



ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย (The Impact of Climate Change on Rice Product in the Central Region of Thailand)

กนกพร ภาคีฉาย¹ นิโรจน์ สิ้นณรงค์² กฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล³ และ พัชรินทร์ สุภาพันธ์⁴
Kanokporn Pakeechay¹, Nirote Sinnarong², Kittawit Autchariyapanitkul³
and Patcharin Supapunt⁴

Received: August 21, 2019

Revised: October 31, 2019

Accepted: November 1, 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลาง โดยใช้ข้อมูลการผลิตข้าวและสภาพอากาศแบบพหุเวลาจำนวน 22 จังหวัด จำแนกตามพื้นที่รับน้ำ และไม่รับน้ำ ตามฤดูเพาะปลูกข้าวนาปี (ปี ค.ศ. 1981–2017) และข้าวนาปรัง (ปี ค.ศ. 1987–2017) และนำผลกระทบที่ได้จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศมาจำลองผลกระทบการผลิตข้าวในอนาคต การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ความนิ่งของข้อมูล ทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects และตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ และแก้ไขปัญหาด้วยการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้

ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรสภาพอากาศตามฤดูกาลเพาะปลูกส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว โดยเฉพาะข้าวนาปรังในพื้นที่รับน้ำ พบว่าหากปริมาณน้ำฝนรวมในฤดูกาลเพาะปลูกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.17 และหากอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะเพิ่มโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรัง ร้อยละ 28.25 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และจากการจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในอนาคต (ปี ค.ศ. 2030-2090) พบว่าข้าวนาปรังในพื้นที่รับน้ำภาคกลางได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศมากที่สุดโดยผลผลิต

¹ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Ph.D. Student (Applied Economics), Faculty of Economics, Maejo University E-mail: kanokporn.p@rmutsb.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Assistant Professor, Faculty of Economics, Maejo University E-mail: nirote@mju.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Assistant Professor, Faculty of Economics, Maejo University E-mail: kittar3@hotmail.com

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Assistant Professor, Faculty of Economics, Maejo University E-mail: tomaec@hotmail.com

ข้าวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 3.05 ถึง 11.04 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 80.57 ถึง 167.12 ซึ่งจะทำให้เพิ่มโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.43 ถึง 584.67 การศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตข้าวในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการส่งเสริมการเกษตรควรสร้างความตระหนักในผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มุ่งให้ความรู้และนำเสนอข้อมูลข่าวสารด้านการเตือนภัยอย่างรวดเร็ว พร้อมแนวทางการรับมือเพื่อเกษตรกรวางแผนการผลิตได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งดำเนินนโยบายด้านการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลผลิตข้าว โอกาสความสูญเสีย

ABSTRACT

This study aims to analyze the impact of climate change on the rice production in the central region of Thailand. We used panel data on the rice production and weather for 22 provinces classified by watershed areas and planting season; namely, in-season rice (1981 to 2017) and off-season rice (1987 to 2017). The estimated impact according to the mean of rice production variance and downside risk was applied to simulate the impacts of future rice production. The research tested the stationary of data, fixed and random effects test and solved the problem of heteroskedastic disturbance by using feasible generalized least squares (FGLS).

The study result showed that weather variability during the growing season had a negative impact on rice production, especially off-season rice in watershed areas. If the total rainfall increases by 1%, it will increase the downside risk of rice product by 5.17% and a rise in the average highest-temperature by 1% will increase the downside risk of rice product by 28.25% statistically significantly at a 90% confidence level. By simulating the effects of climate change on rice production in 2030-2090, it found that the off-season rice in watershed areas would be most affected by the climate change. Additionally, the mean of rice production was projected to decrease by 3.05 to 11.04%, the variance of rice production was expected to increase by 80.57 to 167.12% and the skewness of rice production was extrapolated to increase by 49.43 to 584.67% in 2030 – 2090. This study suggests that increasing rice production efficiency requires relevant agencies in agricultural promotion to raise awareness of the impacts of climate change and aim to educate and provide early warning information with coping methods for farmers to plan production appropriately, including implementing policies on rice production technology, development to reduce the effects of increased climate change in the future.

Keywords: Climate Change, Rice Product, Downside Risk

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กลายเป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดและขับเคลื่อนทิศทางการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบัน ตามที่องค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN) กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป้าหมายที่ 13 ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมเป็นหนึ่งในประเด็นสำคัญภายใต้การพัฒนาที่ยั่งยืน และถูกบรรจุในเป้าหมายของการพัฒนาประเทศในส่วนระดับชาติ เช่น แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558-2593 เป็นต้น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2559) เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นฐานทางเศรษฐกิจแบบพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ ประชากรจำนวนมากประกอบอาชีพเกษตรกรรม และมีอุตสาหกรรมและบริการ ซึ่งต้องใช้วัตถุดิบทางการเกษตรหรือทรัพยากรธรรมชาติเป็นฐาน ประเทศไทยจึงมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (นิโรจน์, 2560) สอดคล้องกับการศึกษาของ ADB, (2009) พบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรในทวีปเอเชียมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 30 โดยเฉพาะกับพืชประเภท ข้าว สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของ สมพร และคณะ (2552) เลือกใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ประเมินผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตข้าวในประเทศไทย พบว่า ภาคกลาง ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการเปลี่ยนแปลงผลผลิตในเชิงลดลง เมื่อคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่เปลี่ยนแปลง พบว่ามีปริมาณลดลง 0.249 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 2,029 ล้านบาท ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการศึกษาของเบญจวรรณ (2552) พบว่า อุณหภูมิสูงสุดและจำนวนวันที่มีอากาศร้อนในประเทศไทยในช่วง 2553-2582 ถูกคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นบริเวณกว้างโดยเฉพาะกลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระทบโดยตรงตั้งแต่ในระยะตั้งตัวของต้นกล้า ระยะสร้างช่อดอก การผสมเกสร และการสะสมน้ำหนักรวมของเมล็ด ซึ่งอาจทำให้ผลผลิตข้าวลดลง และส่งผลต่อความมั่นคงทางอาหาร

ประเด็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงได้กลายเป็นกระแสขับเคลื่อนหลักกระแสหนึ่งที่จะกระทบกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจ วางแผนรับมือกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเพื่อรองรับผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวที่อาจเกิดขึ้น โดย Hertel & Rosch (2010) ได้สรุปวิธีการประเมินผลกระทบออกเป็น 3 วิธี คือ 1) การสร้างแบบจำลองการผลิตพืช (Crop Model) ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์การผลิตทางการเกษตร โดยกำหนดปัจจัยการผลิตที่ใกล้เคียงความเป็นจริง และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองระบบการผลิตพืชตามปัจจัยการผลิตที่กำหนด เช่น สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2554) ทำการศึกษาผลกระทบต่อภาคการเกษตรโดยอาศัยภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Scenarios) ได้แก่ HadCM2, ECHAM4, CGCM และ CGCM1 ร่วมกับแบบจำลองระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช (Decision Support System for Agro technology Transfer: DSSAT) ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ นครราชสีมา ร้อยเอ็ด และสุรินทร์ พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ผลผลิตข้าวและข้าวโพดลดลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Matthews et al. (1997) พบว่า ผลผลิตข้าวของประเทศไทยในอนาคตเปลี่ยนแปลงไปในช่วงระหว่างร้อยละ 9.3 ถึง -11.6 และ Buddhagoon, Kongton, & Jintrawet. (2005) พบว่า ภายใต้อุณหภูมิอากาศอนาคตเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นเป็น 720 ppm นั้น ความแปรปรวนของ

ผลผลิตรายปีจะเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม Mendelsohn, Nordhaus, & Shaw. (1994) ชี้ให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการศึกษาโดยอาศัยวิธี Crop Model ว่าสามารถอธิบายผลกระทบการเปลี่ยนแปลงปัจจัยภูมิอากาศต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชได้อย่างละเอียดและชัดเจน เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวอยู่ภายใต้การควบคุม แต่ข้อจำกัดของการประเมินผลกระทบโดยอาศัยการทดลองคือมูลค่าของผลกระทบที่ได้อาจเป็นการประมาณการเกินจริง สำหรับ 2) การวิเคราะห์แนวริคาเดียน (Ricardian Approach) เป็นการศึกษาโดยการวิเคราะห์ข้อมูลภาคตัดขวาง โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ภูมิอากาศ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรายได้สุทธิภาคการเกษตร ซึ่งเป็นตัวสะท้อนผลตอบแทนที่ดินตามแนวคิดของ Ricardo ซึ่ง Mendelsohn & Tiwari (2000) ได้นำแบบจำลองริคาร์เดียนมาใช้ในการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตทางการเกษตรและมูลค่าที่ดินในประเทศบราซิลและอินเดีย พบว่า ปัจจัยด้านภูมิอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรายได้ของเกษตรกร และผลกระทบสุทธิที่เกิดขึ้นเป็นลบสอดคล้องกับ Kumar & Parikh (1998) ได้วัดแนวทางการปรับตัวและประเมินผลกระทบต่อภาคการเกษตร โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับรายได้สุทธิของเกษตรกรกับตัวแปรภูมิอากาศโดยใช้การวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองริคาร์เดียนในประเทศอินเดีย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศก่อให้เกิดความสูญเสียในรายได้สุทธิประมาณร้อยละ 9 - 25 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 2 - 3.5 องศาเซลเซียส ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 30 - 35 แม้เกษตรกรจะมีการปรับตัวโดยการเปลี่ยนระบบการเพาะปลูกและปัจจัยการผลิตต่างๆ เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ยังคงมีข้อจำกัด คือ การปรับตัวของเกษตรกรที่เกิดขึ้นอาจไม่ใช่ผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแต่อาจเกิดจากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ รวมทั้งข้อจำกัดที่แบบจำลองไม่สามารถพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระดับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ซึ่งข้อจำกัดในการพิจารณาผลกระทบจากระดับคาร์บอนไดออกไซด์นี้ ได้มีการนำข้อมูลค่าตัวแปรภูมิอากาศจากการทำนายของแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs) ร่วมกับผลจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุ จากแบบจำลองริคาร์เดียนมาสร้างสถานการณ์จำลอง (Scenarios) เพื่อทำการทำนายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (Molua & Lambi, 2006; Seo & Mendelsohn, 2008) และ 3) การวิเคราะห์เชิงเศรษฐมิติ (Econometrics Approach) เป็นการใช้ข้อมูลจากการสังเกตจริงมาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ของผลผลิตและปัจจัยการผลิตในอดีต และทำนายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยกำหนดให้สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยการผลิตร่วมกับปัจจัยการผลิตปกติ โดย Chen, McCarl, & Schimmelpfennig (2004) ได้ประยุกต์ใช้ฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function โดยการใช้ข้อมูล Country-level Panel Data ใช้วิธีการประมาณค่ากำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (A Feasible Generalized Least Squares, FGLS) ในรูปแบบสมการ Cobb-Douglas Production Function แสดงให้เห็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของภูมิอากาศของสหรัฐอเมริกาต่อค่าเฉลี่ยรวมทั้งความแปรปรวนของผลผลิตพืช และยังเชื่อมโยงผลที่ได้กับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศที่วางแผนการไว้ภายใต้การประเมิน Global Climate Change Research Program's National ของสหรัฐฯ ผลการศึกษาสำหรับข้าวฟ่าง พบว่า ปริมาณน้ำฝนมากขึ้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเฉลี่ย เป็นต้น ซึ่งวิธีนี้มีข้อดี คือ มีการทดสอบสมมติฐานตามกระบวนการทาง

สถิติ ซึ่งการวิเคราะห์เชิงเศรษฐมิตินี้ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ เช่น การศึกษาของ McCarl, Villavicencio, & Wu (2008), Cabas, Weersink, & Olale (2010) Sinnarong (2013) และ Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran. (2019) เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้แบบจำลองค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน หรือวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ยและความแปรปรวนของผลผลิต ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่หนึ่งและสอง (the First Two Moment) หากต้องการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่สูงขึ้น สำหรับการวิเคราะห์ฟังก์ชันความเบ้ สามารถประยุกต์แนวคิดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต (Moment-Based Specification of the SPF) ตามแบบของ Antle (1983) ได้ โดยหากความเบ้ของผลผลิต (Skewness of Production) เพิ่มขึ้น หมายถึงการกระจายของผลผลิตจะมีความไม่สมมาตร (Asymmetry) มากขึ้น จะเป็นการเพิ่มความเบ้ของผลผลิตไปในทิศทางที่ต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ย (Downside Risk Exposure) เช่น เพิ่มโอกาสของความสูญเสียของผลผลิตในพื้นที่ ตามแนวคิดของ Di Falco and Chavas (2009) และ Antle (2010) เช่น Bezabih, Ruhinduka, & Sarr. (2016) ได้มีการประยุกต์แนวคิดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ถึงระดับความเบ้ของผลผลิตข้าวตามระบบการเพาะปลูกข้าวแบบประณีต (System Rice Intensification) ได้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการวิเคราะห์ถึงระดับความเบ้เพื่อยืนยันผลกระทบต่อความเสี่ยงที่ผลผลิตลดลงหรือโอกาสที่ผลผลิตจะสูญเสีย ซึ่งค่าความเบ้บอกได้ดีกว่าค่าความแปรปรวน (Variance of the Yield) ซึ่งผลที่ได้จะนำไปสู่การหาวิธีในการจัดการความเสี่ยงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

ดังนั้นการศึกษาดังนี้จึงมุ่งวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณผลผลิตข้าวผ่านแบบจำลองทางเศรษฐมิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับผลผลิตข้าว และทำการจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับข้อมูลสภาพพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Projection) ตามแนวคิดของ Chen, McCarl, & Schimmelpfennig (2004); Sinnarong (2013); และ Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran. (2019) เพื่อจำลองผลกระทบในอนาคตตามลักษณะพื้นที่ และฤดูกาลเพาะปลูก โดยประมาณค่าถึงระดับความเบ้ (Skewness of Production) เพื่อให้ได้มาซึ่งตัวแปรสภาพอากาศและตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อการจัดการความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีผลการประมาณค่าการวิเคราะห์ผลกระทบถึงระดับความเบ้ ข้อมูลลักษณะผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ได้ จะเป็นประโยชน์ในการสร้างความตระหนักรู้แก่เกษตรกร และใช้ประกอบการวางแผนการปรับตัวเพื่อลดความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในอนาคตได้

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลาง ประเทศไทย
2. เพื่อจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวภาคกลางในอนาคต

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิจัยนี้ครอบคลุมเนื้อหาด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวผ่านแบบจำลองทางเศรษฐมิติ ทั้งในระดับค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบ้ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตข้าวกับปัจจัยสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน ร่วมกับปัจจัยการผลิตทั่วไป เช่น พื้นที่เพาะปลูก และทำการจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับข้อมูลสภาพฉายการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Projection) เพื่อจำลองผลกระทบในอนาคต 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ปี ค.ศ. 2030 2060 และ 2090 ขอบเขตด้านพื้นที่และประชากร แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ด้านผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวครอบคลุมพื้นที่การผลิตข้าวในภาคกลาง 22 จังหวัด จำแนกตามลักษณะพื้นที่รับน้ำ (ครอบคลุมทุ่งรับน้ำลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ ถึง พระนครศรีอยุธยา รวม 6 จังหวัด) และพื้นที่ไม่รับน้ำ โดยข้อมูลด้านผลผลิตข้าว จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ข้อมูลด้านสภาพอากาศ จากกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นข้อมูลพาเนล (Panel Data) จำนวน 37 ปี (ปี ค.ศ. 1981–2017) สำหรับข้าวนาปี และ จำนวน 30 ปี (ปี ค.ศ. 1987–2017) สำหรับข้าวนาปรัง รวมจำนวน 1,474 ตัวอย่าง

