

ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของ
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูล
เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล



ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของ
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูล
เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์
สำนักบริหารและพัฒนานิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของ
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูล
เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

ชนากร แสนสาร

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.นิโรจน์ สิ้นณรงค์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรภรณ์ นันทะเสน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เก นันทะเสน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เก นันทะเสน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล
ชื่อผู้เขียน	นายธนากร แสนสาร
ชื่อปริญญา	เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.นิโรจน์ สินณรงค์

บทคัดย่อ

การศึกษา ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล” การใช้ข้อมูลดาวเทียมมาทดแทนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศ ช่วยให้สามารถเข้าถึงข้อมูลสภาพอากาศที่ครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น มีวัตถุประสงค์การวิจัยหลักสองประการ ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย และวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าว ด้วยการวิเคราะห์ฟังก์ชันการผลิตด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปแบบเป็นไปได้อ โดยใช้ข้อมูลแบบพาเนล จำนวน 19 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ค.ศ. 2005 – 2020) และการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของการผลิตข้าวภายใต้สถานการณ์สภาพอากาศที่แตกต่างกัน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรสภาพอากาศจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐมิติ

ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ปลูกข้าว แนวโน้มของเวลา และปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยในฤดูการผลิต มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปี และเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวนาปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันตัวแปร อุณหภูมิเฉลี่ย และความแปรปรวนอุณหภูมิเฉลี่ย มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปีและเป็นตัวแปรเพิ่มความเสียหายจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวนาปี

ผลการวิเคราะห์จำแนกตามพื้นที่เขตชลประทาน ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ปลูกข้าว แนวโน้มของเวลา ปริมาณน้ำฝนสะสม และอุณหภูมิเฉลี่ยมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปี ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวนาปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน ปริมาณน้ำฝนสะสม และอุณหภูมิเฉลี่ย มี

ผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปี และเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวนาปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการมีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าว ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวทั้งสามกรณีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาชี้ให้เห็นว่าลักษณะพื้นที่ได้รับน้ำจากชลประทานที่มีอิทธิพลแตกต่างกัน

ผลการจำลองเชิงตัวเลขพบว่า ในทศวรรษที่ 2030 และ 2050 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทำให้ผลผลิตลดลง ร้อยละ 1.470 และ 2.003 ตามลำดับ ก่อให้เกิดความเสียหายจากผลผลิตลดลง 8,049.72ตัน คิดเป็นมูลค่า 74.41 ล้านบาท และ 10,973.34 คิดเป็นมูลค่า 101.44 ล้านบาท ผลกระทบดังกล่าว เกษตรกรและผู้กำหนดนโยบายควรมีแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการเพาะปลูกข้าวเพื่อรับมือปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : การผลิตข้าวนาปี, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, ผลกระทบและความเสี่ยง, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, แบบจำลองข้อมูลแผงเศรษฐกิจ



Title	EFFECTS AND RISKS OF CLIMATE CHANGE FOR RICE PRODUCTION IN NORTHEASTERN THAILAND: AN EMPIRICAL ANALYSIS OF REMOTE SENSING TECHNOLOGY DATA
Author	Mr. Thanakorn Saensan
Degree	Master of Economics in Applied Economics
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Acting Sub Lt. Dr. Nirote Sinnarong

ABSTRACT

This study of “Effects and Risks of Climate Change for Rice Production in Northeastern Thailand: An Empirical Analysis of Remote Sensing Technology Data”. Using satellite data to replace data from weather monitoring stations allows access to more comprehensive and accurate weather information. There are two main research objectives: Objective 1: To analyze the impacts and risks of climate change on rice production in the northeastern region of Thailand and Objective 2: to simulate the impact of future climate change on rice production. This research applied the Production Function Cobb-Douglas and using estimators of the Feasible Generalized Least Squares (FGLS). using the panel data on rice production from 19 provinces in the northeast (2002–2020). The results of the study showed that Area harvested, Trend Time and Cumulative Precipitation had a positive effect on the yield of in-season rice, and it was a statistically significant Risk-decrease factor for rice production variance. Nevertheless, Average Temperature and Variance of the Average Temperature has a negative impact on the production of in-season rice and there was a statistically significant increase in the Risk-increase of variance in rice production.

The result that classified by irrigation zone found that showed that Area harvested, Trend Time, Cumulative Precipitation, and Average Temperature had a positive effect on the yield of in-season rice. At the same time, it was a statistically significant risk factor for rice production variance. On the other hand, rice production

in the irrigated area depends on accumulated rainfall and average temperature. It has a negative impact on the production of in-season rice. and there was a statistically significant increase in the risk of variance in rice production. When considering dummy variables representing Cumulative Rainfall Events Over Requirement, there was a negative effect on rice yield. At the same time, there was a statistically significant increase in the risk of variance in rice production in all three cases. This study suggests that the Characteristics of areas receiving water from irrigation have different influences.

The results of the Numerical Simulation found that in the 2030s and 2050s, the effects of climate change will cause yields to decrease by 1.470 percent and 2.003 percent, respectively, causing production losses of 8,049.72 tons, equivalent to economic value. 74.41 million baht and 10,973.34, representing an economic value of 101.44 million baht. As an impact result, farmers and policymakers should have good practices for rice cultivation to handle with future problems in a sustainable way.

Keywords : Rain-fed rice production, Climate change, Impact and Risk, Northeastern Thailand, Panel Data Analysis

กิตติกรรมประกาศ

ในขอบเขตของวิชาการ การแสวงหาความรู้โดยลำพังมักมองข้ามความพยายามร่วมกันที่สนับสนุนความพยายามทุกประการ วิทยานิพนธ์นี้ถือเป็นสุดยอดของการวิจัย การวิเคราะห์ และการไตร่ตรองเป็นเวลานานนับไม่ถ้วน ไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากปราศจากการสนับสนุน คำแนะนำ และแรงบันดาลใจอันล้ำค่าจากบุคคลและทรัพยากรชีวิตเป็นจำนวนมาก

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณอย่างจริงใจต่อที่ปรึกษาของข้าพเจ้า ผศ. ว่าที่ร้อยตรี ดร. นิโรจน์ สิ้นณรงค์ รศ. ดร. วราภรณ์ นันทะเสน และ ผศ. ดร. เก นันทะเสน (ชวนหรือหลอกผมมาเรียนแหง ๆ) ความมุ่งมั่นอย่างแน่วแน่ของเหล่าอาจารย์ในการแสวงหาความเป็นเลิศและความเชี่ยวชาญอย่างลึกซึ้งในด้านเศรษฐศาสตร์ประยุกต์เป็นแนวทางตลอดการเดินทางทางวิชาการนี้ การให้คำปรึกษาของเหล่าอาจารย์ไม่เพียงแต่กำหนดคุณภาพของงานนี้เท่านั้น แต่ยังเพิ่มพูนขอบเขตทางปัญญาของข้าพเจ้าด้วย

ขอขอบคุณ “ทุนนักศึกษาเรียนดี” ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ได้จัดสรรทุนให้กับนักศึกษาให้ได้มีโอกาสเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา อันนำไปสู่การต่อยอดองค์ความรู้ เพื่อสร้างสรรค์งานวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ

ถึงคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ การอุทิศตนของท่านทั้งหลายเพื่อส่งเสริมสภาพแวดล้อมแห่งการเรียนรู้และการค้นพบมีส่วนสำคัญในการเติบโตของข้าพเจ้า ในฐานะนักวิชาการ ความหลงใหลในวิชานี้และการสนับสนุนนักศึกษาอย่างไม่รู้จักเหน็ดเหนื่อยได้ทั้งประสบการณ์ทางวิชาการของข้าพเจ้าไว้อย่างไม่มีวันลบเลือน ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจและพยากรณ์ทางการเกษตร (แม่โจ้โพลล์) ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด ทั้งมอบโอกาส ประสบการณ์ ความช่วยเหลือ ขอขอบคุณ อุทยานวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีเกษตรและอาหาร MAP ที่ได้ให้โอกาสได้ลองสิ่งใหม่ ๆ ลองทำธุรกิจ ได้เจ๊ง ได้ชนะ ได้ส่งมอบ ได้รับโอกาสผจญภัยในต่างแดน ประสบการณ์ตอนสองปีกว่าจะเป็นทักษะเพื่อเป็นผู้ประกอบการและส่งมอบสิ่งดี ๆ คืนสู่สังคม

ข้าพเจ้า รู้สึกขอบคุณเป็นอย่างยิ่งแก่ เพื่อนนักศึกษาและผู้ร่วมงานด้านการวิจัยที่มีส่วนร่วมในความท้าทายและชัยชนะของการวิจัยครั้งนี้ ความสนิทสนมกัน การอภิปราย และข้อเสนอแนะที่สร้างสรรค์ของคุณเป็นเครื่องมือในการขัดเกลาแนวคิดที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณที่ทำให้เจอกัน เรื่องราวในแต่ละวันช่างน่าจดจำ เพื่อน ๆ ร่วมทีม Lumino และน้อง ๆ ทุกคน ขอขอบคุณ นางสาวฐานิชรณี วรรณศรี สาวน้อยพีชสวน ที่คอยสนับสนุนให้กำลังใจ ช่วยกันมาเสมอมาและจากนี้ต่อไป

ขอขอบคุณเป็นพิเศษต่อครอบครัวของข้าพเจ้า ซึ่งการให้กำลังใจอย่างแน่วแน่และความเชื่อมั่นในความสามารถของข้าพเจ้าเป็นที่มาของความเข้มแข็งมาโดยตลอด การเสียสละและความเข้าใจ

ของท่านผู้บังเกิดเกล้าทำให้ข้าพเจ้าสามารถเริ่มต้นการเดินทางเชิงวิชาการด้วยความมั่นใจและความมุ่งมั่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นข้อพิสูจน์ถึงจิตวิญญาณแห่งการทำงานร่วมกันที่กำหนดความเป็นวิชาการ โดยที่แต่ละการมีส่วนร่วม ไม่ว่าจะมากหรือน้อย ก่อให้เกิดความเข้าใจ ขณะที่ข้าพเจ้าเริ่มต้นบทต่อไปของการเดินทางเชิงวิชาการและวิชาชีพ ข้าพเจ้าก็นำบทเรียนที่ได้เรียนรู้และความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้น ระหว่างการดำเนินการนี้ติดตัวไปด้วย

ขอขอบคุณทุกท่านที่ร่วมเป็นส่วนหนึ่งของการเดินทางอันแสนล้ำค่านี้ และสำหรับความเชื่อมั่นอย่างแน่วแน่ในศักยภาพของเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ที่จะเปลี่ยนแปลงความเข้าใจของเราเกี่ยวกับโลก

เหนือสิ่งอื่นใด ขอขอบคุณตัวฉันเองที่พาตัวเองมาออกจาก Comfort zone มาทำอะไรเสี่ยง ๆ ถึงเสียเวลา เสียทรัพยากร แต่ก็ไม่เสียใจเลยที่เลือกเข้ามาเรียนปริญญาโท สาขาเศรษฐศาสตร์

ด้วยความขอบคุณอย่างจริงใจ

ผู้เลือกทางเดินชีวิตด้วยตนเอง

ธนากร แสนสาร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาความสำคัญ.....	1
1.2 คำถามการวิจัย.....	6
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 ขอบเขตการศึกษา.....	7
1.5.1 ขอบเขตเชิงเนื้อหา.....	7
1.5.2 ขอบเขตเชิงพื้นที่.....	7
1.6 นิยามคำศัพท์.....	7
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	9
2.1 แนวคิดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าว.....	10
2.2 ทฤษฎีการผลิตและฟังก์ชันการผลิตแบบสุ่ม (Stochastic Production Function).....	15
2.2.1 ฟังก์ชันการผลิตในรูปของคอบดักลาส (Cobb-Douglas Function).....	16
2.2.2 ฟังก์ชันการผลิตแบบสุ่ม (Stochastic Production Function).....	18
2.3 ทฤษฎีทางเศรษฐมิติและวิธีการศึกษาแบบพาแนล.....	20

2.4 แนวคิดการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล	26
2.4.1 การคาดการณ์ระดับผลผลิตข้าวตามศักยภาพ.....	27
2.4.2 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล.....	29
2.4.3 ฐานข้อมูลดาวเทียมวิเคราะห์ซ้ำ ERA5 Ag.....	30
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
2.6.1 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับประเภทความเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อ ผลผลิตข้าว.....	31
2.6.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรสภาพอากาศที่ใช้ในแบบจำลองประมาณการผลิต	33
2.6.3 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศต่อผลผลิตคาดการณ์.....	37
2.7. กรอบแนวคิดการวิจัย.....	40
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	41
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ศึกษา.....	41
3.2 กลุ่มประชากรหน่วยการวิเคราะห์.....	42
3.3 แบบจำลองเชิงประจักษ์ (Model Framework)	43
3.3.1 กรอบทฤษฎี: ฟังก์ชันการผลิตของคobb-ดักลาส (Cobb-Douglas)	43
3.3.2 ฟังก์ชันการผลิตสุ่ม Stochastic Production Function.....	44
3.3.2.1 การประมาณค่าแบบจำลองการผลิตเฉลี่ย (Mean Production Model)	44
3.3.2.2 การประมาณค่าแบบจำลองความแปรปรวนของผลผลิต (Variance Production Model).....	45
3.4 กำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปที่เป็นไปได้ Feasible Generalized Least Squares (FGLS).....	47
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	48
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	52
4.1 ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา.....	53
4.2 ผลการทดสอบสมมติฐานและการทดสอบลักษณะจำเพาะของแบบจำลอง	55

4.2.1 ผลการทดสอบสมมติฐานและการทดสอบลักษณะจำเพาะของแบบจำลองข้าวนาปี ...	55
4.2.2 ผลการทดสอบสมมติฐานและการทดสอบลักษณะจำเพาะของแบบจำลองข้าวนาปีแบ่งตามเขตชลประทาน.....	57
4.3 การวิเคราะห์แบบจำลองฟังก์ชันการผลิต.....	60
4.3.1 การวิเคราะห์แบบจำลองฟังก์ชันการผลิตข้าวนาปี.....	60
4.3.2 การวิเคราะห์แบบจำลองฟังก์ชันการผลิตข้าวนาปีแบ่งตามเขตชลประทาน.....	63
4.4 ผลการจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการประมาณค่าผลของสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวด้วยวิธีการทางเศรษฐมิติ.....	68
4.4.1 ผลการจำลองคาดการณ์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	68
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ.....	73
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	73
5.1.1 ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย.....	73
5.1.2 ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าว.....	74
5.2 อภิปรายผลการศึกษา.....	75
5.3 ข้อค้นพบที่สำคัญ.....	78
5.2.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.....	78
5.2.2 ผลกระทบทางเศรษฐกิจ.....	78
5.4 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย.....	78
5.5 การวิจัยในอนาคต.....	79
ภาคผนวก.....	80
ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา.....	81
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ที่ 1 ของข้าวนาปีรวม.....	82

Rice In-Season Production (tonnes) Northeast 1983-2021..... 82

Rice In-Irrigated Area In-Season Production (tonnes) Northeast 2002-2020 87

Rice Out-Irrigated Area In-Season Production (tonnes) Northeast 2002-2020.... 92

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองจากโปรแกรม Stata 16 ผล Print Out ของจำนวนปีรวม 97

บรรณานุกรม..... 100

ประวัติผู้วิจัย..... 113



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ความเหมาะสมของพื้นที่และคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าว	13
ตารางที่ 2 ประเภทตัวแปรที่ปรากฏในการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรสภาพอากาศข้าว	34
ตารางที่ 3 วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลผลิต	39
ตารางที่ 4 สถิติพรรณนา	54
ตารางที่ 5 Panel unit root test results	55
ตารางที่ 6 Model Specification of Rice In-Season	57
ตารางที่ 7 Panel unit root test results	58
ตารางที่ 8 Model Specification of All Rice In-Season, Out and In-Irrigated Area	59
ตารางที่ 9 Mean Production Function of Rice In-Season Production	61
ตารางที่ 10 Variance Production Function	63
ตารางที่ 11 Mean Function with Cross-sectional time-series FGLS regression.	65
ตารางที่ 12 Risk of Rice In-Season Production from Variance Function	67
ตารางที่ 13 Mean of Baseline Temperature and Precipitation	69
ตารางที่ 14 Projection Effect of Climate Change 2030s 2050s for Mean Rice Production	70
ตารางที่ 15 ตารางสถิติพรรณนาของนาปีรวม	81
ตารางที่ 16 ตารางสถิติพรรณนาของนาปีรวมในเขตพื้นที่เขตชลประทาน	81
ตารางที่ 17 ตารางสถิติพรรณนาของนาปีรวมนอกเขตพื้นที่เขตชลประทาน	81
ตารางที่ 18 Panel unit root test: At Level and Include Time and Trend of Rice In- Season	82
ตารางที่ 19 Model Specification Test of Rice In-Season	82
ตารางที่ 20 Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity of Rice In-Season .	83

ตารางที่ 21 Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects of Rice In-Season.....	83
ตารางที่ 22 Mean Production Function Rice In-Season Production.....	84
ตารางที่ 23 Akaike's information criterion and Bayesian information criterion of Rice In-Season.....	85
ตารางที่ 24 Variance Skewness Production Function of Rice In-Season.....	85
ตารางที่ 25 Stochastic Production Function (Just and Pope) of Rice In-Season.....	86
ตารางที่ 26 Panel unit root test: At Level and Include Time and Trend of Rice In-Irrigated Area.....	87
ตารางที่ 27 Model Specification Test of Rice In-Irrigated Area.....	88
ตารางที่ 28 Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity of Rice In-Irrigated Area.....	88
ตารางที่ 29 Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects of Rice In-Irrigated Area.....	88
ตารางที่ 30 Mean Production Function Rice Irrigated Area In-Season.....	89
ตารางที่ 31 Akaike's information criterion and Bayesian information criterion of Rice In-Irrigated Area.....	90
ตารางที่ 32 Variance Skewness Production Rice Irrigated Area In-Season.....	90
ตารางที่ 33 Stochastic Production Function (Just and Pope) of Rice In-Irrigated Area..	91
ตารางที่ 34 Panel unit root test: At Level and Include Time and Trend of Rice Out-Irrigated Area.....	92
ตารางที่ 35 Model Specification Test of Rice Out-Irrigated Area.....	92
ตารางที่ 36 Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity of Rice Out-Irrigated Area.....	93
ตารางที่ 37 Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects of Rice Out-Irrigated Area.....	93

ตารางที่ 38 Akaike's information criterion and Bayesian information criterion of Rice Out-Irrigated Area..... 93

ตารางที่ 39 Mean Production Function of Rice Out-Irrigated Area In-Season..... 94

ตารางที่ 40 Variance Skewness Production Function of Rice Out-Irrigated Area In-Season..... 95

ตารางที่ 41 Stochastic Production Function (Just and Pope) of Rice Out-Irrigated Area 96



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ปริมาณการส่งออกข้าวแบ่งตามผู้ส่งออกรายใหญ่ ปี 2006-2022	1
ภาพที่ 2 ผลผลิตข้าว ปี 2565	2
ภาพที่ 3 ดัชนีโอเชียวนิกินโน (Oceanic Niño Index) และผลผลิตข้าวไทย.....	4
ภาพที่ 4 Production/Yield quantities of Rice in Thailand 2000 – 2021	10
ภาพที่ 5 กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างผลผลิตพืชที่ระดับต่างๆ	27
ภาพที่ 6 กราฟแสดงระดับการผลิตพืชตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องอันส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตพืชแต่ละระดับ	28
ภาพที่ 7 ภาพแผนที่ทางอากาศจาก ERA5 Ag	30
ภาพที่ 8 Effects of Climate Change on Rice Production in Northeastern Thailand in 2030 - 2059	71
ภาพที่ 9 Risk of Climate Change on Rice Production in Northeastern Thailand in 2030 - 2059.....	71
ภาพที่ 10 Figure 1 Projection Effect and Risk of Climate Change on Rice Production in Northeastern Thailand in 2030 - 2059.....	72
ภาพที่ 1 Pooled OLS Estimation of Rice In-Season.....	97
ภาพที่ 2 Panel Effects Estimation in Fixed Effects (Robust) of Rice In-Season	97
ภาพที่ 3 Panel Effects Estimation in Random Effects (Robust) of Rice In-Season.....	98
ภาพที่ 4 Generalized Least Square Estimation of Rice In-Season.....	98
ภาพที่ 5 การคำนวณมูลค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ของแบบจำลอง FGLS of Rice In-Season.....	99
ภาพที่ 6 Variance Production Function Rice In-Season Production	99

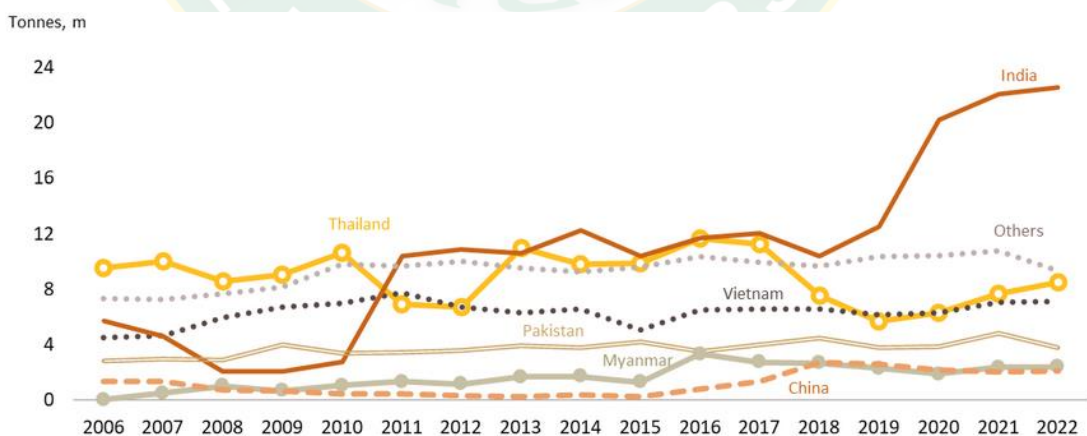
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาความสำคัญ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นสินค้าเกษตรส่งออกหลักของประเทศ ที่ครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 46.1 ของพื้นที่เกษตรทั้งหมดของประเทศ ข้อมูลรายงานจาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2565c) ระบุว่า ในปี 2565/66 มีเนื้อที่เพาะปลูก 62.92 ล้านไร่ มีผลผลิตข้าวเปลือก 26.70 ล้านตัน ตามการรายงานของ Krungsri (2566) ไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกข้าวที่สำคัญของโลก โดยปี 2564/2565 ไทยมีผลผลิตข้าวสูงเป็นอันดับ 6 ของโลก คิดเป็นร้อยละ 4.0 ของผลผลิตข้าวทั่วโลก รองจากจีน อินเดีย บังกลาเทศ อินโดนีเซีย และเวียดนาม ซึ่งมีสัดส่วนผลผลิตร้อยละ 29.0 ร้อยละ 25.2 ร้อยละ 7.0 ร้อยละ 6.7 และร้อยละ 5.2 ตามลำดับ และไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับ 2 ของโลก มีส่วนแบ่งตลาดคิดเป็นร้อยละ 13.5 รองจากอินเดียที่มีส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 38.8 และยังมีคู่แข่งอื่น ๆ อาทิ เวียดนาม ปากีสถาน เมียนมา และจีน เป็นต้น โดยปริมาณผลผลิตข้าวรายปีส่วนใหญ่ รวมกันกว่าร้อยละ 81 มีผลผลิตทั้งข้าวขาว ข้าวหอมมะลิ และข้าวเหนียว ของผลผลิตข้าวรวมทั้งประเทศในแต่ละรอบปีการเพาะปลูก ส่วนนาปรังเป็นข้าวที่เพาะปลูกในฤดูแล้งซึ่งต้องอาศัยน้ำจากระบบชลประทาน คิดเป็นร้อยละ 19 ของพื้นที่การปลูกข้าวของประเทศ

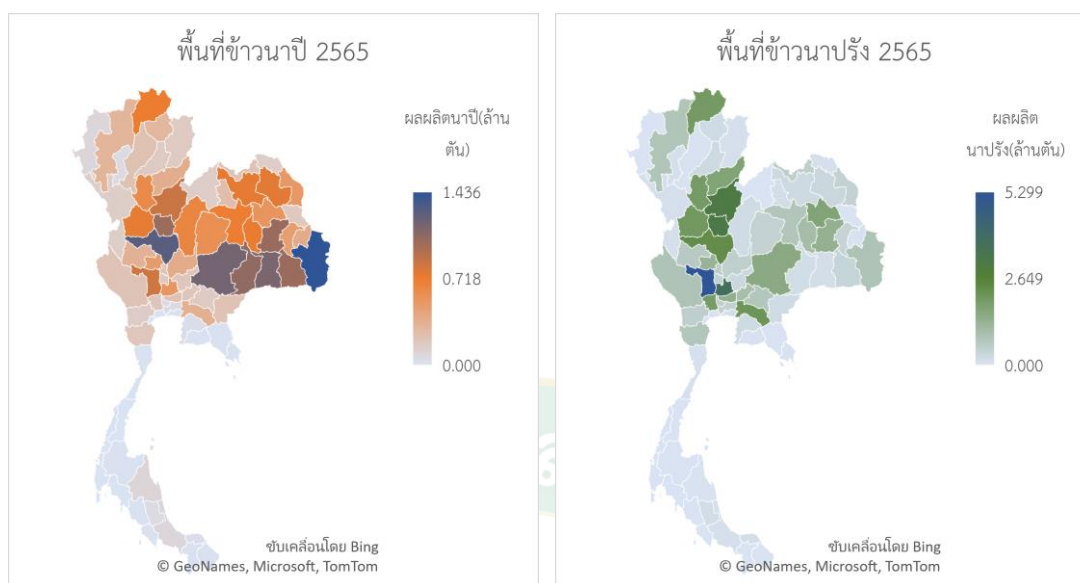
ภาพที่ 1 ปริมาณการส่งออกข้าวแบ่งตามผู้ส่งออกรายใหญ่ ปี 2006-2022



Source: U.S. Department of Agriculture (USDA)

ที่มา (Krungsri, 2566)

ภาพที่ 2 ผลผลิตข้าว ปี 2565

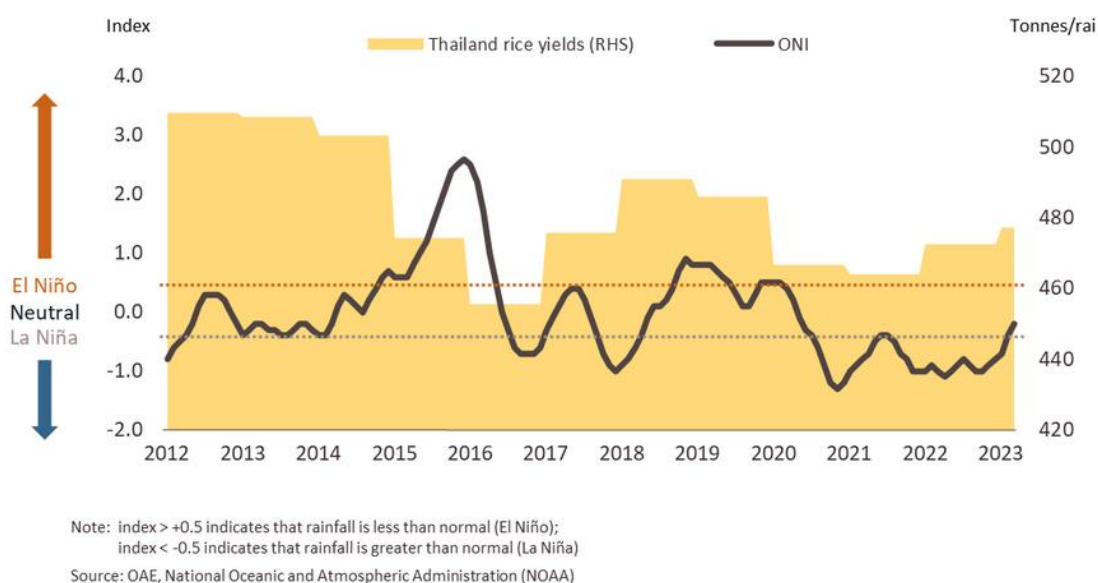


ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2564); (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565a)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งผลิตข้าวนาปีที่มากที่สุดของประเทศ ปริมาณเนื้อที่เพาะปลูกในปะเพาะปลูก 2564/65 มีเนื้อที่เพาะปลูกกว่า 38.68 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 61.39 ของพื้นที่เพาะปลูกประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565a) และมีผลผลิตว่า 13.32 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 49.72 ของผลผลิตข้าวนาปีที่ของประเทศ โดยจังหวัดที่มีผลผลิตข้าวนาปีที่มากที่สุด ห้าจังหวัด ได้แก่ อุบลราชธานี 1.43 ล้านตัน นครราชสีมา 1.17 ล้านตัน สุรินทร์ 1.14 ล้านตัน ร้อยเอ็ด 1.03 ล้านตัน และศรีสะเกษ 1.02 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565b) จะเห็นได้ว่าจังหวัดส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม ภูมิภาคการเกษตรของไทย ยังต้องคงพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติและสภาพอากาศ ฟ้าฝนในพื้นที่เป็นหลัก จึงนับเป็นภาคส่วนที่มีความเสี่ยงสูงจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งจำเป็นต้องมีการส่งเสริมความรู้เพื่อสร้างความตระหนักต่อผลกระทบ ความเสี่ยงและหาแนวทางการปรับตัวที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ความไม่ปกติของสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต (นิโรจน์ สินณรงค์ et al., 2563) เกษตรกรจึงต้องเผชิญกับความเครียดที่มากขึ้นต่อพืชผล ในภาคการเกษตรความเสี่ยงมีหลายรูปแบบโดยเฉพาะด้านการผลิต การตลาด การเงิน สถาบัน และความเสี่ยงส่วนบุคคล (Komarek et al., 2020) และยังคงเผชิญผลกระทบทางลบที่ไม่แน่นอนเนื่องจากปัจจัยภายนอก เช่น ภูมิอากาศ แมลงศัตรูพืช และโรค ของตัวแปรทางชีวภาพ ภูมิอากาศ และราคาที่ซบซ้อนและคาดเดาไม่ได้ซึ่งไม่ได้อยู่ในการควบคุมของเกษตรกร (Baethgen et al., 2008) ภูมิประเทศของภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูง มีพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเพียงเล็กน้อย ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีความเสี่ยงที่จะเกิดภัยพิบัติจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่

ภัยแล้ง อุทกภัย พายุ และภัยแล้งเป็นภัยพิบัติที่ส่งผลกระทบต่ออย่างหนัก ปริมาณน้ำฝนที่ลดลงและ อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสบภัยแล้งบ่อยครั้งและรุนแรงมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาค เกษตรกรรม ซึ่งเป็นภาคเศรษฐกิจที่สำคัญ ส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลงและราคาสินค้าเกษตร สูงขึ้น ดังรายงานข่าวสถานการณ์ภัยแล้งในปี 2562 “ภัยแล้งนานหลายเดือน จนพื้นที่เพาะปลูกข้าว เหนียวในภาคเหนือและภาคอีสาน ได้รับความเสียหายกว่า 6 แสนไร่ ส่งผลให้ผลผลิตลดน้อยลง ใน ส่วนชานนาที่ต้องเก็บไว้กินเอง ไม่ยอมขายพ่อค้าคนกลางและโรงสี ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนข้าว เหนียวในประเทศ เมื่อราคาข้าวเหนียวขึ้นสูง ต้องปรับขึ้นข้าวเหนียวหนึ่งหรือข้าวหนึ่ง จากราคากิโลกรัม ละ 20-25 บาท เป็นราคากิโลกรัมละ 40 บาท บางร้านขายกิโลกรัมละ 50 บาท” (กองบรรณาธิการ ไทยรัฐออนไลน์, 2562) อุทกภัยเป็นภัยพิบัติที่ส่งผลกระทบต่อภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปริมาณ น้ำฝนที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบฝนตกส่งผลให้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือประสบ อุทกภัยบ่อยครั้งและรุนแรงมากขึ้น อุทกภัยส่งผลกระทบต่อที่อยู่อาศัย ทรัพย์สิน และโครงสร้าง พื้นฐานต่าง ๆ ส่งผลให้ประชาชนได้รับความเดือดร้อนและสูญเสียทรัพย์สินจำนวนมาก ดัง สถานการณ์อุทกปี 2562 น้ำท่วมใหญ่อุบลราชธานี “ได้รับอิทธิพลพายุโซนร้อน คากิ ทำให้มีฝนตก ต่อเนื่องในพื้นที่ และมีฝนตกหนักบางแห่ง สถานการณ์ดังกล่าว ทำให้เกิดปริมาณน้ำสะสมเป็นจำนวน มาก บางพื้นที่เกิดน้ำป่าไหลหลาก น้ำท่วมฉับพลัน และน้ำล้นตลิ่งในพื้นที่ จังหวัดอุบลราชธานี ได้รับความเสียหายจากสถานการณ์อุทกภัยทั้งหมด 25 อำเภอ 184 ตำบล 1,724 หมู่บ้าน บ้านเรือนได้รับความเสียหาย 18,790 หลัง ราษฎรได้รับความเดือดร้อน 42,383ครัวเรือน 159,392 คน อพยพ 21,691 คน พื้นที่การเกษตรได้รับความเสียหายจำนวน 639,556 ไร่” (Ubon News, 2562) จะเห็นว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความแปรปรวนของสภาพอากาศและภัยพิบัติอันเป็นผลมาจากภาวะโลกร ้อน ปรากฏการณ์เอลนีโญเป็นเหตุให้ปริมาณฝนมีแนวโน้มว่าจะต่ำกว่าปกติ หรือฝนทิ้งช่วง โดยเฉพาะฤดูร้อนและต้นฤดูฝน ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศจะสูงกว่าปกติ เฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที เอลนีโญมีขนาดรุนแรง ผลกระทบดังกล่าวจะชัดเจนมากขึ้น ดังที่มีผลสำรวจของ ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ และพยากรณ์ทางการเกษตร (แม่โจ้โพลล์) (2566) พบว่า เกษตรกรกว่าร้อยละ 74.26 ได้รับความเสียหายจากอากาศแปรปรวน (ร้อน ฝน แล้ง) ร้อยละ 49.46 ปัญหาภัยแล้งมีความรุนแรงขึ้น รองลงมา ร้อยละ 46.60 ปริมาณน้ำในแหล่งน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และร้อยละ 43.74 อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ผลผลิตน้อยลง ตามลำดับ และคาดการณ์ว่าแนวโน้มปรากฏการณ์ที่เริ่มขึ้นในช่วงกลางปี 2566 และคาดว่าจะคงอยู่ต่อราว 1-2 ปี ดังรูป จะเห็นว่า ผลผลิตข้าวลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนช่วงปี 2015 – 2017 ที่ดัชนีเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากข้อมูลของภัยพิบัติดังกล่าวข้างต้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือมี ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเป็นอย่างมาก

ภาพที่ 3 ดัชนีโอเชียนิกนิโน (Oceanic Niño Index) และผลผลิตข้าวไทย



ที่มา (Krungsri, 2566; NOAA National Centers for Environmental Information, 2023)

ผลกระทบของปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีนัยสำคัญทางเศรษฐกิจและสังคม สามารถอธิบายได้จากทฤษฎีเศรษฐศาสตร์เกษตร และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ ได้ดังนี้ ประการแรก อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ข้าวเจริญเติบโตช้าลงและผลผลิตลดลง เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่อาศัยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตข้าวที่ลดลงส่งผลให้อุปทานข้าวในประเทศลดลงและราคาข้าวสูงขึ้น ซึ่งส่งผลเสียต่อผู้บริโภคและภาคอุตสาหกรรมอาหาร ประการที่สอง ปริมาณน้ำฝนที่ผันผวนส่งผลให้ข้าวขาดน้ำหรือน้ำท่วม ซึ่งส่งผลเสียต่อผลผลิตข้าว ผลจากความเสี่ยงภัยธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกษตรกรได้รับความเสียหายทางการเงินและผลผลิตข้าวลดลง เกษตรกรที่ได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติอาจไม่สามารถชำระหนี้หรือกู้ยืมเงินจากธนาคารเพื่อทำการเกษตรได้ จากการรายงานของธนาคารแห่งประเทศไทย (2564) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีภาระหนี้เพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่ร้อยละ 52 คิดเป็นหนี้เฉลี่ยต่อครัวเรือนสูงถึง 180,277 บาท ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยประเทศที่อยู่ในระดับ 163,930 บาท รองลงมาเป็นภาคเหนือและภาคใต้ โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 29 และร้อยละ 18 ตามลำดับ และสุดท้าย ประการที่สาม ภัยธรรมชาติที่รุนแรงขึ้น เช่น น้ำท่วม ภัยแล้ง และโรคระบาด ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเสียหาย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารของประเทศไทย หากผลผลิตข้าวลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจส่งผลให้ประเทศไทยต้องนำเข้าข้าวมากขึ้น ซึ่งอาจกระทบต่อดุลการค้าและความมั่นคงทางอาหารของประเทศไทย ด้วยเหตุนี้การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความสำคัญต่อการพัฒนาแนวทางการปรับตัวและลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

จากการทบทวนวรรณกรรม แม้ว่าการศึกษาก่อนหน้านี้ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในบางภูมิภาคของประเทศไทย (Pakeechai et al., 2020; Puphoun et al., 2019; Sinnarong et al., 2019; Sinnarong et al., 2022) การศึกษาที่ผ่านมาใช้ข้อมูลประมาณการณ์จากสถานีตรวจวัดอากาศ อย่างไรก็ตาม สถานีตรวจวัดอากาศมักมีจำนวนจำกัดและตั้งอยู่ในพื้นที่เฉพาะ ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลสภาพอากาศที่รวบรวมได้มีความครอบคลุมไม่ทั่วถึงและอาจคลาดเคลื่อนได้ เทคโนโลยีดาวเทียมเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการทดแทนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศ ดาวเทียมสามารถถ่ายภาพพื้นผิวโลกได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมพื้นที่กว้างใหญ่ ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลสภาพอากาศที่รวบรวมได้มีความครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่มีการวิเคราะห์ซ้ำสามารถสะท้อนสภาพที่เกิดขึ้นจริงตามแต่ละพื้นที่ทุกช่วงเวลาได้ ด้วยเหตุนี้การศึกษาการใช้ข้อมูลดาวเทียมมาทดแทนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศจึงเป็นช่องว่างการวิจัยที่น่าสนใจ เนื่องจากจะช่วยให้สามารถเข้าถึงข้อมูลสภาพอากาศที่ครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะประโยชน์ต่อการศึกษาและคาดการณ์สภาพอากาศ ตลอดจนการวางแผนและดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ที่ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งข้อสังเกตเปรียบเทียบข้อสมมุติถึงผลกระทบที่แตกต่างกันของบริบทพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทาน จากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่มีการศึกษาใดที่คำนึงถึงอิทธิพลเชิงพื้นที่เขตชลประทานมาก่อน ด้วยเหตุนี้ศึกษาที่เติมเต็มช่องว่างการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวรายปีที่มีผลแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ปลูกข้าวตามเขตชลประทาน อีกทั้งการคาดการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตยังไม่มีการศึกษาใดที่นำข้อมูลการจำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของ AR6 ที่เป็นข้อมูลคาดการณ์สภาพอากาศตามสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันเป็นประโยชน์ในการศึกษาผลกระทบสภาพอากาศที่เกิดขึ้น Sinnarong (2023) ได้นิยามชื่อภาษาไทยว่า “ตามเส้นทางการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมแบบร่วมแบ่งปัน (Shared Socioeconomic Pathway, SSP)” แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามข้อสมมุติฐานการพัฒนาเศรษฐกิจสังคม การลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึงการควบคุมมลพิษทางอากาศ มาใช้ศึกษาจำลองผลกระทบดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการสำรวจเพื่อเติมเต็มช่องว่างการวิจัย

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและเพื่อจำลองผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าวในภูมิภาค ผลจากการศึกษานี้ จะเป็นการทบทวนยืนยันผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวรายปี โดยใช้พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศและยังเป็นแหล่งผลิตข้าวรายปีที่ใหญ่ที่สุดของประเทศ

ไทย และคาดว่าจะเป็นโยบายต่อการพัฒนาแนวทางการกลยุทธ์เชิงนโยบายการปรับตัวและลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในลำดับถัดไปจะกล่าวถึงวัตถุประสงค์ ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ และในบทบทวนวรรณกรรมจะกล่าวถึงหลักฐานสำคัญที่ยืนยันผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าว

1.2 คำถามการวิจัย

- 1) ความแปรปรวนของสภาพอากาศส่งผลต่อการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยอย่างไร
- 2) การนำข้อมูลเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมาใช้วิเคราะห์ผลกระทบนี้จะได้ผลลัพธ์ที่ต่างจากการศึกษาก่อนหน้านี้หรือไม่
- 3) จะคาดการณ์ผลกระทบจำลองผลกระทบต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในอนาคตได้อย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย
- 2) เพื่อจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษานี้จะสนับสนุนการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อภาคการเกษตร ทำให้ทราบถึงผลกระทบและความเสี่ยงที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในประเทศไทยได้ดีขึ้น อีกทั้งยังแสดงถึงความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงตามภูมิภาคและฤดูกาลเพาะปลูก นอกจากนี้ผลการศึกษานี้สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจในเชิงนโยบายที่มุ่งลดผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในการผลิตข้าวและเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับตัวรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว

1.5 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จะเน้นที่บริบทการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย 20 จังหวัด ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัย ได้ดังนี้

1.5.1 ขอบเขตเชิงเนื้อหา

ศึกษาวิเคราะห์ที่จะศึกษาผลกระทบและความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของการผลิตข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยวิธีการทางเศรษฐมิติ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสภาพอากาศและจำลองผลกระทบต่อการผลิตข้าวด้วยข้อมูลเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล รวมถึงนโยบายแนวทางการพัฒนา ความพร้อมทั้งข้อเสนอต่อเชิงนโยบายเพื่อรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของการผลิตข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.5.2 ขอบเขตเชิงพื้นที่

พื้นที่การผลิตข้าวนาปี ในระดับจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 20 จังหวัด ได้แก่ เลย หนองบัวลำภู อุดรธานี หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร นครพนม มุกดาหาร ยโสธร อำนาจเจริญ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ สุรินทร์ บุรีรัมย์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา โดยข้อมูลรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2564 รวม 33 ปีการเพาะปลูก ประกอบด้วยข้อมูลผลผลิตและพื้นที่เพาะปลูก จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ข้อมูลพื้นที่รายแปลง พิกัดแปลง และพิกัดวาดแปลง จากกรมส่งเสริมการเกษตร และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ในระดับจังหวัด รวม 77 จังหวัด รายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2564 รวม 33 ปี ข้อมูลดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลดาวเทียมของ Google Earth Engine การเพาะปลูกประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย และปริมาณน้ำฝน จากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยทำการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เป็นรายภาค รายแปลงปลูก

1.6 นิยามคำศัพท์

เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) หมายถึง การใช้งานหรือการเข้าถึงข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมจากฐานข้อมูลเพื่อให้ศึกษาตามเป้าหมายวัตถุประสงค์

การผลิตข้าว (Rice Production) หมายถึง การผลิตข้าวที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ปัจจัยสภาพอากาศ

ข้อมูลการผลิตข้าว หมายถึง ปริมาณผลผลิตข้าว และพื้นที่การปลูกข้าวในแต่ละจังหวัดหรือพื้นที่ที่ศึกษา

ฟังก์ชันการผลิตสุ่ม (Stochastic Production Function) หมายถึง ฟังก์ชันการผลิตที่พัฒนาขึ้นโดย Just and Pope (1978) ที่คำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น นโยบายรัฐ การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

สถานการณ์เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) หมายถึง เหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่มีผลต่อผลผลิตข้าว

ปริมาณน้ำฝน (Precipitation) หมายถึง หยาดน้ำฟ้าที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม

ตัวแปรสภาพอากาศ หมายถึง ตัวแทนของสภาพภูมิอากาศ อันได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน

การจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Projection) หมายถึง การคาดการณ์ผลกระทบที่มีต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงผลผลิตในอนาคต ด้วยวิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์ค่าสัมประสิทธิ์



บทที่ 2

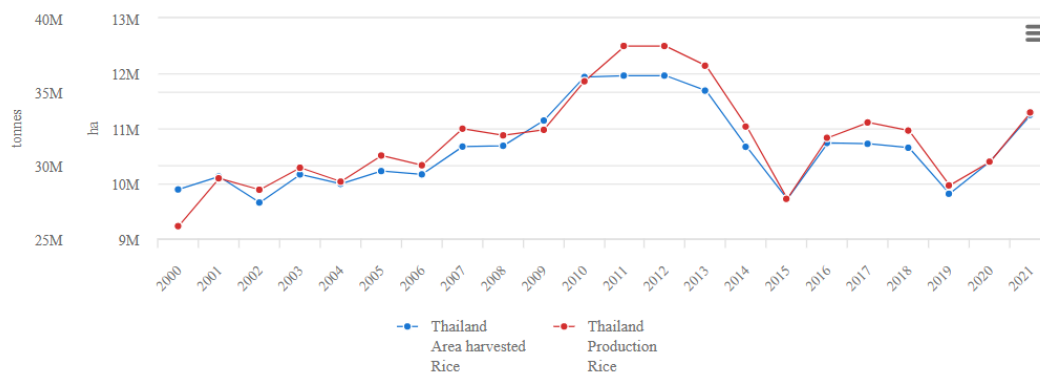
ทบทวนวรรณกรรม

หากจะกล่าวถึงการศึกษา “ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล” สิ่งที่จะขาดไม่ได้เลย คือ หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ เกษตรศาสตร์ ที่ยืนยันผลลัพธ์การศึกษาว่า “เหตุใดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงมีผลต่อข้าว” ในบทนี้จะกล่าวถึง แนวคิด ทฤษฎี ได้แก่ ความต้องการพื้นฐานที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทฤษฎีการผลิตและการประยุกต์ใช้ที่นำไปสู่วิธีการศึกษา ฟังก์ชันการผลิตแบบสุ่ม (Stochastic Production Function) ที่คำนึงถึงผลกระทบที่อยู่เหนือการควบคุมและสามารถอธิบายถึงผลกระทบต่อผลผลิตเฉลี่ย ความเสี่ยงต่อผลผลิต และปัจจัยลดโอกาสสูญเสียของผลผลิต วิธีการศึกษาแบบพาแนล (Panel Data) ที่อาศัยข้อมูลจากหลายพื้นที่ ย้อนหลังเพื่ออธิบายผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสาม ตลอดจนขั้นตอนการทดสอบลักษณะจำเพาะเพื่อกำหนดแบบจำลอง และการแก้ไขการละเมิดเงื่อนไขตามข้อสมมติพื้นฐานสมการถดถอย การใช้ประโยชน์จากดาวเทียมเพื่อเป็นแหล่งข้อมูลที่เข้าถึงได้ง่ายและแม่นยำ นอกจากนี้ยังกล่าวการศึกษาทบทวนก่อนหน้า งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสรุปเป็นปัจจัยที่ควรคำนึงถึงเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าว กระทั่งสร้างกรอบแนวคิดการวิจัยต่อไป โดยลำดับหัวข้อจะมีดังนี้

- 1) แนวคิดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตทางการเกษตร
- 2) ทฤษฎีการผลิตและฟังก์ชันการผลิตแบบสุ่ม (Stochastic Production Function)
- 3) ทฤษฎีทางเศรษฐมิติและวิธีการศึกษาแบบพาแนล
- 4) แนวคิดการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล
- 5) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 6) กรอบแนวคิดการวิจัย

2.1 แนวคิดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าว

ภาพที่ 4 Production/Yield quantities of Rice in Thailand 2000 – 2021



ที่มา ["Crops/Regions/Thailand/Production Quantity \(pick lists\), Rice \(paddy\), 2021"](#). UN Food and Agriculture Organization, Corporate Statistical Database (FAOSTAT).

2023. เข้าถึงเมื่อ 13 มกราคม 2566

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและมีเนื้อที่เพาะปลูก ทางภาคเกษตรกรรมกันเกินครึ่งหนึ่งของเนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยในปี 2562 มีพื้นที่เพาะปลูกรวมกัน จำนวน 116.09 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 77.79 ของเนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กองนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร, 2565) สำหรับประเทศไทยพันธุ์ข้าวที่ปลูกจะเป็นชนิด Indica ที่มีลักษณะรูปร่างเมล็ดเรียวยาว ค่างข้างแบน มีหางของเมล็ดสั้น มีขนของเปลือกเมล็ดสั้นมาก เมล็ดร่วงง่าย ใบสีเขียวอ่อน กว้าง แฉก ใบตก การแตกกอมาก ทรงกอค่อนข้างแผ่ มีความสูง ไม่ทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ แต่ทนทานต่อความแห้งแล้ง (กรมพัฒนาที่ดิน กลุ่มวินิจฉัยคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน, 2565) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ยกเว้นข้าวไร่บางพันธุ์ทางภาคเหนือ ซึ่งมีลักษณะบางอย่างของข้าวจาปอนิคารวมอยู่ด้วย (ราพิง พูลสุข, 2534) ในปี 2564/65 มีเนื้อที่เพาะปลูก 63.01 ล้านไร่ ผลผลิต 26.81 ล้านตันข้าวเปลือก และผลผลิตต่อไร่ 425 กิโลกรัม เพิ่มขึ้นจากปี 2563/64 ที่มีเนื้อที่เพาะปลูก 62.44 ล้านไร่ ผลผลิต 26.42 ล้านตันข้าวเปลือก และผลผลิตต่อไร่ 423 กิโลกรัม หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.91 ร้อยละ 1.45 และร้อยละ 0.47 ตามลำดับ เนื้อที่เพาะปลูก เพิ่มขึ้น เนื่องจากราคาข้าวเปลือกที่เกษตรกรขายได้อยู่ในเกณฑ์ดีและภาครัฐมีโครงการช่วยเหลือเกษตรกรผู้ปลูกข้าวอย่างต่อเนื่อง จึงจูงใจให้เกษตรกรขยายเนื้อที่เพาะปลูกสำหรับผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพอากาศเหมาะสมและมีปริมาณน้ำฝนเพียงพอตลอดช่วงการเพาะปลูก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2565)

จากการทบทวนวรรณกรรมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและความต้องการของข้าว ประกอบด้วย ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน กลุ่มวินิจฉัยคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน, 2565)

ดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เช่น ดินเหนียว และดินร่วนปนเหนียว แต่ดินชนิดอื่น ๆ ก็สามารถปลูกข้าวได้ แต่ผลผลิตกับการเจริญเติบโตจะต่ำกว่า สาเหตุที่ดินเหนียวมีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตสูงกว่าดินทราย เนื่องจากดินเหนียวมีการกักเก็บน้ำได้ดี และมีระดับปริมาณธาตุอาหารในดินสูงกว่าดินทราย แต่อย่างไรก็ตามชนิดของเนื้อดินไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว (บุญโฮม ชำนาญกุล et al., 2534) ความหนาแน่นของดิน เป็นลักษณะที่สำคัญของดินนาที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการผลิตของดิน ดินนาในประเทศไทยมีความหนาแน่นรวมของชั้นดินบน อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยมีพิสัย 1.5-1.9 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kazemi et al., 2010) สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว ดินนาที่มีความสามารถในการให้ผลผลิตสูง ควรมีการซาบซึมน้ำลงของน้ำในดิน (percolation) ไม่เกินวันละ 10-20 มิลลิเมตร (Brady and Weil, 1999) ค่าพีเอชของดิน ข้าวเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโต และให้ผลผลิตในดินตั้งแต่กรดจัดมากถึงด่างเล็กน้อย (pH 4.5-7.5) ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดข้าวและพันธุ์ข้าว และระดับพีเอชของดินมีการเปลี่ยนแปลงอีกหลังจากมีการขังน้ำแล้ว สมดุลของพีเอชในดินนามักจะอยู่ในพิสัย 6.5-7.5 (Brady and Weil, 1999) แต่โดยทั่วไปแล้วข้าวจะเจริญได้ดีในดินที่มีพีเอช ประมาณ 5.5-6.5 (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2550)

ธาตุอาหารพืชที่มีความจำเป็นสำหรับข้าวมี 17 ธาตุ โดยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ได้จากน้ำและอากาศ เป็นส่วนประกอบของข้าวร้อยละ 94.0-99.5 ส่วนที่เหลือเป็นธาตุอื่น ๆ (วรวิทย์ พาณิชพัฒน์, 2529) สำหรับธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว (Macro Nutrient) ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ซึ่งธาตุไนโตรเจนโดยเฉลี่ยในดินมีปริมาณร้อยละ 0.14 ปริมาณ ไนโตรเจนที่เพียงพอต่อข้าวที่อยู่ในช่วงระยะแตกกอสูงสุด หรือในระยะที่ใบเพิ่งจะพัฒนาเต็มที่ คือ ร้อยละ 2.80-3.60 ส่วนฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยในดินมีเพียงร้อยละ 0.05 ดินบนของดินนาในประเทศไทย มีฟอสฟอรัสเฉลี่ยร้อยละ 0.02 เท่านั้น ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในระดับที่เพียงพอสำหรับข้าวที่อยู่ในช่วงระยะแตกกอสูงสุดคือ ร้อยละ 0.10-0.18 และปริมาณโพแทสเซียมในระดับที่เพียงพอสำหรับข้าวที่อยู่ในช่วงระยะแตกกอสูงสุดหรือในระยะที่ใบเพิ่งจะพัฒนาเต็มที่ คือ ร้อยละ 7.00-9.50 (ศรีสม สุวรรณวงศ์, 2547)

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวจะอยู่ระหว่าง 25-33 องศาเซลเซียส (de los Reyes et al., 2003) อุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงเกินไปมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อนและการผสมเกสร ถ้าอุณหภูมิต่ำลงถึง 16 องศาเซลเซียส หรือสูงถึง 40 องศาเซลเซียสเกสรตัวผู้จะถูกทำลายหมด เนื่องจากมีกระบวนการที่ต้องอาศัยการทำงานของเอนไซม์ ถ้า

อุณหภูมิไม่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพในการพัฒนาดังกล่าวต่ำลง (Farrell et al., 2006) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมตามระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะเมล็ดงอก 20-35 องศาเซลเซียส ระยะการเติบโตของต้นอ่อน 25-30 องศาเซลเซียส ระยะการแตกราก 25-28 องศาเซลเซียส ระยะการยึดตัวของใบ 31 องศาเซลเซียส ระยะการแตกแขนง 25-31 องศาเซลเซียส ระยะการเกิดดอกอ่อน 25-28 องศาเซลเซียส ระยะการเติบโตของช่อดอก 25-28 องศาเซลเซียส ระยะดอกบาน 30-33 องศาเซลเซียส และระยะเมล็ดสุกแก่ 20-25 องศาเซลเซียส (Yoshida, 1981)

แสงแดด ข้าวจัดเป็นพืชที่มีการตอบสนองต่อช่วงแสง (Katsura et al., 2007) โดยพบว่าข้าวที่ไวต่อช่วงแสงในประเทศไทยมักจะออกดอกในเดือนที่มีความยาวกลางวัน ประมาณ 11 ชั่วโมง 40 นาที หรือสั้นกว่า โดยข้าวที่มีความไวต่อช่วงแสงน้อยจะออกดอกได้ในเดือนที่มีความยาวของกลางวัน ประมาณ 11 ชั่วโมง 40-50 นาที และพันธุ์ที่มีความยาวต่อช่วงแสงมาก คือข้าวที่ออกดอกได้ในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 10-20 นาที พันธุ์ข้าวประเภทนี้จึงปลูกและให้ผลผลิตปีละ 1 ครั้ง หรือปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี บางครั้งจึงเรียกว่า ข้าวนาปี ดังนั้น การปลูกข้าวต้องมีการกำหนดระยะเวลาในการปลูกให้พอดี เพื่อให้มีช่วงความยาวของการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบที่พอเหมาะจึงให้ผลผลิตดี (กรมการข้าว, 2559)

น้ำฝนและน้ำชลประทานมีความสำคัญต่อการผลิตข้าว และข้าวจะให้ผลผลิตสูงเมื่อได้รับน้ำอย่างเพียงพอตลอดวัฏจักรชีวิต โดยความต้องการน้ำของข้าวนาน้ำขังในเอเชีย มีดังนี้ การคายน้ำ (Transpiration) 1.5-9.8 มิลลิเมตรต่อวัน การระเหยน้ำ (Evaporation) 1.0-6.2 มิลลิเมตรต่อวัน และการซึมลึก (Percolation) 0.2-15.6 มิลลิเมตรต่อวัน รวมปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียในการปลูกข้าว 5.6-20.4 มิลลิเมตรต่อวัน ถ้าต้องการ ผลผลิตสูง ควรมีน้ำ 180-300 มิลลิเมตรต่อเดือน และตลอดฤดูปลูก 4 เดือน ควรได้รับน้ำ 720-1,200 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำชลประทานเฉลี่ยสำหรับนาข้าวในแถบเอเชีย คือ ฤดูปลูกละ 1,240 มิลลิเมตร (กรมการข้าว, 2560) และในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 900 มิลลิเมตรต่อปี และมีการกระจายของฝนไม่ดี ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว

โดยสรุปแล้วสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและความต้องการของข้าว (Crop Requirement) คุณสมบัติของพื้นที่เหมาะสมสูง ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูปลูกอยู่ระหว่าง 22-30 องศาเซลเซียส (°C) ปริมาณความต้องการน้ำในฤดูปลูก 700-800 มิลลิเมตร (mm) สภาพการระบายน้ำเป็นดินเหนียว คือ ไม่ระบายน้ำได้ดี เก็บน้ำได้ดี ความจุในการดูดยึดธาตุอาหาร กลุ่ม CEC ดินล้ามากกว่า 15 (cmol kg⁻¹) และกลุ่ม BS ดินล้า มากกว่าร้อยละ 35 (%) มีความลึกของดินมากกว่า 50 เซนติเมตร (cm) มีปริมาณกรวดหรือเศษหินที่พบน้อยกว่าร้อยละ 5 (%) ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรือความเค็มของดินมากกว่า 2 (dS m⁻¹) ระดับความลึกของชั้นจาโรไซด์มากกว่า 150 เซนติเมตร (cm) และค่าพีเอชดินในสภาวะน้ำแช่ขัง 5.6-7.3 (pH) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเหมาะสมของพื้นที่และคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าว

คุณสมบัติของพื้นที่	เหมาะสมสูง	เหมาะสมปานกลาง	เหมาะสมเล็กน้อย	ไม่เหมาะสม
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูปลูก (°C)	22-30	31-33 20-21	34-35 18-19	>35 <18
ความต้องการน้ำในฤดูปลูก (mm)	700-800	550-700	400-550	<400
สภาพการระบายน้ำของดิน	- ระบายน้ำ เลวมาก - ระบายน้ำ เลว - ระบายน้ำ ค่อนข้างเลว	ระบายน้ำดี ปานกลาง	ระบายน้ำดี	ระบายน้ำ มากเกินไป
ความจุในการดูดซับธาตุอาหาร - CEC ดินล่าง (cmol kg ⁻¹) - BS ดินล่าง (%)	>15 >35	3-15 <35	<3 -	- -
ความลึกของดิน (cm)	>50	25-50	15-25	<15
ปริมาณกรวดหรือเศษหินที่พบ (%)	<5	5-15	15-40	>40
ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัว ด้วยน้ำหรือความเค็มของดิน (dS m ⁻¹)	<2	2-5	5-10	>10
ระดับความลึกของชั้นจาโรไซด์ (cm)	>150	100-150	50-100	<50
ค่าพีเอชดินในสภาวะน้ำแช่แข็ง (pH)	5.6-7.3	7.4-7.8 5.1-5.5	7.8-8.4 4.0-5.0	>8.4 <4.0

ที่มา กรมพัฒนาที่ดิน กลุ่มวินิจฉัยคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน (2565) ดัดแปลงจาก บัณฑิต ต้นศิริ and คำรณ ไทรพิง (2539)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรง ได้แก่ อุณหภูมิที่สูงขึ้น ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลง และความแปรปรวนของสภาพอากาศ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเจริญเติบโตของข้าว เช่น การออกดอก การติดเมล็ด และการเจริญเติบโตของเมล็ด ส่วนทางอ้อม ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เช่น โรคและแมลงศัตรูพืช ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวเช่นกัน จากการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในประเทศไทย พบว่า ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลง โดย Abbas et al. (2022) พบว่า ผลผลิตข้าวในปีและนาปีลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.2 และร้อยละ 1.1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงปี 1961-2010 ขณะเดียวกัน Chandio et al. (2020) พบว่า ผลผลิตข้าวในปีลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.5 เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงปี 1961-2019 และ Tan et al. (2021) พบว่า ผลผลิตข้าวปีลดลงเฉลี่ย 2.0% เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงปี 1961-2019 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อรายได้ของเกษตรกร การศึกษาของ Komarek et al. (2020) พบว่า ความเสี่ยงด้านการเกษตรมีหลายรูปแบบ โดยเฉพาะด้านการผลิต การตลาด การเงิน สถาบัน และความเสี่ยงส่วนบุคคล โดยความเสี่ยงด้านการผลิตเกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนของผลผลิตพืชเนื่องจากปัจจัยภายนอก เช่น ภูมิอากาศ แมลงศัตรูพืช และโรค ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบจากปัจจัยสภาพอากาศต่อผลผลิตข้าวอย่างแม่นยำ จึงจำเป็นต้องพิจารณาวงจรชีวิตการผลิตข้าว ซึ่งประกอบด้วย การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และหลังการเก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจส่งผลกระทบต่อแต่ละขั้นตอนของวงจรชีวิตการผลิตข้าวแตกต่างกันไป เช่น อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าวในขั้นตอนการเตรียมดินและการปลูก ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนที่ลดลงอาจส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าวในขั้นตอนการดูแลรักษาและการเก็บเกี่ยว

ดังนั้นการศึกษารายละเอียดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ต้องเข้าใจวงจรชีวิตการผลิตข้าวและคำนึงถึงปัจจัยที่เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของข้าว อันได้แก่ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูปลูกที่ไม่เหมาะสม คือ ต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส และมากกว่า 35 องศาเซลเซียส (°C) และความต้องการน้ำในฤดูปลูกที่ไม่เหมาะสม คือน้อยกว่า 400 มิลลิเมตร และมากกว่า 1,240 มิลลิเมตร (mm) อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงบริบทของพื้นที่การปลูกที่มีผลต่อการได้รับน้ำที่เพียงพอ ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เป็นหัวใจหลักในการศึกษาในครั้งนี้ ทฤษฎีการผลิต

2.2 ทฤษฎีการผลิตและฟังก์ชันการผลิตแบบสุ่ม (Stochastic Production Function)

ทฤษฎีการผลิต เป็นสาขาหนึ่งของเศรษฐศาสตร์ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตและผลผลิต โดยปัจจัยการผลิต คือทรัพยากรต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างสินค้าและบริการ ผลผลิต คือปริมาณของสินค้าและบริการที่ได้จากการรวมกันของปัจจัยการผลิต ทฤษฎีการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การผลิตในระยะสั้น และการผลิตในระยะยาว

การผลิตในระยะสั้น หมายถึง ช่วงเวลาที่ผู้ผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณของปัจจัยการผลิตคงที่ได้ ปัจจัยการผลิตคงที่ คือปัจจัยการผลิตที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เช่น ที่ดิน อาคาร เครื่องจักร เป็นต้น ปัจจัยการผลิตแปรผัน คือปัจจัยการผลิตที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เช่น แรงงาน วัตถุดิบ เป็นต้น

การผลิตในระยะยาว หมายถึง ช่วงเวลาที่ผู้ผลิตสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณของปัจจัยการผลิตทั้งหมดได้

ฟังก์ชันการผลิต แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตที่ได้รับในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งที่กำหนดให้ฟังก์ชันการผลิตนี้จะมีทั้งการผลิตในระยะสั้นและในระยะยาว การผลิตในระยะสั้นจะมีทั้งปัจจัยผันแปรและปัจจัยคงที่ ส่วนการผลิตในระยะยาวนั้นจะมีเฉพาะปัจจัยผันแปรเท่านั้น ถ้าหากปัจจัยผันแปรนั้นมีอยู่อย่างไม่จำกัดแล้วความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเป็นไปภายใต้กฎแห่งการลดน้อยถอยลง (Law of Diminishing Return) คือ "การเพิ่มปัจจัยผันแปรจำนวนหนึ่งในขณะที่ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ ในช่วงแรกผลผลิตทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นและเมื่อถึงจุดหนึ่งผลผลิตทั้งหมดจะลดลง" ซึ่งจากกฎแห่งการลดน้อยถอยลงนี้ทำให้เราสามารถแบ่งชั้นหรือขนาดของการผลิต (Stages of Production) ซึ่งพิจารณาจากค่าความยืดหยุ่นในการผลิต (Elasticity of Production) ออกเป็น 3 ระยะ กล่าวคือ ถ้าความยืดหยุ่นในการผลิตมีค่ามากกว่าหนึ่ง เรียกว่า ผลตอบแทนเพิ่มขึ้น (Increasing Returns) ค่าความยืดหยุ่นในการผลิตเท่ากับหนึ่งเรียกว่า ผลตอบแทนคงที่ (Constant Returns) และค่าความยืดหยุ่นในการผลิตมีค่ามากกว่าศูนย์ แต่น้อยกว่าหนึ่งเรียกว่า ผลตอบแทนลดน้อยถอยลง (Decreasing Returns) Chankong (2018) ระบุว่า จุดประสงค์ในการแบ่งชั้นของการผลิตก็เพื่อให้ทราบถึงระดับของการใช้ปัจจัยว่าอยู่ในขั้นของการผลิตใด และมีการใช้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ เพื่อใช้เป็นแนวทางการตัดสินใจการผลิตเพื่อให้ได้รับผลตอบแทนหรือกำไรสูงสุด ในการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวจะต้องอยู่ภายใต้ข้อสมมติ ดังนี้

- 1) ปัจจัยการผลิตแต่ละหน่วยจะต้องมีลักษณะเหมือนกัน (Homogeneity in Input and Output)
- 2) ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตต้องกำหนดแน่นอน (Specific Length of Time Period)
- 3) เทคนิคการผลิตต้องคงที่ (Single Technique)
- 4) กระบวนการผลิตอยู่ภายใต้ความแน่นอน (Perfect Certainty)

การศึกษาฟังก์ชันการผลิต (Production function) เป็นการพรรณนาความสัมพันธ์ในเชิงเทคนิคระหว่างปัจจัยชนิดต่าง ๆ กับผลผลิต นอกจากนี้ฟังก์ชันการผลิตยังรวมไปถึงการแสดงระดับการใช้เทคโนโลยีของหน่วย หรือของระบบเศรษฐกิจทั้งระบบ ทำให้ฟังก์ชันการผลิตสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพเชิงเทคนิคหรือวิธีการในการผลิต (Method of production) เพราะวิธีการในการผลิต คือการผสมผสานของปัจจัยการผลิต ณ ระดับผลผลิตที่ต้องการของแต่ละหน่วยผลิตที่ใช้วิธีการผลิตหรือเทคนิคการผลิตที่แตกต่างกัน และจากนิยามของฟังก์ชันการผลิตข้างต้น สามารถแสดงด้วยความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (2.1)$$

โดยที่ Y หมายถึง จำนวนผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการใช้ปัจจัยการผลิตชนิดต่าง ๆ
 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ หมายถึงปัจจัยการผลิตชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตผลผลิต Y

2.2.1 ฟังก์ชันการผลิตในรูปของคอบด์กลาส (Cobb-Douglas Function)

ทฤษฎีการผลิตแบบ Cobb-Douglas เป็นทฤษฎีการผลิตที่ได้รับความนิยมมากที่สุด สมการ Cobb-Douglas แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต (Y) ปัจจัยการผลิตแบบทุน (K) ปัจจัยการผลิตแบบแรงงาน (L) และผลผลิตต่อหน่วยปัจจัยการผลิตคงที่ (A) ดังนี้

$$Y = AK^aL^b \quad (2.2)$$

โดยที่

Y คือผลผลิต

K คือปัจจัยการผลิตแบบทุน

L คือปัจจัยการผลิตแบบแรงงาน

A คือผลผลิตต่อหน่วยปัจจัยการผลิตคงที่

a และ b คือสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของผลผลิตต่อปัจจัยการผลิตแบบทุน และปัจจัยการผลิตแบบแรงงาน

สมการ Cobb-Douglas มีข้อดีคือ ง่ายต่อความเข้าใจและคำนวณ แต่มีข้อเสียคือ สมมติว่า ปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เป็นสัดส่วนกัน ซึ่งอาจไม่ถูกต้องในบางกรณี มีรายละเอียดดังนี้

1.) สมการการผลิตแบบคอบด์กลาส สามารถแสดงถึงความยืดหยุ่นของปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดได้ เพราะค่าสัมประสิทธิ์ที่กะประมาณได้ คือค่าความยืดหยุ่นของผลผลิตต่อการใช้ปัจจัยการผลิต ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้โดยตรง และเป็นประโยชน์ต่อแนวคิดที่จะปรับปรุงการผลิตให้มี

ประสิทธิภาพสูงขึ้น เพราะค่าความยืดหยุ่นของการผลิตนี้จะช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการใช้ปัจจัยการผลิตชนิดนั้น ๆ ด้วย

2.) เป็นรูปสมการที่สามารถเปลี่ยนเป็นสมการเส้นตรงในรูปล็อกการิทึม ได้ซึ่งสะดวกในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ที่ได้ง่ายและรวดเร็ว

3.) ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การผลิตของปัจจัยผันแปรอิสระ หรือผลรวมของค่าความยืดหยุ่นการผลิตของปัจจัยการผลิตทั้งหมด จะแสดงให้เห็นถึงผลตอบแทนต่อขนาดการผลิต (Returns to Scale) ซึ่งเป็นไปตามข้อสมมุติฐานทางทฤษฎีการผลิตโดยทั่วไปภายใต้ตลาดการแข่งขันที่สมบูรณ์ ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการตัดสินใจของผู้ผลิตในการขยายขนาดการผลิต และค่าความยืดหยุ่นของการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ปัจจัย หรือต่อความยืดหยุ่นการผลิต ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของปัจจัยการผลิตชนิดนั้น ๆ ด้วย โดยพิจารณาถึงผลตอบแทนต่อขนาดการผลิต (Returns to Scale)

