) Variance Production Model	(2) Skewness Downside risk
Annual Average Temperature (°C)	-0.529	0.199
	(0.328)	(0.401)
Temperature variance ($°C^2$)	0.00954	0.00337
	(0.00631)	(0.00771)
Annual Precipitation (mm.)	0.115	-0.0585
	(0.0731)	(0.0893)
Precipitation variance ($mm.^2$)	0.0247***	0.00906
	(0.00653)	(0.00798)
Trend Time	-0.0774***	-0.0651***
	(0.0160)	(0.0195)
Constant	1.219	-0.0174
	(0.947)	(1.158)
Observations	183	183
R-squared	0.224	0.071
Adjusted R-squared	0.202	0.0452
Root MSE	0.187	0.228
Log likelihood	50.53	13.76
F-test	10.21***	2.722**

ที่มา : จากการวิเคราะห์

หมายเหตุ : ตัวเลขใน () หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* , ** , *** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10, 0.05, 0.01

จากการผลการวิเคราะห์แบบจำลองความแปรปรวนความเสี่ยงและโอกาสการสูญเสียของผลผลิตข้าว พบว่า ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในการเพิ่มความเสี่ยงต่อผลผลิตร้อยละ 2.47 ขณะที่ตัวแทนของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลามีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในการลดความเสี่ยงต่อผลผลิตร้อยละ 7.74 และลดโอกาสสูญเสียผลผลิตร้อยละ 6.51 ทั้งนี้แม้ตัวแปรอื่น ๆ ไม่ได้มีนัยสำคัญต่อความแปรปรวนความเสี่ยงและโอกาสการสูญเสียของผลผลิตข้าวแต่ควรนึงถึงทิศทางการเพิ่มขึ้นของความเสี่ยงและโอกาสสูญเสียผลผลิตข้าว

ตารางที่ 5

ผลลัพธ์ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเฉลี่ยของข้าว ความแปรปรวนความเสี่ยงของผลผลิต และความเป้โอกาสสูญเสียของผลผลิตภายใต้การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

Projections of Climate Change	Mean Production		Variance Production		Skewness Production	
	2030	**2050**	**2030**	**2050**	**2030**	**2050**
Temperature						
• (SSP1.19: 50th)	-23.31	-21.31	-2.22	-2.03	0.83	0.76
• (SSP2.45: 50th)	-20.27	-33.52	-1.93	-3.19	0.73	1.20
• SSP8.85: 50th)	-25.53	-45.73	-2.43	-4.35	0.91	1.64
Precipitation						
• (SSP1.19: 50th)	29.40	13.81	-1.38	-0.65	0.70	0.33
• (SSP2.45: 50th)	14.93	3.44	-0.70	-0.16	0.36	0.08
• (SSP8.85: 50th)	20.41	8.74	-0.96	-0.41	0.49	0.21
Effect of Temperature (%)	-23.03	-33.52	-2.19	-3.19	0.82	1.20
Effect of Precipitation (%)	21.58	8.66	-1.01	-0.41	0.51	0.21
Summarize Effect of Climate Change	-1.46	-24.86	-3.20	-3.60	1.34	1.41

เมื่อพิจารณาลักษณะผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยพิจารณาถึงระดับความเบ้ที่เพิ่มขึ้น จากแบบจำลอง CMIPP6 ใน 3 สถานการณ์ สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่ถูกคาดการณ์ใน 2 ช่วงเวลา พบว่าปริมาณฝนมีความผันผวนมากขึ้นและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบเชิงลบต่อปริมาณผลผลิตข้าว โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีมีผลทำให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 20.27 ถึง 45.73 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 1.93 ถึง 4.35 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.73 ถึง 1.64 ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีมีผลทำให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.44 ถึง 29.40 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 0.16 ถึง 1.38 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.08 ถึง 0.70 โดยสรุปแล้วผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสถาพอากาศในปี 2030 ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.46 มีความเสี่ยงจากความแปรปรวนผลผลิตลดลงร้อยละ 3.20 โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.34 และในปี 2050 ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงถึงร้อยละ 24.86 มีความเสี่ยงจากความแปรปรวนผลผลิตลดลงร้อยละ 3.60 โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.41

สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

สรุป และอภิปรายผลการศึกษา

การศึกษานี้ใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Cobb-Douglas โดยค่าประสิทธิจากการประมาณค่าเป็นค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) ของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตข้าวของผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ 3 อันดับแรกของโลก คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5.17 ของปริมาณข้าวในตลาดโลกทั้งหมดในปี 2021/2022 และเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test) ได้แก่