ส่วนที่ 2 การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นำผลการประมาณค่าจากแบบจำลองทางเศรษฐมิติตามลักษณะพื้นที่ และฤดูกาลเพาะปลูก รวม 18 แบบจำลอง จากกลุ่มตัวอย่าง 1,474 ตัวอย่าง ทำการจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับข้อมูลสภาพฉายการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Projection) ในระดับพื้นที่ ซึ่งข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies) ประกอบด้วย 2 แบบจำลอง คือ การจำลองสภาพฉายอนาคตที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นตามแนวทาง A2 (ประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง-ปานกลาง ประชากรโลกเพิ่มอย่างต่อเนื่อง เน้นการเติบโตระดับภูมิภาค และมีการปรับใช้เทคโนโลยีอย่างช้าและไม่ครอบคลุมทั่วโลก) และ B2 (ประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลาง-ต่ำ ประชากรโลกเพิ่มอย่างต่อเนื่องแต่ต่ำกว่า A2 มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจปานกลาง และการปรับใช้เทคโนโลยีทั่วไป) เพื่อจำลองผลกระทบผลผลิตต่อปีต่อจังหวัดของพื้นที่ศึกษาในอนาคต 3 ช่วงเวลา คือ ปี ค.ศ. 2030 2060 และ 2090

วิธีการดำเนินการวิจัย

1) การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลาง ประเทศไทย ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าว โดยกำหนดฟังก์ชันการผลิตให้ y คือ ผลผลิตข้าว ขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิต x ภายใต้สภาวะความเสี่ยง (Risk) จากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ จากแนวคิดฟังก์ชันการผลิตของ Just & 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 เข้ามาพิจารณาในแบบจำลองตามแนวคิดของ Battese et al. (1997) กำหนดให้แบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต $y(x, v)$ ตามแนวคิดของ Di Falco and Chavas (2009) และ Antle (2010) ดังสมการที่ (1)

$$y(x,v)=f_1(x, \beta_1)+u \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่

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

$u \equiv y(x,v)-f_1(x, \beta_1)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0

สำหรับฟังก์ชันเชิงโมเมนต์ที่สองและโมเมนต์ที่สูงขึ้นของ $y(x,v)$ กำหนดได้ตามสมการที่ (2)

$$E\{[y(x,v)-f_1(x, \beta_1)]^m / x\} = f_m(x, \beta_m) \text{ เมื่อ } m = 2, 3 \quad \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ m คือ ค่าโมเมนต์ของฟังก์ชัน $y(x,v)$

วิธีการทางเศรษฐมิติสำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยและฟังก์ชันในระดับโมเมนต์ที่สูงขึ้น โดยคำนึงถึงความแตกต่างเชิงพื้นที่และเวลา คือ วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยสำหรับข้อมูลแบบพาเนล ตามแบบจำลองเชิงทฤษฎี ดังสมการที่ (3)

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

เมื่อ

y_{it} คือ ผลผลิตข้าว ในพื้นที่จังหวัดที่ i ณ ช่วงเวลา t

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

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

$u_{it} = f_2(x_{itk}, \beta_{2k})^{1/2} \cdot \epsilon_{it}$ คือ ฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิตแบบมีค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroskedastic Disturbance) $u_{it} = \mu_i + v_{it}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม (μ_i คือ ผลของความแตกต่างเชิงพื้นที่ที่ไม่สามารถสังเกตได้ และ v_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่และเวลา)

จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ย คือ ฟังก์ชัน $f_1(x, \beta_1)$ และปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนของผลผลิตตามฟังก์ชัน $f_2(x, \beta_2)$ ทั้งนี้ โมเมนต์ที่สามของการผลิตข้าว หรือ ฟังก์ชัน $f_3(x, \beta_3)$ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4)

$$(u_{it})^3 = f_3(x_{itk}, \beta_{3k}) \cdot \epsilon_{it} \quad \dots\dots\dots(4)$$

สามารถกำหนดแบบจำลองเชิงประจักษ์สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตข้าวเฉลี่ย หรือ แบบจำลองการผลิตข้าวเฉลี่ย (Mean Production Model) ได้ดังสมการที่ (5)

$$YIELD_{it} = \alpha_1 + \beta_{11} PAREA_{it} + \beta_{12} TRAI_{it} + \beta_{13} VRAI_{it} + \beta_{14} ATEM_{it} + \beta_{15} VTEM_{it} + \beta_{16} AMTE_{it} + \beta_{17} VMTE_{it} + \beta_{18} AMIT_{it} + \beta_{19} VMIT_{it} + \beta_{20} TIME_{it} + \mu_{it} \quad \dots\dots\dots(5)$$

โดยที่ $YIELD_{it}$ คือ ผลผลิตข้าวนาปี (ตัน) / นาปรัง (ตัน) $PAREA_{it}$ คือ พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) $TRAI_{it}$ คือ ปริมาณน้ำฝนรวม ในฤดูกาลเพาะปลูก (มม.) (นาปี พ.ค.-ต.ค. นาปรัง พ.ย.- ธ.ค. ปีนี้ และ ม.ค.-เม.ย. ปีถัดไป) $VRAI_{it}$ คือ ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ในฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อวัดอิทธิพลของความผิดปกติของสภาพอากาศ AEM_{it} คือ อุณหภูมิเฉลี่ย ในฤดูกาลเพาะปลูก (องศาเซลเซียส) $VTEM_{it}$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ในฤดูกาลเพาะปลูกเพื่อวัดอิทธิพลของความผิดปกติของสภาพอากาศ $AMTE_{it}$ คือ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ในฤดูกาลเพาะปลูก (องศาเซลเซียส) $VMTE_{it}$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย $AMIT_{it}$ คือ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย ในฤดูกาลเพาะปลูก (องศาเซลเซียส) $VMIT_{it}$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย $TIME_{it}$ คือ ตัวแปรแนวโน้มเวลา ซึ่งเป็นตัวแทนของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร เช่น การพัฒนาสายพันธุ์ข้าว การปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตและการจัดการฟาร์ม ในช่วงเวลาที่ศึกษา μ_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกต i และ t คือ พื้นที่จังหวัดที่ i ณ ช่วงเวลาที่ t

การประมาณค่าแบบจำลองความแปรปรวนของผลผลิตข้าว (Variance Production Model) เพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของผลผลิตข้าว สามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการที่ (5) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบพหุคูณ (PLS) เป็นตัวประมาณค่าของ μ_{it} ตามแนวคิดของ Shankar et al. (2007) และประมาณค่าฟังก์ชัน $(u_{it})^2$ กับตัวแปรอธิบายลักษณะเดียวกับสมการที่ (5) นั่นคือการประมาณค่าฟังก์ชัน $f_2(x_{itk}, \beta_{2k})$ โดยสมมติให้ $f_2(x_{itk}, \beta_{2k})$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง คือ $E(u_{it})^2 = (x_{itk}, \beta_{2k})$ จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนจะถูกยกกำลังสองตามความหมายของค่าความแปรปรวน เมื่อ $f_2 = (u_{it})^2$ และ x_{itk} คือตัวแปรอธิบายแบบเส้นตรง จากนั้นจึงสามารถประยุกต์การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงได้ตามสมการที่ (6) โดย ค่าสัมประสิทธิ์ประมาณค่าเชิงบวก แสดงถึงตัวแปรอธิบายเป็นตัวแปรที่ส่งผลในการเพิ่มความแปรปรวนของผลผลิตข้าว หรือ เรียกว่าเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยง (Risk-Increased Variables)

$$(u_{it})^2 = \alpha_1 + \beta_{11}PAREA_{it} + \beta_{12}TRAI_{it} + \beta_{13}VRAI_{it} + \beta_{14}AEM_{it} + \beta_{15}VTEM_{it} + \beta_{16}AMTE_{it} + \beta_{17}VMTE_{it} + \beta_{18}AMIT_{it} + \beta_{19}VMIT_{it} + \beta_{20}TIME_{it} + e_{it} \dots \dots \dots (6)$$

การประมาณค่าแบบจำลองโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าว (Skewness Production Model) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเบ้ของผลผลิตข้าว เพื่ออธิบายโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าว หรือความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะลดลงน้อยกว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ย (Downside Risk) สามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการที่ (5) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบพหุคูณ (PLS) เป็นตัวประมาณค่าของ μ_{it} โดยสมมติให้ฟังก์ชันความเบ้ $f_3 = (\mu_{it})^3$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ตามแนวคิดของ Di Falco and Chavas (2009) จากนั้นจึงสามารถประยุกต์การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงได้ตามสมการที่ (7) โดยค่าสัมประสิทธิ์ประมาณค่าเชิงบวก แสดงถึงตัวแปรอธิบายเป็นตัวแปรที่ส่งผลในการเพิ่มโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าว หรือ เรียกว่าเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะลดลง (Downside Risk Variables)

$$(u_{it})^3 = \alpha_1 + \beta_{11} \text{PAREA}_{it} + \beta_{12} \text{TRAI}_{it} + \beta_{13} \text{VRAI}_{it} + \beta_{14} \text{ATEM}_{it} + \beta_{15} \text{VTEM}_{it} + \beta_{16} \text{AMTE}_{it} + \beta_{17} \text{VMTE}_{it} + \beta_{18} \text{AMIT}_{it} + \beta_{19} \text{VMIT}_{it} + \beta_{20} \text{TIME}_{it} + e_{it} \dots\dots\dots(7)$$

