

ที่ อว ๐๖๕๖.๑๕/มส. ๐๑๓



สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

๖๐ หมู่ที่ ๓ ถนนสายเอเชีย

ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา

จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ๑๓๐๐๐

๑๑ มีนาคม ๒๕๖๓

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณา

เรียน ผศ.ภนภพร ภาคีฉาย, ผศ.ดร. นิโรจน์ สินณรงค์, ผศ.ดร.กฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล,
ผศ.ดร. พชรินทร์ สุภาพันธ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง ปัจจัยที่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวและการเกษตรที่ปราดเปรื่องเรื่องสภาพภูมิอากาศในพื้นที่รับน้ำภาคกลาง ประเทศไทย : The Impacts of Climate Change Factors on Rice Production and Climate-Smart Agriculture in the Watershed Areas of Central Thailand เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) นั้น

บัดนี้บทความของท่านได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและจากกองบรรณาธิการแล้ว กองบรรณาธิการมีความยินดีที่จะแจ้งให้ทราบว่า บทความของท่านมีความเหมาะสมที่จะได้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) ในปีที่ ๕ ฉบับที่ ๒ (กรกฎาคม – ธันวาคม ๒๕๖๓)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัดดาวัลย์ สำราญ)
บรรณาธิการวารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ
(มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)

งานวารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ
(มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)

โทรศัพท์: ๐ ๓๕๗๐ ๙๐๙๗

โทรสาร : ๐ ๓๕๗๐ ๙๐๙๗

www.tci-thaijo.org

**ปัจจัยที่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าว
และการเกษตรที่ปราดเปรื่องเรื่องสภาพภูมิอากาศ
ในพื้นที่รับน้ำภาคกลาง ประเทศไทย**

The Impacts of Climate Change Factors on Rice Production and Climate-Smart Agriculture in the Watershed Areas of Central Thailand

**กนกพร ภาคิฉาย^{1*} นิโรจน์ สินณรงค์¹ กฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล¹
และพัชรินทร์ สุภาพันธุ์¹
Kanokporn Pakeechai^{1*} Nirote Sinnarong¹ Kittawit Autchariya panitkul¹
and Patcharin Supapunt¹**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว และศึกษาแนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับการเกษตรที่ปราดเปรื่องด้านสภาพภูมิอากาศ การวิเคราะห์หึ่งกับการผลิตข้าวด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปแบบเป็นไปได้อ โดยใช้ข้อมูลแบบพานเนล จำนวน 6 จังหวัด ในพื้นที่รับน้ำภาคกลาง จำแนกตามฤดูเพาะปลูก ข้าวนาปี (พ.ศ. 2524 – 2560) และข้าวนาปรัง (พ.ศ. 2530 – 2560) แบบจำลองผลกระทบในอนาคตของปี พ.ศ. 2573 2603 และ 2633 พบว่า ตัวแปรสภาพอากาศส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว โดยเฉพาะข้าวนาปรัง พบว่า หากปริมาณน้ำฝนรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.16 เนื่องจากเป็นพื้นที่รับน้ำ ยิ่งไปกว่านั้นหากอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จะเพิ่มโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าว ร้อยละ 28.25 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการจำลองผลกระทบในอนาคต พบว่า ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 3.05 ถึง 28.97 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 52.81 ถึง 167.12 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.43 ถึง 584.67 ผลการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มตัวอย่างนักวิชาการและเกษตรกรต้นแบบ พบว่าแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการเพาะปลูกข้าวตามกรอบการเกษตรที่ปราดเปรื่องด้านสภาพภูมิอากาศ มีดังนี้ 1) ปรับเปลี่ยนระบบการผลิต 2) การสร้างความคล่องตัวและเครือข่ายทางสังคม 3) การจัดการด้านการเงินของฟาร์ม 4) การเพิ่มความหลากหลายของอาชีพในและนอกฟาร์ม และ 5) การจัดการความรู้และระเบียบข้อบังคับ

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเกษตรที่ปราดเปรื่องเรื่องสภาพภูมิอากาศ การเพาะปลูกข้าว

Abstract

This study aims to 1) Analyze the impact of climate change on rice production and 2) Study the Climate-Smart agricultural practice for rice production. We apply the Feasible Generalized Least Squares (FGLS) to obtain the efficiency estimators of rice production function. The panel data of rice production from 6 watershed areas in central provinces classify by planting season, namely, in-season rice (during 1981 to 2017) and off-season rice (during 1987 to 2017). The model for the future impact of 2030, 2060 and 2090 found that weather variability during growing season had a negative impact on rice production. Especially, the off-season rice in watershed areas. If the total rainfall increased by 1 % resulting in the downside risk of rice production increased by 5.16 % as the result of the watershed areas. Moreover, if the average maximum temperature increases by 1 %, increasing the downside risk of rice production by 28.25 % at 0.05 statistically

¹ สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

¹ Major of Applied Economics, Maejo University, Chiang Mai. 50290.