แต่อย่างไรก็ตามฟังก์ชันการผลิตแบบคอบดักลาส ก็มีข้อจำกัดในตัวเองคือ ค่าความยืดหยุ่นของการทดแทนกัน (Elasticity of Substitution) ของปัจจัยการผลิตจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือคงที่และข้อมูลของปัจจัยผันแปรที่มีค่าเท่ากับศูนย์ไม่ได้ เนื่องจากรูปของสมการอยู่ในรูปของผลคูณ (Multiplicative) แต่ในความเป็นจริง พบว่า มีปัจจัยผันแปรบางตัวอาจมีค่าเป็นศูนย์ได้ รูปแบบของฟังก์ชันคอบดักลาสมีลักษณะดังนี้

$$Y = AX_1^{b_1}, X_2^{b_2}, \dots, X_n^{b_n} \quad (2.3)$$

ตัวแปรอิสระจะถูกแปลงเป็นค่าลอการิทึมก่อนการประมาณค่า เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้กลายค่าความยืดหยุ่นของผลผลิตต่อปัจจัยการผลิต ที่สามารถอธิบายขนาดและทิศทางของผลกระทบได้ตั้งนั้นสามารถเขียนเป็นสมการในรูปแบบ Natural Logarithms ที่แสดงถึงฟังก์ชันการผลิตในรูปแบบของคอบดักลาสได้ดังนี้

$$\ln Y = \ln A + b_1 \ln X_1 + b_2 \ln X_2 + \dots + b_n \ln X_n \quad (2.4)$$

กำหนดให้

Y = ตัวแปรตามที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟังก์ชันการผลิต

X_n = ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการผลิตตัวที่ 1 ถึง n

A = ค่าคงที่ที่ได้จากการประมาณค่าสมการ

b_n = ค่าสัมประสิทธิ์ $X \dots X$, ตามลำดับ

โดยสรุปแล้ว ทฤษฎีการผลิตแบบ Cobb-Douglas เป็นทฤษฎีการผลิตที่ได้รับความนิยมมากที่สุด สมการ Cobb-Douglas แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและปัจจัยการผลิต ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของผลผลิตต่อปัจจัยการผลิตทำให้อธิบายขนาดและทิศทางของผลกระทบได้อย่างชัดเจน โดยเพื่อใช้ง่ายต่อการประมาณค่าด้วยสถิติอนุกรมตัวแปรอิสระจะถูกแปลงเป็นค่าลอการิทึม

ฐานธรรมชาติ ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นที่ได้จะอธิบายอิทธิพลของตัวแปรอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละผลผลิต ลำดับถัดไปจะกล่าวถึง สิ่งที่ไม่ได้ถูกคำนึงถึงในผลกระทบที่ขาดหายไป ปัจจัยที่อยู่เหนือการควบคุมที่มีผลกระทบต่อผลผลิต เช่น ความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ เป็นต้น ที่ถูกพัฒนาโดย Just and Pope (1978) ฟังก์ชันการผลิตแบบสุ่ม (Stochastic Production Function)

2.2.2 ฟังก์ชันการผลิตแบบสุ่ม (Stochastic Production Function)

ทฤษฎีการผลิตแบบ Stochastic Production Function มีข้อดีคือ สามารถอธิบายผลกระทบของปัจจัยที่ไม่ควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ นโยบายภาครัฐ เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือ การคำนวณมีความซับซ้อนมากกว่า

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

โดยปกติแล้วการวิเคราะห์ข้างต้นเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โมเมนต์ที่หนึ่ง (First Moment) หากต้องการวิเคราะห์โมเมนต์ที่สูงขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิต ฟังก์ชันความเบ้ ฟังก์ชันความโด่งของผลผลิต สามารถประยุกต์แนวคิดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิตตามแบบของ Antle (1983); Antleand Havenner (1983) ได้ โดยหากความเบ้ของผลผลิต (Skewness of Production) เพิ่มขึ้น จะเป็นการลดความเสี่ยงในพื้นที่ (Downside Risk Exposure) หรือความเสี่ยงที่ผลตอบแทนจากการผลิตข้าวที่ได้รับจริง (Actual Return) จะต่ำกว่าผลตอบแทนจากการผลิตข้าวเฉลี่ย (Expected Return) เช่น ลดโอกาสของความสูญเสียของพืชผล ตามแนวคิดของ Kimand Chavas (2003), Di Falcoand Chavas (2006, 2009), และ Antle (2010)

กำหนดให้แบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต $y(x, v)$ เป็นดังสมการที่ 2.5

$$y(x, v) = f_1(x, \beta_1) + u \quad (2.5)$$

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 ฟังก์ชันเชิงโมเมนต์ที่สองและโมเมนต์ที่สูงขึ้นของ $y(x, v)$ กำหนดได้ตามสมการที่ 2.6

$$E \left\{ \frac{[y(x, v) - f_1(x, \beta_1)]^m}{x} \right\} = f_m(x, \beta_m), \text{ สำหรับ } m = 2, 3 \quad (2.6)$$

เมื่อ m คือค่าโมเมนต์ของฟังก์ชัน $y(x, v)$

วิธีการทางเศรษฐมิติสำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยและฟังก์ชันในระดับโมเมนต์ที่สูงขึ้น โดยคำนึงถึงความแตกต่างเชิงพื้นที่และเวลา คือ วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยสำหรับข้อมูลแบบพาเนล ตามแบบจำลองเชิงทฤษฎี ดังสมการที่ 2.7

$$y_{it} = f(x_{itk}, \beta_k) + u_{it} = f_1(x_{itk}, \beta_{1k}) + f_2(x_{itk}, \beta_{2k})^{\frac{1}{2}} \cdot \varepsilon_{it} \quad (2.7)$$

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

x_{itk} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรอธิบาย ในพื้นที่จังหวัดที่ 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) เมื่อ $u_{it} = \mu_i + v_{it}$ (μ_i คือค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้ในเชิงพื้นที่และ v_{it} คือค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้ในเชิงพื้นที่และเวลา)

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

$$(u_{it})^3 = f_3(x_{itk}, \beta_{3k}) + e_{it} \quad (2.8)$$

การประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ย มีวิธีการประมาณค่าที่นิยมใช้ 2 วิธี อ้างอิงใน Pakeechay (2020) คือ

- (1) วิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood estimation, MLE)
- (2) วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (a Feasible generalized least squares, FGLS)

โดยสรุปการประยุกต์ใช้แบบจำลองตามแบบของ Just and Pope (1978); Just and Pope (1979) กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic production function (SPF) ภายใต้ภาวะความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroskedastic Disturbance) สามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (a Feasible Generalized Least Squares, FGLS) ตามแนวคิดของ Saha et al. (1997) จากการศึกษาพบว่า การประมาณค่าด้วยวิธีการ FGLS มีประสิทธิภาพมากกว่าการประมาณค่าด้วยวิธีการ MLE แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการประมาณค่าแบบ MLE จะเหมาะสมกว่าในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็ก แต่ทั้งนี้การศึกษาเชิงประจักษ์ส่วนใหญ่ใช้วิธีการ FGLS

2.3 ทฤษฎีทางเศรษฐมิติและวิธีการศึกษาแบบพาแนล

การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับภาคการเกษตร จะเน้นการประเมินผลกระทบของสภาพภูมิอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิต ซึ่ง Heimfarth et al. (2010) ได้สรุปวิธีการประเมินผลกระทบดังกล่าวเป็น 3 วิธี คือ

- 1) การสร้างแบบจำลองการผลิตพืช (Crop Simulation Model) เป็นการจำลองสถานการณ์การผลิตทางการเกษตร ที่มีการประยุกต์ใช้กันแพร่หลาย เช่นการผลิตพืช โดยกำหนดปัจจัยการผลิตที่ใกล้เคียงความเป็นจริง ซึ่งใช้ข้อมูลที่จำเป็นเพื่อนำเข้าในการประเมินผลผลิตในอนาคตภายใต้สถานการณ์ที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงไปได้แก่คุณสมบัติของดินข้อมูลสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเข้มแสง สำหรับพืชเป้าหมายตลอดจนวิธีการบริหารจัดการการเพาะปลูกพืช ซึ่งเป็นวิธีหลักที่ประยุกต์กันในประเทศไทย

- 2) การวิเคราะห์แนวริคาเดียน (Ricardian Approach) เป็นการประเมินผลกระทบโดยยึดมูลค่าของที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

- 3) การวิเคราะห์เชิงสถิติหรือเศรษฐมิติ (Econometrics Approach) เป็นการนำข้อมูลจากการสังเกตเชิงประจักษ์มาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ของผลผลิตและปัจจัยการผลิตในอดีต และทำนายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในอนาคตโดยกำหนดให้สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยการผลิตร่วมกับปัจจัยการผลิตปกติ

ข้อมูลพาดเวลา (Panel Data) เป็นกลุ่มข้อมูลที่เก็บจากหน่วยของตัวอย่างชุดเดิม เช่น บุคคล ครัวเรือน หน่วยธุรกิจ หรือประเทศ โดยทำการเก็บข้อมูลซ้ำๆ หลายครั้งในแต่ละช่วงเวลาที่ยื่นแปลงไป (Baltagi, 2008) ดังนั้นข้อมูลพาดเวลาจึงมีลักษณะเป็นข้อมูลภาคตัดขวางร่วมกับข้อมูลอนุกรมเวลา (Cross Section and Time Series Data) ซึ่งจะช่วยให้สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอธิบายของหน่วยภาคตัดขวางแต่ละหน่วยในช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรของทุกหน่วยภาคตัดขวางในช่วงเวลาเดียวกันได้ (Baum, 2006)

- 1) ข้อมูลพาดเวลาจะแสดงกลุ่มข้อมูลของหน่วยบุคคล ครัวเรือน หน่วยธุรกิจ หรือประเทศในแต่ละช่วงเวลาที่ยื่นแปลงไป ข้อมูลจึงมีความแตกต่างกันในแต่ละหน่วย ซึ่งการประมาณค่าข้อมูลพาดเวลาจะพิจารณาหรือคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างหน่วยดังกล่าว
- 2) ข้อมูลพาดเวลาประกอบด้วยข้อมูลภาคตัดขวางและข้อมูลอนุกรมเวลา ดังนั้นจึงมีข้อมูลมากขึ้น ปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีน้อย และข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 3) การศึกษาหน่วยบุคคล ครัวเรือน หน่วยธุรกิจ หรือประเทศซ้ำๆ หลายครั้งในช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงแบบพหุวัตต์ได้ดีขึ้น
- 4) ข้อมูลพาดเวลาสามารถประมาณค่าและแสดงผลซึ่งไม่สามารถสังเกตได้จากใช้ข้อมูลภาคตัดขวางหรือข้อมูลอนุกรมเวลาอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว
- 5) ข้อมูลพาดเวลาสามารถใช้ทำการศึกษาแบบจำลองที่มีความซับซ้อนมาก ๆ ได้
- 6) ข้อมูลพาดเวลาเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยบุคคล ครัวเรือน หน่วยธุรกิจหรือประเทศจำนวนหลายๆ หน่วยที่แตกต่างกันทำให้ได้ข้อมูลจำนวนมากจึงทำให้ลดการเอนเอียงของผลที่จะได้

แบบจำลองการถดถอยข้อมูลพาดเวลา เขียนได้ดังนี้ (Baltagi, 2008)

$$Y_{it} = \alpha + X'_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (2.9)$$

เมื่อ i คือ ข้อมูลภาคตัดขวาง ซึ่ง $i = 1, \dots, n$

t คือ ข้อมูลอนุภาคเวลา ซึ่ง $t = 1, \dots, t$

หากจำนวนค่าสังเกตของข้อมูลพาดเวลาเท่ากับ $n \times t$

โดยที่ Y_{it} คือ เวกเตอร์ 1×1 ของตัวแปรตาม

α คือ ค่าคงที่

X'_{it} คือ เวกเตอร์ $k \times 1$ ของค่าสัมประสิทธิ์

β คือ เวกเตอร์ $k \times 1$ ของตัวแปรอธิบาย

ε_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อน

การประมาณค่าความสัมพันธ์ของแบบจำลองพหุคูณขึ้นอยู่กับข้อสมมติเบื้องต้นของค่าคงที่ (α) ค่าสัมประสิทธิ์ (β) และค่าความคลาดเคลื่อน จากสมการสมมติให้ค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์มีค่าคงที่สำหรับทุกหน่วยภาคตัดขวางและทุกช่วงเวลาที่ยกมาพิจารณาและให้ค่าความคลาดเคลื่อนของหน่วยภาคตัดขวางและช่วงเวลาที่ยกมามีค่าแตกต่างกันโดยไม่ได้ประมาณค่าความแตกต่างของหน่วยภาคตัดขวางและความแตกต่างของช่วงเวลา

การประมาณค่าความสัมพันธ์ของแบบจำลองพหุคูณที่พิจารณาแยกความแตกต่างของหน่วยภาคตัดขวางและช่วงเวลาที่ยกมา จะทำการประมาณค่าโดยแยกปัจจัยที่มากระทบต่อหน่วยภาคตัดขวางและช่วงเวลาที่ยกมา โดยข้อสมมติของค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์มีได้หลายแบบซึ่งการประมาณค่าแบบจำลองที่มีข้อสมมติของค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ต่างกันแบ่งออกเป็นการประมาณค่าแบบ Fixed Effects Model และการประมาณค่าแบบ Random Effects Model (Pakeechay, 2020)

การกำหนดแบบจำลองเชิงทฤษฎี (Theoretical Model) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าว สามารถประยุกต์แนวคิดการสร้างแบบจำลองทางเศรษฐมิติสำหรับข้อมูลแบบพหุคูณ (Dinar and Mendelsohn, 2011) Sinnarong et al. (2022) กล่าวว่า ข้อมูลแบบพหุคูณมีข้อดีในการคำนึงถึงผลกระทบของความแตกต่างเชิงพื้นที่ในจังหวัดต่างแปลงและความแตกต่างเชิงเวลาในช่วงที่ศึกษาโดยมีแบบจำลองข้อมูลพหุคูณอย่างง่าย ดังสมการที่ 2.10

$$\hat{y}_{it} = \alpha + \beta X'_{it} + u_{it} \quad (2.10)$$

โดยกำหนดแบบจำลองแบบค่าคลาดเคลื่อนทางเดียว (One-way Error Component Model) ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจะเป็นดังสมการที่ 2.11

$$u_{it} = \mu_i + v_{it} \quad (2.11)$$

โดยที่ \hat{y}_{it} คือ ผลผลิตข้าว ของจังหวัดที่ i ณ เวลา t

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

β คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์ที่ต้องประมาณค่าจากแบบจำลอง

u_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม (White Noise Residuals)

μ_i คือ ผลของความแตกต่างเชิงพื้นที่ที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ (Unobservable Individual-Specific Effect)

v_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่และเวลา (Reminder Error Terns)

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

1) การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาด (Panel Unit Root Test)

การทดสอบพาดแลยูนิตรูทเป็นการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปรต่าง ๆ ที่จะนำมาศึกษาว่ามีความนิ่งของข้อมูลหรือไม่ (มีความนิ่ง (Stationary) หรือความไม่นิ่ง (Non-Stationary) ตามแนวคิดของ Isikand Devadoss (2006) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Spurious Correlation ข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่ไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันโดยหากมียูนิรูทแสดงว่าข้อมูลมีลักษณะที่ไม่นิ่งจะต้องทำการทดสอบในระดับผลต่างที่สูงขึ้น โดยการทดสอบพาดแลยูนิตรูทของตัวแปรที่ทำการศึกษา ด้วยวิธีของ Levin, Lin & Chu (LLC) test (Levin et al., 2002) และวิธี Im-Pesaran and Shin (IPS) test (Im et al., 2003) โดยให้ค่า p-value เป็นผลรวมจากการทดสอบ PP-test ของแต่ละหน่วย I ดังสมการที่ 2.12 ต่อไปนี้

$$\Delta y_{it} = \phi y_{i,t-1} + z'_{it} \gamma_i + \sum_{j=1}^p \theta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + u_{it} \quad (2.12)$$

กำหนดให้ Δy_{it} คือ ค่า p-value ของการทดสอบ ADF ของแต่ละหน่วย i

การทดสอบพาดแลยูนิตรูทโดยใช้ PP-test ซึ่งสมมติฐานของวิธีนี้ คือ

H_0 : ข้อมูลมีคุณสมบัติเป็นลักษณะไม่นิ่ง (Non-stationary)

H_1 : ข้อมูลมีคุณสมบัติเป็นลักษณะนิ่ง (Stationary)

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

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

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

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

(2) **Fixed Effect Model** เป็นการวิเคราะห์ที่ควบคุม โดยการกำจัดอิทธิพลนี้ออกไปจากสมการไม่ให้นำมาบวกรวิเคราะห์ ด้วยวิธี demean ที่มีสมมติฐานสำคัญคือ a ต้องมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในสมการและต้องไม่สัมพันธ์กันเองหรือ $Cov(a, a) = 0$; it_j โดยวิธี demean 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

$$(\beta_{FE} - \beta_{RE})'[Var_{FE} - Var_{RE}]^{-1}(\beta_{FE} - \beta_{RE}) \quad (2.13)$$

โดยที่ β_{FE} คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์จาก Fixed Effect Model

β_{RE} คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์จาก Random Effect Model

Var_{FE} คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์จาก Fixed Effect Model

Var_{RE} คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์จาก 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_0 : ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ (Homoscedasticity)

H_1 : ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroscedasticity)

หากผลการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ Chi-Square ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต (Prob. < วิกฤต (Prob. < (α) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า สมการถดถอยมีปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroscedasticity) การตรวจสอบปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ และแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมี

ค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (a Feasible Generalized Least Squares, FGLS) ตามวิธีการศึกษาของ Sinnarong et al. (2022)

4) การทดสอบอัตสหสัมพันธ์แบบ Serial Correlation หรือ Autocorrelation

การทดสอบหาค่าอัตสหสัมพันธ์ภายในระหว่างผลผลิตและปัจจัยนำเข้าในช่วงเวลา t ใด ๆ ด้วยวิธี Wooldridge (2002) เพื่อสามารถปรับปรุงการใช้ตัวเลือก FGLS ในการลดการละเมิดเงื่อนไขสมการถดถอย (Drukker, 2003) ตามวิธีการของ Greene (2012) ดังสมการที่ 2.14 – 2.15

$$y_{it} - y_{it-1} = (X_{it} - X_{it-1})\beta_1 + \epsilon_{it} - \epsilon_{it-1} \quad (2.14)$$

$$\Delta y_{it} = \Delta X_{it}\beta_1 + \Delta \epsilon_{it} \quad (2.15)$$

โดยมีสมมติฐานหลัก

H_0 : ไม่มีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง แต่ถ้าปฏิเสธสมมติฐานหลัก

H_1 : มีอัตสหสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง

โดยสรุปแล้วการกำหนดแบบจำลองวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรอธิบายที่มีผลต่อตัวแปรตามคือผลผลิตข้าว ได้ทั้งผลผลิตเฉลี่ย ความแปรปรวนของผลผลิต ความเบ้ของผลผลิต และแก้ไขปัญหาความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ตามแนวคิดของ Justand Pope (1979) โดยดำเนินการทดสอบลักษณะการกำหนดจำเพาะแบบจำลองและผู้วิจัยได้เพิ่มการทดสอบอัตสหสัมพันธ์ เพื่อสามารถปรับปรุงการใช้ตัวเลือก FGLS ในการลดการละเมิดเงื่อนไขสมการถดถอยได้ดียิ่งขึ้น

2.4 แนวคิดการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

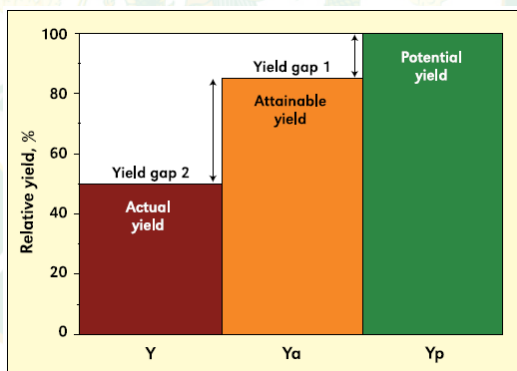
เทคโนโลยีดาวเทียมเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการทดแทนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศ ดาวเทียมสามารถถ่ายภาพพื้นผิวโลกได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมพื้นที่กว้างใหญ่ ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลสภาพอากาศที่รวบรวมได้มีความครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น การนำเสนอแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาข้อจำกัดของสถานีตรวจวัดอากาศ การใช้ข้อมูลดาวเทียมมาทดแทนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศสามารถช่วยให้เข้าถึงข้อมูลสภาพอากาศที่ครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อหลากหลายสาขาวิชา เช่น อุตุนิยมวิทยา การเกษตร ทรัพยากรน้ำ และการจัดการภัยพิบัติ อย่างไรก็ตาม การใช้ข้อมูลดาวเทียมมาทดแทนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศยังพบข้อจำกัดบางประการ เช่น ข้อมูลดาวเทียมอาจมีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากปัจจัยแวดล้อม เช่น หมอกควันหรือเมฆ และข้อมูลดาวเทียมอาจไม่สามารถระบุข้อมูลสภาพอากาศในพื้นที่เฉพาะได้ ดังนั้นการศึกษาเพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ข้อมูลดาวเทียมมาทดแทนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศจึงเป็นช่องว่างการวิจัยที่น่าสนใจ เนื่องจากจะช่วยให้สามารถเข้าถึงข้อมูลสภาพอากาศที่ครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและคาดการณ์สภาพอากาศ ตลอดจนการวางแผนและดำเนินกิจกรรมต่างๆ ที่ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ

เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคาดการณ์ระดับผลผลิตข้าวตามศักยภาพและยังสามารถประเมินความเสียหายของการเพาะปลูกจากสภาวะภัยพิบัติรุนแรงได้ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ในการผลิตเกษตรต่าง ๆ (Ali et al., 2021; Cai et al., 2019; dela Torre et al., 2021; Nazir et al., 2021; Noureldin et al., 2013; Raksapatcharawong et al., 2020; Veerakachen and Raksapatcharawong, 2020) ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการวิเคราะห์ถือได้ว่าเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลในการประมาณผลผลิตคาดการณ์จากฐานข้อมูล Google Earth Engine ร่วมกับตัวแปรพืชพรรณ NDVI กับตัวแปรพื้นที่ใบ LAI จากแบบจำลองของ Ali et al. (2021) เพื่อใช้ทดแทนข้อจำกัดของข้อมูลผลผลิตต่อไร่ของหน่วยรัฐที่ใช้ ค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่ที่ทำให้มีค่าคาดเคลื่อนหรือไม่เป็นตามข้อเท็จจริงเชิงประจักษ์

2.4.1 การคาดการณ์ระดับผลผลิตข้าวตามศักยภาพ

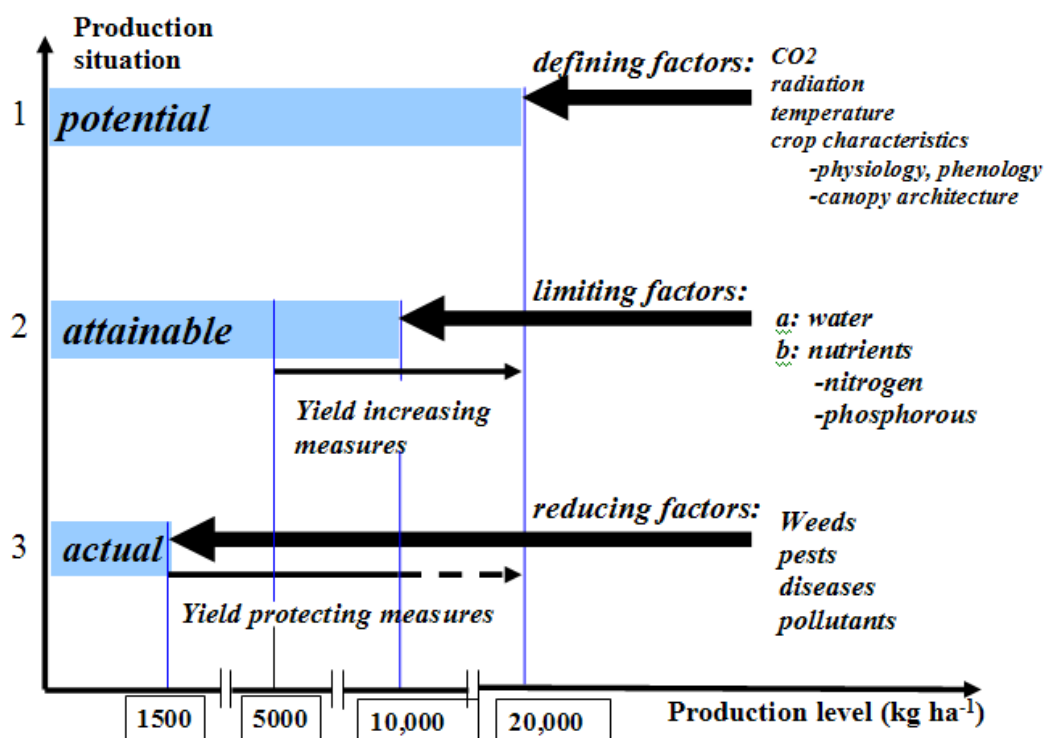
การจำลองการเจริญเติบโตของพืชเพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตของพืชนั้น นิยาม และระดับของผลผลิตพืช (Crop Yield) ได้แบ่งออกเป็นระดับต่างๆ ตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องอันส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตพืช (Rabbinge, 1993) ดังแสดงในภาพ

ภาพที่ 5 กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างผลผลิตพืชที่ระดับต่างๆ



ที่มา: Fermontand Benson (2011); อ้างใน กรมพัฒนาที่ดิน กลุ่มวินิจฉัยคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน (2565)

ภาพที่ 6 กราฟแสดงระดับการผลิตพืชตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องอันส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตพืชแต่ละระดับ



ที่มา: Reshand Cardé (2009); อ้างใน กรมพัฒนาที่ดิน กลุ่มวิจัยคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน (2565)

โดยทั่วไปการแบ่งระดับของผลผลิตพืชเพื่อให้ นักพัฒนาแบบจำลองและผู้ดำเนินงานทดลอง ในระดับกระบวนการต่าง ๆ เป็นที่เข้าใจกัน มักแบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยหลัก ได้แก่ ระดับผลผลิตตามศักยภาพ(Potential Yield) ระดับผลผลิตคาดการณ์ (Attainable Yield) และระดับผลผลิตจริง (Actual Yield) โดย Christian. et al., 2009 อ้างใน กรมพัฒนาที่ดิน กลุ่มวิจัยคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน (2565) นิยามในแต่ละระดับของผลผลิตพืชจะมีความแตกต่างกันออกไปดังนี้

ผลผลิตตามศักยภาพ (Potential Yield) เป็นผลผลิตสูงสุดทางทฤษฎีในช่วงฤดูกาลใดก็ตามซึ่งผลผลิตถูกกำหนดโดยสภาพภูมิอากาศ และพันธุกรรมพืช โดยอยู่ภายใต้สมมุติฐานของสถานการณ์ที่ไม่มีข้อจำกัดใดๆ กำหนดให้มีการให้น้ำ ธาตุอาหาร และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตอื่นๆ อย่างสมบูรณ์ และปราศจากโรคและแมลง

ผลผลิตคาดการณ์ (Attainable Yield) เป็นผลผลิตสูงสุดที่เกษตรกรควรจะได้รับ หากเกษตรกรมีการจัดการที่เหมาะสม โดยปราศจากข้อจำกัดในเรื่องโรค แมลงศัตรูพืช และข้อจำกัดอื่นๆ ที่ได้มีการจัดการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการเติบโตของพืชเรียบร้อยแล้ว แต่ยังมีปัจจัยผันแปรที่มีผล

ต่อการเจริญเติบโตในเรื่องของน้ำ และธาตุอาหารพืช ซึ่งถ้าเกษตรกรมีการจัดการพื้นที่และควบคุมปัจจัยการผลิตได้เหมาะสม เกษตรกรจะมีโอกาสได้รับผลผลิตเพิ่มขึ้นจากระดับผลผลิตจริง

ผลผลิตจริง (Actual Yield) เป็นผลผลิตระดับเกษตรกรทั่วไป ซึ่งมักต่ำกว่าระดับผลผลิตคาดการณ์เนื่องมาจากข้อจำกัดต่างๆ เช่น น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โรคพืช แมลง และมีการจัดการธาตุอาหาร ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช

2.4.2 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

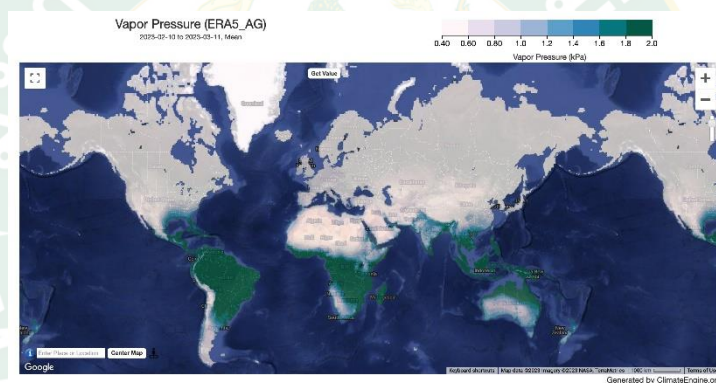
พื้นที่เพาะปลูกข้าวในประเทศไทยส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นพื้นที่ราบและพื้นที่ราบลุ่มจึงเป็นสาเหตุให้การเพาะปลูกข้าวมักจะได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติ ได้แก่ ภัยน้ำท่วม ภัยแล้ง และพายุ เพื่อที่จะประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นกับข้าว ซึ่งนอกจากปัจจัยความเสี่ยงอันเนื่องมาจากผลกระทบจากภัยธรรมชาติแล้ว ความยั่งยืนของโครงการศึกษาผลกระทบพืชผลยังอาจจะเผชิญกับปัจจัยเสี่ยงเนื่องมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น การใช้ทรัพยากรทั้งด้านเวลาและค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างมากเนื่องจากต้องใช้บุคลากรและเครื่องมือในการติดตามการเพาะปลูกในพื้นที่ที่รับศึกษาผลกระทบและการตรวจสอบความเสียหายเป็นรายแปลงเพาะปลูก นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเสี่ยงเนื่องจาก พฤติกรรมของผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ทั้งจากเกษตรกร หรือจากบริษัทผู้รับศึกษาผลกระทบ หรือจากเจ้าหน้าที่ภาครัฐ ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่เบี่ยงเบนไปจากที่พึงประสงค์ เช่น พฤติกรรมของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการประกาศพื้นที่ภัยพิบัติโดยมีเหตุจูงใจเนื่องจากผลประโยชน์จากการรับศึกษาผลกระทบหรือชดเชยความเสียหาย ก็อาจจะให้โครงการศึกษาผลกระทบไม่สามารถรองรับมูลค่าความเสียหายทั้งหมดได้ และนำไปสู่การยุติโครงการในที่สุด (Puttanapong et al., 2014)

จากปัจจัยเสี่ยงทั้งการใช้ทรัพยากรทั้งด้านเวลาและค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างมาก และปัจจัยเสี่ยงด้านพฤติกรรมของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่เบี่ยงเบนไปจากที่พึงประสงค์ รวมถึงแนวโน้มของความถี่และความรุนแรงของภัยธรรมชาติได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบและประเมินความเสียหายของการเพาะปลูกเนื่องมาจากสภาวะภัยพิบัติรุนแรง ซึ่งในกรณีของประเทศไทยนั้น ยังไม่มีการพัฒนาและศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลเพื่อประเมินความเสียหายทั้งจากกรณีของน้ำท่วมและกรณีของภัยแล้งต่อการเพาะปลูกข้าวโดยใช้ขอบเขตการศึกษาเป็นบริเวณกว้าง (Puttanapong et al., 2014) ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จะพัฒนาวิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลกับการติดตามสถานะการเพาะปลูกและประเมินผลความเสียหายของการปลูกข้าวบริเวณที่ราบลุ่มเจ้าพระยาและบริเวณทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งเป็นบริเวณที่มักจะได้รับผลกระทบจากภัยแล้งหรือน้ำท่วมเมื่อเกิดสภาวะอากาศรุนแรง

2.4.3 ฐานข้อมูลดาวเทียมวิเคราะห์ซ้ำ ERA5 Ag

ERA5 Ag เป็นชุดข้อมูลสภาพอากาศระดับนานาชาติที่พัฒนาโดยศูนย์อุตุนิยมวิทยายุโรป (ECMWF) ประกอบด้วยข้อมูลสภาพอากาศรายวันย้อนหลังไปถึงปี 1980 ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกจากดาวเทียม Sentinel-5P ของ European Space Agency (ESA) (Benso et al., 2022; Boogaard et al., 2020b) ชุดข้อมูลนี้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกและครอบคลุมข้อมูลสภาพอากาศที่สำคัญสำหรับการเกษตร เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ ERA5 Ag เป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญสำหรับงานวิจัยด้านการเกษตรหลายประเภท เช่น การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตพืช การพัฒนาพันธุ์พืชที่ทนทานต่อสภาพอากาศแปรปรวน และการประเมินความเสี่ยงภัยแล้ง

ภาพที่ 7 ภาพแผนที่ทางอากาศจาก ERA5 Ag



ที่มา (Boogaard et al., 2020a); ClimateEngine.org (2023)

โดยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นผิวรายวันตั้งแต่ พ.ศ. 2522 ถึงปัจจุบัน เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาด้านการเกษตรและนิเวศเกษตร ชุดข้อมูลนี้อิงตามข้อมูล ECMWF ERA5 รายชั่วโมงที่ระดับพื้นผิว และเรียกว่า AgeERA5 การได้มาและการประมวลผลล่วงหน้าของข้อมูล ERA5 ดังเดิมนั้นเป็นงานที่ซับซ้อนและเชี่ยวชาญเป็นพิเศษ ด้วยการจัดเตรียมชุดข้อมูล AgERA5 ผู้ใช้จะเป็นอิสระจากงานนี้ และสามารถเริ่มต้นด้วยข้อมูลที่มีความหมายสำหรับการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองได้โดยตรง ด้วยเหตุนี้ ตัวแปรที่ให้อไว้ในชุดข้อมูลนี้จึงตรงกับความต้องการอินพุตของแบบจำลองทางการเกษตรและนิเวศเกษตรส่วนใหญ่ ข้อมูลถูกรวมเข้ากับขั้นตอนเวลารายวันที่โซนเวลาท้องถิ่นและแก้ไขให้มีภูมิประเทศที่ละเอียดยิ่งขึ้นที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.1° การแก้ไขตาราง 0.1° ทำได้โดยใช้ตารางและสมการการถดถอยเฉพาะตัวแปรกับชุดข้อมูล ERA5 ที่ประมาณค่าที่ตาราง 0.1° สมการนี้ได้รับการฝึกฝนเกี่ยวกับแบบจำลองบรรยากาศความละเอียดสูง (HRES) ในการปฏิบัติงานของ ECMWF ที่ความละเอียด 0.1° วิธีนี้ทำให้ข้อมูลได้รับการปรับให้เข้ากับภูมิประเทศที่ละเอียดยิ่งขึ้น

รูปแบบการใช้ที่ดินที่ละเอียดยิ่งขึ้น และการวิเคราะห์พื้นดิน-ทะเลที่ละเอียดยิ่งขึ้นของแบบจำลอง ECMWF HRES (ClimateEngine.org, 2023) ความละเอียดเชิงพื้นที่: 9600 ม. (1/10-deg) มีตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิต่ำสุด/สูงสุด/เฉลี่ย อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาณน้ำฝน ปริมาณหิมะ ความเร็วลม ความกดอากาศ และชั่วโมงการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ลง