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์แบบจำลองให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test) คือ 1) การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาเนล (Panel Unit Root Test) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Spurious Correlation ตามแนวคิดของ Isik & Devadoss (2006) โดยวิธี Augmented Dickey-Fuller Unit Root Tests 2) การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Hausman's Specification Test เพื่อทดสอบแบบจำลองที่เหมาะสมเมื่อการกำหนดลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถสังเกตได้กับตัวแปรอธิบายในแบบจำลอง และ 3) การทดสอบปัญหาค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity Test) ด้วยวิธีการ Wald Test และแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) ตามแนวคิดของ Just and Pope (1979)

2) การจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวภาคกลางในอนาคต โดยเมื่อได้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวนาปี นาปรังในพื้นที่รับน้ำ ไม่รับน้ำ ภาคกลาง จำนวน 18 แบบจำลองแล้ว นำมาทำการจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Projection) ในระดับพื้นที่ ซึ่งข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศ PRECIS ประกอบด้วย การจำลองภาพฉายอนาคตที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นตามแนวทาง A2 และ B2 ตามที่ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) กำหนดขึ้น ซึ่งประเทศไทยจัดอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง-สูง มีการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในทิศทางที่สอดคล้องกับ IPCC SRES A2 และ B2 มากกว่าแบบอื่น (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554) โดยการศึกษานี้มีขั้นตอนการจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตามแนวคิดของ Chen, McCarl, & Schimmelpfennig (2004); Sinnarong (2013: 20); และ Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran (2019: 766) ดังนี้

(1) กำหนดตัวแปรสภาพอากาศเป็นตัวแทน ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนรวม และความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวม และทำการคัดเลือกข้อมูลการทำนายอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนในอนาคต สำหรับปี ค.ศ. 2030 2060 และ 2090 จากกริดข้อมูลที่ใกล้เคียงพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปี และนาปรังตามรายจังหวัดในพื้นที่รับน้ำ และไม่รับน้ำ สำหรับสถานการณ์ก๊าซเรือนกระจกแบบ A2 และ B2

(2) คำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนที่เป็นตัวแปรหลักของแบบจำลองในอนาคตตามแบบ A2 และ B2 (A2 (%Δ), B2 (%Δ)) เทียบกับข้อมูลการศึกษาครั้งนี้ คือ ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 1981-2017 กรณีข้าวนาปี และ ปี ค.ศ. 1987-2017 กรณีข้าวนาปรัง ซึ่งกำหนดให้เป็นข้อมูลฐาน (Baseline-Temperature, Baseline-Rainfall)

(3) จำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อผลผลิตข้าวนาปี นาปรัง โดยวิธีการเทียบบัญญัติไตรยางค์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอุณหภูมิ (Elastic Temperature) จากผลของข้อมูลฐานซึ่งอยู่ในรูปร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาปีนาปรังเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 เทียบกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลักโดยเฉลี่ยในอนาคต จะได้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอนาคตต่อผลผลิตข้าวนาปี นาปรัง (Effect Temperature) คำนวณผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคตต่อผลผลิตข้าวนาปี นาปรัง (Effect Rainfall) โดยเทียบจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรปริมาณน้ำฝนรวม (Elastic Rainfall) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

(4) รวมผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในอนาคต (Effect Rainfall and Effect Temperature) เป็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Effect Climate Change) ต่อผลผลิตข้าว โดยนำเสนอการประมาณผลกระทบของผลผลิตข้าว ตามลักษณะพื้นที่ ฤดูกาล และแบบจำลองสถานการณ์ก๊าซเรือนกระจก ทั้งระดับค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบ้

ผลการวิจัย

1. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลาง

การศึกษานี้ ใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Cobb-Douglas ค่าสัมประสิทธิ์จากการประมาณค่าจึงเป็นค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) ของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวในพื้นที่ศึกษา และเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test) ได้แก่ (1) การทดสอบ Panel Unit Root Test ด้วยวิธี Augmented Dickey-Fuller tests พบว่า ข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะหนึ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือ ที่ระดับ Level I(0) ของตัวแปรทุกตัว ดังนั้นผู้วิจัยสามารถใช้ข้อมูลพานเนล (Panel Data) ใน (2) การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Hausman's Specification Test ได้ โดยจัดรูปแบบสมการ ดัง (5) ให้อยู่ในรูปแบบของ Double-Log และพิจารณาค่า P-value จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเฉลี่ย แบบ Fixed Effect Model และ Random Effect Model หลังจากนั้น นำแบบสมการที่เหมาะสมมา (3) ตรวจสอบปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroskedasticity) ด้วยวิธีการ Wald Test และแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวน และความเบ้ จัดรูปแบบสมการ ดัง (6) และ (7) และประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบพานเนล (PLS) ผลการประมาณค่าแบบจำลองการผลิตที่เหมาะสมอ้างทางสถิติ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 1 (กรณีข้าวนาปี) และตารางที่ 2 (กรณีข้าวนาปรัง)

1.1 ผลการประมาณค่าผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวนาปี พบว่า ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิมิอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาปี โดยเฉพาะตัวแปรความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ($VRAI_{it}$) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ($AMTE_{it}$) และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย ($AMIT_{it}$) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาปีตามลักษณะพื้นที่ สามารถแสดงรายละเอียด ดังนี้

ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ($VRAI_{it}$) พบว่า การเพิ่มความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนในฤดูกาลเพาะปลูกร้อยละ 1 ส่งผลกระทบต่อให้ผลผลิตข้าวในปีเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.0412 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวในปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3265 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 99 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวในปี (Downside Risk) เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1473 เมื่อพิจารณาในเชิงพื้นที่พบว่าพื้นที่ที่รับน้ำภาคกลางมีความแปรปรวนของผลผลิตข้าวมากกว่าพื้นที่ไม่รับน้ำโดยเปรียบเทียบ (ความยืดหยุ่นความแปรปรวนของพื้นที่รับน้ำ (0.4967) กับ พื้นที่ไม่รับน้ำ (0.1128))

อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ($AMTE_{it}$) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดในฤดูกาลเพาะปลูกร้อยละ 1 ส่งผลกระทบต่อให้ผลผลิตข้าวในปีเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.7321 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวในปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.6318 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 95 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวในปี (Downside Risk) เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.9480 เมื่อพิจารณาในเชิงพื้นที่พบว่าพื้นที่ที่รับน้ำภาคกลางได้รับผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวเฉลี่ยมากกว่าพื้นที่ไม่รับน้ำโดยเปรียบเทียบ (ความยืดหยุ่นค่าเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำ (-1.7719) กับ พื้นที่ไม่รับน้ำ (-0.7108))

อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย ($AMIT_{it}$) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกร้อยละ 1 ส่งผลกระทบต่อให้ผลผลิตข้าวในปีเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.7332 และความแปรปรวนของผลผลิตข้าวในปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.0559 เมื่อพิจารณาในเชิงพื้นที่พบว่าพื้นที่ที่รับน้ำภาคกลางได้รับผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวปีเฉลี่ยมากกว่าพื้นที่ไม่รับน้ำโดยเปรียบเทียบ (ความยืดหยุ่นค่าเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำ (-0.7274) กับ พื้นที่ไม่รับน้ำ (-0.5593))

ตารางที่ 1 ผลการประมาณค่าแบบจำลองการผลิตข้าวนาปีตามลักษณะพื้นที่รับน้ำ ไม่รับน้ำ ภาคกลาง