* Corresponding author. E-mail: kanokporn.p@mutsb.ac.th

เบอร์โทรศัพท์ผู้ส่งบทความ : 0897428478

significant level. Consequently, simulating future effects, the average yield of rice decreased by 3.05% to 28.97%, the variability of rice production increased 52.81% to 167.12% and the chance of loss on rice production increased by 49.43% to 584.67%. The results of in-depth interviews from the sample of academics and model farmers found that a good practice for rice cultivation in the Climate-Smart agricultural framework are 1) Adjusting Production Systems 2) Mobility and Social Network 3) Farm financial management 4) Diversification on and off the farm income and 5) Knowledge management and regulations.

Keywords: Climate Change, Climate-Smart Agriculture, Rice Production

บทนำ

ภาคกลาง ประเทศไทย นับเป็นพื้นที่ผลิตข้าวที่สำคัญ โดยปีเพาะปลูก 2559/2560 มีเนื้อที่เพาะปลูก 8.29 ล้านไร่ ผลผลิตข้าวเปลือก 5.01 ล้านตัน และ เป็นภูมิภาคที่มีผลผลิตต่อไร่ต่อเนื้อที่เพาะปลูกสูงที่สุดโดยเปรียบเทียบ (612 กิโลกรัมต่อไร่) เนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนเพียงพอ น้ำในแม่น้ำสายหลัก เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำปาวจิน มีปริมาณค่อนข้างมาก ประกอบกับเขื่อนหลัก เช่น เขื่อนเจ้าพระยา เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีปริมาณน้ำชลประทานเพียงพอต่อการเพาะปลูกข้าวตลอดทั้งปี ทั้งนาปี และนาปรัง แต่อย่างไรก็ดีสภาพอากาศเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างยิ่ง ในการกำหนดรูปแบบการเพาะปลูกและผลผลิตข้าว ดังรายงาน 2558/59 พบว่า เนื้อที่เพาะปลูกลดลงร้อยละ 4.49 และผลผลิตลดลง ร้อยละ 7.46 ต่อปี เนื่องจากช่วงต้นฤดูการเพาะปลูก ปริมาณน้ำฝนน้อย การกระจายของฝนไม่สม่ำเสมอ โดยปริมาณฝนรวมต่ำกว่าค่าปกติ ทำให้เกษตรกรปลูกข้าวล่าช้า และบางพื้นที่ไม่สามารถปลูกข้าวได้ (Office of Agricultural Economics, 2017.) แสดงให้เห็นว่าสภาพอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนมีอิทธิพลอย่างยิ่งกับการผลิตข้าว Sinnarong (2013) ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวของประเทศไทย 73 จังหวัด ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2532 – 2552 และแบ่งแบบจำลองออกเป็น 4 ภาค คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ พบว่า การเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูการเพาะปลูกส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวในทุกภาค การเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำฝนส่งผลดี ต่อการผลิตข้าวนาปีในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่มีผลในเชิงลบต่อการผลิตข้าวในภาคกลางและภาคใต้ และทำนายนการผลิตข้าวในอนาคตโดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ ใน พ.ศ. 2573 - 2633 พบว่า ผลผลิตข้าวเฉลี่ยของไทยมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 5 - 33 และความแปรปรวนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 - 15 โดยการผลิตรข้าวในภาคเหนือและภาคกลางของไทยซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพการผลิตสูงที่สุด จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากที่สุด และการศึกษาของ Sinnarong, Chen, McCarl & Tran. (2019) พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพิ่มความแปรปรวนของการผลิตรข้าวในภาคกลางของประเทศไทย เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.03 – 8.23 ในปี พ.ศ. 2573 - 2633 และของ Isvilanonda, Pranangwatkun & Kumwong (2009); Rerkasem (2009) และ Sinnarong, Thaeye, Phuntulee, Susawaengsup & Aikulola (2019) พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อผลิตรข้าวเฉลี่ยลดลง และความแปรปรวนของผลิตรเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะ อุณหภูมิสูงสุดและจำนวนวันที่มีอากาศร้อนในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ภาคกลาง ซึ่งส่งผลให้ผลิตรข้าวลดลง คิดเป็นมูลค่ากว่า 2,029 ล้านบาท ซึ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นกระแสขับเคลื่อนหลัก ที่สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เร่งกำหนดนโยบายเพื่อพัฒนาภาคการเกษตร โดยกำหนดยุทธศาสตร์และแผนปฏิบัติการว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้านการเกษตร ครอบคลุมประเด็นการปรับตัว (Adaptation) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Mitigation) (Office of Agricultural Economics, 2015) นั่นคือส่งเสริมให้มีระบบเกษตรกรรมที่ยั่งยืน ดังกรอบการเกษตรที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization: FAO) ที่เสนอรูปแบบการเกษตร Climate-Smart