ข้อมูล ERA5 Ag มีประโยชน์ต่องานวิจัยการเกษตรหลายประการ ประการแรกข้อมูลสามารถใช้ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตทางการเกษตรและข้อมูลนี้มีความครอบคลุม แม่นยำสูง ประการที่สองข้อมูลสามารถใช้ในการพัฒนาโมเดลการทำนายผลผลิตทางการเกษตร อีกทั้งชุดข้อมูลนี้สามารถเข้าถึงได้ฟรี ประการที่สามข้อมูลสามารถใช้ในการประเมินความแปรปรวนของผลผลิตทางการเกษตรและชุดข้อมูลนี้ได้รับการอัปเดตปรับปรุงเป็นประจำ อันจะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับงานวิจัยด้านการเกษตร การใช้ข้อมูล ERA5 Ag จะช่วยให้นักวิจัยสามารถเข้าใจผลกระทบของสภาพอากาศต่อการเกษตรได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น การใช้ข้อมูลดาวเทียมมาทดแทนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศสามารถช่วยให้เข้าถึงข้อมูลสภาพอากาศที่ครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแนวทางการปรับตัวและลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตอาหาร โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูล ERA5 Ag ที่เผยแพร่ในเว็บไซต์ของ ClimateEngine.org (2023) ที่ประมวลผลผ่าน Google Earth Engine

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับศึกษาผลกระทบตัวแปรสภาพอากาศที่เกี่ยวกับการผลิตข้าว และพืชอื่น ๆ ใกล้เคียง อันได้แก่ ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ เพื่อครอบคลุมวัตถุประสงค์และวิธีการศึกษาจึงได้ทบทวนงานในประเด็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.6.1 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับประเภทความเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อผลผลิตข้าว

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 พบว่า ประเภทความเสียหายของกรมธรรม์ศึกษาผลกระทบตัวแปรสภาพอากาศในข้าว นิยมประกันความเสียหายจากภัยแล้ง (Drought) มากที่สุด (Hohl et al., 2021; Kusuma et al., 2018; Valverde-Arias et al., 2019) แต่มีการศึกษาในจีนที่นิยมประกันความเสียหายภัยแล้งร่วมกับตัวแปรอื่น ๆ เช่น ภัยแล้งกับคลื่นความร้อน (Drought and Heat) (Ender and Zhang, 2015) ภัยแล้งกับสภาวะน้ำค้างแข็ง (Drought and Frost) (Wu and Guo, 2019) ภัยแล้งและปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไป (Drought and Excessive Rainfall) (Zhang et al., 2020) ความแปรปรวนของสภาพอากาศ (Weather Variability) (Shi and Jiang, 2016) หรือความเสียหายจากแปรปรวนอย่างสุดโต่งของอุณหภูมิความร้อนและสภาวะน้ำค้างแข็ง (Heat and Frost) (Zhang et al., 2017) ไม่เพียงแต่อุณหภูมิเท่านั้นยังมี

การศึกษารับศึกษาผลกระทบความเสียหายจากน้ำท่วม (Drought and Flood) ในกลุ่มประเทศเขตร้อน เช่น เอกวาดอร์ (Valverde-Arias et al., 2019; Valverde-Arias et al., 2020) เขตอนุภูมิภาคซาเฮลแอฟริกาตะวันตก (West African Sahel) (Siebert, 2016) แต่ในอินโดนีเซียรับประกันความเสียหายจากภัยแล้ง (Drought) เท่านั้น (Hohl et al., 2021; Kusuma et al., 2018) ต่อมาการรับประกันความเสียหายในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีความต้องการสภาพอุณหภูมิคล้ายกับข้าวยังนิยมประกันความเสียหายจากภัยแล้ง (Drought) มากที่สุด (Bokusheva, 2018; Enenkel et al., 2018; Makaudze and Miranda, 2010; Pelka et al., 2014; Ruiz et al., 2015) และศึกษาร่วมกับตัวแปรอื่น ๆ เช่น ภัยแล้งและปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไป (Drought and Excessive Rainfall) (Zhang et al., 2020) ภัยแล้งกับคลื่นความร้อน (Drought and Heat) (Biffis and Chavez, 2017; Prokopchuk et al., 2020) หรือแบบสุดโต่งความร้อนและสภาวะน้ำค้างแข็ง (Heat and Frost) (Zhang et al., 2017) ถัดมาประกันในข้าวสาลีที่เป็นพืชไร่และความต้องการใกล้เคียงกับข้าว นิยมประกันความเสียหายจากภัยแล้ง (Drought) มากที่สุด (Adeyinka et al., 2016; Bokusheva et al., 2016; Bucheli et al., 2021; Conradt et al., 2015; Dalhaus and Finger, 2016; Dalhaus et al., 2018; Doms et al., 2018; Erec Heimfarth et al., 2012; Erec Heimfarth and Musshoff, 2011; Möllmann et al., 2019; Musshoff et al., 2011; Odening et al., 2007; Pelka and Musshoff, 2013; Ruiz et al., 2015; Spörri et al., 2015; Turvey and McLaurin, 2012; Williams and Travis, 2019; Woodard and Garcia, 2008) รองลงมาภัยแล้งกับคลื่นความร้อน (Drought and Heat) (Belasco et al., 2020; Ender and Zhang, 2015; Prokopchuk et al., 2018) และสุดท้ายข้าวบาร์เลย์ที่มีการรับประกันความเสียหาย ได้แก่ ความเสียหายจากภัยแล้ง (Drought) (Juárez-Torres et al., 2017) ภัยแล้งและปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไป (Drought and Excessive Rainfall) (Kapsambelis et al., 2019) และสุดท้ายความเสียหายจากความร้อน (Heat) (Spicka and Hnilica, 2013) โดยสรุปแล้วประเภทความเสียหายของกรมธรรม์ศึกษาผลกระทบตัวแปรสภาพอากาศในข้าวและพืชไร่ใกล้เคียงนิยมประกันความเสียหายจากภัยแล้ง (Drought) มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงบริบทของภูมิสภาพอากาศของพื้นที่ตั้งที่เห็นในประเทศเขตร้อนขึ้นที่มักันทำศึกษาผลกระทบความเสียหายจากน้ำท่วม หรือมีปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไปที่ทำให้ผลผลิตเสียหายได้ ดังนั้นในกรณีของประเทศไทยควรที่คำนึงถึงภัยแล้ง ปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไปจากปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนจนมีอุทกภัยตามมาอย่างเฉียบพลัน

2.6.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรสภาพอากาศที่ใช้ในแบบจำลองประมาณการผลิต

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ในกลุ่มตัวแปรตามปริมาณน้ำฝนเป็นที่แพร่หลายมากที่สุด และมีการใช้ในแบบค่าเฉลี่ยน้ำฝน ปริมาณน้ำฝนสะสม ปริมาณน้ำฝนส่วนเกินและปริมาณน้ำฝนขาดช่วง ในจำนวนนี้ ปริมาณฝนสะสมเป็นสิ่งที่พบได้บ่อยที่สุด อีกทั้งสำหรับตัวแปรตามอุณหภูมิ ค่าที่ใช้บ่อยคือค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ อุณหภูมิต่ำสุด หรืออุณหภูมิสูงสุด ดังนั้นปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการแปรผันของผลผลิต (Vedenov and Barnett, 2004) ตัวแปรปริมาณน้ำฝนอาจแสดงถึงเหตุการณ์ที่ทำให้ผลผลิตต่ำอย่างมีนัยสำคัญซึ่งเกิดจากการเกิดเหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรง เนื่องจากค่าเหล่านี้สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในรูปแบบการขาดช่วงหรือมากเกินไปซึ่งจะสัมพันธ์กันอย่างดีกับผลผลิตต่ำ เช่นเดียวกับอุณหภูมิเป็นค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ยิ่งไปกว่านั้น ความเรียบง่ายยังเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและการตลาดของผลิตภัณฑ์ศึกษาผลกระทบต่อผู้ซื้อที่มีศักยภาพ (Williams and Travis, 2019) ในการทบทวนตัวแปรสภาพอากาศครั้งนี้ ผู้วิจัยจะเน้นงานที่เกี่ยวกับข้าวเป็นหลัก พบว่า มีการใช้ตัวแปรพรรณพืช (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)¹ มากที่สุด (Siebert, 2016; Valverde-Arias et al., 2019; Valverde-Arias et al., 2020) รองลงมาคือ ปริมาณน้ำฝนสะสม (Shi and Jiang, 2016; Siebert, 2016) ค่าอุณหภูมิสะสม (Cumulative Growing degree days: GDD) และค่าองศาความเย็น (Cooling Degree Days: CDD) (Ender and Zhang, 2015; Zhang et al., 2017) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (Shi and Jiang, 2016; Zhang et al., 2020) ตัวแปรการผันแปรของระบบอากาศทางซีกโลกใต้ (El Niño Southern Oscillation (ENSO) indices) (Kusuma et al., 2018; Siebert, 2016) และตัวแปรอื่น ๆ อย่างละหนึ่ง เช่น กลุ่มตัวแปรตามปริมาณน้ำฝน (Rainfall-based indices) ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนขาดช่วง (Rainfall deficit) ปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไป (Excessive rainfall) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Average rainfall) (Siebert, 2016) กลุ่มตัวแปรตามอุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุดต่ำสุด (Minima and maxima temperature) (Wu and Guo, 2019) อุณหภูมิเฉลี่ยสะสม (Average cumulative temperature) (Shi and Jiang, 2016) กลุ่มตัวแปรตามวันองศา (Degree days-based indices) ได้แก่ ค่าองศาความร้อน (Heating Degree Days: HDD) (Zhang et al., 2017) กลุ่มตัวแปรชั่วโมงแสงแดด ได้แก่ ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ย (Average sunshine hours) (Shi and Jiang, 2016) กลุ่มตัวแปรอุตุนิยมวิทยาภัยแล้ง (Meteorological drought indices) ได้แก่ ตัวแปรหยาดน้ำฟ้ามาตรฐาน

¹ เป็นค่าที่บอกลถึงความหนาแน่นของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว โดยคำนวณจากการนำค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิว ระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (Near-infrared radiation) กับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (Red) มาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่น ทำให้ค่า NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งหากมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึงมีพืชพรรณใบเขียวหนาแน่นมากในพื้นที่ดังกล่าว [ค่าตัวแปรพรรณพืช \(tcncclimate.com\)](http://tcncclimate.com)

(Standardized Precipitation Index: SPI) ตัวแปรการคายน้ำฝนตามมาตรฐาน (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index: SPEI) (Hohl et al., 2021) ตัวแปรความรุนแรงของภัยแล้ง (Palmer Severity Drought Index: PDSI) (Kusuma et al., 2018) ชุดทำยกลุ่มตัวแปรภัยแล้งและน้ำท่วมทางอุทกวิทยา (Hydrological drought and flood indices) ได้แก่ ตัวแปรการไหลของน้ำท่า (Streamflow index) (Siebert, 2016) ดังสรุปในตาราง

ตารางที่ 2 ประเภทตัวแปรที่ปรากฏในการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรสภาพอากาศข้าว

ประเภทตัวแปร	(Ender and Zhang, 2015)	(Siebert, 2016)	(Shi and Jiang, 2016)	(Zhang et al., 2017)	(Kusuma et al., 2018)	(Wu and Guo, 2019)	(Valverde-Arias et al., 2019)	(Zhang et al., 2020)	(Valverde-Arias et al., 2020)	(Hohl et al., 2021)	(Sinnarong et al., 2022)
Meteorological indices											
<i>Rainfall-based indices</i>											
- Cumulative rainfall		✓	✓								
- Rainfall deficit		✓									
- Excessive rainfall		✓									
- Average rainfall		✓									
- Rainfall Variance											✓
<i>Temperature-based indices</i>											
- Average temperature											
- Minima and maxima temperature						✓					
- Average cumulative temperature			✓								
- Temperature Variance											✓
<i>Degree days-based indices</i>											
- Cumulative Growing degree days (GDD)	✓			✓							

2.6.3 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศต่อผลผลิตคาดการณ์

จากการทบทวนวรรณกรรมจะแบ่งวิธีการประเมินตัวแปรสภาพอากาศที่มีผลกระทบต่อผลผลิตคาดการณ์ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ วิธีทางสถิติ (Statistical method) วิธีทางเศรษฐมิติ (Econometric method) และวิธีการเรียนรู้ของเครื่องแบบจำลองการผลิต (Crop modelling Machine Learning)

วิธีทางสถิติที่หาความสัมพันธ์ความน่าจะเป็นต่อผลผลิตคาดการณ์นั้น สามารถจำแนกได้ 4 กลุ่มย่อย ได้แก่ สมการถดถอย (Regression) ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ทฤษฎีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบคอปูลาส (Copulas)² และการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability distribution) ในจำนวนกลุ่มสมการถดถอย (Regression) เป็นที่นิยมในการใช้ศึกษาผลกระทบตัวแปรสภาพอากาศต่อผลผลิตคาดการณ์มากที่สุด (Adeyinka et al., 2016; Baškot and Stanić, 2020; Belasco et al., 2020; Biffis and Chavez, 2017; Black et al., 2016; Bokusheva, 2018; Conradt et al., 2015; Dalhaus and Finger, 2016; Dalhaus et al., 2018; Díaz Nieto et al., 2012; Doms et al., 2018; Ender and Zhang, 2015; Enenkel et al., 2018; Hohl et al., 2021; Kath et al., 2018; Kath et al., 2019; Kusuma et al., 2018; Martínez Salgueiro, 2019; Möllmann et al., 2019; Mortensen and Block, 2018; Pelka and Musshoff, 2013; Pietola et al., 2011; Prokopchuk et al., 2018; Shi and Jiang, 2016; Shirsath et al., 2019; Spicka and Hnilica, 2013; Spörri et al., 2015; Woodard and Garcia, 2008; Wu and Guo, 2019; Zhang et al., 2020; Zhou et al., 2018) รองลงมา คือ การถดถอยแบบควอนไทล์ (Quantile Regression; QR) (Adeyinka et al., 2016; Bucheli et al., 2021; Conradt et al., 2015; Dalhaus and Finger, 2016; Kath et al., 2018; Kath et al., 2019; Möllmann et al., 2019; Spörri et al., 2015) เนื่องจากมีความแกร่งต่อการทดสอบข้อมูลมากกว่าสมการถดถอย และรองลงมาเป็นลำดับสาม คือ การวิเคราะห์การถดถอยแบบกลุ่มพหุแนล (Panel Regression Analysis) (Adeyinka et al., 2016; Belasco et al., 2020; Bokusheva et al., 2016; Möllmann et al., 2019) รองลงมาเป็นลำดับสี่ สมการถดถอยประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares Regression: OLS) (Adeyinka et al., 2016; Conradt et al., 2015) กับแบบจำลองเพิ่มทั่วไป (Generalized Additive Regression Model; GAM) (Biffis and Chavez, 2017; Kath et al., 2018) และสุดท้าย ได้แก่ สมการถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักทางภูมิศาสตร์ (Geographically

² คือ ฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสมมาตรบนช่วง $[0,1]$ นั่นคือเราสามารถบอกความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มได้โดยไม่ต้องพิจารณาการแจกแจงมาร์จินัล [คอปูลา Boymath7 \(wordpress.com\)](http://Boymath7.wordpress.com)

Weighted Regression; GWR) (Kusuma et al., 2018) กับสมการถดถอยแบบโลจิท (Logit Regression) (Enekel et al., 2018) โดยในกลุ่มค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) (Bokusheva et al., 2016; Möllmann et al., 2019; Prokopchuk et al., 2020; Williams and Travis, 2019; Xiao and Yao, 2019) ที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับผลผลิตคาดการณ์ และมีการทดสอบด้วยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเพียร์สันและลำดับชั้นสเปียร์แมน (Pearson and Spearman-rank correlation) (Blakeley et al., 2020; Bobojonov et al., 2014; Chen et al., 2017; Enekel et al., 2019; Erec Heimfarth et al., 2012; Erec Heimfarth and Musshoff, 2011; Makaudze and Miranda, 2010; Martínez Salgueiro, 2019; Pelka and Musshoff, 2013; Pelka et al., 2014; Ruiz et al., 2015; Siebert, 2016; Spicka and Hnilica, 2013; Turvey, 2001; Weber et al., 2015; Zhang et al., 2017) เพียร์สันจะใช้ทดสอบตัวแปรที่มีการกระจายแบบปกติ ในขณะที่ลำดับชั้นสเปียร์แมนจะใช้กับตัวแปรที่มีการกระจายแบบไม่ปกติ

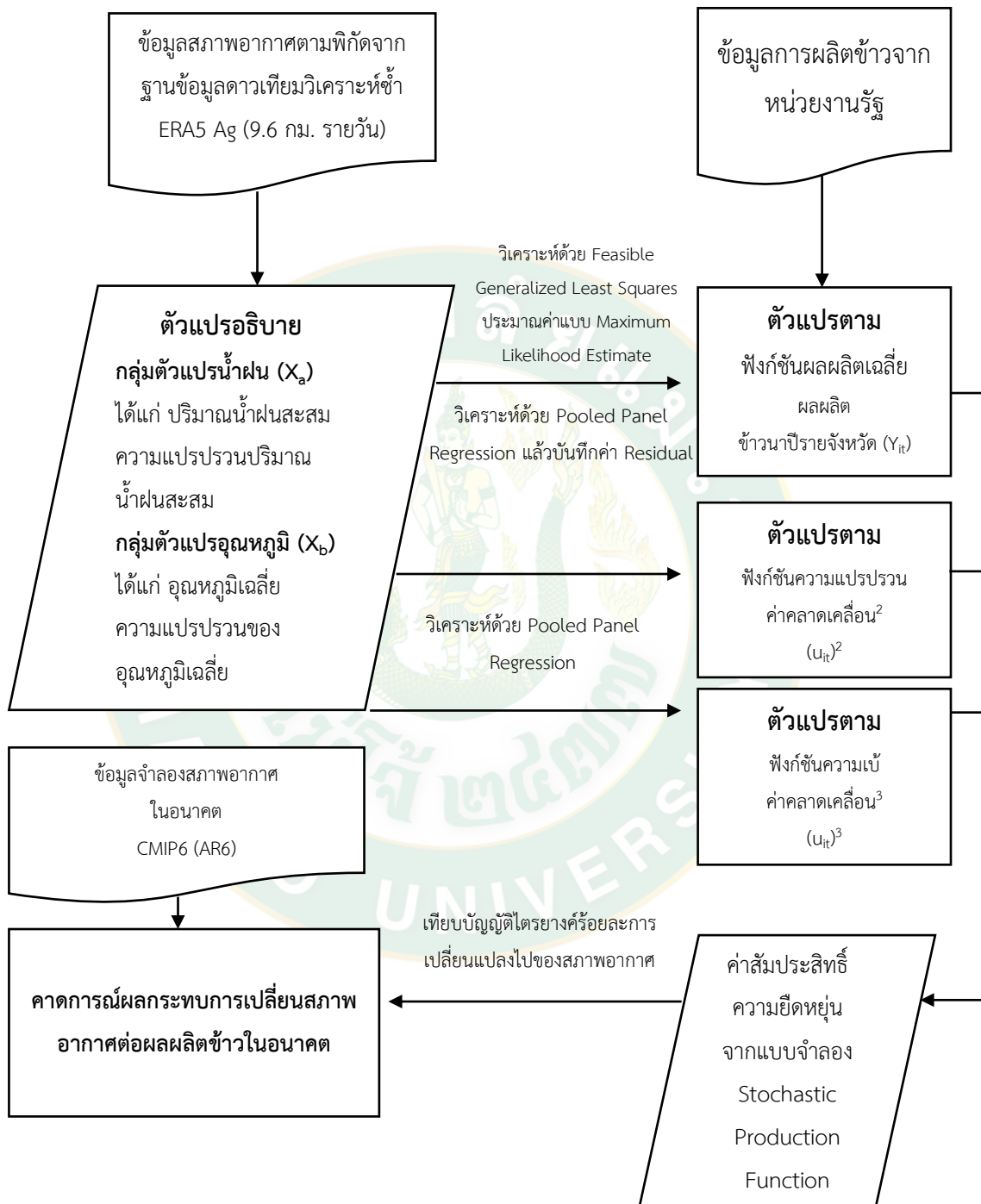
โดยวิธีทางเศรษฐมิติ (Econometric method) (Juárez-Torres et al., 2017) ที่ใช้ประเมินตัวแปรสภาพอากาศที่มีผลกระทบต่อผลผลิตคาดการณ์ที่ใช้กันมากที่สุดคือ ฟังก์ชันการผลิต (Production Function) (Musshoff et al., 2011; Odening et al., 2007; Turvey, 2001; Turvey and McLaurin, 2012) รองลงมา ได้แก่ ฟังก์ชันการผลิตแบบ Cobb-Douglas (Turvey, 2001) ฟังก์ชันการผลิตแบบกำลังสอง (Quadratic Production Function) (Juárez-Torres et al., 2017; Turvey and McLaurin, 2012) ฟังก์ชันการผลิตแบบลิมิตเด็งเงิน (Leontief) (Musshoff et al., 2011) และสุดท้าย แบบจำลองเศรษฐมิติ รูปแบบฟังก์ชัน Quadratic (Turvey and McLaurin, 2012) และรูปแบบฟังก์ชัน Log-Log (Sinnarong et al., 2022) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลผลิต

วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต	(Turvey, 2001)	(Vedenov and Barnett,	(Odening et al., 2007)	(Erec Heimfarth and	(Musshoff et al., 2011)	(Turvey and Mclaurin,	(Juárez-Torres et al.,	(Sinnarong et al., 2022)
Econometric methods								
<i>Production functions</i>	✓		✓		✓	✓		✓
- Cobb – Douglas	✓							
- Quadratic						✓	✓	
- Logarithmic								
- Linear-Limitational (Leontief)				✓				
<i>Econometric model</i>							✓	
- Quadratic		✓						
- Log-Log								✓

โดยสรุปแล้ว จากการทบทวนวรรณกรรม ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้ตัวแปรตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ อันได้แก่ ตัวแปรกลุ่มอุณหภูมิ ซึ่งในที่นี้จะใช้อุณหภูมิเฉลี่ย เนื่องจากตัวแปรดังกล่าวได้รวมอิทธิพลของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดไว้ในค่าอุณหภูมิเฉลี่ยไว้แล้ว และตัวแปรกลุ่มน้ำฝน ในที่นี้จะใช้ปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูการผลิต เพื่อศึกษาการได้รับปริมาณของแต่ละพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้ในการเติบโตของข้าวเป็นอย่างไรบ้าง และใช้ฟังก์ชันการผลิต Cobb – Douglas เพื่อเป็นตัวแทนการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นเพื่ออธิบายผลกระทบ ทิศทาง และใช้ตัวแบบ Stochastic Production Function เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทั้งสามกรณี ได้แก่ ผลผลิตเฉลี่ย ความแปรปรวนผลผลิตเฉลี่ย และความเบ้ของผลผลิตเฉลี่ย ด้วยวิธี FGLS ที่ประมาณค่าด้วยวิธี MLE ดังนั้นสรุปได้ในรอบการวิจัยของการศึกษาที่จะแสดงต่อไปนี้ เพื่อนำไปสู่ระเบียบวิธีวิจัยต่อไป

2.7. กรอบแนวคิดการวิจัย



บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาเรื่อง “ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล” ในบทนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการวิจัยที่ใช้ในการตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การศึกษาที่ใช้ฟังก์ชันการผลิตสุ่ม (Stochastic Production Function) ที่พัฒนาโดย Just and Pope (1978) ร่วมกับทฤษฎีฟังก์ชันการผลิตของ Cobb-Douglas เพื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นในการอธิบายผลกระทบ และใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Feasible Generalized Least Squares (FGLS) ใช้การประมาณค่า Maximum Likelihood Estimation จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของตัวแปรสภาพอากาศจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคตด้วยวิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์ร้อยละการเปลี่ยนแปลง ดังกรอบแนวคิดการวิจัยที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ศึกษา

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์เหล่านี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมชุดข้อมูลที่ครอบคลุมซึ่งประกอบด้วยตัวแปรสภาพภูมิอากาศ และข้อมูลการผลิตข้าว และตัวแปรทางเศรษฐกิจและการเกษตรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในช่วงเวลาที่ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) ข้อมูลการผลิตข้าวในระดับจังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 20 จังหวัด จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2565a, 2565b)

(2) ข้อมูลตัวแปรสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ในอดีต โดยใช้ชุดข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ตั้งแต่ปี 2002-2020 ของ ERA5 Ag 9.6 km รายวัน (Boogaard et al., 2020a) และข้อมูลสภาพอากาศในอนาคตจากการ ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณหยาดน้ำฟ้าหรือปริมาณน้ำฝน

(3) ข้อมูลจำลองสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ในอนาคต โดยใช้ชุดข้อมูลการจำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากการวิเคราะห์สมมติเหตุการณ์ของ CMIP6 เผยแพร่โดย World Bank (2022) AR6 ที่เป็นข้อมูลคาดการณ์สภาพอากาศตามสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันเป็นประโยชน์ในการศึกษาผลกระทบสภาพอากาศที่เกิดขึ้น Sinnarong (2023) ได้นิยามชื่อภาษาไทยว่า “ตามเส้นทางการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมแบบร่วมแบ่งปัน (Shared

Socioeconomic Pathway, SSP)” แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามข้อสมมุติฐานการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม การลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึงการควบคุมมลพิษทางอากาศ ได้แก่ SSP1-1.9 SSP1-2.6 SSP2-4.5 SSP3-7.0 และ SSP5-8.5 ในการนี้ผู้วิจัยได้ใช้ SSP1-1.9 เป็นระดับที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นลบ SSP2-4.5 เป็นระดับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับปานกลาง โดยที่ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยังคงอยู่ในระดับปัจจุบัน และ SSP5-8.5 เป็น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง โดยระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ระหว่างปี ค.ศ. 2050-2100 เป็นตัวแทนของเหตุการณ์ในอนาคต ณ ปี 2030 – 2050 ที่เป็นปี หมายความว่า การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Net zero) และใช้ข้อมูลสภาพอากาศในอดีตเป็นตัวเทียบและปรับให้มีความสอดคล้องกันโดยตั้งข้อสมมุติฐาน (Assumption) ว่าผลจากแบบจำลองภูมิอากาศนั้นเป็นข้อมูลที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงสัมพัทธ์เมื่อเปรียบเทียบผลของแบบจำลองที่ทำการจำลองสภาพอากาศในอดีตและการจำลองสภาพอากาศในอนาคตโดยถือว่า การเปลี่ยนแปลงในอนาคตจะเป็นการเปลี่ยนแปลงไปจากภูมิอากาศที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

3.2 กลุ่มประชากรหน่วยการวิเคราะห์

หน่วยการวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้กลุ่มประชากร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 19 จังหวัด ได้แก่ เลย หนองบัวลำภู อุดรธานี หนองคาย สกลนคร นครพนม มุกดาหาร ยโสธร อำนาจเจริญ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ สุรินทร์ บุรีรัมย์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา ข้อมูลรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2564 รวม 19 ปี โดยในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้พิจารณาจัดบางจังหวัดออก เนื่องจากบางจังหวัดเป็นจังหวัดตั้งใหม่ เป็นผลให้ข้อมูลไม่ครบถ้วน เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลตามคุณลักษณะข้อมูลแบบพาแนล ได้แก่ บึงกาฬ เนื่องจากเป็นจังหวัดที่ก่อตั้งเมื่อปี 2555 ข้อมูลจึงไม่ครบ

3.3 แบบจำลองเชิงประจักษ์ (Model Framework)

3.3.1 กรอบทฤษฎี: ฟังก์ชันการผลิตของคอปป์-ดักลาส (Cobb-Douglas)

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ฟังก์ชันการผลิตของ Cobb-Douglas เป็นพื้นฐานทางทฤษฎีสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าว เพื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นในการอธิบายขนาดและทิศทางผลกระทบที่คำนึงถึงอิทธิพลของพื้นที่ (i) และช่วงเวลา (t) ฟังก์ชันการผลิตสามารถเขียนได้ดังนี้

$$Y_{it} = A_{it} \cdot L_{it}^{\alpha} \cdot K_{it}^{\beta} \cdot E_{it}^{\gamma} \cdot T_{it}^{\delta} \cdot Z_{it}^{\theta} \cdot \varepsilon_{it} \quad (3.1)$$

โดยที่

- Y_{it} หมายถึง ผลผลิตข้าวในแต่ละพื้นที่ในช่วงเวลาหนึ่ง
- A_{it} หมายถึง ค่าคงที่ที่ได้จากการประมาณค่าสมการ
- L_{it} หมายถึง ปัจจัยการผลิตด้านแรงงาน
- K_{it} หมายถึง ปัจจัยการผลิตด้านเงินทุน
- E_{it} หมายถึง ปัจจัยการผลิตด้านที่ดิน เช่น พื้นที่ที่ปลูกข้าว
- T_{it} หมายถึง ปัจจัยการผลิตด้านเทคโนโลยี โดยการใช้การเปลี่ยนแปลงของเวลาเป็นตัวแทน
- Z_{it} หมายถึง ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตที่อยู่เหนือการควบคุม เช่น ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ

สภาพภูมิอากาศ

- ε_{it} หมายถึง ค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่า
- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ และ θ หมายถึง สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของผลผลิตต่อปัจจัยการผลิต
- ตัวแปรอิสระจะถูกแปลงเป็นค่าลอการิทึมก่อนการประมาณค่า เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้กลายเป็นค่าความยืดหยุ่นของผลผลิตต่อปัจจัยการผลิต สามารถเขียนเป็นสมการในรูปแบบ Natural Logarithms ที่แสดงถึงฟังก์ชันการผลิตในรูปแบบของคอบด์ักลาสได้ดังนี้

$$\ln Y_{it} = \ln A_{it} \cdot \ln L_{it}^{\alpha} \cdot \ln K_{it}^{\beta} \cdot \ln E_{it}^{\gamma} \cdot \ln T_{it}^{\delta} \cdot \ln Z_{it}^{\theta} \cdot \ln \varepsilon_{it} \quad (3.2)$$

ในการศึกษาครั้งนี้ด้วยข้อจำกัดของข้อมูลจะพิจารณาเฉพาะตัวแปรปัจจัยที่ดินพื้นที่ปลูกปัจจัยเทคโนโลยี ปัจจัยสภาพภูมิอากาศ โดยสมมติให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\ln Y_{it} = \ln A_{it} \cdot \ln E_{it}^{\gamma} \cdot \ln T_{it}^{\delta} \cdot \ln Z_{it}^{\theta} \cdot \ln \varepsilon_{it} \quad (3.3)$$

$$\ln Y_{it} = \ln A_{it} + \gamma \cdot \ln E_{it} + \delta \cdot \ln T_{it} + \theta \cdot \ln Z_{it} + \ln \varepsilon_{it} \quad (3.4)$$

3.3.2 ฟังก์ชันการผลิตสุ่ม Stochastic Production Function

ผู้วิจัยได้รวมองค์ประกอบที่อยู่เหนือการควบคุมเข้ากับฟังก์ชันการผลิต Cobb-Douglas โดยใช้ฟังก์ชันการผลิต Stochastic โดย Just and Pope (1978) สิ่งนี้ช่วยให้สามารถคำนึงถึงความไม่แน่นอนและความแปรปรวนที่มีอยู่ในกระบวนการผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ย ฟังก์ชันความแปรปรวน และฟังก์ชันความเบ้ โดยรายละเอียดดังนี้

3.3.2.1 การประมาณค่าแบบจำลองการผลิตเฉลี่ย (Mean Production Model)

แบบจำลองผลผลิตเฉลี่ยหรือฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function สามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธีความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation, MLE) แบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (A Feasible Generalized Least Squares, FGLS) ภายใต้ภาวะความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ ตามแนวคิดของ Just and Pope (1978); Justand Pope (1979), Saha et al. (1997) และ Cabas et al. (2010)

$$y_i = f(x_i, \beta) + g(z_i, \alpha)\varepsilon_i \quad (3.5)$$

เมื่อ y_i คือ ผลผลิต (Output) x_i และ z_i เป็น ทิศทางของปัจจัยการผลิต โดยที่ β และ α เป็นค่าพารามิเตอร์ทิศทาง และ ε_i คือ การกระจายตัวแปรสุ่ม สามารถกำหนดแบบจำลองเชิงประจักษ์สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ยได้ ดังนี้

สมการที่ 3.6 ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวนาปี

$$\ln Y_{it} = \ln \alpha_0 + \beta_{pa} \ln TotalArea_{it} + \beta_{pt} \ln Time_{it} + \beta_{c1} \ln Rain_{it} + \beta_{c1} \ln Variance Rain_{it} + \beta_{c3} \ln MeanTemp_{it} + \beta_{c4} \ln Variance MeanTemp_{it} \quad (3.6)$$

โดยที่ $\ln Y_{it}$ คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวของพื้นที่ (ตัน)

$\ln \alpha_0$ คือ ค่าคงที่

β_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของตัวแปรปัจจัยการผลิต

$\ln TotalArea$ คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เพาะปลูก (ไร่)

$\ln Time$ คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแนวโน้มเวลา ซึ่งเป็นตัวแทนของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร เช่น การพัฒนาสายพันธุ์ข้าว การปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตและการจัดการฟาร์ม ในช่วงเวลาที่ศึกษา

$\ln Rain$ คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนสะสม (มิลลิเมตร)

$\ln Variance Rain$ คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ในฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อวัดอิทธิพลของความผิดปกติของสภาพ

$\ln MeanTemp$	คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูก (องศาเซลเซียส)
$\ln Variance MeanTemp$	คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของความแปรปรวนของอุณหภูมิ ในฤดูกาลเพาะปลูกเพื่อวัดอิทธิพลของความผิดปกติของสภาพอากาศ
i และ t	คือ พื้นที่ปลูกข้าวจังหวัดที่ i ณ ช่วงเวลา t

สมการที่ 3.7 ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวนาปีแบ่งตามเขตชลประทาน

$$\ln IrrigatedY_{it} = \ln \alpha_0 + \beta_{pa} \ln IrrigatedArea_{it} + \beta_{pt} \ln Time_{it} + \beta_{c1} \ln Rain_{it} + \beta_{c1} \ln Variance Rain_{it} + \beta_{c3} RainOver_{it} + \beta_{c4} \ln MeanTemp_{it} + \beta_{c5} \ln Variance MeanTemp_{it} \quad (3.7)$$

โดยที่ $\ln IrrigatedY_{it}$ คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาปีจังหวัดตามการแบ่งเขตชลประทาน i ณ ปีที่ t (ตัน)

$\ln IrrigatedArea_{it}$ คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ปลูกข้าวนาปีจังหวัดตามการแบ่งเขตชลประทาน i ณ ปีที่ t (ไร่)

$RainOver_{it}$ คือ ตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการ (มากกว่า 1,290 มิลลิเมตร เท่ากับ 1 หรือน้อยกว่า 1,290 มิลลิเมตร เท่ากับ 0)

3.2.2 การประมาณค่าแบบจำลองความแปรปรวนของผลผลิต (Variance Production Model)