ตัวแปร	ข้าวนาปี 22 จังหวัด			ข้าวนาปี พื้นที่รับน้ำ 6 จังหวัด			ข้าวนาปี พื้นที่ไม่รับน้ำ 16 จังหวัด		
	mean:	variance:	skewness:	mean:	variance:	skewness:	mean:	variance:	skewness:
	RE FGLS	PLS	PLS	RE GLS	PLS	PLS	RE FGLS	PLS	PLS
lnPAREA _{it}	0.9423*** (0.0058)	-0.3226 *** (0.0479)	-0.1763 (0.1604)	0.8446*** (0.0229)	0.6520*** (0.2449)	2.4772*** (0.5193)	0.9500*** (0.0065)	-0.0679 (0.0575)	0.2821 (0.1756)
lnTRAI _{it}		-0.7464** (0.2900)			-1.2858 (0.7909)	-2.4222* ^A (1.4291)	-0.0420 (0.0421)		-0.6968 ^A (0.7437)
lnVRAI _{it}	-0.0412*** ^A (0.0111)	0.3265*** ^A (0.1008)	0.1473 ^A (0.1786)	-0.0519*** ^A (0.0188)	0.4979*** ^A (0.2181)	0.6100 (0.4434)	-0.0318*** ^A (0.0152)	0.1128 ^A (0.1220)	0.1217 (0.2628)
lnATEM _{it}								7.3288* (4.4298)	32.1857*** (10.3319)
lnVTEM _{it}	-0.0191* (0.0098)						-0.0179 (0.0115)		
lnAMTE _{it}	-0.7321*** ^A (0.2990)	4.6318*** ^A (2.2742)	10.9480 ^A (6.9231)	-1.7719*** ^A (0.7474)	4.4603 (8.1764)		-0.7108*** ^A (0.3173)	14.5023*** ^A (2.8164)	17.8737*** ^A (5.8250)
lnVMTE _{it}			0.1111 (0.1725)			0.3297 (0.3745)			
lnAMIT _{it}	-0.7332** (0.3008)	1.0559 (2.4355)		-0.7274 (0.6127)	3.4337 ^A (6.2833)	29.0605*** ^A (13.1336)	-0.5593 (0.3461)		
lnTT _{it}	0.2289*** (0.0100)	-0.3310*** (0.0814)	-0.4147*** (0.1547)	0.2366*** (0.0183)	-0.1450 (0.1902)	-0.1805 (0.3251)	0.2290*** (0.0119)	-0.7911*** (0.1098)	-1.3547*** (.2070)
Constant	4.6755 (1.4376)	-16.5850 (11.4594)	-43.3842 (25.1841)	9.8012*** (3.3253)	-35.1662 (36.2395)	-120.447*** (41.6005)	4.1650** (1.6108)	-78.9139*** (15.4824)	-174.9012*** (34.602)
R ²	0.9730	0.0922	0.0252	0.8687	0.0620	0.2189	0.9767	0.1108	0.1636
Prob F	0.0000	0.0000	0.0402	0.0000	0.0308	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ที่มา: จากการคำนวณ เมื่อ ตัวเลขใน () หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10 ** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ*** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

^A หมายถึง ตัวแปรสภาพภูมิอากาศหลัก ที่ใช้ในการทำนายผลกระทบการผลิตข้าวในอนาคต

1.2 ผลการประมาณผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวนาปรัง ในพื้นที่ภาคกลาง พบว่า ตัวแปรสภาพอากาศทุกตัวแปรมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาปรังตามลักษณะพื้นที่ โดยเฉพาะตัวแปรความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน($VRAI_{it}$) อุณหภูมิเฉลี่ย($ATEM_{it}$) และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ($AMTE_{it}$) สามารถแสดงรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการประมาณค่าแบบจำลองการผลิตข้าวนาปรังตามลักษณะพื้นที่รับน้ำ ไม่รับน้ำ ภาคกลาง

ตัวแปร	ข้าวนาปรัง 22 จังหวัด			ข้าวนาปรัง พื้นที่รับน้ำ 6 จังหวัด			ข้าวนาปรัง พื้นที่ไม่รับน้ำ 16 จังหวัด		
	mean: RE FGLS	variance: PLS	skewness: PLS	mean: FE FGLS	variance: PLS	skewness: PLS	mean: RE FGLS	Variance: PLS	skewness: PLS
$\ln PAREA_{it}$	1.0144*** (0.0044)	-0.1854** (0.0542)	-0.2182** (0.0919)	0.9397*** (0.0382)	1.8157*** (0.4993)	4.0454*** (0.8527)	1.0123 *** (0.0040)	-0.0625 (0.0605)	0.1229 (0.1205)
$\ln TRAI_{it}$			-0.5142 (1.1318)	0.0020 ^A (0.0661)		5.1671** ^A (1.9784)		-1.0808** ^A (0.4965)	-2.8288*** ^A (0.9002)
$\ln VRAI_{it}$	- 0.0532*** ^A (0.0157)	0.5293*** ^A (0.1913)	1.3388*** ^A (0.5354)		0.2705 ^A (0.3703)	-2.3203** (0.9431)	-0.0249 ^A (0.0149)		
$\ln ATEM_{it}$	-0.0736 (0.2749)	0.6601 (3.3381)	11.3280** ^A (5.0788)	0.9867 (1.2498)	7.7308 ^A (8.1247)			12.3294 ^A (8.7015)	
$\ln VTEM_{it}$					0.7798* (0.3953)				

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ตัวแปร	ข้าวนาปรัง 22 จังหวัด			ข้าวนาปรัง พื้นที่รับน้ำ 6 จังหวัด			ข้าวนาปรัง พื้นที่ไม่รับน้ำ 16 จังหวัด		
	mean:	variance:	skewness:	mean:	variance:	skewness:	mean:	Variance:	skewness:
	RE FGLS	PLS	PLS	FE FGLS	PLS	PLS	RE FGLS	PLS	PLS
lnAMTE _{it}	-0.4851 ^{**A} (0.2771)	5.7480 ^{**A} (3.3655)		0.2731 (1.0586)		28.2524 ^{**A} (14.5010)	-0.4862 ^{**A} (0.2049)	-8.6838* (4.5654)	
lnVMTE _{it}	-0.0004 (0.0150)	-0.3425* (0.1821)				1.6241* (0.6678)		-0.6196 ^{***} (0.1866)	
lnAMITit				-0.2047 ^A (0.3523)				-3.0930 (3.0367)	11.4788 ^{***A} (2.8565)
lnVMITit						0.7801 (0.5544)			0.3183 (0.3891)
lnTT _{it}	0.0571 ^{***} (0.0094)	-0.5165 ^{***} (0.1142)	-1.2106 ^{***} (0.2032)	0.0012 (0.0200)	-0.8525 ^{***} (0.2691)	-1.8446 ^{***} (0.5368)	0.0527 ^{***} (0.0089)	-0.2527* (0.1401)	-0.7017 ^{***} (0.2569)
Constant	1.7381 (1.1343)	-29.0432 ^{**} (13.7748)	-48.8912 ^{**} (19.0242)	-3.2662 (2.7994)	-55.6523* (28.5828)	-176.3799 ^{***} (56.3701)	1.2755* (0.7408)	3.1448 (17.6265)	-22.5703 (12.2570)
R ²	0.9881	0.0681	0.1241	0.8317	0.1442	0.4740	0.9925	0.0429	0.1535
Prob	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000

ที่มา: จากการคำนวณ เมื่อ ตัวเลขใน () หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10 ** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ *** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

^A หมายถึง ตัวแปรสภาพภูมิอากาศหลัก ที่ใช้ในการทำนายผลกระทบการผลิตข้าวในอนาคต

ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ($VRAI_t$) พบว่า การเพิ่มความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนในฤดูกาลเพาะปลูกร้อยละ 1 ส่งผลกระทบให้ผลผลิตข้าวนาปรังเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.0532 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5293 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรัง (Downside Risk) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.3388 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาในเชิงพื้นที่ พบว่า พื้นที่รับน้ำภาคกลางได้รับผลกระทบมากกว่าพื้นที่ไม่รับน้ำโดยเปรียบเทียบ (ความยืดหยุ่นความแปรปรวนปริมาณน้ำฝนรวมของพื้นที่รับน้ำ (5.1671) กับ พื้นที่ไม่รับน้ำ (-2.8288)) สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ พบว่า พื้นที่รับน้ำ เกิดความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะสูญเสีย (Downside Risk) เมื่อปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นมาก นั่นคือเกิดความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะเข้าใกล้ศูนย์