Agriculture: CSA คือ การเกษตรที่ประกอบด้วย 3 เสาหลัก คือ 1) การเพิ่มผลผลิตการผลิตและรายได้เกษตรกรอย่างยั่งยืน (Productivity Impact) 2) การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและความสามารถในการกลับคืนไปสู่สภาพที่ดีก่อนหน้านี้ได้อย่างรวดเร็ว (Climate Change Adaptation and Resilience Implications) และ 3) ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Mitigation Impacts) (FAO, 2013) โดยการเกษตรแบบ CSA คือ การเกษตรที่ (1) เพิ่มผลผลิตอย่างยั่งยืน (2) ลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (3) ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (4) ปกป้องสิ่งแวดล้อมต่อการย่อยสลายและ (5) เสริมสร้างความมั่นคงด้านอาหารและการดำรงชีวิตที่ดีขึ้นของสังคม (Onyenike, Igber, Uwadoka & Aligbe, 2017) ทั้ง มีบทบาทสำคัญในการสร้างความสมดุลระหว่างความมั่นคงทางอาหารและทรัพยากรที่ใช้ ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางของการปรับการทำฟาร์มให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Zhang et al., 2015) ซึ่ง เป็นแนวทางที่นำไปสู่รูปแบบการผลิตอาหารที่ยั่งยืนภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Steenwerth et al., 2014) กล่าวคือ เกษตรกรผู้ใช้การเกษตรแบบ CSA มีค่าเฉลี่ยของความมั่นคงทางอาหารสูงขึ้น และสามารถรับมือกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ดีในแง่ของการจัดเตรียมอาหารที่มีเสถียรภาพมากขึ้นตลอดทั้งปี (Brüssow, Faße & Grote, 2017).

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวผ่านแบบจำลองทางเศรษฐมิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับผลผลิตข้าว และจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับข้อมูลสภาพฉายการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Projection) ตามแนวคิดของ Chen, McCarl, & Schimmelpfennig (2004); Sinnarong (2013); และ Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran. (2019) เพื่อจำลองผลกระทบในอนาคตตามฤดูกาลเพาะปลูก โดยประมาณค่าถึงระดับความเบ้ (Skewness of Production) อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ยังไม่มีการประมาณผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวถึงระดับความเบ้ (Downside Risk) ในกรณีศึกษาประเทศไทย โดยผลการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการวิเคราะห์ในแบบจำลองค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โมเมนต์ที่หนึ่งและสอง (the First Two Moment) ซึ่งผลกระทบดังกล่าวไม่ได้ยืนยันถึงโอกาสที่ผลผลิตจะสูญเสีย ดังการศึกษาของ Bezabih, Ruhinduka, & Sarr. (2016) ได้มีการประมาณผลกระทบโดยใช้แบบจำลองเชิงโมเมนต์ถึงระดับความเบ้ (Downside Risk) กรณีผลผลิตข้าวตามระบบการเพาะปลูกข้าวแบบประณีต (System Rice Intensification) ในประเทศ Tanzania ซึ่งการศึกษานี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการวิเคราะห์ผลกระทบถึงค่าความเบ้ว่า สามารถยืนยันผลกระทบถึงความเสี่ยงที่ผลผลิตลดลงหรือโอกาสที่ผลผลิตจะเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งค่าความเบ้บอกได้ดีกว่าค่าความแปรปรวน (Variance of the Yield) ที่บอกเพียงแนวโน้มของผลผลิตที่ผันผวนไปจากระดับค่าเฉลี่ยเท่านั้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงเห็นความจำเป็นในการประมาณค่าถึงระดับความเบ้ เพื่อนำไปสู่การหาวิธีในการจัดการความเสี่ยงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ สำหรับออกแบบแนวปฏิบัติที่ดีในการเพาะปลูกข้าวที่ปราศแปรี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศ (Climate-Smart Agriculture for Rice Production) ที่ไม่ใช่เพียงแค่มุ่งให้เกษตรกรปรับตัวอยู่ได้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเท่านั้น แต่ต้องมีผลผลิตที่สูงขึ้น และลดการปล่อยออกของก๊าซเรือนกระจก เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน และองค์ความรู้ในการขับเคลื่อนและสนับสนุนการเกษตรยั่งยืน คาร์บอนต่ำ สร้างความมั่นคงทางอาหารและการดำรงชีวิตที่ดีขึ้นของสังคม

แนวคิดทางทฤษฎี

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐมิติ (Econometrics Approach)

กำหนดฟังก์ชันการผลิต โดย y คือ ผลผลิตข้าว ขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิต x ภายใต้สภาวะความเสี่ยง (risk) จากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ จากแนวคิดฟังก์ชันการผลิตของ Just & Pope (1979) กำหนดรูปแบบ

ฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function (SPF) หรือ $y = f(x, v)$ เมื่อ x เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตทั่วไป เช่น ที่ดิน และ v เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศในพื้นที่เพาะปลูก ทั้งนี้เพื่อนำปัจจัยเชิงสุ่มที่จะส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการผลิต เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ เข้ามาพิจารณาในแบบจำลองตามแนวคิดของ Battese, Rambaldi & Wan (1997). กำหนดให้แบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต $y(x, v)$ ตามแนวคิดของ Di Falco & Chavas (2009); Antle (2010) ดังสมการที่ (1)

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

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)

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

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

วิธีการทางเศรษฐมิติสำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยและฟังก์ชันในระดับโมเมนต์ที่สูงขึ้น โดยคำนึงถึงความแตกต่างเชิงพื้นที่และเวลา คือ วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยสำหรับข้อมูลแบบพานาล ตามแบบจำลองเชิงทฤษฎี ดังสมการที่ (3)

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

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

$u_{it} = f_2(x_{itk}, \beta_{2k})^{1/2} \cdot \varepsilon_{it}$ 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 หรือฟังก์ชัน $f_3(x, \beta_3)$ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4)