การประมาณค่าแบบจำลองเพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของผลผลิตสามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) เป็นตัวประมาณค่าของ u_{it} ตามแนวคิดของ Traxler et al. (1995), Shankar et al. (2007) และ Sinnarong et al. (2022) การประมาณค่าฟังก์ชัน u_{it}^2 กับตัวแปรอธิบายลักษณะเดียวกับสมการ คือการประมาณค่าฟังก์ชัน $f_2(x_{itk}, \beta_{2k})$

$$y_{it} = f(x_{itk}, \beta_k) + u_{it} = f_1(x_{itk}, \beta_{1k}) + f_2(x_{itk}, \beta_{2k})^{\frac{1}{2}} \cdot \varepsilon_{it} \quad (3.8)$$

โดยที่ y_{it} คือ ผลผลิตข้าว ในพื้นที่จังหวัดที่ i ณ ช่วงเวลา t
 x_{itk} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรอธิบาย ในพื้นที่จังหวัดที่ 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) เมื่อ $u_{it} = \mu_i + v_{it}$ (μ_i คือค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้ในเชิงพื้นที่และ v_{it} คือค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกตได้ในเชิงพื้นที่และเวลา)

โดยสมมุติให้ $f_2(\cdot)$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง คือ $E(u_{it}^2) = (x_{itk}, \beta_{2k})$ จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนจะถูกยกกำลังสองตามความหมายของความหมายของค่าความแปรปรวน เมื่อ $f_2(x_{itk}, \beta_{2k})$ และ x_{itk} คือตัวแปรอธิบายแบบเส้นตรง จากนั้นจึงสามารถประยุกต์การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงได้ตามสมการที่ โดยหลังจากบันทึกค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการถดถอยแล้วทำการยกกำลังสองค่าคลาดเคลื่อน

สมการที่ 3.9 ความแปรปรวนผลผลิตเฉลี่ยของข้าวนาปี

$$(\widehat{u}_{it})^2 = \ln\alpha_0 + \beta_{pa} \ln TotalArea_{it} + \beta_{pt} \ln Time_{it} + \beta_{c1} \ln Rain_{it} + \beta_{c1} \ln Variance Rain_{it} + \beta_{c3} \ln MeanTemp_{it} + \beta_{c4} \ln Variance MeanTemp_{it} \quad (3.9)$$

สมการที่ 3.10 ความแปรปรวนผลผลิตเฉลี่ยของข้าวนาปีแบ่งตามเขตชลประทาน

$$(\widehat{u}_{it})^2 = \ln\alpha_0 + \beta_{pa} \ln IrrigatedArea_{it} + \beta_{pt} \ln Time_{it} + \beta_{c1} \ln Rain_{it} + \beta_{c1} \ln Variance Rain_{it} + \beta_{c3} \ln RainOver_{it} + \beta_{c4} \ln MeanTemp_{it} + \beta_{c5} \ln Variance MeanTemp_{it} \quad (3.10)$$

3.4 กำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปที่เป็นไปได้ Feasible Generalized Least Squares (FGLS)

ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการผลิตและคำนึงถึงปัญหาต่าง ๆ เช่น ความต่างกันและความสัมพันธ์อัตโนมัติในข้อมูล เราใช้วิธี Feasible Generalized Least Squares (FGLS) FGLS เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่เงื่อนไขของข้อผิดพลาดอาจมีความสัมพันธ์หรือแสดงความแตกต่าง ซึ่งทั้งสองอย่างนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในข้อมูลทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

ข้อมูลเกี่ยวกับ GLS มีอยู่ใน Greene (2018), Maddala and Lahiri (2009), Davidson and Mackinnon (1993) และ Judge et al. (1991)

ผลลัพธ์ GLS ได้รับจาก

$$\hat{\beta}_{GLS} = (X' \hat{\Omega}^{-1} X)^{-1} \cdot X' \hat{\Omega}^{-1} y \quad (3.11)$$

$$\widehat{Var}(\hat{\beta}_{GLS}) = (X' \hat{\Omega}^{-1} X)^{-1} \quad (3.12)$$

สำหรับโมเดลทั้งหมดของโปรแกรม เมทริกซ์ Ω อาจเขียนในรูปของผลคูณของโคเรเนกเกอร์

$$\Omega = \sum m \times m \otimes I_{T_i \times T_i} \quad (3.12)$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนโดยประมาณได้มาจากการแทนที่ตัวประมาณค่า Σb ด้วย Σ โดยที่

$$\hat{\Sigma}_{i,j} = \frac{\hat{\epsilon}_i' \cdot \hat{\epsilon}_i}{T} \quad (3.13)$$

ส่วนที่เหลือที่ใช้ในการประมาณค่า Σ จะได้รับจากการถดถอยของ OLS ก่อน หากมีการประมาณค่าซ้ำ ปริมาณส่วนที่เหลือจะได้รับจากโมเดลที่ติดตั้งครั้งล่าสุด การประมาณความน่าจะเป็นสูงสุดอาจได้มาโดยการวนซ้ำการประมาณค่า FGLS เพื่อบรรจบกันสำหรับแบบจำลองที่ไม่มีความสัมพันธ์อัตโนมัติ corr(independent)

การประมาณการ GLS และข้อผิดพลาดมาตรฐานที่เกี่ยวข้องคำนวณโดยใช้ $\Sigma b-1$ ดังที่ Beck and Katz (1995) ชี้ให้เห็น เมทริกซ์ Σ มีอันดับสูงสุดที่ $\min(T; m)$ เมื่อคุณใช้ตัวเลือกพานาล (สัมพันธ์กัน) เพื่อให้ผลลัพธ์ GLS ถูกต้อง (ไม่อิงตามค่าผกผันทั่วไป) T ต้องมีขนาดใหญ่อย่างน้อยเท่ากับ m เนื่องจากคุณต้องการการสังเกตคาบเป็นอย่างน้อยมากเท่ากับข้อมูลพานาลต่าง ๆ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะประกอบด้วย 4 ส่วนดังนี้

1. การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด

2. การวิเคราะห์แบบจำลองทางเศรษฐมิติ (Econometrics model) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวเฉลี่ย (Mean production function) ความแปรปรวนของผลผลิต (Variance of production) และโอกาสความเสียหายของผลผลิตเนื่องจากสภาพอากาศ (Skewness function) ด้วยแบบจำลองการถดถอยแบบข้อมูลพาเนล (Panel data model) โดยอ้างอิงตามการศึกษาของ Sinnarong et al. (2022) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับปริมาณผลผลิตข้าวนาปี นาปรัง จำแนกตามลักษณะความเหมาะสมของพื้นที่การปลูกข้าวที่จำแนกโดยกรมพัฒนาที่ดิน โดยการพิจารณาถึงผลกระทบต่อผลผลิตข้าวทั้งค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าว (Downside Risk-Exposure) (Antle, 2010; Di Falco and Chavas, 2006; Kim and Chavas, 2003) ภายใต้ภาวะความแปรปรวนของค่าความเคลื่อนไหวไม่คงที่ Heteroscedastic disturbances โดยประยุกต์แนวคิดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต (moment-based specification of the Stochastic Production Function) ตามแนวคิดของ Just and Pope (1978); Just and Pope (1979) และ Antle (1983) กำหนดตัวแปร

ตามและตัวแปรอธิบายในแบบจำลองดังนี้กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอธิบายในแบบจำลองดังนี้

ตัวแปรตาม เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ คือ ปริมาณผลผลิตข้าวรายพื้นที่ (ตัน)

ตัวแปรอธิบาย ประกอบด้วย พื้นที่เพาะปลูกข้าว ตัวแปรสภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาโดยพิจารณาเฉพาะในช่วงฤดูการเพาะปลูก (นาปี เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม ปีปัจจุบัน) ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย ความแปรปรวนของอุณหภูมิ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณน้ำฝนรวม ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวม และตัวแปรแนวโน้มเวลาเพื่อเป็นตัวแทนของการพัฒนาทางเทคโนโลยีการเกษตร

3. การทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test) 3 การทดสอบ

การกำหนดแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรอธิบายที่มีผลต่อตัวแปรตาม คือ ผลผลิตข้าว ได้ทั้ง ผลผลิตเฉลี่ย ความแปรปรวนของผลผลิต ความเบ้ของผลผลิต (โอกาสความสูญเสียผลผลิต) อีกทั้งยังแก้ไขปัญหาความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ตามแนวคิดของ Just and Pope (1978); Just and Pope (1979) ซึ่งจะส่งผลให้ผลการประมาณค่าสมการถดถอยมีประสิทธิภาพและกระบวนการอ้างอิงทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นสูง อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์แบบจำลองให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test) 3 การทดสอบ คือ

(1) การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาเนล (Panel Unit Root Test) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา

Spurious Correlation ตามแนวคิดของ Granger and Newbold (1974) โดยวิธี Augmented Dickey-Fuller Unit Root Tests หากทำการทดสอบแล้ว พบว่า ข้อมูลตัวแปรมีความนิ่ง (Stationary) ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 สามารถนำตัวแปรที่ผ่านการทดสอบความนิ่งมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองการประมาณสมการ Panel Data ตามขั้นตอนถัดไป เมื่อสมมติฐาน คือ

H_0 : ข้อมูลมีคุณสมบัติเป็นลักษณะไม่นิ่ง (Non-stationary)

H_1 : ข้อมูลมีคุณสมบัติเป็นลักษณะนิ่ง (Stationary)

(2) การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Hausman's

Specification Test เพื่อทดสอบแบบจำลองที่เหมาะสมเมื่อการกำหนดลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถสังเกตได้กับตัวแปรอธิบายในแบบจำลอง โดยเมื่อทำการทดสอบด้วยวิธี Hausman Test ตามแนวคิดของ Hausman (1978) แล้วให้พิจารณาค่า P-value จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเฉลี่ย แบบ Fixed Effect และ Random Effect โดยหากค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 หมายความว่า จากการทดสอบสมมติฐานจะปฏิเสธสมมติฐานหลักซึ่งหมายความว่าควรเลือกใช้ Fixed Effect Model เพราะมีความเหมาะสมกว่า Random Effect Model เป็นต้น 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) ด้วยวิธีการ Wald Test และแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) ตามแนวคิดของ Just and Pope (1978) และถูกปรับปรุงใน Saha et al. (1997) หากผลการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ Chi-Square ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต ($\text{Prob.} < (I)$) จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า สมการถดถอยมีปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroscedasticity) โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ (Homoscedasticity)

H_1 :ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroscedasticity)

การตรวจสอบปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ และแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (a Feasible generalized least squares, FGLS) ตามวิธีการศึกษาของ Sinnarong et al. (2022)

4. การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการประมาณค่าผลของสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวด้วยวิธีการทางเศรษฐมิติ (Estimating Climate Change Effects on Crop Yields)

โดยใช้ผลการประมาณค่าจากแบบจำลองทางเศรษฐมิติร่วมกับข้อมูลสภาพฉายการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change projection) ตามแนวคิดของ (นิโรจน์ สิ้นณรงค์ et al., 2563) และ Pakeechay (2020) ในระดับพื้นที่สำหรับการทำนายผลกระทบในอนาคต เมื่อได้ผลการประมาณค่าจากแบบจำลองทางเศรษฐมิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวนาปี นาปรังแล้ว นำมาทำการจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับข้อมูลสภาพฉายการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change projection) ในระดับพื้นที่ การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยการกำหนดตัวแปรหลักทางสภาพอากาศ ได้ อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรวม จากนั้นคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรวมในอนาคต เทียบกับข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนรวมของปีฐาน (Baseline-Temperature and Baseline-Precipitation) ที่ได้จากการผลการประมาณค่าแบบจำลองผลผลิตเฉลี่ยหรือฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function ตามแนวคิดของ Just and Pope (1978); Justand Pope (1979), Saha et al. (1997) และ Cabas et al. (2010) และจำลองผลกระทบโดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรสภาพ

อากาศ (Elastic-Temperature and Elastic-Precipitation) จากผลของข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งอยู่ในรูป ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ดังสมการ

$$\% \Delta \Sigma Y_{it} = \left(\frac{Rain_{Future} - Rain_{Baseline}}{Rain_{Baseline}} \right) \cdot \beta_{Rain} + \left(\frac{Temp_{Future} - Temp_{Baseline}}{Temp_{Baseline}} \right) \cdot \beta_{Temp} \quad (3.14)$$

เมื่อตัวแปรสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 เทียบกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของ สภาพอากาศในอนาคต จะได้ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคตต่อผลผลิต (Effect-Temperature and Effect-Precipitation) และรวมผลกระทบของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนใน อนาคต เป็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Effect-Climate Change) ต่อผลผลิต (Sinnarong, 2023: 94)

บทนี้ได้สรุปวิธีการวิจัยและกรอบการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การนำ Stochastic Production Function มาใช้โดยแบบจำลองของ Just and Pope (1978) ภายในบริบทของทฤษฎี ฟังก์ชันการผลิตของ Cobb-Douglas ควบคู่ไปกับการใช้วิธี FGLS ช่วยให้มั่นใจได้ถึงการวิเคราะห์ที่ เข้มงวดและครอบคลุม บทต่อไปจะนำเสนอผลเชิงประจักษ์และอภิปรายถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในการศึกษานี้เรื่อง “ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล” มีวัตถุประสงค์การวิจัยหลักสองประการ ประกอบด้วย

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้ ผู้วิจัยใช้ฟังก์ชันการผลิตสุ่ม (Stochastic Production Function) ที่พัฒนาโดย Just and Pope (1978) ร่วมกับทฤษฎีฟังก์ชันการผลิตของ Cobb-Douglas สิ่งนี้ช่วยให้การวิจัยสามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นเพื่ออธิบายอิทธิพลของผลกระทบของข้อพาแนลได้ โดยคำนึงถึงความแปรผันของพื้นที่และเวลา จากนั้นทดสอบลักษณะจำเพาะของแบบจำลองข้อกำหนดต่าง ๆ อย่างเข้มงวดก่อนที่จะใช้วิธีการวิเคราะห์ Feasible Generalized Least Squares (FGLS) เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพภูมิอากาศกับการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีกทั้งมีการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในปีที่มีผลแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ปลูกข้าวตามเขตชลประทาน เพื่อชี้ให้เห็นถึงผลกระทบที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าว เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้ ผู้วิจัยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของตัวแปรสภาพอากาศเพื่อคาดการณ์ผลที่ตามมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยใช้วิธีจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคตด้วยวิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเฉลี่ย ปริมาณการผลิตผลผลิตเฉลี่ย และมูลค่าทางเศรษฐกิจที่อาจเกิดขึ้นจากผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศที่คาดการณ์ไว้โดยใช้ปีหมุดหมายเชิงนโยบายของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Net zero) ณ ปีทศวรรษที่ 2030 – 2050 เป็นตัวแทนของเหตุการณ์ในอนาคต

โดยผลการศึกษาพบว่า

- 1) ผลกระทบจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับผลกระทบเชิงต่อการผลิตข้าว อุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตวิกฤติจะส่งผลให้ผลผลิตลดลง
- 2) ผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนส่งผลเชิงบวกต่อการผลิตข้าว อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดน้ำท่วมและส่งผลเสียต่อผลผลิตได้ ดังแสดงในผลการวิเคราะห์กรณีพื้นที่ปลูกข้าวแบ่งตามเขตชลประทาน

3) ผลการจำลองเชิงตัวเลขพบว่า ในทศวรรษที่ 2030 และ 2050 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทำให้ผลผลิตลดลง ร้อยละ 1.470 และ 2.003 ตามลำดับ จากอิทธิพลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดความเสียหายจากผลผลิตลดลง 8,049.72ตัน คิดเป็นมูลค่า 74.41 ล้านบาท และ 10,973.34 คิดเป็นมูลค่า 101.44 ล้านบาท

โดยผลการศึกษาทั้งรายงานเพื่อเพิ่มความเข้าใจของผู้อ่าน ผลการศึกษาทั้งหมดจะรายงานตามลำดับ ดังนี้

การวิเคราะห์ทางสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistical Analysis) จะอธิบายข้อมูลโดยสรุปผ่านสถิติต่างๆ เพื่อให้เห็นภาพรวมของการศึกษา

การทดสอบสมมติฐานและการทดสอบลักษณะจำเพาะของแบบจำลอง (Hypothesis Testing and Model Specification Testing) แสดงให้เห็นผ่านเงื่อนไขแบบจำลองการทดสอบสมมติฐาน เพื่อให้มั่นใจว่าผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือ และการทดสอบข้อกำหนดของแบบจำลองเพื่อประเมินความทนทานในการประมาณค่าของแบบจำลองฟังก์ชันการผลิต

การวิเคราะห์แบบจำลองฟังก์ชันการผลิต และการจำลองคาดการณ์ผลกระทบ (Simulation and Prediction of Impacts) การจำลองเชิงตัวเลขเผยให้เห็นผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับการผลิตข้าวในอนาคต โดยให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับผลที่ตามมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภูมิภาค

4.1 ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา

จากตาราง 3 ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา พบว่า ผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยอยู่ที่ 604,550.69 ตัน โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 332,802.16 ตัน ผลผลิตข้าวนาปีมีช่วงตั้งแต่ 111,349 ไปจนถึง 1,432,101 ตัน ถัดมาพื้นที่ปลูกข้าวนาปีเฉลี่ยอยู่ที่ 1,719,257.60 ไร่ โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 925,554.46 ไร่ พื้นที่ปลูกข้าวนาปีมีช่วงตั้งแต่ 313,356 ไปจนถึง 4,163,693 ไร่

กลุ่มตัวแปรตัวแทนการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 1,322.47 มิลลิเมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 266.48 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนสะสมมีช่วงตั้งแต่ 846.90 ไปจนถึง 2,540.21 มิลลิเมตร ในขณะที่ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ที่ 1,416.38 มิลลิเมตร² โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2,271.72 มิลลิเมตร ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนมีช่วงตั้งแต่ 0.05 ไปจนถึง 24,774.87 มิลลิเมตร² ต่อมาอุณหภูมิเฉลี่ยเฉลี่ยอยู่ที่ 26.69 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.61 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยมีช่วงตั้งแต่ 24.56 ไปจนถึง 28.03 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01 องศาเซลเซียส² โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.01 องศาเซลเซียส² ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยมีช่วงตั้งแต่ 0 ไปจนถึง 0.03 องศาเซลเซียส²

จะเห็นได้ว่า พื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวในเขตชลประทานมีขนาดที่น้อยกว่าพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวนอกเขตชลประทานมาก คิดเป็นร้อยละ 3.92 ของพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวในฤดูทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงการเข้าถึงแหล่งน้ำชลประทานของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างน้อย เป็นผลให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาน้ำฝนเป็นหลักซึ่งไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำได้ เมื่อดูความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงการผลิต

ตารางที่ 4 สถิติพรรณนา

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
In-Season Production (tons)	361	604,550.69	332802.16	111,349.00	1,432,101.00
In-Season Area harvested (Rai)	361	1,719,257.60	925,554.46	313,356.00	4,163,693.00
Out-Irrigated Production (tonnes)	361	537,001.18	299,597.16	99,031.00	1,323,437.00
Out-Irrigated Area harvested (Rai)	361	1,544,448.10	838,660.74	279,675.00	3,807,093.00
In-Irrigated Production (tonnes)	361	67,549.51	50,736.32	5,534.00	263,502.00
In-Irrigated Area harvested (Rai)	361	174,809.50	130,788.80	7,388.00	614,351.00
Trend Time (Technology Change)	361	10.00	5.48	1.00	19.00
Cumulative Precipitation (mm.)	361	1,322.47	266.48	846.90	2,540.21
Variance of the Precipitation (mm. ²)	361	1,416.38	2,271.72	0.05	24,774.87
Average Temperature (°C)	361	26.69	0.61	24.56	28.03
Variance of the Average Temperature (°C ²)	361	0.01	0.01	0.00	0.03

ที่มา จากการวิเคราะห์

4.2 ผลการทดสอบสมมติฐานและการทดสอบลักษณะจำเพาะของแบบจำลอง

เพื่อให้ได้การวิเคราะห์แบบจำลองให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง ดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบสมมติฐานและการทดสอบลักษณะจำเพาะของแบบจำลองข้ามหน้าปี

จากตารางที่ 5 ผลการทดสอบทดสอบความนิ่งของข้อมูลแบบพาดหน้า (Panel Unit Root Test) ณ ระดับ Level หรือ $I(0)$ เมื่อทดสอบด้วยวิธี Levin-Lin-Chu และ Im-Pesaran-Shin ผลการทดสอบพบว่า ตัวแปรทุกตัวปฏิเสธสมมติฐานหลัก (All panels contain unit roots) สรุปได้ว่า ตัวแปรที่ใช้ศึกษามีลักษณะนิ่ง (Stationary) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 5 Panel unit root test results

VARIABLES	Levin-Lin-Chu		Im-Pesaran-Shin
	Unadjusted t	Adjusted t*	W-t-bar
H_0 : All panels contain unit roots			
H_a : Panels are stationary (LLC) / Some panels are stationary (IPS)			
In-Season Production (tons)	-13.4269	-7.0141***	-4.4513***
In-Season Area harvested (Rai)	-14.2083	-6.5883***	-4.7025***
Trend Time (Technology Change)	-95.2923	-89.1318***	-87.5617***
Cumulative Precipitation (mm.)	-18.5981	-11.0975***	-8.6029***
Variance of the Precipitation (mm. ²)	-24.2388	-17.2533***	-14.7481***
Average Temperature (°C)	-18.9943	-13.1595***	-8.9666***
Variance of the Average Temperature (°C ²)	-22.2248	-15.5653***	-12.3373***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

จากตารางที่ 6 ผลการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง เมื่อทดสอบรูปแบบสมการด้วยวิธี Hausman's พบว่า แบบจำลองผลผลิตข้ามหน้าปี ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้ Random Effect Model เมื่อได้ทดสอบแบบจำลองหลังการประมาณค่าเพื่อตรวจการละเมิดข้อสมมติฐานของแบบจำลองสมการถดถอย จากการทดสอบ Serial Correlation ด้วยวิธี Wooldridge พบว่า แบบจำลองผลผลิตข้ามหน้าปี ปฏิเสธสมมติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 สรุปได้ว่า แบบจำลองมีอัตราสัมพันธ์ภายในอันดับที่

หนึ่ง และสุดท้ายจากการทดสอบปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) ด้วยวิธี Wald test for Groupwise Heteroskedasticity พบว่า แบบจำลองปฏิเสสมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการนี้ได้ทดสอบความแตกต่างจากอิทธิพลของเวลาและอิทธิเชิงภาคตัดขวาง ผลจากสถิติทดสอบ Wald tests (Schmidheiny and Basel, 2011) พบว่า ปฏิเสสมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 สรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรหุ่นแต่ละปีจะไม่เท่ากับศูนย์มีอิทธิพลของเวลา และสถิติทดสอบ Pasaran CD test (Pesaran, 2004) พบว่า ปฏิเสสมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 สรุปได้ว่า ค่าคงเหลือความสัมพันธ์กันเป็นอิทธิพลจากภาคตัดขวาง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องควบคุมความแตกต่างเชิงเวลาและภาคตัดขวาง โดยสรุปแบบจำลองมีความเหมาะสมการใช้ Random Effect Model ทว่าแบบจำลองดังกล่าวมีปัญหา มีอิทธิพลสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่งและมีค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ ด้วยเหตุนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ร่วมกับปรับปัญหามีอิทธิพลสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง และควบคุมความแตกต่างเชิงเวลาและภาคตัดขวาง (Heteroskedastic with Cross-sectional and AR(1) Correlation) ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 6 Model Specification of Rice In-Season

Type of test	Hypothesis		Significance
Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects	H ₀ : Difference in Coefficients Not Systematic	$\chi^2 (5) = 9.88$	Prob > $\chi^2 = 0.0788^*$
Wooldridge Test for Serial Correlation	H ₀ : No First-Order Autocorrelation	F(1, 18) = 25.257	Prob > F = 0.0001***
Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity	H ₀ : $\sigma(i)^2 = \sigma^2$ for all i	$\chi^2 (19) = 144.68$	Prob > $\chi^2 = 0.0000^{***}$
Wald tests: Time-Fixed Effects	H ₀ : the Coefficients of All Year Dummies are equal to Zero	F(17, 18) = 109.86	Prob > F = 0.0000***
Pasaran CD test: Testing for Cross-Sectional Dependence Correlation	H ₀ : Residuals are Not Correlated (No cross-sectional dependence)	CD = 7.691 Average absolute value of the off-diagonal elements = 0.328	Prob = 0.0000***

Note: *, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance.

4.2.2 ผลการทดสอบสมมติฐานและการทดสอบลักษณะจำเพาะของแบบจำลองข้าวนาปี แบ่งตามเขตชลประทาน

จากตารางที่ 7 ผลการทดสอบทดสอบความนิ่งของข้อมูลแบบพาเนล (Panel Unit Root Test) ณ ระดับ Level หรือ I(0) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Im-Pesaran-Shin ผลการทดสอบพบว่า ตัวแปรทุกตัวปฏิเสธสมมติฐานหลัก (All panels contain unit roots) สรุปได้ว่า ตัวแปรที่ใช้ศึกษามีลักษณะนิ่ง (Stationary) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังนั้นไม่จำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขรูปแบบข้อมูลและสามารถไปวิเคราะห์ข้อมูลแบบพาเนลต่อได้

ตารางที่ 7 Panel unit root test results

VARIABLES		Im-Pesaran-Shin	
		W-t-bar	p-value
➤ Linear			
Dependent	In-Season Production (tonnes)	-4.5052	0.0000***
	In-Season Area harvested (Rai)	-4.6960	0.0000***
	Out-Irrigated Production (tonnes)	-3.5882	0.0002***
	Out-Irrigated Area harvested (Rai)	-4.3470	0.0000***
	In-Irrigated Production (tonnes)	-2.8921	0.0019***
	In-Irrigated Area harvested (Rai)	-2.9858	0.0014***
Independent	Cumulative Precipitation (mm.)	-9.2561	0.0000***
	Variance of the Precipitation (mm. ²)	-19.0358	0.0000***
	Average Temperature (°C)	-8.8796	0.0000***
	Variance of the Average Temperature (°C ²)	-12.9698	0.0000***
➤ Natural Logarithm			
Dependent	In-Season Production (tonnes)	-4.4513	0.0000***
	In-Season Area harvested (Rai)	-4.7025	0.0000***
	Out-Irrigated Production (tonnes)	-3.5108	0.0002***
	Out-Irrigated Area harvested (Rai)	-4.3607	0.0000***
	In-Irrigated Production (tonnes)	-2.9873	0.0014***
	In-Irrigated Area harvested (Rai)	-3.4996	0.0002***
Independent	Cumulative Precipitation (mm.)	-8.6029	0.0000***
	Variance of the Precipitation (mm. ²)	-14.7481	0.0000***
	Average Temperature (°C)	-8.9666	0.0000***
	Variance of the Average Temperature (°C ²)	-12.3373	0.0000***

Source: From Analysis Result.

Note: *, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance.

จากตารางที่ 8 ผลการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง เมื่อทดสอบรูปแบบสมการด้วยวิธี Hausman's พบว่า แบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีและแบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน ไม่สามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลักอย่างไม่มีระดับนัยสำคัญจึงมีความเหมาะสมต่อการใช้

Random Effect Model ในขณะที่แบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน ปฏิเสธสมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 จึงมีความเหมาะสมการใช้ Fixed Effect Model แต่เมื่อได้ทดสอบแบบจำลองหลังการประมาณค่าเพื่อตรวจการละเมิดข้อสมมุติฐานของแบบจำลองสมการถดถอย จากการทดสอบ Serial Correlation ด้วยวิธี Wooldridge พบว่า แบบจำลองผลผลิตข้าวนาปี แบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีนอกเขตชลประทานและแบบจำลองผลผลิตข้าวในเขตชลประทาน ปฏิเสธสมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.1 สรุปได้ว่า แบบจำลองทั้งสามมีอิทธิพลสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง และสุดท้ายจากการทดสอบปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) ด้วยวิธี Wald test for Groupwise Heteroskedasticity พบว่า แบบจำลองทั้งสาม ปฏิเสธสมมุติฐานหลักอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สรุปได้ว่า แบบจำลองดังกล่าวมีค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ กล่าวโดยสรุปแล้วแบบจำลองแบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีและแบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน มีความเหมาะสมต่อการใช้ Random Effect Model ในขณะที่แบบจำลองผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน มีความเหมาะสมการใช้ Fixed Effect Model ดังแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลพาแนลในตารางที่ 7 แต่อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวมีปัญหาอิทธิพลสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่งและมีค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ ด้วยเหตุนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) เพื่อแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ที่ร่วมกับปรับปัญหามีอิทธิพลสัมพันธ์ภายในอันดับที่หนึ่ง

ตารางที่ 8 Model Specification of All Rice In-Season, Out and In-Irrigated Area

Type of test	Hypothesis	Out-Irrigated Area	In-Irrigated Area
Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects	H_0 : Difference in Coefficients Not Systematic	$\chi^2 (6) = 8.15$	$\chi^2 (6) = 39.09^{***}$
Wooldridge Test for Serial Correlation	H_0 : No First-Order Autocorrelation	$F(1, 18) = 27.854^{***}$	$F(1, 18) = 4.353^*$
Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity	H_0 : $\sigma^2(i) = \sigma^2$ for all i	$\chi^2 (19) = 228.31^{***}$	$\chi^2 (19) = 297.56^{***}$

Source: From Analysis Result.

Note: *, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance.

4.3 การวิเคราะห์แบบจำลองฟังก์ชันการผลิต

4.3.1 การวิเคราะห์แบบจำลองฟังก์ชันการผลิตข้าวนาปี

จากตารางที่ 9 ผลแบบจำลองฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยโดยใช้การประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้รูปแบบจำลอง Cobb-Douglas เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตข้าว โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์ (β) แสดงถึงความยืดหยุ่นของปัจจัยการผลิตข้าวนาปีที่มีต่อเปลี่ยนแปลงไปร้อยละปริมาณผลผลิตข้าว ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบสมการที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ 4.1 ดังนี้

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & -0.27797 + (0.98961) \cdot \ln TotalArea_{it} + (0.03110) \cdot \ln Time_{it} + (0.04159) \cdot \ln Rain_{it} \\ & + (0.00167) \cdot \ln VarianceRain_{it} + (-0.30369) \cdot \ln MeanTemp_{it} + (-0.00040) \\ & \cdot \ln VarianceMeanTemp_{it} \end{aligned} \quad (4.1)$$

ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรพื้นที่ปลูกข้าว ($\beta_a = 0.98961$) มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อพื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 98. เมื่อพิจารณาตัวแปรแนวโน้มของเวลา (Trend Time) ($\beta_b = 0.0311$) มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อเวลาผ่านไปร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.11 เมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มตัวแทนการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ อันได้แก่ ปริมาณน้ำฝนสะสม ความแปรปรวนของ ปริมาณน้ำฝนสะสม อุณหภูมิเฉลี่ย และความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ตัวแปรแรก ปริมาณน้ำฝนสะสม ($\beta_c = 0.04159$) มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อปริมาณน้ำฝนสะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.159 ต่อมาความแปรปรวนปริมาณน้ำฝนสะสม ($\beta_d = 0.00167$) มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อความแปรปรวนปริมาณน้ำฝนสะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.167 ถัดมา อุณหภูมิเฉลี่ย ($\beta_e = -0.30369$) มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีลดลงร้อยละ 30.369 และ สุดท้ายความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ($\beta_f = 0.00040$) มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อความแปรปรวนอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีลดลงร้อยละ 0.04 กล่าวโดยสรุปแล้ว พื้นที่ปลูกข้าวและแนวโน้มของเวลามีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าว ต่อมาเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มน้ำฝนจะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำฝนสะสมและความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสม

มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปี ถัดไปเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มอุณหภูมิจะเห็นว่า อุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยมีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปี อย่างไรก็ตาม เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีทั้งสามกรณีจากฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี

ตารางที่ 9 Mean Production Function of Rice In-Season Production

VARIABLES	(1)	(2)		(3)	(4)
	Pooled OLS Estimation	Panel Estimation		Random Effects (Robust)	FGLS Regression: Heteroskedastic with Cross-sectional and AR(1) Correlation
		Fixed Effects (Robust)			
In-Season Area harvested (Rai)	0.99411*** (0.00726)	0.95628*** (0.06158)	0.98714*** (0.02378)	0.98961*** (0.00181)	
Trend Time (Technology Change)	0.03841*** (0.00555)	0.03872*** (0.00997)	0.03787*** (0.00965)	0.03110*** (0.00041)	
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.06839*** (0.02280)	0.07691** (0.02731)	0.03891* (0.02280)	0.04159*** (0.00142)	
Precipitation Variance (mm.) ²	0.00367* (0.00193)	0.00335*** (0.00095)	0.00346*** (0.00097)	0.00167*** (0.00006)	
Average Temperature (°C)	-0.35628* (0.21212)	0.09661 (0.31212)	-0.05290 (0.30828)	-0.30369*** (0.01445)	
Average Temperature Variance	0.00002 (0.00203)	0.00027 (0.00121)	0.00023 (0.00123)	-0.00040*** (0.00007)	
Constant	0.59280 (0.71281)	-1.39709 (1.29791)	-1.07046 (1.04647)	-0.27797*** (0.05105)	
Observations	361	361	361	361	
R-squared	0.9858	0.8388	0.9849	Not Applicable	
Adjusted R-squared	0.9856	0.8361	0.8380	Not Applicable	
Province FE	No	Yes	No	NA	
Year FE	No	Yes	No	NA	
Root MSE	0.0782	0.0632	0.0653		
Model Significance	F(6, 354) = 4099***	F(6,18) = 64.08***	Wald χ^2 (6) = 2390***	Wald χ^2 (6) = 478179***	
Number of Province and Time periods	19	19	19	19	

Note: 1) Standard errors in parentheses. 2) *, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance.