อุณหภูมิเฉลี่ย ($ATEM_t$) และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ($AMTE_t$) ในฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกร้อยละ 1 ส่งผลกระทบให้ผลผลิตข้าวนาปรังเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.0736 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.6601 และโอกาสความสูญเสีย (Downside Risk) เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.3280 ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 1 ส่งผลต่อผลผลิตข้าวนาปรังเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.4851 และความแปรปรวนของผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.7480 เมื่อพิจารณาในเชิงพื้นที่ถึงระดับความเบ้ที่เพิ่มขึ้นหรือโอกาสที่ผลผลิตจะลดลงน้อยกว่าผลผลิตเฉลี่ย พบว่า พื้นที่รับน้ำภาคกลางได้รับผลกระทบเชิงลบมากกว่าพื้นที่ไม่รับน้ำโดยเปรียบเทียบ

2. ผลการจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวภาคกลางในอนาคต

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Effect Climate Change) ต่อผลผลิตข้าว คือ ผลรวมของผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในอนาคต (Effect Rainfall and Effect Temperature) ต่อปริมาณผลผลิตข้าวเฉลี่ย ความแปรปรวนของผลผลิตข้าว และความเบ้ของผลผลิตข้าว โดยผู้วิจัยทำการกำหนดตัวแปรหลักทางสภาพอากาศที่เหมาะสมอ้างอิงทางสถิติ (\wedge) ดังตารางที่ 1 และ 2 รวม 18 แบบจำลอง และทำการคัดเลือกข้อมูลการทำนายอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนในอนาคต สำหรับปี ค.ศ. 2030 2060 และ 2090 จากกริดข้อมูลที่ได้ใกล้เคียงในพื้นที่ศึกษา ตามแบบ A2 และ B2 และคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนที่เป็นตัวแปรหลักของแบบจำลองในอนาคตตามแบบ A2 และ B2 เทียบกับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 1981 – 2017 กรณีข้าวนาปี และ ปี ค.ศ. 1987 - 2017 กรณีข้าวนาปรัง ซึ่งกำหนดให้เป็นข้อมูลฐาน (Baseline-Temperature, Baseline-Rainfall) ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ผลผลิตข้าวเฉลี่ย จากการจำลองสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามแบบจำลอง A2 (B2) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์จากการประมาณมีค่าเชิงลบ นั่นคือ ส่งผลกระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ย และมีทิศทางผันผวนเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากความผันผวนของตัวแปรด้านปริมาณน้ำฝน ระหว่างร้อยละ -9.59 ถึง -17.26 (มีทิศทางผันผวนลดลงระหว่างร้อยละ -9.15 ถึง -4.62) และข้าวนาปรัง ระหว่างร้อยละ -4.24 ถึง -14.46 (ร้อยละ -8.31 ถึง -11.50) เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบพื้นที่และฤดูกาล พบว่า พื้นที่รับน้ำได้รับผลกระทบเชิงลบมากกว่าพื้นที่ไม่รับน้ำ โดยเฉพาะข้าวนาปรัง ได้รับผลกระทบเชิงลบในทิศทางที่เพิ่มขึ้น ทั้งแบบจำลอง A2 และ B2

ความแปรปรวนของผลผลิตข้าว หากสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปตามแบบจำลอง A2 (B2) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์จากการประมาณมีค่าเชิงบวก นั่นคือ ความแปรปรวนผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น และมีทิศทางผันผวนเพิ่มขึ้น ระหว่างร้อยละ 60.93 ถึง 119.62 (ทิศทางลดลงร้อยละ 63.08 ถึง 28.35) และข้าวนาปรัง

ระหว่างร้อยละ 50.62 ถึง 156.60 (ร้อยละ 92.67 ถึง 128.37) เมื่อพิจารณาในเชิงพื้นที่และฤดูกาล พบว่า ข้าวนาปรังในพื้นที่รับน้ำได้รับผลกระทบเชิงลบ ในทิศทางเพิ่มขึ้นทั้งแบบจำลอง A2 และ B2

ความเบ้ของผลผลิตข้าว จากการจำลองสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคตตามแบบจำลอง A2 (B2) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์จากการประมาณมีค่าเชิงบวก นั่นคือ โอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 106.34 ถึง 212.45 (มีทิศทางผันผวนลดลงระหว่างร้อยละ 120.84 ถึง 75.13) กรณีข้าวนาปี และข้าวนาปรังมีทิศทางผันผวนเพิ่มขึ้นระหว่างร้อยละ 159.53 ถึง 410.06 (ร้อยละ 202.80 ถึง 292.04) เมื่อพิจารณาเชิงพื้นที่และฤดูกาล พบว่า พื้นที่รับน้ำได้รับผลกระทบเชิงลบมากกว่าพื้นที่ไม่รับน้ำ โดยเฉพาะข้าวนาปีในแบบจำลอง B2 และนาปรังแบบจำลอง A2 ซึ่งได้รับผลกระทบเชิงลบในทิศทางเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวเฉลี่ย ความแปรปรวนและความเบ้ของผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลาง

ปี ค.ศ.	การจำลอง ก๊าซเรือนกระจก ในอนาคต	ข้าวนาปี			ข้าวนาปรัง		
		พื้นที่รับน้ำ	พื้นที่ไม่รับน้ำ	ภาคกลาง	พื้นที่รับน้ำ	พื้นที่ไม่รับน้ำ	ภาคกลาง
ผลผลิตข้าวเฉลี่ย							
2030	A2	-15.13	-11.72	-12.38	-6.43	-5.35	-7.19
	B2	-8.29	-8.28	-9.15	-3.05	-6.36	-8.63
2060	A2	-11.72	-9.66	-9.59	-9.69	-6.33	-4.24
	B2	-11.82	-8.58	-9.01	-5.33	-7.81	-8.31
2090	A2	-28.97	-16.12	-17.26	-11.04	-9.70	-14.46
	B2	-8.73	-4.91	-4.62	-6.15	-9.96	-11.50
ความแปรปรวนผลผลิตข้าว							
2030	A2	70.89	132.97	89.43	107.82	102.86	76.13
	B2	100.76	127.86	63.08	80.57	33.79	92.67
2060	A2	54.77	190.73	60.93	124.30	137.00	50.65
	B2	79.24	139.38	61.01	132.81	171.64	95.13
2090	A2	126.36	235.53	119.62	167.12	161.23	156.60
	B2	52.81	103.88	28.35	145.61	146.99	128.37
ความเบ้ผลผลิตข้าว							
2030	A2	277.86	124.51	106.34	49.43	27.74	248.15
	B2	417.43	123.93	113.86	197.13	35.95	202.80
2060	A2	527.29	213.47	142.23	176.75	168.26	159.53
	B2	512.90	159.37	120.84	121.49	237.17	215.90
2090	A2	509.19	228.65	212.45	584.67	160.19	410.06
	B2	516.02	95.58	75.13	342.12	155.55	292.04

ที่มา: จากการศึกษา

จากการจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เปรียบเทียบทั้งในระดับพื้นที่และฤดูกาล เพราะปลูก ตามแบบจำลองก๊าซเรือนกระจกในอนาคต A2 และ B2 (B2) สามารถสรุปได้ว่า ข้าวนาปรังในพื้นที่รับน้ำ ภาคกลาง ได้รับผลกระทบเชิงลบของผลผลิตข้าวจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศมากที่สุด ภายใต้แบบจำลองที่เหมาะสม ทั้งในแบบจำลองค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบ้

การอภิปรายผล

จากการประมาณผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการจำลองผลกระทบในอนาคต (ปี ค.ศ. 2030 2060 และ 2090) ต่อผลผลิตข้าวนาปีและนาปรัง ผ่านแบบจำลองค่าเฉลี่ย (Mean Yield Model) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรที่ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง ในขณะที่แบบจำลองความแปรปรวน และความเบ้ (the Variance and Skewness of the Yield) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรที่ลดความเสี่ยงที่จะสูญเสียผลผลิตข้าวหรือโอกาสที่ผลผลิตข้าวต่ำกว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ยในพื้นที่ ข้อมูลที่ได้เพื่อเพิ่มความตระหนักรู้แก่เกษตรกรต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดการความเสี่ยงเพื่อลดขนาดของผลกระทบ สามารถอภิปรายผลดังนี้