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

ทฤษฎีการรับรู้ (Ratanachock, 2009)

การรับรู้ (Perceptual) เป็นกระบวนการทางความคิด ที่ประกอบด้วย สิ่งเร้าซึ่งอยู่ในสิ่งแวดล้อมของการดำเนินชีวิต กระบวนการรับรู้ซึ่งประกอบด้วย การสังเกต เลือก และการแปลความหมาย และก่อให้เกิดการตอบสนอง โดยมีทัศนคติ ความรู้สึก แรงจูงใจ พฤติกรรม เป็นต้น

การเลือกรับรู้ (Perceptual selection) แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเปิดรับ (Exposure) เกิดขึ้นเมื่อประสาทสัมผัสของบุคคลได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้า เช่น การได้เห็น การได้ยิน การได้ฟัง และการได้กลิ่น การตั้งใจ

รับ (Attention) เป็นกระบวนการซึ่งบุคคลจะแบ่งปันความสนใจมาสู่สิ่งเร้า และการเลือกรับรู้รายละเอียด (Selective perception) การเลือกรับรู้เกิดขึ้นในทุกขั้นตอน คือ การเลือกเปิดรับ เกิดขึ้นเพราะความเชื่อของบุคคลเป็นตัวชักจูงให้บุคคลเลือกสิ่งที่จะฟัง การเลือกจัดองค์ประกอบ เกิดขึ้น เพราะบุคคลจัดข้อมูลสอดคล้องตามความเชื่อ รวมทั้งการเลือกแปลความหมาย เกิดขึ้นเพื่อสิ่งที่ยอมรับมานั้นจะได้สอดคล้องกับความเชื่อและทัศนคติที่มีอยู่เดิม

การจัดองค์ประกอบการรับรู้ (Perceptual Organization) การที่บุคคลจัดข้อมูลจากแหล่งต่างๆเข้าด้วยกันให้เป็นระเบียบเพื่อให้มีความหมายที่เข้าใจได้มากขึ้นและเพื่อแสดงพฤติกรรมตอบสนองได้ถูกต้อง โดยหลักพื้นฐานของการจัดองค์ประกอบการรับรู้ คือ "การรวมกลุ่ม" (Integration) คือ บุคคลรับรู้สิ่งเร้าในลักษณะภาพรวม สอดคล้องกับหลักคิดของ เกสตัท์ ที่ว่า "ส่วนรวมมีความสำคัญมากกว่าส่วนย่อยรวมกัน" พบว่า การรวมกลุ่มเพื่อการรับรู้ ที่สำคัญได้แก่ หลักการเติมส่วนที่ขาดให้สมบูรณ์ (Principle of closure) หลักการจัดกลุ่ม (Principle of grouping) และหลักองค์ประกอบรอบข้าง (Principle context)

การแปลความหมายการรับรู้ คือ กระบวนการที่บุคคลทำความเข้าใจว่าสิ่งเร้าที่รับเข้ามาคืออะไร ในการแปลความหมาย บุคคลจะอาศัยข้อมูล ความรู้ และประสบการณ์ที่เก็บสะสมไว้ในอดีต อย่างไรก็ตาม บุคคลมีวิธีการ 2 วิธีในการช่วยแปลความหมายการรับรู้กระทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ การแยกประเภทการรับรู้ กับการแปลงความหมายการรับรู้โดยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์

วิธีการศึกษา

เป็นการวิจัยผสมผสาน (Mixed methods research) เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ดังนี้

1) การวิจัยเชิงปริมาณ ใช้ข้อมูลการผลิตข้าวจำแนกตามฤดูกาลเพาะปลูก ข้าวนาปี นาปรัง ในพื้นที่รับน้ำ 6 จังหวัด (ครอบคลุมทุ่งรับน้ำ 20 ทุ่ง ตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ ชัยนาท ลพบุรี สิงห์บุรี อ่างทอง และพระนครศรีอยุธยา) จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ข้อมูลด้านสภาพอากาศ จากกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นข้อมูลพาเนล (Panel Data) จำนวน 37 ปี (พ.ศ. 2524 - 2560) สำหรับข้าวนาปี และ จำนวน 30 ปี (พ.ศ. 2530 - 2560) สำหรับข้าวนาปรัง รวมจำนวน 402 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์แบบจำลองทางเศรษฐมิติ (Econometrics model) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าว ในระดับค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบ้ ดังนี้

1.1) การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว โดยสมมติฐาน คือ ตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าวนาปีและนาปรัง และตัวแปรปริมาณน้ำฝนพิจารณาครอบคลุมกรณีในเขตชลประทาน (พื้นที่เพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรัง)

สามารถกำหนดแบบจำลองเชิงประจักษ์สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตเฉลี่ย หรือแบบจำลองค่าเฉลี่ย (Mean Yield Model) ดังนี้

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

โดยที่ $YIELD_{it}$ คือ ผลผลิตข้าวนาปี (ตัน) / นาปรัง (ตัน) ในพื้นที่รับน้ำที่เข้าถึงแหล่งน้ำชลประทานหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ (Office of Agricultural Economics, 2017)

$PAREA_{it}$ คือ พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) (Sinnarong, 2013; Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran, 2019)