จากตารางที่ 10 การผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี (Variance Production Model) โดยใช้รูปแบบสมการแบบ Cobb-Douglas จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบพหุคูณ (PLS) โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์ (β) หากมีประมาณค่าเชิงบวก แสดงถึงตัวแปรอธิบายเป็นตัวแปรที่ส่งผลในการเพิ่มความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี หรือ ตัวแปรเพิ่มความเสี่ยง (Risk-Increased Variables) ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบสมการที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ 4.2 ดังนี้

$$\begin{aligned} (\hat{u}_{it})^2 = & 0.32921 + (-0.00124) \cdot \ln TotalArea_{it} + (-0.00428) \cdot \ln Time_{it} + (-0.00147) \\ & \cdot \ln Rain_{it} + (0.00017) \cdot \ln Variance Rain_{it} + (-0.08601) \cdot \ln MeanTemp_{it} \\ & + (0.00077) \cdot \ln Variance MeanTemp_{it} \end{aligned} \quad (4.2)$$

ผลการวิเคราะห์พบว่า **ตัวแปรแนวโน้มของเวลา (Trend Time) ($\beta_b = -0.00428$)** เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อเวลาผ่านไปร้อยละ 1 ส่งผลให้ความเสี่ยงของความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปีลดลงร้อยละ 0.428 ถัดมาเมื่อพิจารณา**ตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย ($\beta_e = -0.08601$)** เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ความเสี่ยงของความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปีลดลงร้อยละ 8.601 ในทางตรงกันข้าม **ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ($\beta_f = 0.00077$)** เป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 กล่าวคือ เมื่อความแปรปรวนอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ความเสี่ยงของความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.77 จากผลการศึกษาข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Puphoun et al. (2019); Pakeechai et al. (2020) และ Sinnarong et al. (2022)

ตารางที่ 10 Variance Production Function

VARIABLES	(1) Variance Production Model
In-Season Area harvested (Rai)	-0.00124 (0.00122)
Trend Time (Technology Change)	-0.00428*** (0.00093)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.00147 (0.00382)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.00017 (0.00032)
Average Temperature (°C)	-0.08601** (0.03554)
Average Temperature Variance	0.00077** (0.00034)
Constant	0.32921*** (0.11942)
Observations	361
R-squared	0.1187
Adjusted R-squared	0.1038
Root MSE	0.0131
Log likelihood	1056
Model Significance	F(6, 354) = 7.951***

4.3.2 การวิเคราะห์แบบจำลองฟังก์ชันการผลิตข้าวนาปีแบ่งตามเขตชลประทาน

จากตารางที่ 11 ผลแบบจำลองฟังก์ชันการผลิตเฉลี่ยโดยใช้การประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้รูปแบบจำลอง Cobb-Douglas เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตข้าว โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์ (β) แสดงถึงความยืดหยุ่นของปัจจัยการผลิตข้าวที่มีต่อเปลี่ยนแปลงไปร้อยละปริมาณผลผลิตข้าว

ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบสมการข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน ที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ 4.3 ดังนี้

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & -0.51588 + (0.98799) \cdot \ln TotalArea_{it} + (0.03316) \cdot \ln Time_{it} + (0.05736) \cdot \ln Rain_{it} \\ & + (0.00188) \cdot \ln VarianceRain_{it} + (-0.00299) \cdot RainOver_{it} + (-0.26498) \\ & \cdot \ln MeanTemp_{it} + (-0.00085) \cdot \ln VarianceMeanTemp_{it} \end{aligned} \quad (4.3)$$

เขียนรูปแบบสมการข้าวนาปีในเขตชลประทาน ที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ 4.4 ดังนี้

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & -1.01127 + (0.96271) \cdot \ln TotalArea_{it} + (0.00744) \cdot \ln Time_{it} + (-0.10128) \cdot \ln Rain_{it} \\ & + (0.00511) \cdot \ln VarianceRain_{it} + (-0.00333) \cdot RainOver_{it} + (0.36673) \\ & \cdot \ln MeanTemp_{it} + (-0.00314) \cdot \ln VarianceMeanTemp_{it} \end{aligned} \quad (4.4)$$

ผลการวิเคราะห์พบว่า **ตัวแปรพื้นที่ปลูกข้าว** มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีทั้งนอกและในเขตชลประทานอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อพื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.9898 ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 เช่นเดียวกันกับผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีทั้งนอกและในเขตชลประทานเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.9879 และ 0.9627 ตามลำดับ เมื่อพิจารณา**ตัวแปรแนวโน้มของเวลา (Trend Time)** มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี ($\beta=0.0311$) และนอกเขตชลประทาน ($\beta=0.0331$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในขณะที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน ($\beta=0.0074$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.10 เมื่อพิจารณา**ตัวแปรปริมาณน้ำฝนสะสม** มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี ($\beta=0.0439$) และนอกเขตชลประทาน ($\beta=0.0573$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในขณะที่มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน ($\beta= -0.1012$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 เมื่อพิจารณา**ตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการ (> 1,290 mm. = 1, < 1,290 mm. = 0)** มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีและนอกเขตชลประทานอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อเกิดเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีลดลงร้อยละ 0.0021 และผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีนอกเขตชลประทานลดลงร้อยละ 0.0029 ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ถัดมาเมื่อพิจารณา**ตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย** มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี ($\beta= -0.3111$) และนอกเขตชลประทาน ($\beta=0.2649$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ในขณะที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน ($\beta=0.3667$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวโดยสรุปแล้ว พื้นที่ปลูกข้าวและแนวโน้มของเวลา มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวทั้งสามกรณี ต่อมาเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มน้ำฝนจะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำสะสมมีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปีและนอกเขตชลประทาน ในขณะที่มีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าวในเขตชลประทาน ในกรณีความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสมมีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวทั้งสามกรณี เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการล้วนมีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าวทั้งสามกรณี ถัดไปเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มอุณหภูมิจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยมีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปีและนอกเขตชลประทาน ในขณะที่มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวในเขตชลประทาน อย่างไรก็ตาม เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีทั้งสามกรณีจากฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 Mean Function with Cross-sectional time-series FGLS regression.

VARIABLES	(1) Rice In- Season	(2) Out-Irrigated Area	(3) In-Irrigated Area
In-Season Area harvested (Rai)	0.98983*** (0.00191)		
Out-Irrigated Area harvested (Rai)		0.98799*** (0.00263)	
In-Irrigated Area harvested (Rai)			0.96271*** (0.00258)
Trend Time (Technology Change)	0.03115*** (0.00046)	0.03316*** (0.00158)	0.00744* (0.00409)
Cumulative Precipitation (mm.)	0.04399*** (0.00259)	0.05736*** (0.00460)	-0.10128*** (0.00910)
Variance of the Precipitation (mm. ²)	0.00173*** (0.00007)	0.00188*** (0.00015)	0.00511*** (0.00049)
Rain Over requirement (> 1,290 mm = 1, Over Water)	-0.00214*** (0.00064)	-0.00299*** (0.00093)	-0.00333 (0.00290)
Average Temperature (°C)	-0.31118*** (0.01742)	-0.26498*** (0.04940)	0.36673*** (0.05658)
Variance of the Average Temperature (°C ²)	-0.00041*** (0.00008)	-0.00085*** (0.00022)	0.00314*** (0.00053)
Constant	-0.27304*** (0.06589)	-0.51588*** (0.16123)	-1.01127*** (0.15317)
Observations	361	361	361
Number of Province and Period	19	19	19
Model Significance Wald χ^2 (7)	402,719.35***	176,444.67***	387,852.66***

Source: From Analysis Result.

Note: Numbers in parentheses are standard errors.

*, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance.

จากตารางที่ 12 การผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี โดยใช้รูปแบบสมการแบบ Cobb-Douglas จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบพหุคูณ (PLS) โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์ (β) หากมีประมาณค่าเชิงบวก แสดงถึงตัวแปรอธิบายเป็นตัวแปรที่ส่งผลในการเพิ่มความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี หรือ ตัวแปรเพิ่มความเสี่ยง (Risk-Increased Variables)

ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบสมการข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน ที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ 4.5 ดังนี้

$$\begin{aligned} (\hat{u}_{it})^2 = & 0.38744 + (-0.00098) \cdot \ln TotalArea_{it} + (-0.00412) \cdot \ln Time_{it} + (-0.00684) \\ & \cdot \ln Rain_{it} + (0.00019) \cdot \ln Variance Rain_{it} + (0.00302) \cdot RainOver_{it} \\ & + (-0.09373) \cdot \ln MeanTemp_{it} + (0.00073) \cdot \ln Variance MeanTemp_{it} \end{aligned} \quad (4.5)$$

เขียนรูปแบบสมการข้าวนาปีในเขตชลประทาน ที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ 4.6 ดังนี้

$$\begin{aligned} (\hat{u}_{it})^2 = & -0.45670 + (-0.01385) \cdot \ln TotalArea_{it} + (-0.01268) \cdot \ln Time_{it} + (-0.01567) \\ & \cdot \ln Rain_{it} + (0.00034) \cdot \ln Variance Rain_{it} + (0.00983) \cdot RainOver_{it} \\ & + (0.23338) \cdot \ln MeanTemp_{it} + (0.00006) \cdot \ln Variance MeanTemp_{it} \end{aligned} \quad (4.6)$$

ผลการวิเคราะห์พบว่า **ตัวแปรพื้นที่ปลูกข้าว**เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีทั้งนอก (ไม่มีมีระดับนัยสำคัญ) และในเขตชลประทานอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ เมื่อพื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีในเขตชลประทานลดลงร้อยละ 0.0138 ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 เมื่อพิจารณา**ตัวแปรแนวโน้มของเวลา (Trend Time)** เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี ($\beta = -0.0042$) นอกเขตชลประทาน ($\beta = -0.0041$) และในเขตชลประทาน ($\beta = -0.0126$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ถัดมาเมื่อพิจารณา**ตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย** เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี ($\beta = -0.0810$) และนอกเขตชลประทาน ($\beta = -0.0937$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในขณะที่ตรงกันข้ามเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน ($\beta = 0.2333$) อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.10 กล่าวโดยสรุปแล้ว พื้นที่ปลูกข้าว แนวโน้มของเวลา และปริมาณน้ำฝนสะสม เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีทั้งสามกรณี ในขณะที่ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสม เหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการ และความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย เป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีทั้งสามกรณี หากเมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นตัวแปร

ลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีและนอกเขตชลประทาน ในทางตรงกันข้ามก็เป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทาน จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของงานก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องได้ ดังหัวข้อถัดไป วิจารณ์ผลการวิจัย

ตารางที่ 12 Risk of Rice In-Season Production from Variance Function

VARIABLES	(1) All Rice In-Season	(2) Out-Irrigated Area	(3) In-Irrigated Area
In-Season Area harvested (Rai)	-0.00139 (0.00123)		
Out-Irrigated Area harvested (Rai)		-0.00098 (0.00132)	
In-Irrigated Area harvested (Rai)			-0.01385*** (0.00340)
Trend Time (Technology Change)	-0.00427*** (0.00093)	-0.00412*** (0.00100)	-0.01268*** (0.00374)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.00748 (0.00598)	-0.00684 (0.00643)	-0.01567 (0.02391)
Variance of the Precipitation (mm. ²)	0.00016 (0.00033)	0.00019 (0.00035)	0.00034 (0.00131)
Rain Over requirement (> 1,290 mm = 1, Over Water)	0.00300 (0.00227)	0.00302 (0.00245)	0.00983 (0.00911)
Average Temperature (°C)	-0.08103** (0.03582)	-0.09373** (0.03838)	0.23338* (0.13777)
Variance of the Average Temperature (°C ²)	0.00074** (0.00034)	0.00073** (0.00037)	0.00006 (0.00137)
Constant	0.35645*** (0.12218)	0.38744*** (0.13118)	-0.45670 (0.48773)
Observations	361	361	361
R-squared	0.1220	0.1084	0.0838

VARIABLES	(1)	(2)	(3)
	All Rice In-Season	Out-Irrigated Area	In-Irrigated Area
Adjusted R-squared	0.1050	0.0908	0.0656
Root MSE	0.0132	0.0142	0.0529
Model Significance F-test	7.008***	6.136***	4.613***

Source: From Analysis Result.

Note: Numbers in parentheses are standard errors.

*, **, and *** indicate that the significant at the 10%, 5%, and 1% level of significance.

4.4 ผลการจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการประมาณค่าผลของสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวด้วยวิธีการทางเศรษฐมิติ

จำลองผลกระทบโดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรสภาพอากาศ (Elastic-Temperature and Elastic-Precipitation) จากผลของข้อมูลปีฐาน ซึ่งอยู่ในรูปร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ดังสมการ

$$\% \Delta \sum Y_{it} = \left(\frac{Rain_{Future} - Rain_{Baseline}}{Rain_{Baseline}} \right) \cdot \beta_{Rain} + \left(\frac{Temp_{Future} - Temp_{Baseline}}{Temp_{Baseline}} \right) \cdot \beta_{Temp} \quad (4.7)$$

เมื่อตัวแปรสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 เทียบกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในอนาคต จะได้ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคตต่อผลผลิต (Effect-Temperature and Effect-Precipitation) และรวมผลกระทบของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในอนาคต เป็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Effect-Climate Change) ต่อผลผลิต (Sinnarong, 2023: 94)

4.4.1 ผลการจำลองคาดการณ์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ในการจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคตนี้จะจำลองขอบเพราะผลกระทบที่เกิดขึ้นกับข้าวนาปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่านั้นเท่านั้นโดยไม่แบ่งแยกตามพื้นที่เขตชลประทาน

จากตารางที่ 13 จากข้อมูลแบบจำลองจากการรวบรวมแบบจำลองสภาพภูมิอากาศทั่วโลกของโครงการ Coupled Model Inter-comparison Projects (CMIP) ที่รองรับรายงานการประเมิน

ครั้งที่หกของ IPCC สังเกตได้ว่า ในอนาคตข้างหน้าอุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝนสะสมของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยปีฐาน ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือก 3 สถานการณ์เพื่อเป็นตัวแทนในการจำลองผลกระทบที่เกิดขึ้นในอนาคต ได้แก่ SSP1-1.9 เป็นระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นลบ ที่อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากปีฐานร้อยละ 5.92 – 6.22 และปริมาณน้ำฝนสะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.84 – 6.81 ถัดมา SSP2-4.5 เป็นระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระดับปานกลาง ที่อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากปีฐานร้อยละ 6.11 – 8.38 และปริมาณน้ำฝนสะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.95 – 15.08 สุดท้าย SSP5-8.5 เป็นระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระดับสูงสุด ที่อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากปีฐานร้อยละ 6.45 – 10.23 และปริมาณน้ำฝนสะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.99 – 14.80 ลำดับต่อไปจะนำการเปลี่ยนแปลงไปของตัวแปรร้อยละเทียบกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในอนาคต จะได้ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 13 Mean of Baseline Temperature and Precipitation

Based 1983-2021		Rice In-Season
Baseline temperature (°C)		26.50
Baseline precipitation (mm)		1,327.45
Baseline Rice production (tons)		547,742.20
Baseline Rice Price (Baht/tons) (2004-2021)		9,243.79
CIMP6	2030s	2050s
Temperature (SSP1.19: 50th)	28.07	28.15
Temperature (SSP2.45: 50th)	28.12	28.72
Temperature (SSP8.85: 50th)	28.21	29.21
Precipitation (SSP1.19: 50th)	1,365.28	1,417.97
Precipitation (SSP2.45: 50th)	1,499.31	1,527.58
Precipitation (SSP8.85: 50th)	1,499.92	1,523.87

Source: World Bank (2022) and Result Analysis

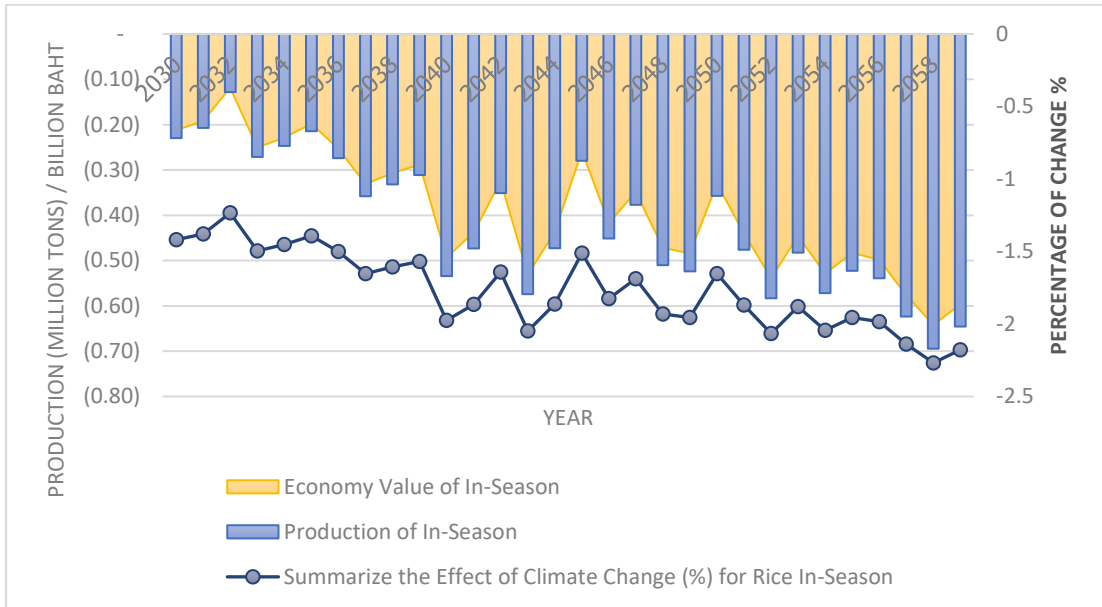
จากตารางที่ 14 การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของการผลิตข้าวภายใต้สถานการณ์สภาพอากาศที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลช่วงทศวรรษที่ 2030s และ 2050s เนื่องจากเป็นปีเป้าหมายเชิงนโยบายของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนที่มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Carbon neutrality and Net zero emission) เพื่อใช้ประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย

และปริมาณน้ำฝนในอนาคตในการจำลองผลกระทบ (Projected Temperature and Projected Precipitation) โดยใช้ข้อมูลสถานการณ์ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ได้แก่ SSP1.19 SSP2.45 และ SSP8.58 ซึ่งเรียงลำดับตามความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ผลการศึกษาพบว่า ในแบบจำลองฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยมีเพิ่มขึ้นจากอิทธิพลของตัวแปรผลผลิตเฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.797 - 3.105 และเมื่อปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นจากอิทธิพลของตัวแปรผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.119 ถึง 0.627 เมื่อรวมผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นส่วนใหญ่ลดลงร้อยละ 1.470 - 2.003 หากแสดงอยู่ในรูปของปริมาณผลผลิตเฉลี่ยคาดการณ์ในอนาคตปริมาณผลผลิตเฉลี่ยลดลง 8,049.72 - 10,973.34 ตัน หรือมูลค่าความเสียหายคาดการณ์ 74.41 - 101.44 ล้านบาท หากพิจารณาถึงความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตจากแบบจำลองฟังก์ชันความแปรปรวน ผลผลิตเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยมีเพิ่มขึ้นจากอิทธิพลของตัวแปรส่งผลให้ความเสี่ยงสูญเสียผลผลิตจากโอกาสความแปรปรวนผลผลิตเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.509 - 0.879 และเมื่อปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นจากอิทธิพลของตัวแปรส่งผลให้ความเสี่ยงสูญเสียผลผลิตจากโอกาสความแปรปรวนผลผลิตเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.004 - 4.165 หากแสดงอยู่ในรูปของปริมาณผลผลิตเฉลี่ยคาดการณ์ในอนาคตความแปรปรวนผลผลิตเฉลี่ยลดลง 2,976.25 - 7,500.17 ตัน หรือมูลค่าความเสียหายคาดการณ์ลดลง 27.51 - 69.33 ล้านบาท ดังแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่จะเกิดใน ภาพที่ 8 - 10

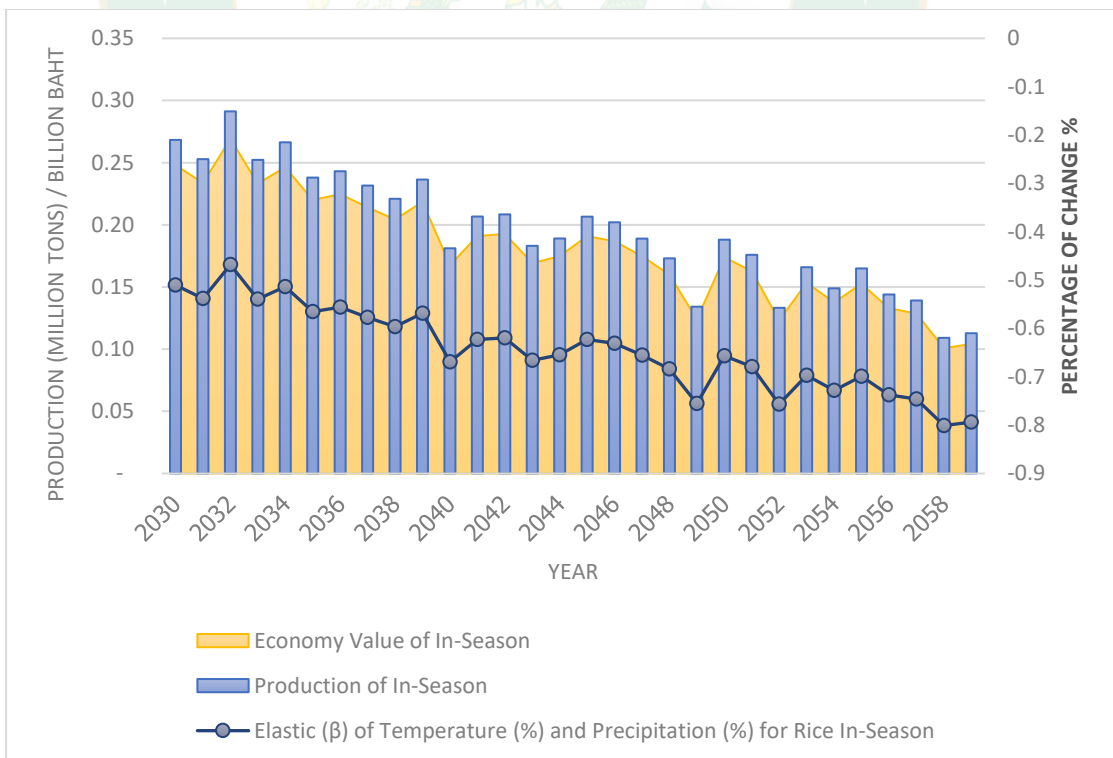
ตารางที่ 14 Projection Effect of Climate Change 2030s 2050s for Mean Rice Production

Projection Climate Change	Mean Fn.		Variance Fn.	
	2030s	2050s	2030s	2050s
Effect of Temp (SSP1.19: 50th)	-1.797	-1.884	-0.509	-0.534
Effect of Temp (SSP2.45: 50th)	-1.856	-2.547	-0.526	-0.721
Effect of Temp (SSP8.85: 50th)	-1.954	-3.105	-0.553	-0.879
Effect of Precipitation (SSP1.19: 50th)	0.119	0.284	-0.004	-0.010
Effect of Precipitation (SSP2.45: 50th)	0.538	0.627	-0.019	2.201
Effect of Precipitation (SSP8.85: 50th)	0.540	0.615	-0.019	-4.165
Effect of Temperature (%)	-1.869	-2.512	-0.529	-0.711
Effect of Precipitation (%)	0.399	0.509	-0.014	-0.658
Summarize the Effect of Climate Change	-1.470	-2.003	-0.543	-1.369

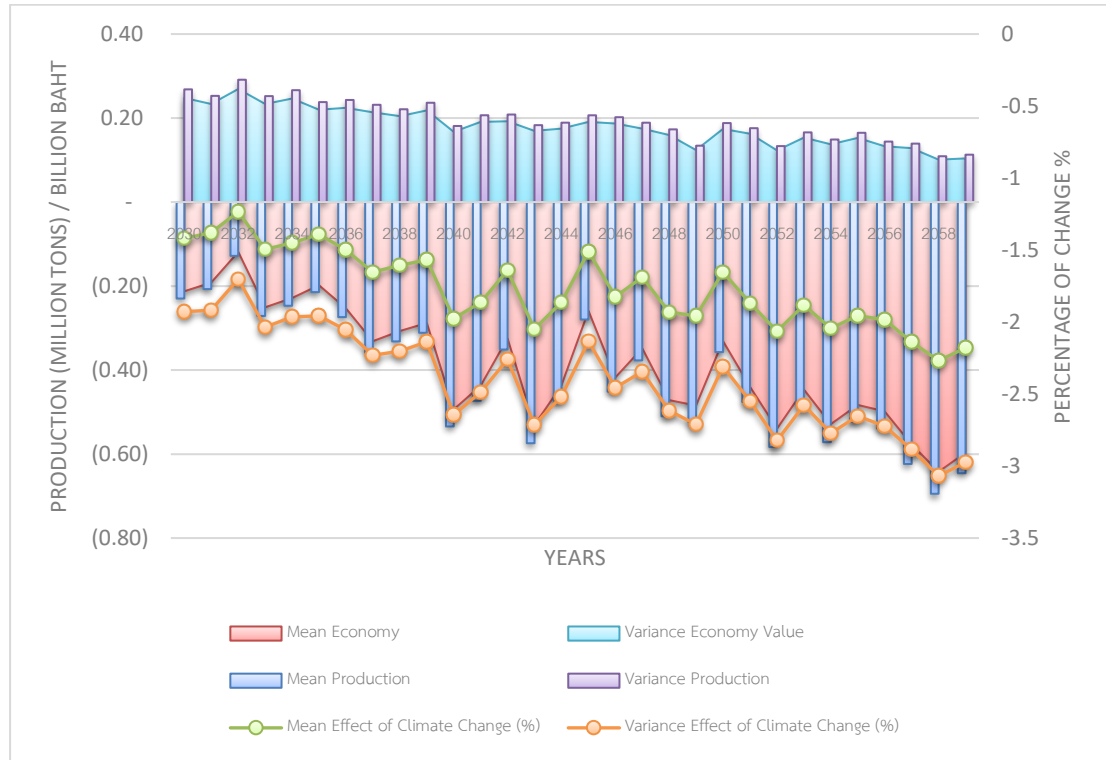
ภาพที่ 8 Effects of Climate Change on Rice Production in Northeastern Thailand in 2030 - 2059



ภาพที่ 9 Risk of Climate Change on Rice Production in Northeastern Thailand in 2030 - 2059



ภาพที่ 10 Figure 1 Projection Effect and Risk of Climate Change on Rice Production in Northeastern Thailand in 2030 - 2059



Source: Result Analysis

โดยสรุป ข้อค้นพบที่น่าเสนอในบทนี้สรุปผลการวิจัยโดยให้ข้อมูลเชิงลึกอันมีคุณค่าเกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวแปรภูมิอากาศ การผลิตข้าว และผลกระทบทางเศรษฐกิจในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การวิเคราะห์ของเราพบว่าอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับผลผลิตข้าว อุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตที่สำคัญทำให้ผลผลิตข้าวลดลง ในขณะที่ปริมาณฝนที่เพียงพอส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การจำลองเชิงตัวเลขของเราคาดการณ์ว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจส่งผลให้ผลผลิตข้าวและมูลค่าทางเศรษฐกิจลดลงอย่างมากในอนาคต บทที่ห้าจะสรุปข้อค้นพบเหล่านี้และเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเพื่อจัดการกับความท้าทายที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในบริบทของการผลิตข้าวในภูมิภาค

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

งานศึกษานี้ “ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์จากข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล” มีวัตถุประสงค์การวิจัยหลักสองประการ ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย และวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าว บทนี้สรุปข้อค้นพบที่สำคัญและข้อมูลเชิงลึกที่ได้จากการวิจัยของเราเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การศึกษาที่ใช้ฟังก์ชันการผลิตเชิงเส้นที่พัฒนาโดย Just and Pope (1978) และทฤษฎีฟังก์ชันการผลิตของ Cobb-Douglas โดยประมาณค่าโดยใช้วิธี FGLS การศึกษาของเรามีส่วนสนับสนุนที่สำคัญต่อสาขาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ โดยเฉพาะในบริบทของการเกษตรและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการผลิตข้าว ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์การผลิต และข้อมูลทุติยภูมิด้านสภาพอากาศจากข้อมูลเชิงประจักษ์จากข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล และสถิติผลผลิตข้าวในพื้นที่ศึกษา ตลอดจนข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการศึกษา อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและความเสี่ยงของการเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคาดการณ์ผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวนาปีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Cobb-Douglas ค่าสัมประสิทธิ์จากการประมาณค่าจึงเป็นค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) ของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวนาปี และวิเคราะห์แบบข้อมูลพหุคูณเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพได้แก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวน จัดรูปแบบสมการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบพหุคูณ (PLS) ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ปลูกข้าว แนวโน้มของเวลา และปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยในฤดูการผลิต มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปี และเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวนาปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันตัวแปร อุณหภูมิเฉลี่ย และ

ความแปรปรวนอุณหภูมิเฉลี่ย มีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวนาปีและเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวนาปี

การศึกษาผลกระทบต่อข้าวนาปีแบ่งเขตตามเขตชลประทาน ใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Cobb-Douglas ค่าสัมประสิทธิ์จากการประมาณค่าจึงเป็นค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) ของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวนาปีโดยได้แบ่งตามพื้นที่เขตชลประทาน และวิเคราะห์แบบข้อมูลพาแนลเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test) ได้แก่ 1) การทดสอบ Panel Unit Root Test ด้วยวิธี Im-Pesaran and Shin (IPS) test พบว่า ข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะหนึ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 หรือ ที่ระดับ level I(0) ของตัวแปรทุกตัว ดังนั้นผู้วิจัยสามารถใช้ข้อมูลพาแนล (Panel Data) ใน 2) การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Hausman's specification test ได้ โดยจัดรูปแบบสมการให้อยู่ในรูปแบบของ Double-Log และพิจารณาค่า P-value จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเฉลี่ยแบบ Fixed Effect Model (FE) และ Random Effect Model (RE) หลังจากนั้น 3) นำแบบสมการที่เหมาะสมมาตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroskedasticity) ด้วยวิธีการ Wald test และแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) ตามแนวคิดของ Just and Pope (1979) สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวน จัดรูปแบบสมการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบพาแนล (PLS) โดยสรุปแล้วปัจจัยที่มีผลกระทบและความเสี่ยงต่อผลผลิตข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน มีทิศทางและขนาดของอิทธิพลที่คล้ายกับผลผลิตข้าวนาปีรวม ในขณะที่ผลผลิตข้าวนาปีในเขตชลประทานมีตัวแปรปริมาณน้ำฝนสะสมกับตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีผลกระทบและความเสี่ยงต่อผลผลิตข้าวนาปี มีทิศทางและขนาดของอิทธิพลที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถอนุมานได้ว่า มีอิทธิพลของลักษณะพื้นที่ได้รับน้ำจากชลประทานที่แตกต่างกัน

5.1.2 ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง

สภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าว

จำลองผลกระทบโดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรสภาพอากาศ (Elastic-Temperature and Elastic-Precipitation) จากผลของข้อมูลปีฐาน ซึ่งอยู่ในรูปร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ผลการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของการผลิตข้าวภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเส้นทางการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมแบบร่วมแบ่งปัน ในทศวรรษที่ 2030 และ 2050 พบว่า ผลผลิตเฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.470 - 2.003 ก่อให้เกิดความเสียหายจากผลผลิตลดลง 8,049.72 ตัน คิดเป็นมูลค่า 74.41 ล้านบาท และ 10,973.34 คิดเป็นมูลค่า 101.44 ล้านบาท โดยเป็นผลจากอิทธิพลอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นหลัก ในขณะที่ความเสี่ยงจาก

ความแปรปรวนผลผลิตเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.509 - 0.879 ความเสี่ยงผลผลิตเฉลี่ยลดลง 2,976.25 ตัน คิดเป็นมูลค่า 27.51 ล้านบาท และความเสี่ยงผลผลิตเฉลี่ยลดลง 7,500.17 ตัน คิดเป็นมูลค่า 69.33 ล้านบาท

5.2 อภิปรายผลการศึกษา

ผลจากการประมาณค่าแบบจำลองแสดงให้เห็น ตัวแปรอิสระทุกตัวส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวนาปีในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ตัวแปรพื้นที่ปลูกข้าวมีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sinnarong et al. (2019) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงปี 1989-2009 และ Sinnarong et al. (2022) ได้ศึกษาเพิ่มเติมในช่วงปี 1989-2017 เช่นเดียวกับ Pakeechai et al. (2020) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคกลาง ช่วงปี 1987-2017 และ Puphoun et al. (2019) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคเหนือ ช่วงปี 1987-2017 โดยให้ผลการศึกษตรงกันว่าพื้นที่ปลูกข้าวมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีอุปทานสินค้าเกษตรและทฤษฎีการผลิต เมื่อพิจารณาตัวแปรแนวโน้มของเวลา (Trend Time) มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Puphoun et al. (2019); Pakeechai et al. (2020) และ Sinnarong et al. (2022) พบว่า ตัวแปรแนวโน้มเวลาหรือการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรข้าวเป็นตัวแปรลดผลกระทบและความเสี่ยงที่ผลผลิตจะลดลง (Downside Risk) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นในอนาคต แสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีการผลิตมีผลต่อระดับผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยในทิศทางเดียวกัน และมีส่วนสำคัญในการผลิตทางการเกษตร ซึ่งเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ซึ่งเป็นตามทฤษฎีการผลิตเมื่อคำนึงถึงเทคโนโลยีตามกฎของอุปทาน เมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มตัวแทนการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ อันได้แก่ ปริมาณน้ำฝนสะสม ความแปรปรวนของ ปริมาณน้ำฝนสะสม อุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ตัวแปรแรก ปริมาณน้ำฝน มีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sinnarong et al. (2019) Puphoun et al. (2019) Pakeechai et al. (2020) และ Sinnarong et al. (2022) ปริมาณน้ำฝนสะสมเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตข้าว ต่อมาความแปรปรวนปริมาณน้ำฝนสะสมมีผลกระทบเชิงบวกต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ถัดมา อุณหภูมิเฉลี่ย มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 สอดคล้องกับงานของ Sinnarong et al. (2019) และ Puphoun et al. (2019) เช่นเดียวกับในกรณีผลการศึกษาของ Pakeechai et al. (2020) ที่ใช้อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเป็นตัวแทนก็มีผลกระทบเชิงลบต่อ

ผลผลิตข้าวนาปีและเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ได้มีผลการศึกษาของ Sinnarong et al. (2022) ที่ได้ระบุถึงทิศทางของผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงปี 1989-2017 แม้จะไม่ได้มีนัยสำคัญก็ และสุดท้ายความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย มีผลกระทบเชิงลบต่อร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวโดยสรุปแล้ว พื้นที่ปลูกข้าวและแนวโน้มของเวลามีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าว ต่อมาเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มน้ำฝนจะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำสะสมและความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสะสมมีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวนาปี ถัดไปเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มอุณหภูมิจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยมีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปี อย่างไรก็ตาม เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีทั้งสามกรณีจากฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี

การผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเสี่ยงจากความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี (Variance Production Model) โดยใช้รูปแบบสมการแบบ Cobb-Douglas จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบพหุคูณ (PLS) ตัวแปรแนวโน้มของเวลา (Trend Time) เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปีอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 กล่าวคือ ถัดมาเมื่อพิจารณาตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย เป็นตัวแปรลดความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในทางตรงกันข้ามความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย เป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงของร้อยละปริมาณผลผลิตข้าวนาปี อย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จากผลการศึกษาข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Puphoun et al. (2019); Pakeechai et al. (2020) และ Sinnarong et al. (2022)

ตัวแปรพื้นที่ปลูกข้าวซึ่งเป็นตัวแทนจากทฤษฎีการผลิตของทั้งสามกรณี ข้าวนาปี ข้าวนาปีนอกเขตชลประทาน และข้าวนาปีในเขตชลประทาน ล้วนแล้วแต่มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวและขณะเดียวกันเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sinnarong et al. (2019) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงปี 1989-2009 และ Sinnarong et al. (2022) ได้ศึกษาเพิ่มเติมในช่วงปี 1989-2017 เช่นเดียวกับ Pakeechai et al. (2020) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคกลาง ช่วงปี 1987-2017 และ Puphoun et al. (2019) ที่ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อการผลิตข้าวภาคเหนือ ช่วงปี 1987-2017 โดยให้ผลการศึกษาดังกล่าว พื้นที่ปลูกข้าวมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีอุปทานสินค้าเกษตรและทฤษฎีการผลิต ต่อมาตัวแปรแนวโน้มของเวลามีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวทั้งสามกรณี และขณะเดียวกันเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา

ของ Puphoun et al. (2019); Pakeechai et al. (2020) และ Sinnarong et al. (2022) พบว่าตัวแปรแนวโน้มเวลาหรือการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรข้าวเป็นตัวแปรลดผลกระทบและความเสี่ยงที่ผลผลิตจะลดลง (Downside Risk) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นในอนาคต แสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีการผลิตมีผลต่อระดับผลผลิตข้าวรายปีเฉลี่ยในทิศทางเดียวกัน และมีส่วนสำคัญในการผลิตทางการเกษตร ซึ่งเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ซึ่งเป็นตามทฤษฎีการผลิตเมื่อคำนึงถึงเทคโนโลยีตามกฎของอุปทาน หากเมื่อพิจารณาตัวแปรกลุ่มการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศอันได้แก่ ปริมาณน้ำฝนสะสม ความแปรปรวนของ ปริมาณน้ำฝนสะสม อุณหภูมิเฉลี่ย ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย และตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการมากกว่า 1,290 มิลลิเมตร (Phitsanulok Rice Research Center, 2017) ตัวแปรปริมาณน้ำฝนสะสม มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวรายปีและพื้นที่นอกเขตชลประทาน ตรงกันข้ามมีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวรายปีในเขตชลประทาน แต่ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวทั้งสามกรณีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sinnarong et al. (2019) Puphoun et al. (2019) Pakeechai et al. (2020) และ Sinnarong et al. (2022) ปริมาณน้ำฝนสะสมเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตข้าวเนื่องจากประเทศไทยยังต้องพึ่งพาน้ำฝนเป็นหลักและการเข้าถึงแหล่งน้ำชลประทานยังมีน้อย ในกรณีของในเขตชลประทานที่มีผลเชิงลบ แสดงถึงความไม่สมดุลของปริมาณน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เมื่อถึงฤดูฝนมักจะมีมากจนน้ำท่วมและยามเมื่อฝนแล้งก็ขาดแคลน ตามลำดับ ถัดมาตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวรายปีกับพื้นที่นอกเขตชลประทาน ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวของสองกรณีข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งตรงกันข้ามกับพื้นที่ในเขตชลประทานที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวและเป็นตัวแปรลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาในกรณีของข้าวรายปีกับพื้นที่นอกเขตชลประทาน สอดคล้องกับงานของ Sinnarong et al. (2019) และ Puphoun et al. (2019) เช่นเดียวกับในกรณีผลการศึกษาของ Pakeechai et al. (2020) ที่ใช้อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเป็นตัวแทนก็มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวรายปีและเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ได้มีผลการศึกษาของ Sinnarong et al. (2022) ที่ได้ระบุถึงทิศทางของผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวรายปีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงปี 1989-2017 แม้จะไม่ได้มีนัยสำคัญก็ และสุดท้ายตัวแปรหุ่นเป็นตัวแทนของเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกินความต้องการ มีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าว ขณะเดียวกันเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงจากความแปรปรวนต่อการผลิตข้าวทั้งสามกรณีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาใดใช้ตัวแปรหุ่นนี้ในการศึกษามาก่อน แต่ Puphoun et al. (2019) ได้ใช้ตัวแปรจำนวนวันที่ฝนตกและความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตก ในการอธิบายอิทธิพลของเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณ

น้ำฝนสะสม โดยระบุว่า จำนวนวันที่ฝนตกมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวในปีในภาคเหนือ และ ความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตกมีผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ข้างต้น กล่าวโดยสรุป แล้ว ปัจจัยที่มีผลกระทบและความเสี่ยงต่อผลผลิตข้าวปีนอกเขตชลประทาน มีทิศทางและขนาด ของอิทธิพลที่คล้ายกับผลผลิตข้าวปีรวม ในขณะที่ผลผลิตข้าวปีในเขตชลประทานมีตัวแปร ปริมาณน้ำฝนสะสมกับตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีผลกระทบและความเสี่ยงต่อผลผลิตข้าวปี มีทิศทาง และขนาดของอิทธิพลที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถอนุมานได้ว่า มีอิทธิพลของลักษณะพื้นที่ ได้รับน้ำจากชลประทานที่แตกต่างกัน

5.3 ข้อค้นพบที่สำคัญ

5.2.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบอย่างลึกซึ้งต่อการ ผลิตข้าว อุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงการเจริญเติบโตที่สำคัญ ส่งผลให้ผลผลิตลดลง ในขณะที่ ปริมาณฝนที่เพียงพอส่งผลดีต่อการผลิตข้าว อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิด น้ำท่วม ซึ่งส่งผลเสียต่อผลผลิต ข้อมูลเชิงลึกเหล่านี้เน้นย้ำถึงความเปราะบางของการผลิตข้าวในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

5.2.2 ผลกระทบทางเศรษฐกิจ

ผลกระทบทางเศรษฐกิจจากการศึกษาของเรามีความสำคัญเช่นกัน ผลการจำลองเชิงตัวเลข คาดการณ์ว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะก่อให้เกิดความเสี่ยงอย่างมากต่อการผลิตข้าว ภายในทศวรรษ 2030 และ 2050 อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจทำให้ผลผลิตลดลง 1.470% และ 2.003% ตามลำดับ ส่งผลให้ปริมาณการผลิตข้าวและมูลค่าทางเศรษฐกิจลดลงอย่างมาก การค้นพบดังกล่าวมี ผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อภาคเกษตรกรรม การดำรงชีวิต และความมั่นคงทางอาหารในภูมิภาค

5.4 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

จากการศึกษาของเรา เราเสนอแนวทางต่อไปนี่เพื่อรับมือกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย:

1) เกษตรกรรมที่ทนต่อสภาพภูมิอากาศ การพัฒนาแนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่ทน ต่อสภาพภูมิอากาศ เช่น การพัฒนาพันธุ์ข้าวที่ทนความร้อน และปรับปรุงกลยุทธ์การจัดการน้ำ แนวทางเหล่านี้สามารถช่วยบรรเทาผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นและปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไปต่อ ผลผลิตข้าวได้

2) ระบบเตือนภัยล่วงหน้า การสร้างระบบเตือนภัยล่วงหน้าเพื่อแจ้งเตือนเกษตรกรและเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ เช่น น้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้น ข้อมูลทันเวลาสามารถช่วยให้เกษตรกรดำเนินการป้องกันเพื่อลดความเสียหาย

3) การวิจัยและพัฒนา และการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเพื่อระบุและส่งเสริมแนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่ยั่งยืนซึ่งปรับให้เข้ากับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง แนวทางเหล่านี้รวมถึงการวิจัยเกี่ยวกับพืชทนแล้ง ระบบชลประทานที่มีประสิทธิภาพ และเทคนิคการจัดการศัตรูพืชที่เป็นนวัตกรรมใหม่

4) การสนับสนุนนโยบาย นโยบายของรัฐบาลควรสนับสนุนแนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่ชาญฉลาดด้านสภาพภูมิอากาศ ให้การสนับสนุนทางการเงินเพื่อลดความเสี่ยง และเสนอทางเลือกในการประกันภัยเพื่อปกป้องเกษตรกรจากการสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ

5.5 การวิจัยในอนาคต

จากการศึกษานี้ พบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบที่ซับซ้อนต่อการผลิตข้าว ซึ่งจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต การวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่การสำรวจผลกระทบในท้องถิ่น คำนึงถึงความแปรผันของภูมิภาค และพิจารณาการปรับตัวในระยะยาว นอกจากนี้ การสำรวจพืชทางเลือกและแนวทางปฏิบัติทางการเกษตรเชิงนวัตกรรมก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน

โดยสรุปแล้ว การศึกษารุ่นนี้ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ผลกระทบต่อผลผลิตและมูลค่าทางเศรษฐกิจแสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพื่อปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การริเริ่มต่าง ๆ เช่น แนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่ทนต่อสภาพภูมิอากาศ ระบบเตือนภัยล่วงหน้า และการวิจัยและพัฒนา จะช่วยให้ภูมิภาคมีความยืดหยุ่นมากขึ้นต่อสภาพภูมิอากาศที่กำลังพัฒนา ด้วยการร่วมมือกันสามารถรักษาอนาคตของการผลิตข้าวและปกป้องความเป็นอยู่ของผู้ที่ต้องพึ่งพาสภาพภูมิอากาศ ฝนฟ้า เป็นทรัพยากรหลักในการผลิตทางการเกษตร



ภาคผนวก

ผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนา

ตารางที่ 15 ตารางสถิติพรรณนาของนาปีรวม

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
In-Season Production (tonnes)	663	547742.2	304467.01	56290	1436095
In-Season Area harvested (Rai)	663	1742586.1	903522.26	231221	4163693
Trend Time (Technology Change)	663	20	11.263	1	39
Cumulative Precipi.)	663	1327.447	283.81	846.906	2540.216
Precipitation Vari.) ²	663	629.83	994.59	.001	9564.314
Consecutive Dry Days	663	4.463	3.673	0	19
Average Temperature (°C)	663	26.502	.672	24.277	28.043
Average Temperature Variance	663	.004	.005	0	.03
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	663	3.9	5.926	0	37

ตารางที่ 16 ตารางสถิติพรรณนาของนาปีรวมในเขตพื้นที่เขตชลประทาน

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
In-Irrigated Production (tonnes)	361	67549.51	50736.325	5534	263502
In-Irrigated Area harvested (Rai)	361	174809.5	130788.8	7388	614351
Trend Time (Technology Change)	361	10	5.485	1	19
Cumulative Precipi.)	361	1322.477	266.482	846.906	2540.216
Precipitation Vari.) ²	361	1416.386	2271.729	.054	24774.875
Consecutive Dry Days	361	4.626	3.685	0	19
Average Temperature (°C)	361	26.699	.614	24.56	28.036
Average Temperature Variance	361	.006	.006	0	.032
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	361	3.978	6.007	0	37

ตารางที่ 17 ตารางสถิติพรรณนาของนาปีรวมนอกเขตพื้นที่เขตชลประทาน

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Out-Irrigated Production (tonnes)	361	537001.18	299597.16	99031	1323437
Out-Irrigated Area harvested (Ra)	361	1544448.1	838660.74	279675	3807093
Trend Time (Technology Change)	361	10	5.485	1	19
Cumulative Precipi.)	361	1322.477	266.482	846.906	2540.216
Precipitation Vari.) ²	361	1416.386	2271.729	.054	24774.875
Consecutive Dry Days	361	4.626	3.685	0	19
Average Temperature (°C)	361	26.699	.614	24.56	28.036
Average Temperature Variance	361	.006	.006	0	.032
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	361	3.978	6.007	0	37

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ที่ 1 ของข้าวนาปีรวม

Rice In-Season Production (tonnes) Northeast 1983-2021

ตารางที่ 18 Panel unit root test: At Level and Include Time and Trend of Rice In-Season

VARIABLES	Levin-Lin-Chu			Im-Pesaran-Shin	
	Unadjusted t	Adjusted t*	p-value	W-t-bar (Stat)	p-value
Linear					
Total_Production	-16.6026	-9.4041	0.0000***	-9.7844	0.0000***
Total_Areahav	-17.3511	-9.7516	0.0000***	-10.6159	0.0000***
Precipitation	-23.8402	-17.6894	0.0000***	-17.2796	0.0000***
Dryday	-30.1071	-24.5173	0.0000***	-25.0098	0.0000***
MeanTemp	-25.5826	-19.4774	0.0000***	-19.2151	0.0000***
Heat35	-24.1263	-17.5893	0.0000***	-17.6383	0.0000***
Var_Precipitation	-29.2049	-22.8570	0.0000***	-23.6853	0.0000***
Var_MeanTemp	-19.3526	-	0.0000***	-12.0828	0.0000***
		12.29478			
Natural Logarithm					
lnTotal_Production	-5.3009	-2.6687	0.0000***	-3.6502	0.0000***
lnTotal_Areahav	-18.5410	-10.5270	0.0000***	-11.9220	0.0000***
lnPrecipitation	-23.4222	-17.2509	0.0000***	-16.7793	0.0000***
lnMeanTemp	-25.6938	-19.5719	0.0000***	-19.3463	0.0000***
lnVar_Precipitation	-28.7044	-22.0959	0.0000***	-23.0217	0.0000***
lnVar_MeanTemp	-25.5279	-18.0460	0.0000***	-19.5264	0.0000***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 19 Model Specification Test of Rice In-Season

Type of test	Hypothesis	Significance	
Breusch-Pagan			
Lagrange Multiplier (LM) test for random effects	H ₀ : No Random Effect	$\bar{\chi}^2(01) = 24.84$	Prob > $\chi^2 = 0.0000$ ***
Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects	H ₀ : Difference in Coefficients Not Systematic	$\chi^2 (7) = 33.08$	Prob > $\chi^2 = 0.0000$ ***
Wooldridge Test for Serial Correlation	H ₀ : No First-Order Autocorrelation	F(1, 16) = 22.020	Prob > F = 0.0002***
Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity	H ₀ : $\sigma(\epsilon)^2 = \sigma^2$ for all ϵ	$\chi^2 (17) = 93.33$	Prob > $\chi^2 = 0.0000$ ***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 20 Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity of Rice In-Season

Panel Groupwise Heteroscedasticity Tests			
H ₀ : $\sigma^2(i) = \sigma^2$ for all i (Homoscedasticity)	H _a : Groupwise Heteroscedasticity		
- Lagrange Multiplier LM Test	207.5283	P-Value > χ^2 (16)	0.0000***
- Likelihood Ratio LR Test	122.8174	P-Value > χ^2 (16)	0.0000***
- Wald Test	146.2741	P-Value > χ^2 (17)	0.0000***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 21 Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects of Rice In-Season

VARIABLES	Coefficients		(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
	(b) Fixed Effects	(B) Random Effects		
lnTotal_Production	0.9818	0.9420	0.0397	0.0301
lnTotal_Areahav	0.1214	0.1367	-0.0153	0.0037
lnPrecipitation	0.1538	0.0258	0.1281	0.0308
lnVar_Precipitation	0.0059	0.0058	0.0001	0.0002
Dryday	-0.0015	-0.0040	0.0025	0.0005
lnMeanTemp	2.3807	0.8539	1.5268	0.3333
lnVar_MeanTemp	-0.0037	-0.0041	0.0004	0.0003
Heat35	-0.0033	-0.0018	-0.0015	0.0003

H ₀ : Difference in Coefficients Not Systematic	Coef.
Chi-square test value	33.085
P-value (Prob > χ^2)	0.0000***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 22 Mean Production Function Rice In-Season Production

VARIABLES	Panel Effects Estimation			
	Pooled OLS Estimation	Fixed Effects (Robust)	Random Effects (Robust)	Generalized Least Square Estimation
In-Season Area harvested (Rai)	0.936*** (0.011)	0.982*** (0.072)	0.942*** (0.035)	0.960*** (0.010)
Trend Time (Technology Change)	0.147*** (0.007)	0.121*** (0.013)	0.137*** (0.010)	0.144*** (0.006)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.115*** (0.031)	0.154*** (0.043)	0.026 (0.044)	-0.066** (0.026)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.005** (0.003)	0.006** (0.002)	0.006** (0.002)	0.007*** (0.002)
Consecutive Dry Days	-0.006*** (0.002)	-0.002 (0.001)	-0.004*** (0.001)	-0.005*** (0.001)
Average Temperature (°C)	-0.385 (0.331)	2.381*** (0.566)	0.854 (0.872)	0.887*** (0.320)
Average Temperature Variance (°C) ²	-0.004 (0.003)	-0.004* (0.002)	-0.004** (0.002)	-0.005** (0.002)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	-0.001 (0.001)	-0.003** (0.001)	-0.002 (0.002)	-0.003*** (0.001)
Constant	1.398 (1.053)	-10.180*** (2.027)	-3.734 (3.239)	-3.464*** (1.080)
Observations	663	663	663	663
R-squared	0.952	0.765	0.949	Not Applicable
Adjusted R-squared	0.951	0.762	0.761	Not Applicable
Province FE	No	Yes	Non	Auto
Year RE	No	Non	Yes	Auto
Log likelihood	336.6	398.3		409.2
Number of id Province		17	17	17

Standard errors in parentheses: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

ตารางที่ 23 Akaike's information criterion and Bayesian information criterion of Rice In-Season

Model	N	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
Pooled	663	-668.336	336.627	9	-655.255	-614.784
Fixed	663	-82.248	398.288	8	-780.577	-744.602
hdfe	663	-82.248	398.288	8	-780.577	-744.602
FGLS	663	.	409.238	26	-766.477	-649.561
FGLScorr	663	.	790.534	162	-1257.068	-528.591

Note: BIC uses N = number of observations.

ตารางที่ 24 Variance Skewness Production Function of Rice In-Season

VARIABLES	(1) Variance Production Model	(2) Skewness Production Model
In-Season Area harvested (Rai)	-0.000 (0.008)	-0.006*** (0.002)
Trend Time (Technology Change)	-0.021*** (0.005)	-0.007*** (0.001)
Cumulative Precipitation (mm.)	0.011 (0.022)	-0.003 (0.006)
Precipitation Variance (mm.) ²	-0.002 (0.002)	-0.000 (0.000)
Consecutive Dry Days	-0.001 (0.001)	-0.001** (0.000)
Average Temperature (°C)	-0.128 (0.234)	-0.113* (0.059)
Average Temperature Variance	-0.000 (0.002)	-0.001** (0.001)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	0.000 (0.001)	0.000** (0.000)
Constant	0.431 (0.743)	0.507*** (0.190)
Observations	663	361
R-squared	0.038	0.231
Adjusted R-squared	0.0264	0.213
Root MSE	0.103	0.0197
Log likelihood	568.3	909.8
F-test	3.245	13.21

Standard errors in parentheses: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

ตารางที่ 25 Stochastic Production Function (Just and Pope) of Rice In-Season

VARIABLES	(1) Mean Function (FGLS)	(2) Variance Function (PLS)	(3) Skewness Function (PLS)
In-Season Area harvested (Rai)	0.960*** (0.010)	-0.000 (0.008)	-0.006*** (0.002)
Trend Time (Technology Change)	0.144*** (0.006)	-0.021*** (0.005)	-0.007*** (0.001)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.066** (0.026)	0.011 (0.022)	-0.003 (0.006)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.007*** (0.002)	-0.002 (0.002)	-0.000 (0.000)
Consecutive Dry Days	-0.005*** (0.001)	-0.001 (0.001)	-0.001** (0.000)
Average Temperature (°C)	0.887*** (0.320)	-0.128 (0.234)	-0.113* (0.059)
Average Temperature Variance (°C) ²	-0.005** (0.002)	-0.000 (0.002)	-0.001** (0.001)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	-0.003*** (0.001)	0.000 (0.001)	0.000** (0.000)
Constant	-3.464*** (1.080)	0.431 (0.743)	0.507*** (0.190)
Observations	663	663	361
R-squared		0.038	0.231
Adjusted R-squared		0.0264	0.213
Number of id_Province	17		
Log likelihood	409.2	568.3	909.8
Root MSE		0.103	0.0197
F-test		3.245	13.21

Standard errors in parentheses: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Rice In-Irrigated Area In-Season Production (tonnes) Northeast 2002-2020

ตารางที่ 26 Panel unit root test: At Level and Include Time and Trend of Rice In-Irrigated Area

VARIABLES	Levin-Lin-Chu			Im-Pesaran-Shin	
	Unadjusted t	Adjusted t*	p-value	W-t-bar (Stat)	p-value
Linear					
Total_Production	-12.4655	-4.9741	0.0000***	-2.8921	0.0019***
Total_Areahav	-12.3970	-5.6904	0.0000***	-2.9858	0.0014***
Precipitation	-19.2647	-11.6482	0.0000***	-9.2561	0.0000***
Dryday	-24.2750	-18.1508	0.0000***	-14.6631	0.0000***
MeanTemp	-18.9116	-13.0811	0.0000***	-8.8796	0.0000***
Heat35	-15.9048	-7.3099	0.0000***	-5.6870	0.0000***
Var_Precipitation	-29.1016	-21.4959	0.0000***	-19.0358	0.0000***
Var_MeanTemp	-22.7769	-16.2410	0.0000***	-12.9698	0.0000***
Natural Logarithm					
lnTotal_Production	-12.3849	-5.1475	0.0000***	-2.9873	0.0014***
lnTotal_Areahav	-13.0266	-6.4720	0.0000***	-3.4996	0.0002***
lnPrecipitation	-18.5981	-11.0975	0.0000***	-8.6029	0.0000***
lnMeanTemp	-18.9943	-13.1595	0.0000***	-8.9666	0.0000***
lnVar_Precipitation	-24.2388	-17.2533	0.0000***	-14.7481	0.0000***
lnVar_MeanTemp	-22.2248	-15.5653	0.0000***	-12.3373	0.0000***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 27 Model Specification Test of Rice In-Irrigated Area

Type of test	Hypothesis		Significance
Breusch-Pagan Lagrange Multiplier (LM) test for random effects	H ₀ : No Random Effect	$\bar{\chi}^2(01) = 107.55$	Prob > $\chi^2 = 0.0000^{***}$
Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects	H ₀ : Difference in Coefficients Not Systematic	$\chi^2(7) = 38.15$	Prob > $\chi^2 = 0.0000^{***}$
Wooldridge Test for Serial Correlation	H ₀ : No First-Order Autocorrelation	F(1, 18) = 4.427	Prob > F = 0.0497**
Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity	H ₀ : $\sigma(\epsilon)^2 = \sigma^2$ for all ϵ	$\chi^2(19) = 294.60$	Prob > $\chi^2 = 0.0000^{***}$

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 28 Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity of Rice In-Irrigated Area

Panel Groupwise Heteroscedasticity Tests				
	H ₀ : $\sigma(i)^2 = \sigma^2$ for all i (Homoscedasticity)		Ha: Groupwise Heteroscedasticity	
- Lagrange Multiplier LM Test	148.6400	P-Value > $\chi^2(18)$	0.0000***	
- Likelihood Ratio LR Test	111.3092	P-Value > $\chi^2(18)$	0.0000***	
- Wald Test	294.6000	P-Value > $\chi^2(19)$	0.0000***	

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 29 Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects of Rice In-Irrigated Area

VARIABLES	Coefficients		(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
	(b) Fixed Effects	(B) Random Effects		
lnTotal_Production	0.7516	0.9173	-0.1657	0.0289
lnTotal_Areahav	0.0304	0.0072	0.0232	0.0047
lnPrecipitation	0.1085	0.0216	0.0869	0.0250
lnVar_Precipitation	0.0038	0.0047	-0.0010	0.0003
Dryday	0.0009	-0.0008	0.0018	0.0005
lnMeanTemp	0.7059	1.0679	-0.3619	0.4468
lnVar_MeanTemp	0.0033	0.0032	0.0001	0.0003
Heat35	0.0000	-0.0006	0.0006	0.0005

H ₀ : Difference in Coefficients Not Systematic	Coef.
Chi-square test value	38.150
P-value (Prob > χ^2)	0.0000***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 30 Mean Production Function Rice Irrigated Area In-Season

VARIABLES	Panel Effects Estimation			
	Pooled OLS Estimation	Fixed Effects (Robust)	Random Effects (Robust)	Generalized Least Square Estimation
In-Irrigated Area harvested (tonnes)	0.961*** (0.008)	0.752*** (0.059)	0.917*** (0.023)	0.974*** (0.008)
Trend Time (Technology Change)	0.004 (0.009)	0.030** (0.013)	0.007 (0.015)	0.008 (0.007)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.105*** (0.037)	0.108 (0.072)	0.022 (0.062)	-0.088*** (0.029)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.005 (0.003)	0.004* (0.002)	0.005** (0.002)	0.003 (0.002)
Consecutive Dry Days	-0.001 (0.002)	0.001 (0.001)	-0.001 (0.002)	-0.003* (0.001)
Average Temperature (°C)	0.425 (0.398)	0.706 (0.888)	1.068 (0.861)	0.124 (0.331)
Average Temperature Variance (°C) ²	0.002 (0.003)	0.003 (0.002)	0.003 (0.002)	0.000 (0.003)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	0.000 (0.001)	0.000 (0.002)	-0.001 (0.002)	0.002 (0.001)
Constant	-1.149 (1.327)	-1.198 (3.018)	-3.654 (2.918)	-0.446 (1.106)
Observations	361	361	361	361
R-squared	0.980	0.720	0.980	Not Applicable
Adjusted R-squared	0.980	0.714	0.712	Not Applicable
Province FE	No	Yes	No	Auto
Year FE	No	Yes	No	Auto
Log likelihood	240.5	314.2		299.9
Number of id Province		19	19	19

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

ตารางที่ 31 Akaike's information criterion and Bayesian information criterion of Rice In-Irrigated Area

Model	N	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
Pooled	361	-469.894	240.505	9	-463.009	-428.009
Fixed	361	84.154	314.216	8	-612.433	-581.322
hdfe	361	149.365	340.604	7	-667.209	-639.987
FGLS	361	.	299.910	28	-543.820	-434.932
FGLScorr	361	.	822.111	199	-1246.222	-472.336

Note: BIC uses N = number of observations.

ตารางที่ 32 Variance Skewness Production Rice Irrigated Area In-Season

VARIABLES	(1) Variance Production Model	(2) Skewness Production Model
In-Irrigated Area harvested (tonnes)	-0.014*** (0.003)	-0.022*** (0.006)
Trend Time (Technology Change)	-0.012*** (0.004)	-0.006 (0.007)
Cumulative Precipitation (mm.)	0.002 (0.016)	-0.010 (0.033)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.001 (0.001)	0.002 (0.002)
Consecutive Dry Days	-0.000 (0.001)	-0.000 (0.001)
Average Temperature (°C)	0.304* (0.167)	0.462* (0.267)
Average Temperature Variance	0.001 (0.001)	0.001 (0.003)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	-0.001 (0.001)	-0.001 (0.001)
Constant	-0.801 (0.557)	-1.165 (0.892)
Observations	361	179
R-squared	0.082	0.091
Adjusted R-squared	0.0613	0.0481
Root MSE	0.0528	0.0657
Log likelihood	554	238.1
F-test	3.939	2.124

Standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

ตารางที่ 33 Stochastic Production Function (Just and Pope) of Rice In-Irrigated Area

VARIABLES	(1) Mean Function (FGLS)	(2) Variance Function (PLS)	(3) Skewness Function (PLS)
In-Irrigated Area harvested (tonnes)	0.974*** (0.008)	-0.014*** (0.003)	-0.022*** (0.006)
Trend Time (Technology Change)	0.008 (0.007)	-0.012*** (0.004)	-0.006 (0.007)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.088*** (0.029)	0.002 (0.016)	-0.010 (0.033)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.003 (0.002)	0.001 (0.001)	0.002 (0.002)
Consecutive Dry Days	-0.003* (0.001)	-0.000 (0.001)	-0.000 (0.001)
Average Temperature (°C)	0.124 (0.331)	0.304* (0.167)	0.462* (0.267)
Average Temperature Variance (°C) ²	0.000 (0.003)	0.001 (0.001)	0.001 (0.003)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	0.002 (0.001)	-0.001 (0.001)	-0.001 (0.001)
Constant	-0.446 (1.106)	-0.801 (0.557)	-1.165 (0.892)
Observations	361	361	179
R-squared	Not Applicable	0.082	0.091
Adjusted R-squared	Not Applicable	0.0613	0.0481
Number of id_Province	19		
Log likelihood	299.9	554	238.1
Root MSE		0.0528	0.0657
F-test		3.939	2.124

Standard errors in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Rice Out-Irrigated Area In-Season Production (tonnes) Northeast 2002-2020

ตารางที่ 34 Panel unit root test: At Level and Include Time and Trend of Rice Out-Irrigated Area

VARIABLES	Levin-Lin-Chu			Im-Pesaran-Shin	
	Unadjusted t	Adjusted t*	p-value	W-t-bar (Stat)	p-value
Linear					
OutIrr_Production	-12.9631	-6.2458	0.0000***	-3.5882	0.0002***
OutIrr_Areahav	-13.9703	-6.0038	0.0000***	-4.3470	0.0000***
Precipitation	-19.2647	-11.6482	0.0000***	-9.2561	0.0000***
Dryday	-24.2750	-18.1508	0.0000***	-14.6631	0.0000***
MeanTemp	-18.9116	-13.0811	0.0000***	-8.8796	0.0000***
Heat35	-15.9048	-7.3099	0.0000***	-5.6870	0.0000***
Var_Precipitation	-29.1016	-21.4959	0.0000***	-19.0358	0.0000***
Var_MeanTemp	-22.7769	-16.2410	0.0000***	-12.9698	0.0000***
Natural Logarithm					
lnOutIrr_Production	-12.8021	-6.1040	0.0000***	-3.5108	0.0002***
lnOutIrr_Areahav	-13.9621	-6.0453	0.0000***	-4.3607	0.0000***
lnPrecipitation	-18.5981	-11.0975	0.0000***	-8.6029	0.0000***
lnMeanTemp	-18.9943	-13.1595	0.0000***	-8.9666	0.0000***
lnVar_Precipitation	-24.2388	-17.2533	0.0000***	-14.7481	0.0000***
lnVar_MeanTemp	-22.2248	-15.5653	0.0000***	-12.3373	0.0000***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 35 Model Specification Test of Rice Out-Irrigated Area

Type of test	Hypothesis		Significance
Breusch-Pagan Lagrange Multiplier (LM) test for random effects	H ₀ : No Random Effect	$\bar{\chi}^2(01) = 214.00$	Prob > $\chi^2 = 0.0000***$
Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects	H ₀ : Difference in Coefficients Not Systematic	$\chi^2(7) = 6.63$	Prob > $\chi^2 = 0.4688$
Wooldridge Test for Serial Correlation	H ₀ : No First-Order Autocorrelation	F(1, 18) = 31.148	Prob > F = 0.0000***
Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity	H ₀ : $\sigma(\epsilon)^2 = \sigma^2$ for all ϵ	$\chi^2(19) = 195.89$	Prob > $\chi^2 = 0.0000***$

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 36 Modified Wald Test for Group Wise Heteroskedasticity of Rice Out-Irrigated Area

Panel Groupwise Heteroscedasticity Tests			
H ₀ : $\sigma^2(i) = \sigma^2$ for all i (Homoscedasticity)	H _a : Groupwise Heteroscedasticity		
- Lagrange Multiplier LM Test	49.9741	P-Value > χ^2 (18)	0.0001***
- Likelihood Ratio LR Test	47.2237	P-Value > χ^2 (18)	0.0002***
- Wald Test	128.8378	P-Value > χ^2 (19)	0.0000***

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 37 Hausman Test: Choice between Fixed and Random Effects of Rice Out-Irrigated Area

VARIABLES	Coefficients		(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
	(b) Fixed Effects	(B) Random Effects		
lnTotal_Production	0.9695	0.9872	-0.0178	0.0208
lnTotal_Areahav	0.0384	0.0372	0.0012	0.0016
lnPrecipitation	0.0687	0.0387	0.0301	0.0143
lnVar_Precipitation	0.0035	0.0036	-0.0001	0.0002
Dryday	-0.0020	-0.0025	0.0005	0.0003
lnMeanTemp	-0.1771	-0.2544	0.0773	0.2366
lnVar_MeanTemp	-0.0005	-0.0005	0.0000	0.0002
Heat35	0.0007	0.0007	0.0000	0.0003

H ₀ : Difference in Coefficients Not Systematic		Coef.
Chi-square test value		6.630
P-value (Prob > χ^2)		0.4688

Note: *, **, *** indicate 10%, 5% and 1% level of significance, respectively.

ตารางที่ 38 Akaike's information criterion and Bayesian information criterion of Rice Out-Irrigated Area

Model	N	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
Pooled	361	-353.466	406.616	9	-795.232	-760.232
Fixed	361	145.728	477.726	8	-939.451	-908.340
hdfe	361	200.733	516.666	7	-1019.332	-992.109
FGLS	361	.	433.842	28	-811.684	-702.795
FGLScorr	361	.	929.918	199	-1461.836	-687.950

Note: BIC uses N = number of observations. See [R] BIC note.