ตัวแปรสภาพอากาศตามฤดูกาลเพาะปลูกส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวนาปี และนาปรัง โดยตัวแปรอุณหภูมิมีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าว กล่าวคือ หากอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูก (AMT_{it}) โดยเฉพาะในพื้นที่รับน้ำ เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.7274 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.4337 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปี (Downside Risk) เพิ่มขึ้นร้อยละ 29.0605 (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ อภิชาติ (2556) พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดเพิ่มขึ้น $1^{\circ}C$ จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง 10 เท่า ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูก (AMT_{it}) โดยเฉพาะข้าวนาปรัง ในพื้นที่รับน้ำ พบว่า หากอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะส่งผลให้โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรัง (Downside Risk) เพิ่มขึ้นร้อยละ 28.2524 (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เบญจวรรณ (2552) พบว่า อุณหภูมิสูงสุดและจำนวนวันที่มีอากาศร้อนในประเทศไทยในช่วง 2553-2582 ถูกคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นบริเวณกว้างโดยเฉพาะลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ภาคกลาง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลกระทบโดยตรงตั้งแต่ในระยะตั้งตัวของต้นกล้า ระยะสร้างช่อดอก การผสมเกสร และการสะสมน้ำหนักของเมล็ด ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง และส่งผลต่อความมั่นคงทางอาหาร และอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูก ($ATEM_{it}$) พบว่า ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวนาปีและนาปรัง ในพื้นที่ไม่รับน้ำ กล่าวคือ หากอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.3294 (ตารางที่ 2) และโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าวนาปี (Downside Risk) เพิ่มขึ้นร้อยละ 32.1857 (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับผลการศึกษาของนิโรจน์และคณะ (2562) พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยร้อยละ 1 จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.57 - 1.15 เป็นต้น ในขณะที่ตัวแปรปริมาณน้ำฝนรวม ($TRAI_{it}$) มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าว ยกเว้น กรณีข้าวนาปรัง ในพื้นที่รับน้ำ พบว่า มีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าว เนื่องจาก เป็นพื้นที่รับน้ำ ไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ในช่วงหน้าน้ำ น้ำท่วมขัง (เดือนกันยายน ถึง พฤศจิกายน) และตัวแปรความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ($VRAI_{it}$) มีผลเชิงลบต่อผลผลิตข้าว และจากการทำนายผลกระทบในอนาคต

(ปี ค.ศ. 2030 2060 และ 2090) พบว่า ข้าวนาปรังในพื้นที่รับน้ำภาคกลาง ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศมากที่สุด ภายใต้แบบจำลองที่เหมาะสม (ตารางที่ 3) ทั้งในแบบจำลองค่าเฉลี่ย (ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง ร้อยละ -3.05 ถึง -11.04) แบบจำลองความแปรปรวน (เพิ่มความแปรปรวนของผลผลิตข้าว ร้อยละ 80.57 ถึง 167.12) และแบบจำลองความแบ้ (เพิ่มโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าว ร้อยละ 49.43 ถึง 584.67)

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น พบว่า ตัวแปรสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิ และ ปริมาณน้ำฝน) ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวเฉลี่ย (ค่ากลาง) ลดลง และเพิ่มความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะต่ำกว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ย (การกระจายข้อมูลจากค่ากลางที่เข้าใกล้ศูนย์) ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาไปใช้ประกอบการวางแผนปรับตัวเพื่อลดความเสี่ยงที่จะสูญเสียผลผลิตในพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม อาทิ ปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูก โดยร่นปฏิทินการเพาะปลูกให้สั้นลง เช่น การเลือกใช้พันธุ์ข้าวอายุสั้น (95 วัน) เช่น กข 41 หรือ 43 และพักหน้าดินในช่วงฤดูแล้งและร้อนจัด เช่น เดือนเมษายน เพื่อลดผลกระทบที่ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง และลดความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะสูญเสียในอนาคต เป็นต้น นอกจากนี้ตัวแปรแนวโน้มเวลา(TT_p) ซึ่งเป็นตัวแทนของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มีผลเชิงบวกต่อผลผลิตข้าวในปี (นาปรัง) ในทุกระดับพื้นที่ กล่าวคือ หากเทคโนโลยีการเกษตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.2289 (0.0571) ความแปรปรวนลดลงร้อยละ 0.3310 (0.5165) และโอกาสความสูญเสียลดลงร้อยละ 0.4147 (1.2106) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองความแบ้ แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวมีส่วนช่วยในการจัดการความเสี่ยง หรือลดโอกาสที่ผลผลิตข้าวจะสูญเสียจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran. (2019) พบว่า ตัวแปรแนวโน้มเวลา หรือการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรข้าวเป็นตัวแปรลดความแปรปรวนของผลผลิตข้าวจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการส่งเสริมการเกษตรควรดำเนินนโยบายด้านการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวเพื่อลดผลกระทบและความเสี่ยงที่ผลผลิตจะลดลง (Downside Risk) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

การศึกษาลผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว โดยพิจารณาถึงระดับความแบ้ที่เพิ่มขึ้น หมายถึงความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะลดลงน้อยกว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ย หรือโอกาสความสูญเสีย (Downside Risk) เพื่อเป็นการยืนยันลักษณะของผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวทั้งระดับพื้นที่ (พื้นที่รับน้ำ ไม่รับน้ำ) และฤดูกาลเพาะปลูก (นาปี นาปรัง) ผลการศึกษาได้ชี้ชัดให้เห็นถึงตัวแปรทางสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนรวม และความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวแตกต่างกันตามลักษณะพื้นที่และฤดูกาลเพาะปลูก นอกจากนี้ ตัวแปรแนวโน้มเวลา ซึ่งเป็นตัวแทนของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร เช่น การพัฒนาสายพันธุ์ข้าว การปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตข้าว มีส่วนในการช่วยลดผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระดับ

ค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบ้ นั่นคือ การพัฒนาเทคโนโลยีมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงที่ผลผลิตจะสูญเสียจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

ดังนั้น องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษา หน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการส่งเสริมการเกษตรควรสร้างความตระหนักในผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งระดับผลผลิตเฉลี่ยที่ลดลง และโอกาสที่ผลผลิตจะลดลงน้อยกว่าผลผลิตเฉลี่ยในพื้นที่ พร้อมทั้งให้ความรู้และนำเสนอข้อมูลข่าวสารด้านการเตือนภัยอย่างรวดเร็ว พร้อมแนวทางการรับมือเพื่อให้เกษตรกรได้วางแผนการผลิตได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งดำเนินนโยบายด้านการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นในอนาคต อาทิ การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยเฉพาะอุณหภูมิต่ำสุดช่วงอุณหภูมิต่ำที่สุดของวัน (ช่วงกลางคืน) เนื่องจากอากาศเย็นมีผลต่อการสร้างเกสรตัวผู้ ทำให้เกสรตัวผู้เป็นหมัน การติดเมล็ดต่ำ มีผลให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงน้อยลง และอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งมีผลต่อระยะออกดอก เป็นต้น หรือการร่นระยะเวลาเพาะปลูก การใช้พันธุ์ข้าวอายุสั้น การใช้เทคโนโลยีพันธุ์ข้าวลอยน้ำ โดยเฉพาะในพื้นที่รับน้ำ ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อลดผลกระทบในช่วงที่ปริมาณน้ำฝนมาก หรือมีการนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศ อาทิ เครื่องสูบน้ำอัจฉริยะ (ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก. 2553; สมพร และคณะ. 2552; Sinnarong. 2013; และ Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran. 2019) เป็นต้น

ในปัจจุบันได้มีรูปแบบการปรับตัว (Adaptation) ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพื่อลดผลกระทบที่หลากหลายทั้งระดับชาติและนานาชาติ เช่น แผนยุทธศาสตร์ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้านการเกษตร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) และ รูปแบบ Climate-Smart Agriculture: CSA (FAO, 2013) อย่างโครงการ Thai Rice NAMA ซึ่งเป็นโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ) (โครงการ 5 ปี พ.ศ. 2561-2566) ที่มุ่งเน้นให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดภาวะโลกร้อนจากการทำนาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ด้วยเทคโนโลยีการผลิตข้าว คือ การปรับพื้นที่ด้วยเลเซอร์ (LLL) ร่วมกับการเพาะปลูกข้าวแบบเปียกสลับแห้ง (AWD) เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันอยู่ระหว่างการดำเนินแปลงสาธิต ในพื้นที่ลุ่มน้ำ 6 จังหวัด ภาคกลาง กว่าแสนไร่เรือน เพื่อนำไปสู่มาตรฐานการผลิตข้าวที่ยั่งยืน (GAP++) (Thai Rice Department, 2017) เป็นต้น