$TRAI_{it}$ คือ ปริมาณน้ำฝนรวม ในฤดูกาลเพาะปลูก (มิลลิเมตร) (นาปี ตั้งแต่พฤษภาคมถึงตุลาคม และ นาปรัง ตั้งแต่ พฤษภาคม ถึงเมษายนปีถัดไป) (Sinnarong, 2013; Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran, 2019)

$VRAI_{it}$ คือ ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ในฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อวัดอิทธิพลของความผิดปกติของสภาพอากาศ (Sinnarong, 2013; Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran, 2019)

$ATEM_{it}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ย ในฤดูกาลเพาะปลูก (องศาเซลเซียส) (Sinnarong, 2013; Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran, 2019)

$VTEM_{it}$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ในฤดูกาลเพาะปลูกเพื่อวัดอิทธิพลของความผิดปกติของสภาพอากาศ (Sinnarong, 2013; Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran, 2019)

$AMTE_{it}$ คือ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ในฤดูกาลเพาะปลูก (องศาเซลเซียส) (Rerkasem, 2009)

$VMTE_{it}$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย

$AMIT_{it}$ คือ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย ในฤดูกาลเพาะปลูก (องศาเซลเซียส) (Vanavichit, 2013)

$VMIT_{it}$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย

$TIME_{it}$ คือ ตัวแปรแนวโน้มเวลา ซึ่งเป็นตัวแทนของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร เช่น การพัฒนาสายพันธุ์ข้าว การปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตและการจัดการฟาร์ม ในช่วงเวลาที่ศึกษา (Sinnarong, 2013; Sinnarong, Chen, McCarl, & Tran, 2019)

μ_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถสังเกต

i และ t คือ พื้นที่จังหวัดที่ i ณ ช่วงเวลาที่ t

สำหรับการประมาณค่าแบบจำลองความแปรปรวน และความเบ้ (the Variance and Skewness of the Yield) เพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวน และความเบ้ของผลผลิตข้าว สามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการที่ (5) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบพานเนล (Panel Least Square : PLS) เป็นตัวประมาณค่าของ μ_{it} ตามแนวคิดของ Shankar, Bennett & Morse (2007). และประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวน $(u_{it})^2$ และ ความเบ้ $f_3 = (\mu_{it})^3$ กับตัวแปรอธิบายลักษณะเดียวกับสมการที่ (5) ดัดแปลงจาก Sinnarong, Chen, McCarl & Tran (2019) และ Bezabih, Ruhinduka & Sarr (2016) ได้ตั้งสมการที่ (6) และ (7) โดยค่าสัมประสิทธิ์ประมาณค่าเชิงบวก แสดงถึงตัวแปรเพิ่มความเสี่ยง (Risk-Increased Variables) และ ตัวแปรเพิ่มโอกาสที่ผลผลิตข้าวจะเข้าใกล้ศูนย์ (Downside risk variables)

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

และ

$$(u_{it})^3 = \alpha_1 + \beta_{11}PAREA_{it} + \beta_{12}TRAI_{it} + \beta_{13}VRAI_{it} + \beta_{14}ATEM_{it} + \beta_{15}VTEM_{it} + \beta_{16}AMTE_{it} + \beta_{17}VMTE_{it} + \beta_{18}AMIT_{it} + \beta_{19}VMIT_{it} + \beta_{20}TIME_{it} + e_{it} \quad (7)$$

เมื่อได้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในปี นาปีในพื้นที่รับน้ำ ภาคกลาง จำนวน 6 แบบจำลองแล้ว นำมาจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับข้อมูลสภาพอากาศทำการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change projection) ในระดับพื้นที่ โดยมีขั้นตอนการจำลองผลกระทบตามแนวคิดของ Chen, McCarl & Schimmpelfennig (2004); Sinnarong (2013); และ Sinnarong, Chen, McCarl & Tran (2019) ดังนี้

(1) กำหนดตัวแปรสภาพอากาศเป็นตัวแทน ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนรวม และความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวม และทำการคัดเลือกข้อมูลการทำนายอุณหภูมิ และ

ปริมาณน้ำฝนในอนาคต สำหรับ 3 ช่วงเวลา คือ ในอนาคตอันใกล้ ปานกลาง และยาว (พ.ศ. 2573 2603 และ 2633) (Sinnarong, 2013; และ Sinnarong, Chen, McCart & Tran, 2019) จากกริดข้อมูลทีละเคียงพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปี และนาปรังของพื้นที่ศึกษาสำหรับสถานการณ์ก๊าซเรือนกระจกแบบ A2 (ประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง-ปานกลาง ประชากรโลกเพิ่มอย่างต่อเนื่อง เน้นการเติบโตระดับภูมิภาค และมีการปรับใช้เทคโนโลยีอย่างช้าและไม่ครอบคลุมทั่วโลก) และ B2 (ประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลาง-ต่ำ ประชากรโลกเพิ่มอย่างต่อเนื่องแต่ต่ำกว่า A2 มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจปานกลาง และการปรับใช้เทคโนโลยีทั่วไป)(Chulalongkorn University Academic Service Center, 2011).