ตารางที่ 39 Mean Production Function of Rice Out-Irrigated Area In-Season

VARIABLES	Panel Effects Estimation			
	Pooled OLS Estimation	Fixed Effects (Robust)	Random Effects (Robust)	Generalized Least Square Estimation
Out-Irrigated Area harvested (tonnes)	0.986*** (0.008)	0.969*** (0.063)	0.987*** (0.025)	0.983*** (0.007)
Trend Time (Technology Change)	0.035*** (0.006)	0.038*** (0.009)	0.037*** (0.009)	0.035*** (0.005)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.051** (0.023)	0.069** (0.026)	0.039 (0.024)	-0.058*** (0.020)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.004* (0.002)	0.003*** (0.001)	0.004*** (0.001)	0.003** (0.002)
Consecutive Dry Days	-0.004*** (0.001)	-0.002* (0.001)	-0.003** (0.001)	-0.003** (0.001)
Average Temperature (°C)	-0.284 (0.271)	-0.177 (0.532)	-0.254 (0.459)	0.210 (0.255)
Average Temperature Variance	-0.000 (0.002)	-0.001 (0.002)	-0.000 (0.002)	-0.000 (0.002)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	0.000 (0.001)
Constant	0.346 (0.869)	-0.640 (2.130)	-0.416 (1.520)	-1.181 (0.869)
Observations	361	361	361	361
R-squared	0.985	0.841	0.984	Not Applicable
Adjusted R-squared	0.985	0.837	0.841	Not Applicable
Province FE	No	Yes	No	Auto
Year FE	No	Yes	No	Auto
Log likelihood	406.6	477.7		433.8
Number of id Province		19	19	19

Standard errors in parentheses: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

ตารางที่ 40 Variance Skewness Production Function of Rice Out-Irrigated Area In-Season

VARIABLES	(1) Variance Production Model	(2) Skewness Production Model
Out-Irrigated Area harvested (tonnes)	-0.001 (0.001)	-0.000 (0.001)
Trend Time (Technology Change)	-0.004*** (0.001)	-0.003*** (0.001)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.001 (0.004)	0.001 (0.004)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Consecutive Dry Days	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Average Temperature (°C)	-0.125*** (0.046)	-0.096*** (0.037)
Average Temperature Variance	0.001 (0.000)	0.000 (0.000)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Constant	0.441*** (0.149)	0.319*** (0.116)
Observations	361	180
R-squared	0.104	0.128
Adjusted R-squared	0.0841	0.0868
Root MSE	0.0136	0.00816
Log likelihood	1044	614.7
F-test	5.132	3.126

Standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

ตารางที่ 41 Stochastic Production Function (Just and Pope) of Rice Out-Irrigated Area

VARIABLES	(1) Mean Function (FGLS)	(2) Variance Function (PLS)	(3) Skewness Function (PLS)
Out-Irrigated Area harvested (tonnes)	0.983*** (0.007)	-0.001 (0.001)	-0.000 (0.001)
Trend Time (Technology Change)	0.035*** (0.005)	-0.004*** (0.001)	-0.003*** (0.001)
Cumulative Precipitation (mm.)	-0.058*** (0.020)	-0.001 (0.004)	0.001 (0.004)
Precipitation Variance (mm.) ²	0.003** (0.002)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Consecutive Dry Days	-0.003** (0.001)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Average Temperature (°C)	0.210 (0.255)	-0.125*** (0.046)	-0.096*** (0.037)
Average Temperature Variance	-0.000 (0.002)	0.001 (0.000)	0.000 (0.000)
Number of Hot Days (Tmax>35°C)	0.000 (0.001)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)
Constant	-1.181 (0.869)	0.441*** (0.149)	0.319*** (0.116)
Observations	361	361	180
R-squared	Not Applicable	0.104	0.128
Adjusted R-squared	Not Applicable	0.0841	0.0868
Number of id_Province	19		
Root MSE		0.0136	0.00816
Log likelihood	433.8	1044	614.7
F-test		5.132	3.126

Standard errors in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองจากโปรแกรม Stata 16 ผล Print Out ของข้าวนาปีรวม

ภาพที่ 11 Pooled OLS Estimation of Rice In-Season

```
. reg lnTotal_Production lnTotal_Areahav lnTime lnPrecipitation lnVar_Precipitation lnMeanTemp lnVar_MeanTemp
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	361
Model	150.555093	6	25.0925155	F(6, 354)	=	4099.23
Residual	2.16692918	354	.006121269	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.9858
				Adj R-squared	=	0.9856
Total	152.722022	360	.424227839	Root MSE	=	.07824

lnTotal_Production	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
lnTotal_Areahav	.9941063	.0072638	136.86	0.000	.9798207 1.008392
lnTime	.0384149	.0055457	6.93	0.000	.0275084 .0493215
lnPrecipitation	-.068395	.0228005	-3.00	0.003	-.1132365 -.0235534
lnVar_Precipitation	.0036665	.0019303	1.90	0.058	-.0001299 .0074629
lnMeanTemp	-.3562829	.2121219	-1.68	0.094	-.7734605 .0608948
lnVar_MeanTemp	.0000226	.0020275	0.01	0.991	-.0039648 .0040101
_cons	.5928036	.7128129	0.83	0.406	-.8090769 1.994684

ภาพที่ 12 Panel Effects Estimation in Fixed Effects (Robust) of Rice In-Season

```
. xtreg lnTotal_Production lnTotal_Areahav lnTime lnPrecipitation lnVar_Precipitation lnMeanTemp lnVar_MeanTemp, fe robust
```

```
Fixed-effects (within) regression      Number of obs   =   361
Group variable: id_Province           Number of groups =   19

R-sq:                                  Obs per group:
  within = 0.8388                       min =          19
  between = 0.9930                       avg =         19.0
  overall = 0.9840                       max =          19

corr(u_i, Xb) = 0.4368                   F(6,18)         =   64.08
                                           Prob > F         =   0.0000

(Std. Err. adjusted for 19 clusters in id_Province)
```

lnTotal_Production	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
lnTotal_Areahav	.9562756	.0615835	15.53	0.000	.8268934 1.085658
lnTime	.0387216	.0099675	3.88	0.001	.0177807 .0596626
lnPrecipitation	.0769103	.0273067	2.82	0.011	.0195411 .1342795
lnVar_Precipitation	.0033548	.0009517	3.53	0.002	.0013554 .0053543
lnMeanTemp	.0966063	.3121188	0.31	0.760	-.5591309 .7523436
lnVar_MeanTemp	.0002733	.001206	0.23	0.823	-.0022604 .0028071
_cons	-1.397092	1.297913	-1.08	0.296	-4.123906 1.329722
sigma_u	.06095761				
sigma_e	.06482669				
rho	.46926947	(fraction of variance due to u_i)			

ภาพที่ 13 Panel Effects Estimation in Random Effects (Robust) of Rice In-Season

```
. xtreg lnTotal_Production lnTotal_Areahav lnTime lnPrecipitation lnVar_Precipitation lnMeanTemp lnVar_MeanTemp, re robust
```

```
Random-effects GLS regression           Number of obs   =       361
Group variable: id_Province             Number of groups =       19
```

```
R-sq:                                     Obs per group:
  within = 0.8380                          min =       19
  between = 0.9939                          avg =      19.0
  overall = 0.9849                          max =       19
```

```
corr(u_i, X) = 0 (assumed)                Wald chi2(6)    =    2389.94
                                           Prob > chi2     =    0.0000
```

(Std. Err. adjusted for 19 clusters in id_Province)

lnTotal_Production	Robust					[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.	z	P> z			
lnTotal_Areahav	.9871437	.0237796	41.51	0.000	.9405365	1.033751	
lnTime	.0378734	.0096454	3.93	0.000	.0189688	.056778	
lnPrecipitation	.0389092	.0228022	1.71	0.088	-.0057823	.0836008	
lnVar_Precipitation	.0034639	.0009722	3.56	0.000	.0015585	.0053694	
lnMeanTemp	-.0529039	.3082846	-0.17	0.864	-.6571306	.5513228	
lnVar_MeanTemp	.0002276	.0012308	0.18	0.853	-.0021848	.00264	
_cons	-1.070456	1.04647	-1.02	0.306	-3.1215	.9805872	
sigma_u	.04563497						
sigma_e	.06482669						
rho	.33134985 (fraction of variance due to u_i)						

ภาพที่ 14 Generalized Least Square Estimation of Rice In-Season

```
. xtgls lnTotal_Production lnTotal_Areahav lnTime lnPrecipitation lnVar_Precipitation lnMeanTemp lnVar_MeanTemp, panels(correlated) co
> rr(psar1)
```

Cross-sectional time-series FGLS regression

```
Coefficients: generalized least squares
Panels: heteroskedastic with cross-sectional correlation
Correlation: panel-specific AR(1)
```

```
Estimated covariances = 190           Number of obs   =       361
Estimated autocorrelations = 19       Number of groups =       19
Estimated coefficients = 7            Time periods    =       19
                                           Wald chi2(6)    =    2658104
                                           Prob > chi2     =    0.0000
```

lnTotal_Production	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
lnTotal_Areahav	.9820724	.0006508	1509.06	0.000	.9807968	.9833479
lnTime	.0298365	.0002399	124.39	0.000	.0293664	.0303067
lnPrecipitation	.030513	.0005869	51.99	0.000	.0293626	.0316634
lnVar_Precipitation	.0020427	.0000218	93.63	0.000	.0019999	.0020854
lnMeanTemp	-.3069633	.0073128	-41.98	0.000	-.3212961	-.2926306
lnVar_MeanTemp	-.0001043	.0000345	-3.02	0.002	-.0001719	-.0000367
_cons	-.0769821	.0254977	-3.02	0.003	-.1269566	-.0270076

Note: when the number of panels is greater than or equal to the number of periods, results are based on a generalized inverse of a singular matrix.

ภาพที่ 15 การคำนวณมือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ของแบบจำลอง FGLS of Rice In-Season

```
predict yhat, xb
```

```
gen residuals = lnTotal_Production - yhat
```

```
sum lnTotal_Production, meanonly
```

```
local mean_dep = r(mean)
```

```
gen total_ss = sum((lnTotal_Production - `mean_dep')^2)
```

```
gen residual_ss = sum(residuals^2)
```

```
gen R2 = 1 - ( residual_ss / total_ss )
```

```
sum R2
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
R2	361	.9849264	.0027818	.979565	.9969901

ภาพที่ 16 Variance Production Function Rice In-Season Production

```
reg u2 lnTotal_Areahav lnTime lnPrecipitation lnVar_Precipitation lnMeanTemp lnVar_MeanTemp
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	361
Model	.008197005	6	.001366167	F(6, 354)	=	7.95
Residual	.060824497	354	.000171821	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.1188
				Adj R-squared	=	0.1038
Total	.069021502	360	.000191726	Root MSE	=	.01311

u2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
lnTotal_Areahav	-.0012396	.001217	-1.02	0.309	-.003633 .0011539
lnTime	-.0042846	.0009291	-4.61	0.000	-.0061119 -.0024573
lnPrecipitation	-.0014655	.00382	-0.38	0.701	-.0089782 .0060472
lnVar_Precipitation	.0001722	.0003234	0.53	0.595	-.0004638 .0008083
lnMeanTemp	-.086009	.0355388	-2.42	0.016	-.1559027 -.0161153
lnVar_MeanTemp	.0007667	.0003397	2.26	0.025	.0000986 .0014347
_cons	.3292052	.1194242	2.76	0.006	.094335 .5640754

บรรณานุกรม

- Abbas, S., Kousar, S., Shirazi, S. A., Yaseen, M. & Latif, Y. 2022. Illuminating Empirical Evidence of Climate Change: Impacts on Rice Production in the Punjab Regions, Pakistan. **Agricultural Research**, 11(1), 32-47.
- Adeyinka, A. A., Krishnamurti, C., Maraseni, T. N. & Chantarat, S. 2016. The Viability of Weather-index Insurance in Managing Drought Risk in Rural Australia. **International Journal of Rural Management**, 12(2), 125-142.
- Ali, A. M., Savin, I., Poddubskiy, A., Abouelghar, M., Saleh, N., Abutaleb, K., El-Shirbeny, M. & Dokukin, P. 2021. Integrated method for rice cultivation monitoring using Sentinel-2 data and Leaf Area Index. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 24(3, Part 1), 431-441.
- Antle, J. M. 1983. Testing the Stochastic Structure of Production: A Flexible Moment-Based Approach. **Journal of Business & Economic Statistics**, 1(3), 192-201.
- . 2010. Asymmetry, Partial Moments, and Production Risk. **American Journal of Agricultural Economics**, 92(5), 1294-1309.
- Antle, J. M. & Havenner, A. (1983). **Formulating and Estimating Dynamic Stochastic Production Models**. Document Number)
- Baethgen, W., Hansen, J., Ines, A., Jones, J., Meinke, H. & Steduto, P. 2008. Contributions of Agricultural Systems Modeling to Weather Index Insurance.
- Baltagi, B. H. 2008. **Econometric analysis of panel data**. Springer.
- Baškot, B. & Stanić, S. 2020. Parametric crop insurance against floods: The case of Bosnia and Herzegovina. **Economic Annals**, 65(224), 83-100.
- 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.
- Baum, C. F. 2006. **An introduction to modern econometrics using Stata**. Stata press.
- Beck, N. & Katz, J. 1995. What to Do (and Not to Do) with Times-Series Cross-Section Data. **American Political Science Review**, 89(
- Belasco, E. J., Cooper, J. & Smith, V. H. 2020. The Development of a Weather-based Crop Disaster Program. **American Journal of Agricultural Economics**, 102(1), 240-258.

- Benso, M. R., Gesualdo, G. C., Silva, G. J., Rápalo, L. M. C., Navarro, F. A. R., Silva, R. F. & Mendiondo, E. M. 2022. Review article: Design and Evaluation of Weather Index Insurance for Multi-Hazard Resilience and Food Insecurity. **EGUsphere**, 2022(1-24).
- Biffis, E. & Chavez, E. 2017. Satellite Data and Machine Learning for Weather Risk Management and Food Security. **Risk Analysis**, 37(8), 1508-1521.
- Black, E., Tarnavsky, E., Maidment, R., Greatrex, H., Mookerjee, A., Quaife, T. & Brown, M. 2016. The Use of Remotely Sensed Rainfall for Managing Drought Risk: A Case Study of Weather Index Insurance in Zambia. **Remote Sensing**, 8(4), 342.
- Blakeley, S. L., Sweeney, S., Husak, G., Harrison, L., Funk, C., Peterson, P. & Osgood, D. E. 2020. Identifying Precipitation and Reference Evapotranspiration Trends in West Africa to Support Drought Insurance. **Remote Sensing**, 12(15), 2432.
- Bobojonov, I., Aw-Hassan, A. & Sommer, R. 2014. Index-based insurance for climate risk management and rural development in Syria. **Climate and Development**, 6(2), 166-178.
- Bokusheva, R. 2018. Using copulas for rating weather index insurance contracts. **Journal of Applied Statistics**, 45(13), 2328-2356.
- Bokusheva, R., Kogan, F., Vitkovskaya, I., Conradt, S. & Batyrbayeva, M. 2016. Satellite-based vegetation health indices as a criteria for insuring against drought-related yield losses. **Agricultural and Forest Meteorology**, 220(200-206).
- Boogaard, H., Schubert, J., De Wit, A., Lazebnik, J., Hutjes, R. & Van der Grijn, G. (2020a). **Agrometeorological indicators from 1979 to present derived from reanalysis, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**.
- . 2020b. **Agrometeorological indicators from 1979 to present derived from reanalysis, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**.
- Brady, N. & Weil, R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*, 12th edn.(Prentice-Hall: Upper Saddle River, NJ).
- Bucheli, J., Dalhaus, T. & Finger, R. 2021. The optimal drought index for designing weather index insurance. **European Review of Agricultural Economics**, 48(3), 573-597.
- Cabas, J., Weersink, A. & Olale, E. 2010. Crop yield response to economic, site and climatic variables. **Climatic Change**, 101(3), 599-616.
- Cai, Y., Lin, H. & Zhang, M. 2019. Mapping paddy rice by the object-based random forest method using time series Sentinel-1/Sentinel-2 data. **Advances in Space Research**, 64(11), 2233-2244.

- Chandio, A. A., Magsi, H. & Ozturk, I. 2020. Examining the effects of climate change on rice production: case study of Pakistan. **Environmental Science and Pollution Research**, 27(8), 7812-7822.
- Chankong, J. 2018. **Impacts of Climate Change on Oil Palm Production and Adaptation of Farmers in Southern Thailand** (ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันและการปรับตัวของเกษตรกรในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย). Doctor of Philosophy (Applied Economics). Maejo University.
- Chen, W., Hohl, R. & Tiong, L. K. 2017. Rainfall index insurance for corn farmers in Shandong based on high-resolution weather and yield data. **Agricultural Finance Review**, 77(2), 337-354.
- ClimateEngine.org. 2023. **ERA5 Ag**. [Online]. Available <https://support.climateengine.org/article/58-era5-ag> (1 Oct 2023).
- Conradt, S., Finger, R. & Bokusheva, R. 2015. Tailored to the extremes: Quantile regression for index-based insurance contract design. **Agricultural Economics**, 46(4), 537-547.
- Dalhaus, T. & Finger, R. 2016. Can Gridded Precipitation Data and Phenological Observations Reduce Basis Risk of Weather Index-Based Insurance? **Weather, Climate, and Society**, 8(4), 409-419.
- Dalhaus, T., Musshoff, O. & Finger, R. 2018. Phenology Information Contributes to Reduce Temporal Basis Risk in Agricultural Weather Index Insurance. **Scientific Reports**, 8(1), 46.
- Davidson, R. & Mackinnon, J. 1993. **Estimation and Inference in Econometrics**.
- de los Reyes, B. G., Myers, S. J. & McGrath, J. M. 2003. Differential induction of glyoxylate cycle enzymes by stress as a marker for seedling vigor in sugar beet (*Beta vulgaris*). **Molecular Genetics and Genomics**, 269(5), 692-698.
- dela Torre, D. M. G., Gao, J. & Macinnis-Ng, C. 2021. Remote sensing-based estimation of rice yields using various models: A critical review. **Geo-spatial Information Science**, 24(4), 580-603.
- 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.
- . 2009. On Crop Biodiversity, Risk Exposure, and Food Security in the Highlands of Ethiopia. **American Journal of Agricultural Economics**, 91(3), 599-611.

- Díaz Nieto, J., Fisher, M., Cook, S., Läderach, P. & Lundy, M. 2012. Weather Indices for Designing Micro-Insurance Products for Small-Holder Farmers in the Tropics. **PLOS ONE**, 7(6), e38281.
- Dinar, A. & Mendelsohn, R. 2011. **Handbook on Climate Change and Agriculture**. Cheltenham, United Kingdom: Edward Elgar Publishing.
- Doms, J., Hirschauer, N., Marz, M. & Boettcher, F. 2018. Is the hedging efficiency of weather index insurance overrated? A farm-level analysis in regions with moderate natural conditions in Germany. **Agricultural Finance Review**, 78(3), 290-311.
- Drukker, D. M. 2003. Testing for Serial Correlation in Linear Panel-data Models. **The Stata Journal**, 3(2), 168-177.
- Ender, M. & Zhang, R. 2015. Efficiency of weather derivatives for Chinese agriculture industry. **China Agricultural Economic Review**, 7(1), 102-121.
- Enenkel, M., Farah, C., Hain, C., White, A., Anderson, M., You, L., Wagner, W. & Osgood, D. 2018. What Rainfall Does Not Tell Us—Enhancing Financial Instruments with Satellite-Derived Soil Moisture and Evaporative Stress. **Remote Sensing**, 10(11), 1819.
- Enenkel, M., Osgood, D., Anderson, M., Powell, B., McCarty, J., Neigh, C., Carroll, M., Wooten, M., Husak, G., Hain, C. & Brown, M. 2019. Exploiting the Convergence of Evidence in Satellite Data for Advanced Weather Index Insurance Design. **Weather, Climate, and Society**, 11(1), 65-93.
- Erec Heimfarth, L., Finger, R. & Musshoff, O. 2012. Hedging weather risk on aggregated and individual farm-level. **Agricultural Finance Review**, 72(3), 471-487.
- Erec Heimfarth, L. & Musshoff, O. 2011. Weather index-based insurances for farmers in the North China Plain. **Agricultural Finance Review**, 71(2), 218-239.
- Farrell, T., Fox, K., Williams, R., Fukai, S. & Lewin, L. 2006. Minimising cold damage during reproductive development among temperate rice genotypes. II. Genotypic variation and flowering traits related to cold tolerance screening. **Australian Journal of Agricultural Research**, 57(1), 89-100.
- Fermont, A. & Benson, T. 2011. **Estimating yield of food crops grown by smallholder farmers: A review in the Uganda context**. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Granger, C. W. & Newbold, P. 1974. Spurious regressions in econometrics. **Journal of econometrics**, 2(2), 111-120.

- Greene, W. H. 2012. *Econometric analysis*, 71e. **Stern School of Business, New York University.**
- Greene, W. H. 2018. **Econometric analysis.** Eighth edition. New York, NY: Pearson New York, NY.
- Hausman, J. A. 1978. Specification tests in econometrics. **Econometrica: Journal of the econometric society**, 1251-1271.
- Heimfarth, L., Hotopp, H. & Musshoff, O. 2010. **Weather derivatives for farm households in the North China plain: potential reduction of income volatility and the importance of basis risks.**
- Hohl, R., Jiang, Z., Tue Vu, M., Vijayaraghavan, S. & Liong, S.-Y. 2021. Using a regional climate model to develop index-based drought insurance for sovereign disaster risk transfer. **Agricultural Finance Review**, 81(1), 151-168.
- 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.
- 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.**
- Juárez-Torres, M., Sánchez-Aragón, L. & Vedenov, D. 2017. Weather Derivatives and Water Management in Developing Countries: An Application for an Irrigation District in Central Mexico. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, 42(2), 146-163.
- Judge, G. G., Griffiths, W. E., Hill, R. C., Lütkepohl, H. & Lee, T.-C. 1991. **The theory and practice of econometrics.** John Wiley & sons.
- Just, R. E. & Pope, R. D. 1978. Stochastic specification of production functions and economic implications. **Journal of Econometrics**, 7(1), 67-86.
- Just, R. E. & Pope, R. D. 1979. Production Function Estimation and Related Risk Considerations. **American Journal of Agricultural Economics**, 61(2), 276-284.
- Kapsambelis, D., Moncoulon, D. & Cordier, J. 2019. An Innovative Damage Model for Crop Insurance, Combining Two Hazards into a Single Climatic Index. **Climate**, 7(11), 125.
- Kath, J., Mushtaq, S., Henry, R., Adeyinka, A. & Stone, R. 2018. Index insurance benefits agricultural producers exposed to excessive rainfall risk. **Weather and Climate Extremes**, 22(1-9).

- Kath, J., Mushtaq, S., Henry, R., Adeyinka, A. A., Stone, R., Marcussen, T. & Kouadio, L. 2019. Spatial variability in regional scale drought index insurance viability across Australia's wheat growing regions. **Climate Risk Management**, 24(13-29).
- Katsura, K., Maeda, S., Horie, T. & Shiraiwa, T. 2007. Analysis of yield attributes and crop physiological traits of Liangyoupeijiu, a hybrid rice recently bred in China. **Field Crops Research**, 103(3), 170-177.
- Kazemi, Z., Jalalian, A., Honarjo, N., Rezainejad, A. & Ayoubi, S. (2010). **The effect of rice (Oryza sativa L.) cultivation on the soil physical properties.**
- 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.
- Komarek, A. M., De Pinto, A. & Smith, V. H. 2020. A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. **Agricultural Systems**, 178(102738).
- Krungsri. 2566. <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/rice/io/io-rice-2023-2025>. [Online]. Available <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/rice/io/io-rice-2023-2025> (1 ตุลาคม 2566).
- Kusuma, A., Jackson, B. & Noy, I. 2018. A viable and cost-effective weather index insurance for rice in Indonesia. **The Geneva Risk and Insurance Review**, 43(2), 186-218.
- 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.
- Maddala, G. S. & Lahiri, K. 2009. **Introduction to Econometrics, 4th edition.**
- Makaudze, E. M. & Miranda, M. J. 2010. Catastrophic drought insurance based on the remotely sensed normalised difference vegetation index for smallholder farmers in Zimbabwe. **Agrekon**, 49(4), 418-432.
- Martinez Salgueiro, A. 2019. Weather index-based insurance as a meteorological risk management alternative in viticulture. **Wine Economics and Policy**, 8(2), 114-126.
- Möllmann, J., Buchholz, M. & Musshoff, O. 2019. Comparing the Hedging Effectiveness of Weather Derivatives Based on Remotely Sensed Vegetation Health Indices and Meteorological Indices. **Weather, Climate, and Society**, 11(1), 33-48.
- Mortensen, E. & Block, P. 2018. ENSO Index-Based Insurance for Agricultural Protection in Southern Peru. **Geosciences**, 8(2), 64.
- Musshoff, O., Odening, M. & Xu, W. 2011. Management of climate risks in agriculture—will weather derivatives permeate? **Applied Economics**, 43(9), 1067-1077.

- Nazir, A., Ullah, S., Saqib, Z. A., Abbas, A., Ali, A., Iqbal, M. S., Hussain, K., Shakir, M., Shah, M. & Butt, M. U. 2021. Estimation and Forecasting of Rice Yield Using Phenology-Based Algorithm and Linear Regression Model on Sentinel-II Satellite Data. **Agriculture**, 11(10), 1026.
- NOAA National Centers for Environmental Information. 2023. **Climate at a Glance: Global Time Series**. [Online]. Available <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series> (January, 24).
- Noureldin, N. A., Aboelghar, M. A., Saady, H. S. & Ali, A. M. 2013. Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 16(1), 125-131.
- Odening, M., Musshoff, O. & Xu, W. 2007. Analysis of rainfall derivatives using daily precipitation models: opportunities and pitfalls. **Agricultural Finance Review**, 67(1), 135-156.
- 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). Doctor of Philosophy in Applied Economics. Maejo University.
- Pelka, N. & Musshoff, O. 2013. Hedging effectiveness of weather derivatives in arable farming – is there a need for mixed indices? **Agricultural Finance Review**, 73(2), 358-372.
- Pelka, N., Musshoff, O. & Finger, R. 2014. Hedging effectiveness of weather index-based insurance in China. **China Agricultural Economic Review**, 6(2), 212-228.
- Pesaran, M. H. 2004. General diagnostic tests for cross section dependence in panels. **Available at SSRN 572504**.
- Phitsanulok Rice Research Center. 2017. **Irrigation Rice Production Technology in Lower Region**. Phitsanulok: Phitsanulok Rice Research Center.
- Pietola, K., Myyrä, S. & Jauhiainen, L. 2011. Predicting the yield of spring wheat by weather indices in Finland: implications for designing weather index insurances. **Agricultural and Food Science**, 20(4), 269-286.

- Prokopchuk, O., Prokopchuk, I. & Mentel, G. 2018. Index Insurance as an Innovative Tool for Managing Weather Risk in the Agrarian Sector of Economics. 10(119-131).
- Prokopchuk, O., Prokopchuk, I., Mentel, G. & Bilan, Y. 2020. Parametric Insurance as Innovative Development Factor of the Agricultural Sector of Economy. **AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics**, 12(3), 69-86.
- Puphoun, S., Sinnarong, N., Autcharyapanitkul, K. & Satienpirakul, K. 2019. Impacts of Climate Change on Rice Yield in the North Region. **Graduate School Journal CRRU**, 12(2).
- Puttanapong, N., Chantararat, S., Rakwatin, P. & Tanompongphandh, T. 2014. โครงการการศึกษา กลไกการบริหารจัดการความเสี่ยงของภาคส่วนเกษตรต่อสภาวะรุนแรงโดยระบบประกันภัยพืชผล: กรณีศึกษาระบบเพาะปลูกข้าว (The Study of Agricultural Risk Management Mechanism for Preparation toward Extreme Weather Conditions using Crop Insurance: The Case Study of Thailand's Rice Cultivation).
- Rabbinge, R. (1993). The Ecological Background of Food Production. In **Ciba Foundation Symposium 177 - Crop Protection and Sustainable Agriculture** (pp. 2-29).
- Raksapatcharawong, M., Veerakachen, W., Homma, K., Maki, M. & Oki, K. 2020. Satellite-Based Drought Impact Assessment on Rice Yield in Thailand with SIMRIW-RS. **Remote Sensing**, 12(13), 2099.
- Resh, V. H. & Cardé, R. T. 2009. **Encyclopedia of insects**. Academic press.
- Ruiz, J., Bielza, M., Garrido, A. & Iglesias, A. 2015. Dealing with drought in irrigated agriculture through insurance schemes: an application to an irrigation district in Southern Spain. **Spanish Journal of Agricultural Research**, 13(4), e0106.
- Saha, A., Havenner, A. & Talpaz, H. 1997. Stochastic production function estimation: small sample properties of ML versus FGLS. **Applied Economics**, 29(4), 459-469.
- Schmidheiny, K. & Basel, U. 2011. Panel data: fixed and random effects. **Short Guides to Microeconometrics**, 7(1), 2-7.
- Shankar, B., Bennett, R. & Morse, S. 2007. Output risk aspects of genetically modified crop technology in South Africa. **Economics of Innovation and New Technology**, 16(4), 277-291.
- Shi, H. & Jiang, Z. 2016. The efficiency of composite weather index insurance in hedging rice yield risk: evidence from China. **Agricultural Economics**, 47(3), 319-328.

- Shirsath, P., Vyas, S., Aggarwal, P. & Rao, K. N. 2019. Designing weather index insurance of crops for the increased satisfaction of farmers, industry and the government. **Climate Risk Management**, 25(100189).
- Siebert, A. 2016. Analysis of Index Insurance Potential for Adaptation to Hydroclimatic Risks in the West African Sahel. **Weather, Climate, and Society**, 8(3), 265-283.
- Sinnarong, N. 2013. **Essays on the Impact of Climate Change in Agricultural Production**. Doctoral of Applied Economics. National Chung Hsing University, Taiwan.
- . 2023. **Economics of Climate Change**. Chiang Mai, Thailand: Faculty of Economics, Maejo University.
- 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).
- Sinnarong, N., Kuson, S., Nunthasen, W., Puphoun, 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).
- Spicka, J. & Hnilica, J. 2013. A Methodical Approach to Design and Valuation of Weather Derivatives in Agriculture. **Advances in Meteorology**, 2013(146036).
- Spörri, M., Conradt, S. & Finger, R. 2015. Flexible weather index-based insurance design. **Climate Risk Management**, 10(106-117).
- Studenmund, A. 2011. using Econometrics: A practical Guide, pears-on. **New York**, 440-447.
- Tan, B. T., Fam, P. S., Firdaus, R. B. R., Tan, M. L. & Gunaratne, M. S. 2021. Impact of Climate Change on Rice Yield in Malaysia: A Panel Data Analysis. **Agriculture**, 11(6), 569.
- Traxler, G., Falck-Zepeda, J., Ortiz-Monasterio R, J. I. & Sayre, K. 1995. Production Risk and the Evolution of Varietal Technology. **American Journal of Agricultural Economics**, 77(1), 1-7.
- Turvey, C. G. 2001. Weather Derivatives for Specific Event Risks in Agriculture. **Applied Economic Perspectives and Policy**, 23(2), 333-351.
- Turvey, C. G. & Mclaurin, M. K. 2012. Applicability of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Index-Based Crop Insurance Design. **Weather, Climate, and Society**, 4(4), 271-284.
- Ubon News. 2562. จดหมายเหตุ น้ำท่วมใหญ่อุบลราชธานี ปี 2562. [Online]. Available <https://www.guideubon.com/2.0/ubon-news/25627/> (1 ตุลาคม 2566).

- Valverde-Arias, O., Garrido, A., Saa-Requejo, A., Carreño, F. & Tarquis, A. M. 2019. Agro-ecological variability effects on an index-based insurance design for extreme events. **Geoderma**, 337(1341-1350).
- Valverde-Arias, O. R., Esteve, P., Tarquis, A. M. & Garrido, A. 2020. Remote sensing in an index-based insurance design for hedging economic impacts on rice cultivation. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 20(1), 345-362.
- Vedenov, D. & Barnett, B. 2004. Efficiency of Weather Derivatives as Primary Crop Insurance Instruments. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, 29(
- Veerakachen, W. & Raksapatcharawong, M. 2020. RiceSAP: An Efficient Satellite-Based AquaCrop Platform for Rice Crop Monitoring and Yield Prediction on a Farm- to Regional-Scale. **Agronomy**, 10(6), 858.
- Weber, R., Fecke, W., Moeller, I. & Musshoff, O. 2015. Meso-level weather index insurance. **Agricultural Finance Review**, 75(1), 31-46.
- Williams, T. M. & Travis, W. R. 2019. Evaluating Alternative Drought Indicators in a Weather Index Insurance Instrument. **Weather, Climate, and Society**, 11(3), 629-649.
- Woodard, J. D. & Garcia, P. 2008. Weather derivatives, spatial aggregation, and systemic risk: implications for reinsurance hedging. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, 34-51.
- Wooldridge, J. M. 2002. Econometric analysis of cross section and panel data MIT press. **Cambridge, MA: MIT Press**, 108(2), 245-254.
- World Bank. (2022). **Climate Change Knowledge Portal**. In T. C. C. K. P. (CCKP) (Ed.).
- Wu, X. & Guo, J. (2019). Design of Temperature Insurance Index and Risk Zonation for Single-Season Rice in Response to High-Temperature and Low-Temperature Damage: A Case Study of Jiangsu Province, China. In X. Wu และ J. Guo (Eds.), **Economic Impacts and Emergency Management of Disasters in China** (pp. 289-310). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Xiao, Y. & Yao, J. 2019. Double trigger agricultural insurance products with weather index and yield index. **China Agricultural Economic Review**, 11(2), 299-316.
- Yoshida, S. 1981. **Fundamentals of rice crop science**. Int. Rice Res. Inst.
- 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.

- Zhang, J., Zhang, Z. & Tao, F. 2017. Performance of Temperature-Related Weather Index for Agricultural Insurance of Three Main Crops in China. **International Journal of Disaster Risk Science**, 8(1), 78-90.
- . 2020. Rainfall-Related Weather Indices for Three Main Crops in China. **International Journal of Disaster Risk Science**, 11(4), 466-483.
- Zhou, R., Li, J. S.-H. & Pai, J. 2018. Evaluating effectiveness of rainfall index insurance. **Agricultural Finance Review**, 78(5), 611-625.
- กรมการข้าว. 2560. เทคโนโลยีการผลิตข้าวนาชลประทานในเขตภาคเหนือตอนล่าง. พิษณุโลก: ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. .
- กรมพัฒนาที่ดิน กลุ่มวิจัยดัชนีคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน. 2565. ศักยภาพการให้ผลผลิตพืชเศรษฐกิจของชุดดินในประเทศไทย ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด (Productivity of Soil Series for Economic Crops in Thailand Rice Maize Sugarcane Cassava Pineapple). กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยดัชนีคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน.
- กองบรรณาธิการไทยรัฐออนไลน์. 2562. เตือดร้อนไปทั่ว ข้าวเหนียวราคาแพงมากเป็นประวัติการณ์ เพราะเหตุใด. [Online]. Available https://www.thairath.co.th/money/economics/thailand_econ/1642670 (1 ตุลาคม 2566).
- ทัศนีย์ อัดตะนนท์. 2550. ดินที่ใช้ปลูกข้าว
กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2564. X-ray หนี้ครัวเรือนภูมิภาค. [Online]. Available <https://www.bot.or.th/th/research-and-publications/articles-and-publications/articles/regional-articles/reg-article-2021-10.html> (1 ตุลาคม 2566).
- นิโรจน์ สิ้นณรงค์, วราภรณ์ นันทะเสน & ศิวรัตน์ กุศล. 2563. ผลกระทบและความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการออกแบบการประกันตามดัชนีอากาศสำหรับการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย (The Potential Effects and Risks of Climate Change and Weather Index Insurance Scheme for Economic Crop Production of Thailand): รายงานผลการวิจัย. เชียงใหม่: คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- บัณฑิต ต้นศิริ & คำธณ ไทรพิง. 2539. คู่มือการประเมินคุณภาพที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ (Qualitative land evaluations). กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กองวางแผนการใช้ที่ดิน.

- บุญโฮม ชำนาญกุล, ยสิทธิ์ อินทรสถิตย์ & เล็ก จันทร์เกษม. 2534. นิเวศวิทยาการปลูกข้าวในเขตศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- รำพึง พูลสุข. 2534. พืชเศรษฐกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยครูเชียงใหม่.
- วรวิทย์ พาณิชพัฒน์. 2529. ข้าวหอมโครงการตำราชาวบ้าน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2547. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจและพยากรณ์ทางการเกษตร (แม่โจ้โพลล์). 2566. เถยนี้โยทำอ่วม! เกษตรกรร้อยละ 74.26 ได้รับผลกระทบ จากอากาศแปรปรวน (ร้อน แล้ง ฝน) เกษตรกรร้องขอ อันดับหนึ่ง พันธุ์พืชที่ทนแล้ง รองลงมา สิ้นเชื้อเพื่อการเกษตร. [Online]. Available <https://maejopoll.mju.ac.th/poll.aspx?id=4278> (1 ตุลาคม 2566).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2564. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,. Document Number)
- . 2565a. ร้อยละเนื้อที่ปลูกข้าวนาปี : ร้อยละและปริมาณเนื้อที่เพาะปลูกรายเดือนเป็นรายภาค และรายจังหวัด ปีเพาะปลูก 2564/65 [Online]. Available <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/percent%20rice%20area%2064.pdf> (ตุลาคม 1).
- . 2565b. ร้อยละผลผลิตข้าวนาปี: ร้อยละและปริมาณผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวรายเดือนเป็นรายภาค และรายจังหวัด ปีเพาะปลูก 2564/65 [Online]. Available <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/percent%20rice%20production%2064.pdf> (ตุลาคม 1).
- . 2565c. สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2565. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กองนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร. 2565. แนวทางการบริหารจัดการสินค้า ข้าวและยางพาราในระดับภาค (Guidelines of Rice and Rubber). กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2566. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ธนากร แสนสาร (Thanakorn Saensan)
เกิดเมื่อ	15 มิถุนายน 2540
ประวัติการศึกษา	2559 - 2562 มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ เกียรตินิยมอันดับสอง วิทยาศาสตร์บัณฑิต(เศรษฐศาสตร์เกษตร ทรัพยากรและ สิ่งแวดล้อม) 2556 - 2558 โรงเรียนปล้องวิทยาคม อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย แผนการศึกษามัธยมตอนปลาย วิทย - คณิต
ประวัติการทำงาน	2566 - ปัจจุบัน ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจและพยากรณ์ทางการเกษตร ผู้ช่วยเจ้าหน้าที่ข้อมูลสารสนเทศ 2560 - 2563 ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจและพยากรณ์ทางการเกษตร (แม่โจ้โพลล์) นักศึกษาเก็บข้อมูลสัมภาษณ์แบบสอบถาม 2561 โครงการพัฒนาเครือข่ายนักวิจัยระดับชุมชนให้ทำวิจัยได้ด้วยตนเอง ปีบัญชี 2561 ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร ทำวิจัยชุมชน เรื่อง การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์หมอนถั่ว เขียวสมุนไพรผ้าขึ้นตีนจก กรณีศึกษา กลุ่มหัตถกรรมแม่ปาน – สันเกียง อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่