1) การทดสอบ Panel Unit Root Test ด้วยวิธีของ Levin, Lin & Chu (LLC) test (Levin et al., 2002) และวิธี Im-Pesaran and Shin (IPS) test (Im et al., 2003) พบว่า ข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะนิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 หรือ ณ ระดับ level I(0) ของตัวแปรทุกตัว ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลพาแนล (Panel Data)

2) การทดสอบรูปแบบสมการ ด้วยวิธี Hausman’s specification test ได้จัดรูปแบบสมการให้อยู่ในรูปแบบของ Double-Log และพิจารณาค่า P-value จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิของฟังก์ชันผลผลิตค่าเฉลี่ยสรุปได้ว่าแบบจำลองเหมาะกับการใช้ Fixed Effect Model

3) ทดสอบ Serial Correlation ด้วยวิธี Wooldridge พบว่า ไม่มีระดับนัยสำคัญทำให้ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักกล่าวคือแบบจำลองไม่มีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง (No First-Order Autocorrelation)

4) ตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroskedasticity) ด้วยวิธีการ Wald test พบว่า แบบจำลองมีความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่

การแก้ไขปัญหาความแปรปรวนของค่าความความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) ตามแนวคิดของ Just and Pope (1979) สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวน และความเบ้ จัดรูปแบบสมการ และประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) และเมื่อราคาเฉลี่ยของข้าวอยู่ 425.20 ดอลล่าต่อตัน ผลเฉลี่ยที่ใช้ในการศึกษาอยู่ที่ 51.426 ล้านตัน

ผลการประมาณค่าแบบจำลองผลผลิตเฉลี่ย ความแปรปรวนความเสี่ยงและความเบ้ของผลผลิตที่แสดงถึงโอกาสความสูญเสียของผลผลิต พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีมีระดับนัยสำคัญในทิศทางผกผันกับผลผลิตข้าว แม้อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีและความแปรปรวนอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจะไม่มีนัยสำคัญแต่ก็เป็นตัวแปรเพิ่มโอกาสความสูญเสียต่อผลผลิตข้าวร้อยละ 19.9 (ผลผลิตมีโอกาสสูญเสียเพิ่มขึ้น 10.23 ล้านตัน มูลค่าความเสียหาย 4,351.40 ล้านดอลล่า) สอดคล้องกับการศึกษา

Pakeechai et al. (2020) ที่พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่ำสุดเป็นตัวแปรเพิ่มโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.06 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ผลผลิตมีโอกาสสูญเสียเพิ่มขึ้น 14.94 ล้านตัน มูลค่าความเสียหาย 6,354.35 ล้านดอลล่า) ในกรณีปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีมีนัยสำคัญในทิศทางผกผันกับผลผลิตข้าว และเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.47 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ผลผลิตมีโอกาสสูญเสียลดลง 1.27 ล้านตัน ป้องกันมูลค่าความเสียหายได้ 540.09 ล้านดอลล่า) สอดคล้องกับการศึกษา Pakeechai et al. (2020) ปริมาณน้ำฝนและความแปรปรวนเป็นตัวเพิ่มความเสี่ยงทั้งคู่ทำให้ความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.16 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 Time Trend ซึ่งตัวแทนของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลามีนัยสำคัญ ในการลดความเสี่ยงต่อผลผลิตและลดโอกาสสูญเสียผลผลิต มีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในการลดความเสี่ยงต่อผลผลิตร้อยละ 7.74 และลดโอกาสสูญเสียผลผลิตร้อยละ 6.51 (ผลผลิตมีโอกาสสูญเสียลดลง 3.34 ล้านตัน ป้องกันมูลค่าความเสียหายได้ 1,423.49 ล้านดอลล่า) สอดคล้องกับงานของ Pakeechai et al. (2020) ระบุว่า หากเทคโนโลยีการเกษตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.23 ความแปรปรวนลดลงร้อยละ 0.14 และโอกาสความสูญเสียลดลงร้อยละ 0.18 อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานของ Sinnarong et al. (2019) ที่พบว่า ตัวแปรแนวโน้มเวลา หรือการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรข้าวเป็นตัวแปรลดความแปรปรวนของผลผลิตข้าวจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการส่งเสริมการเกษตรควรดำเนินนโยบายด้านการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวเพื่อลดผลกระทบและความเสี่ยงที่ผลผลิตจะลดลง (Downside Risk) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นในอนาคต และ ควรสร้างความตระหนักรู้ถึงขนาดผลกระทบต่อโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าวในเชิงพื้นที่แก่เกษตรกร หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย พัฒนาช่องทางแหล่งข้อมูลข่าวสารที่น่าเชื่อถือให้แก่เกษตรกร เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการวางแผนการผลิต

ผลการจำลองผลลัพธ์ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเฉลี่ยของข้าว ความแปรปรวนความเสี่ยงของผลผลิตและความเบ้โอกาสสูญเสียของผลผลิตภายใต้การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำและอุณหภูมิส่งเชิงลบกับผลผลิตผล สอดคล้องกับการศึกษา Pakeechai et al. (2020) กล่าวว่า ปริมาณฝนมีความผันผวนมากขึ้น และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลกระทบเชิงลบต่อปริมาณผลผลิตข้าวในปี 2030, 2060 และ 2090 จากการศึกผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสถาพอากาศในปี 2030 ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.46 (ผลผลิตลดลง 0.75 ล้านตัน มูลค่าความเสียหาย 14,234.98 ล้านดอลล่า) มีความเสี่ยงจากความแปรปรวนผลผลิตลดลงร้อยละ 3.20 โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.34 (ผลผลิตมีโอกาสสูญเสียเพิ่มขึ้น 0.68 ล้านตัน มูลค่าความเสียหาย 293.00 ล้านดอลล่า) และในปี 2050 ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงถึงร้อยละ 24.86 (ผลผลิตลดลง 12.78 ล้านตัน มูลค่าความเสียหาย 5,435.97 ล้านดอลล่า) มีความเสี่ยงจากความแปรปรวนผลผลิตลดลงร้อยละ 3.60 โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.41 สอดคล้องกับงานของ Sinnarong et al. (2019) พบว่าปริมาณฝนรวมและอุณหภูมิเฉลี่ยส่งผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวในประเทศไทย โดยส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 4.56-33.77 และความแปรปรวนของผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.87-15.70 ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาไปประกอบการวางแผนการปรับตัวเพื่อลดความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะสูญเสีย ในเชิงพื้นที่อย่างเหมาะสม อาทิ ปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูกข้าว เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศมีผลอย่างยิ่งต่อผลผลิตข้าวรายใหญ่ในตลาดโลกนั้นหมายความว่า หากมีการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตที่ลดลงย่อมส่งผลกระทบความมั่นคงทางอาหารของประชากรโลกอย่างแน่นอน ดังนั้นการวิจัยในอนาคตสามารถต่อยอดการศึกษานี้ได้โดยการตรวจสอบกลยุทธ์การปรับตัวเฉพาะที่ใช้โดยผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่สามอันดับแรกของโลกเพื่อตอบสนองต่อผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การตรวจสอบประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ของมาตรการปรับตัวต่าง ๆ เช่น เทคนิคการชลประทานที่ได้รับการปรับปรุง ความหลากหลาย

ของพืชผล และการนำพันธุ์ข้าวที่ทนต่อสภาพอากาศมาใช้ จะให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าในการบรรเทาผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว นอกจากนี้ การรวมปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมและกรอบนโยบายเข้ากับการวิเคราะห์จะนำเสนอความเข้าใจที่ครอบคลุมเกี่ยวกับบริบทที่กว้างขึ้นซึ่งประเทศเหล่านี้จัด การกับความท้าทายที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การวิจัยดังกล่าวจะนำไปสู่การพัฒนานโยบายและกลยุทธ์ตามหลักฐานที่ส่งเสริมการทำเกษตรแบบยั่งยืนและเพิ่มความยืดหยุ่นของระบบการผลิตข้าวเมื่อเผชิญกับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารอ้างอิง

Antle, J. M. (1983). **Testing the Stochastic Structure of Production: A Flexible Moment-Based Approach**. *Journal of Business & Economic Statistics*, 1(3), 192-201. https://doi.org/10.1080/07350015.1983.10509339

Antle, j. M. (2010). **Asymmetry, Partial Moments, and Production Risk** [https://doi.org/10.1093/ajae/aaq077]. *American Journal of Agricultural Economics*, 92(5), 1294-1309. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajae/aaq077

Antle, J. M., & Havenner, A. (1983). **FORMULATING AND ESTIMATING DYNAMIC STOCHASTIC PRODUCTION MODELS** (83-8, Issue. https://ageconsearch.umn.edu/record/225711/files/agecon-ucdavis-83-8.pdf

Battese, G. E., Rambaldi, A. N., & Wan, G. H. (1997). **A Stochastic Frontier Production Function with Flexible Risk Properties**. *Journal of Productivity Analysis*, 8(3), 269-280. https://doi.org/10.1023/A:1007755604744

Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). **The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics.** *The review of economic studies*, 47(1), 239-253. https://doi.org/10.2307/2297111

Di Falco, S., & Chavas, J.-P. (2006). **Crop genetic diversity, farm productivity and the management of environmental risk in rainfed agriculture.** *European Review of Agricultural Economics*, 33(3), 289-314. https://doi.org/10.1093/eurrag/jbl016

Di Falco, S., & 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. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2009.01265.x

Dinar, A., & Mendelsohn, R. (2011). ***Handbook on Climate Change and Agriculture*.** Edward Elgar Publishing.