(2) คำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนที่เป็นตัวแปรหลักของแบบจำลอง ในอนาคตตามแบบ A2 และ B2 ($A2 (\% \Delta)$, $B2 (\% \Delta)$) เทียบกับข้อมูลการศึกษาครั้งนี้ คือ ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2524-2560 กรณีข้าวนาปี และ พ.ศ. 2530-2560 กรณีข้าวนาปรัง กำหนดให้เป็นข้อมูลฐาน

(3) จำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อผลผลิตข้าว โดยวิธีการเทียบ บัญญัติไตรยางค์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอุณหภูมิ (Elastic Temperature) จากผลของข้อมูลฐานซึ่งอยู่ในรูป ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 1 เทียบกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิหลักโดยเฉลี่ยในอนาคต จะได้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอนาคตต่อผลผลิตข้าว (Effect Temperature) คำนวณผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคตต่อผลผลิตข้าว (Effect Rainfall) โดยเทียบ จากค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรปริมาณน้ำฝนรวม (Elastic Rainfall) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

(4) รวมผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในอนาคต (Effect Rainfall and Effect Temperature) เป็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Effect Climate Change) ต่อผลผลิตข้าว โดย นำเสนอผลกระทบของผลผลิตข้าว ตามฤดูกาลการเพาะปลูกข้าว ตามแบบจำลองค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบ้

2) การวิจัยเชิงคุณภาพ หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณแล้วเสร็จ นำผลการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัย ด้านสภาพภูมิอากาศมาออกแบบแนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับการเกษตรที่ปราดเปรื่องด้านสภาพภูมิอากาศเพื่อการ ผลิตข้าว โดยทำการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) ผลการสัมภาษณ์เชิงลึก จากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ เข้าใจรอบ CSA (ปัจจุบันโครงการ Thai Rice NAMA หรือการเกษตรตามแนวทางคาร์บอนต่ำ เป็นโครงการที่เข้า ข่ายการเกษตรแบบ CSA ได้ใช้พื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นแปลงสาธิต) อีกทั้งการเกษตรแบบ CSA เป็น บริบทที่เฉพาะเจาะจง แตกต่างตามลักษณะพื้นที่ ดังนั้นการศึกษาเชิงคุณภาพจึงเลือกใช้จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย 1) กลุ่มนักวิชาการด้านข้าว จำนวน 3 หน่วยงาน ได้แก่ ศูนย์วิจัยข้าว เกษตรจังหวัด และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และ 2) กลุ่มเกษตรกรต้นแบบ จำนวน 3 ราย ที่ได้รับการแนะนำจากเกษตรจังหวัดและศูนย์วิจัยข้าว ได้แก่ 1) กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่เครือข่ายภาค กลาง 2) เกษตรกรปราชญ์ชาวบ้าน/เกษตรกรรุ่นใหม่ (Young Smart Farmer) ที่มีการนำเทคโนโลยีผสมผสานกับ ภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อการพัฒนาการผลิตในพื้นที่ราบลุ่ม (ทุ่งรับน้ำ) และ 3) เกษตรกรรุ่นใหม่ (Young Smart Farmer) ที่เป็นแปลงสาธิตและเข้าร่วมโครงการ Thai Rice NAMA (การทำนาคาร์บอนต่ำ) โดยมีขั้นตอนการ วิเคราะห์ข้อมูลดังนี้ (1) นำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกทั้งที่จัดบันทึกและทำการบันทึกเทปไว้มาถอดเทป (2) ตามประเด็นคำถามปลายเปิด เกี่ยวกับการรับรู้ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าว แนวทางการพัฒนาการเกษตรคาร์บอนต่ำ และแนวปฏิบัติการผลิตข้าวที่ปราดเปรื่องด้านสภาพภูมิอากาศ ตาม กรอบ CSA (3) ทำการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อหาความคล้ายคลึงและความแตกต่างของข้อมูล โดยทำตาราง เปรียบเทียบข้อมูล/ความหมายจากแต่ละกลุ่ม หลังจากนั้นประมวลข้อมูลเข้าด้วยกัน (4) ทำการเรียบเรียงเนื้อหาเชิง บรรยาย นำข้อมูลที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลแล้วมาประกอบข้อมูลที่ได้จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งใน

และต่างประเทศที่มีความสอดคล้องกันมารวบรวมและสังเคราะห์ออกมาเพื่อหาข้อสรุป และ (5) สรุปแนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับการเกษตรที่ปราศเรื่องด้านสภาพภูมิอากาศเพื่อการผลิตข้าวในเชิงพื้นที่ เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่สอดคล้องกับบริบทของพื้นที่