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

เพื่อการพัฒนาการวิจัยด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว ควรต่อยอดการวิเคราะห์เชิงลึกในระดับฟาร์ม อาทิ จำแนกตามประเภทพันธุ์ข้าว (ไวแสง และไม่ไวแสง) โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวที่ภาครัฐสนับสนุนให้เกษตรกรเพาะปลูก อาทิ ข้าวพันธุ์ กข 43 เทียบกับ พันธุ์ข้าวที่นิยม อาทิ กข 41 เป็นต้น และหรือมีการเพิ่มตัวแปรสภาพอากาศอื่นที่อาจส่งผลต่อผลผลิตข้าว อาทิ ความเข้มของแสง เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลการประมาณค่าผลกระทบที่เฉพาะเจาะจงและนำไปใช้ในการวางแผนรับมือได้อย่างรัดกุมยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- นิโรจน์ สิ้นณรงค์. (2560). เศรษฐศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: จากแนวคิด เครื่องมือการวิเคราะห์สู่นโยบายสาธารณะด้านการเกษตร. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทยมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 37(3), 143-161.
- นิโรจน์ สิ้นณรงค์, กษมา ถาอ้าย, ศิริพร พันธุ์ลี, ฉันทนา ชูแสงทรัพย์ และ Olalekan Israel Aikukulola. (2562) ผลกระทบและการจำลองการปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับลดความเสี่ยงของผลผลิตข้าวนาปี ในภาคกลาง. *วารสารเศรษฐศาสตร์และนโยบายสาธารณะ*, 10(19), 36-58.
- เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. (2552). *ยุทธศาสตร์การวิจัยและพัฒนาเกษตรเพื่อรองรับโลกร้อน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ* (รายงานวิจัย). เชียงใหม่.
- ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2554). *โครงการศึกษาด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในอนาคตและการปรับตัวของภาคส่วนที่สำคัญ* (รายงานวิจัย). สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก. (2553). *การรับรองพันธุ์ ข้าวเจ้าสายพันธุ์ CNT96024-61-1-PSL-1-2* (รายงานวิจัย). กรมการข้าว, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมพร อิศวิลานนท์, สุวรรณมา ประณีตวาทกุล, และชนาพร คำวงษ์. (2552). *การประเมินผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อการผลิตข้าวในประเทศไทย* (รายงานวิจัย). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. (2559). รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2559. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2562, จาก <https://www.trf.or.th/e-book/188-climate-change/10675-thailands-2nd-assessment-report-on-climate-change-2016>.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2554). รายงานหลักการศึกษาประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามสาขาต่างๆ. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). *หวั่นอากาศแปรปรวนกระทบภาคเกษตร สศก.ย้ำ ต้องพัฒนาเทคโนโลยีเข้าสู่ ไร่ ไร่ มือในอนาคต. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์*. กรุงเทพฯ. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2562, จาก https://region2.prd.go.th/ewt_news.php?nid=125769&filename=index.
- อภิชาติ วรรณวิจิตร. (2556). *โครงการสถานการณ์วิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพกับการปรับปรุงระบบการสังเคราะห์แสงภายใต้สภาวะโลกร้อน* (รายงานวิจัย). ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

- ADB. (2009). *The Economics of Climate Change in Southeast Asia: A Regional Review*. Philippines: Mandaluyong City. [Electronic version]. Retrieved June 24, 2019, from <http://hdl.handle.net/11540/179>
- Antle, J.M. (1983). Testing the Stochastic Structure of Production: A Flexible Moment-Based. *Journal of Business and Economic Statistics*, 1(3), 192-201.
- Antle, J.M. (2010). Asymmetry, Partial Moments, and Production Risk. *American Journal of Agricultural Economics*, 92(5), 1294–1309.
- Battese, G. E., Rambaldi, A. N. & Wan, G. H. (1997). A Stochastic Frontier Production Function with Flexible Risk Properties. *Journal of Productivity Analysis*, 8, 269–280.
- Bezabih, M., Ruhinduka, R., & Sarr, M. (2016). *Climate Change Perception and System of Rice Intensification (SRI) Impact on Dispersion and Downside Risk: A Moment Approximation Approach*. Leeds/London, UK, Centre for Climate Change Economics and Policy/Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Retrieved from <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2016/11/Working-Paper-256-Bezabih-et-al.pdf>
- Buddhaboon, C., Kongton, S., & Jintrawet, A. (2005). *Climate scenario verification and impact on rain-fed rice production: The study of future climate impact on water resource and rain-fed agriculture production*. In Proceedings of the APN CAPaBLE CB-01 synthesis workshop (pp. 51-78). Bangkok, Thailand: Southeast Asia START Regional Center.
- Cabas, J., Weersink, A., & Olale, E. (2010). *Crop Yield Response to Economic, Site and Climatic Variables*. *Climatic Change*, 101, 559-616.
- Chen, C. C., McCarl, B. A., & Schimmelpfennig, D. E. (2004). *Yield Variability as Influenced by Climate: A Statistical Investigation*. *Climatic Change*, 66, 239-261.
- Di Falco, S. & Chavas, J.P. (2009). On Crop Biodiversity, Risk Exposure, and Food Security in the Highlands of Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(3), 599–611.
- FAO. (2013). *Climate-Smart Agriculture sourcebook*. 191-204. [Electronic version]. Retrieved July 8, 2019, from <http://www.fao.org/3/a-i3325e.pdf>
- Hertel, T.W., & Rosch, S.D. (2010). Climate Change, Agriculture, and Poverty. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 32(3), 355–385.
- Isik, M. & Devadoss, S. (2006). An analysis of the Impact of Climate Change on Crop Yields and Yield Variability. *Applied Economics*, 7(38), 835-844.
- Just, R.E., & Pope, R.D. (1979). Production Function Estimation and Related Risk Considerations. *American Journal of Agricultural Economics*, 61, 276–284.

- Kumar, K. & Parikh, J. (1998). *Climate Change Impacts on Indian Agriculture: The Ricardian Approach*. In A. Dinar, R. Mendelsohn, R. Evenson, J. Parikh, A. Sanghi, K. Kumar, J. McKinsey, S. Lonergan (eds.), *Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture*, World Bank Technical Paper No. 402, Washington, D.C.
- Matthews, R.B., Kropff, M.J., Horie, T., & Bachelet, D. (1997). Simulating the Impact of climate change on rice production in Asia and evaluation option for adaptation. *Agricultural Systems*, 54(3). 399-425.
- McCarl, B. A., Villavicencio, X., & Wu, X. (2008). Climate Change and Future Analysis: Is Stationarity Dying? *American Journal of Agricultural Economics*, 90(5), 1241-1247.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W.D., & Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *The American Economic Review*, 84, 753-771.
- Mendelsohn, R. & Tiwari, D. (2000). *Two essays on climate change and agriculture: a developing country perspective*. Rome, Italy: FAO Economic and Social Development.
- Molua, E. L. & Lambi, C. M. (2006). *The Economic Impact of Climate Change on Agriculture in Cameroon*. CEEPA Discussion Paper No. 17. Pretoria, Gauteng, South Africa: Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (CEEPA), University of Pretoria.
- Seo, S. N. & Mendelsohn, R. (2008). An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms. *Ecological Economics*, 67, 109-116.
- 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.
- Sinnarong, N. (2013). *Essays on the Impact of Climate Change in Agricultural Production*. (Doctoral Dissertation of Applied Economics). National Chung Hsing University, Taiwan.
- Sinnarong, N., Chen, C. C., McCarl, B. A., & Tran, B. L. (2019). Estimating the potential effects of climate change on rice production in Thailand. *Paddy and Water Environment*, 17, 761-769.
- Thai Rice Department. (2017). *Thai Rice NAMA Purpose, Overview & Current Status*. [Power Point]. Bangkok.