FAOSTAT, F. (2020). **Online statistical database: Food balance.** In: FAOSTAT.

Greene, W. H. (2000). ***Econometric analysis* (4th ed.).** Prentice Hall.

Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). **Testing for unit roots in heterogeneous panels.** *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74.

Isik, M., & Devadoss, S. (2006). **An analysis of the impact of climate change on crop yields and yield variability.** *Applied Economics*, 38(7), 835-844. https://doi.org/10.1080/00036840500193682

Jatuporn, C., & Takeuchi, K. (2022). **Assessing the impact of climate change on the agricultural economy in Thailand: an empirical study using panel data analysis.** *Environmental Science and Pollution Research*. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22743-0

Just, R. E., & Pope, R. D. (1978). **Stochastic specification of production functions and economic implications.** *Journal of Econometrics*, 7(1), 67-86. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-4076(78)90006-4

Just, R. E., & Pope, R. D. (1979). **Production Function Estimation and Related Risk Considerations.** *American Journal of Agricultural Economics*, 61(2), 276-284. https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1239732

Kim, K., & Chavas, J.-P. (2003). **Technological change and risk management: an application to the economics of corn production.** *Agricultural Economics*, *29*(2), 125-142. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-5150(03)00081-1

Levin, A., Lin, C.-F., & Chu, C.-S. J. (2002). **Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties.** *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24.

Pakeechai, K., Sinnarong, N., Autchariyapanitkul, K., & Supapunt, P. (2020). **The impacts of climate change factors on rice production and climate-smart agriculture in the watershed areas of central Thailand.** *RMUTSB ACADEMIC JOURNAL (HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES)*, 5(2), 196-218.

Pakeechay, K. (2020). ***The Climate Smart Agriculture For Rice Production In The Central Region of Thailand* (การเกษตรที่ปราดเปรื่องเรื่องสภาพภูมิอากาศสำหรับการผลิตข้าว ในภาคกลาง ประเทศไทย)** Maejo University]. Maejo University, Chiang Mai.

Saha, A., Havenner, A., & Talpaz, H. (1997). **Stochastic production function estimation: small sample properties of ML versus FGLS.** *Applied Economics*, *29*(4), 459-469. https://doi.org/10.1080/000368497326958

Sinnarong, N. (2013). ***Essays on the Impact of Climate Change in Agricultural Production*** [Doctoral Dissertation of Applied Economics, National Chung Hsing University, Taiwan]. Taiwan.

Sinnarong, N., Chen, C.-C., McCarl, B., & Tran, B.-L. (2019). **Estimating the potential effects of climate change on rice production in Thailand.** *Paddy and Water Environment*, 17, 1-9. https://doi.org/10.1007/s10333-019-00755-w

Sinnarong, N., Kuson, S., Nunthasen, W., Puphoung, S., & Souvannasouk, V. (2022). **The potential risks of climate change and weather index insurance scheme for Thailand's economic crop production.** ***Environmental Challenges*, 8,** 100575. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100575

Statista. (2023). https://www.statista.com/statistics/255947/**top-rice-exporting-countries-worldwide-2011/**

Studenmund, A. (2011). **using Econometrics: A practical Guide, pears-on.** *New York*, 440-447.

Wang, C., Deser, C., Yu, J.-Y., Dinezio, P., & Clement, A. (2017). **El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A review.** In (Vol. 8, pp. 85-106). https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_4

Wooldridge, J. M. (2002). **Econometric analysis of cross section and panel data MIT press**. *Cambridge, ma*, 108(2), 245-254.

World Bank. (2019). **The World Bank Group: *Climate Change Knowledge Portal.*** *https://climateknowledgeportal. worldbank. org/country/pakistan/climate-sector-health Accessed*, 10.

Yu, Y., Clark, J. S., Tian, Q., & Yan, F. (2022). **Rice yield response to climate and price policy in high-latitude regions of China.** *Food Security*, 14(5), 1143-1157. https://doi.org/10.1007/s12571-021-01253-w