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่รับน้ำภาคกลาง

1.1) ลักษณะผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว

การศึกษานี้ ใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Cobb-Douglas ค่าสัมประสิทธิ์จากการประมาณค่าจึงเป็นค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) ของปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวในพื้นที่ และเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เอนเอียงและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการทดสอบลักษณะการกำหนดแบบจำลอง (Model Specification Test) ได้แก่ 1) การทดสอบ Panel Unit Root Test ด้วยวิธี Augmented Dickey-Fuller tests พบว่า ข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะนิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือ ที่ระดับ Level 1(0) ของตัวแปรทุกตัว ดังนั้นผู้วิจัยสามารถใช้ข้อมูลพาดแนล (Panel Data) ใน 2) การทดสอบรูปแบบสมการแบบ Fixed และ Random Effects ด้วยวิธี Hausman's Specification Test ได้ โดยจัดรูปแบบสมการ ดัง สมการที่ (5) ให้อยู่ในรูปแบบของ Double-Log และพิจารณาค่า P-value จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเฉลี่ย แบบ Fixed Effect Model (FE) และ Random Effect Model (RE) หลังจากนั้น นำแบบสมการที่เหมาะสมมา 3) ตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ (Heteroskedasticity) ด้วยวิธีการ Wald Test และแก้ไขปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่ ด้วยวิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (FGLS) ตามแนวคิดของ Just & Pope (1979) สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันความแปรปรวน และความเบ้ จัดรูปแบบสมการ ดัง สมการที่(6) และ (7) และประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุดแบบพาดแนล (PLS) ผลการประมาณค่าแบบจำลองการผลิตที่เหมาะสมอ้างทางสถิติ สรุปได้ดัง Table 1

(1) ปริมาณน้ำฝนรวม($TRAI_t$) และความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน($VRAI_t$)

ข้าวนาปี พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวม($TRAI_t$) เป็นตัวแปรลดโอกาสความสูญเสีย และความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน($VRAI_t$) เป็นตัวแปรเพิ่มความเสียหาย กล่าวคือ หากปริมาณน้ำฝนรวม($TRAI_t$) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวในฤดูนาปีลดลงร้อยละ 2.42 เนื่องจากเกษตรกรเพาะปลูกข้าวไม่ไวแสงในฤดูนาปี แต่อย่างไรก็ตามหากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน($VRAI_t$) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.05 และเพิ่มความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี ร้อยละ 0.49 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 สอดคล้องกับผลการศึกษานี้ของ Sinnarong, N. (2013) พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวมเป็นตัวแปรลดความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปี

ข้าวนาปรัง พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวม($TRAI_t$) และความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน($VRAI_t$) เป็นตัวแปรเพิ่มความเสียหายทั้งคู่ กล่าวคือ หากปริมาณน้ำฝน($TRAI_t$) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้โอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.16 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และหากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน($VRAI_t$) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.27 สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำและเป็นทุ่งรับน้ำ นั่นคือ หากปริมาณน้ำฝนรวมค่อนข้างมาก พื้นที่นาต้องรับน้ำ ยาวนานถึง 3-4 เดือน ส่งผลให้ บางพื้นที่ไม่สามารถเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรังได้ หรือ มีการเลื่อนปฏิทินการเพาะปลูก เป็นช่วงเดือน ม.ค. – เม.ย. ซึ่งสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย เนื่องจากอุณหภูมิสูงส่งผลต่อการติดดอก และออกรวง ส่งผลผลผลิตข้าวลดลง(Rerkasem, 2009).

เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบพบว่าความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน($VRAI_t$) ในฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปีและนาปรัง ต่างเป็นตัวแปรเพิ่มความเสียหาย (Risk-Increased Variables) (ข้อมูลระหว่างปี 2524-2560) สอดคล้องกับ

การศึกษาของ Inmuong (2013) พบว่า ปริมาณน้ำฝนมีความแปรปรวนมาก (ข้อมูลระหว่างปี 2548-2554) ส่งผลให้ ผลผลิตข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำลดลงเฉลี่ยร้อยละ 28

Table 1 Estimated Parameters for Mean, Variance, and Skewness Function under Cobb-Douglas Functional Forms

	In-Season Rice			Off-Season Rice		
	Mean:	Variance:	Skewness:	Mean:	Variance:	Skewness:
	RE FGLS	PLS	PLS	FE FGLS	PLS	PLS
$\ln PARE_{it}$	0.84*** (0.02)	0.65*** (0.24)	2.47*** (0.51)	0.93*** (0.03)	1.81*** (0.49)	4.04*** (0.85)
$\ln TRAI_{it}$		-1.28 (0.79)	-2.42* [^] (1.42)	0.00 [^] (0.06)		5.16** [^] (1.97)
$\ln VRAI_{it}$	-0.05*** [^] (0.01)	0.49** [^] (0.21)	0.61 (0.44)		0.27 [^] (0.37)	-2.32** (0.94)
$\ln ATEM_{it}$				0.98 (1.24)	7.73 [^] (8.12)	
$\ln VTEM_{it}$					0.77* (0.39)	
$\ln AMTE_{it}$	-1.77** [^] (0.74)	4.46 (8.17)		0.27 (1.05)		28.25* [^] (14.50)
$\ln VMTE_{it}$			0.32 (0.37)			1.62* (0.66)
$\ln AMIT_{it}$	-0.72 (0.61)	3.43 [^] (6.28)	29.06** [^] (13.13)	-0.20 [^] (0.35)		
$\ln VMIT_{it}$						0.78 (0.55)
$\ln TIME_{it}$	0.23*** (0.01)	-0.14 (0.19)	-0.18 (0.32)	0.00 (0.02)	-0.85*** (0.26)	-1.84*** (0.53)
Constant	9.80*** (3.32)	-35.16 (36.23)	-120.44*** (41.60)	-3.26 (2.79)	-55.65* (28.58)	-176.37*** (56.37)
R ²	0.86	0.06	0.21	0.83	0.14	0.47
Prob F	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00

Note: Robust standard errors in parentheses * p < 0.10, ** p < 0.05 and *** p < 0.01

[^] The main climate variables for rice impact projection.

(2) อุณหภูมิเฉลี่ย (ATEM_{it}) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (AMTE_{it}) และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (AMIT_{it})

ข้าวนาปี พบว่า อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (AMTE_{it}) และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (AMIT_{it}) เป็นตัวแปรเพิ่มโอกาสความสูญเสีย กล่าวคือ หากอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (AMTE_{it}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตข้าวนาปีเฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.77 และหากอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (AMIT_{it}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.43 และโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าวนาปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.06 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ข้าวนาปรัง พบว่า ตัวแปรอุณหภูมิทั้ง 3 เป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยง กล่าวคือ หากอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (AMIT_{it}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตข้าวนาปรังเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.20 ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ย (ATEM_{it}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.73 และหากอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (AMTE_{it}) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้โอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าวนาปรังเพิ่มขึ้นร้อยละ 28.25 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบ พบว่า ตัวแปรอุณหภูมิทั้ง 3 ตัวแปรในฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปีและนาปรัง ต่างเป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยง (Risk-Increased Variables) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Rerkasem (2009) พบว่า อุณหภูมิสูงสุดมีผลกระทบโดยตรงตั้งแต่ในระยะตั้งตัวของต้นกล้า ระยะสร้างช่อดอก การผสมเกสร และการสะสม น้ำหนักของเมล็ด ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลง ในขณะที่ Vanavichit (2013) พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดมีผลต่อปริมาณ

ผลผลิตข้าว เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสุดของวันในช่วงเวลากลางคืนส่งผลต่อการติดเกสรตัวผู้ หรือจำนวนเมล็ดข้าวที่ติด และมีผลการวิเคราะห์ว่า หากอุณหภูมิต่ำสุดสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลง ร้อยละ 10 และผล การศึกษา Sinnarong, Thaeye, Phuntulee, Chanthana & Alikulola (2019) พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ย ร้อยละ 1 จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวในภาคกลางเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.57-1.15

(3) ตัวแปรแนวโน้มเวลา(TIME_n)

ตัวแปรแนวโน้มเวลา(TIME_n) เป็นตัวแทนของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มีผลเชิงบวกต่อผลผลิต ข้าวนาปี (นาปรัง) ในพื้นที่ศึกษา กล่าวคือ หากเทคโนโลยีการเกษตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ย เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.23 (0.00) ความแปรปรวนลดลงร้อยละ 0.14 (0.85) และโอกาสความสูญเสียลดลงร้อยละ 0.18 (1.84) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์จากแบบจำลองความเบ้ แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเทคโนโลยี การผลิตข้าวมีส่วนช่วยในการจัดการความเสี่ยง หรือลดโอกาสที่ผลผลิตข้าวจะสูญเสียจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sinnarong, Chen, McCarl & Tran (2019) พบว่า ตัวแปรแนวโน้มเวลา หรือการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรข้าวเป็นตัวแปรลดความแปรปรวนของผลผลิตข้าวจากการเปลี่ยนแปลงของ สภาพภูมิอากาศ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการส่งเสริมการเกษตรควรดำเนินนโยบายด้านการพัฒนาเทคโนโลยี การผลิตข้าวเพื่อลดผลกระทบและความเสี่ยงที่ผลผลิตจะลดลง (Downside Risk) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

1.2) ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในอนาคต

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Effect Climate Change) ต่อผลผลิตข้าว คือ ผลรวมของ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในอนาคต (Effect Rainfall and Effect Temperature) ต่อ ปริมาณผลผลิตข้าวเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบ้ของผลผลิตข้าว โดยผู้วิจัยทำการกำหนดตัวแปรหลักทาง สภาพอากาศที่เหมาะสมอ้างทางสถิติ (*) ดัง (Table 1) รวม 6 แบบจำลอง และทำการคัดเลือกข้อมูลการทำนาย อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนในอนาคต สำหรับปี ค.ศ. 2030 2060 และ 2090 จากกริดข้อมูลที่ใกล้เคียงในพื้นที่ศึกษา ตามแบบ A2 และ B2 และคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนที่เป็นตัวแปรหลัก ของแบบจำลองในอนาคตตามแบบ A2 และ B2 เทียบกับข้อมูลปีฐาน (Baseline-Temperature, Baseline-Rainfall) สรุปผลได้ดัง Table 2

เมื่อพิจารณาลักษณะผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Effect-CC) โดยพิจารณาถึงระดับ ความเบ้ที่เพิ่มขึ้น จากแบบจำลอง A2 และ B2 สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ที่ถูก คาดการณ์ใน 3 ช่วงเวลาว่าปริมาณฝนมีความผันผวนมากขึ้น และ อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลกระทบเชิงลบต่อ ปริมาณผลผลิตข้าวทั้ง 3 ระดับ คือ ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 3.05 ถึง 28.97 ความแปรปรวนของผลผลิตข้าว เพิ่มขึ้นร้อยละ 52.81 ถึง 167.12 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.43 ถึง 584.67 สอดคล้อง กับผลการศึกษาของ Sinnarong, Chen, McCarl & Tran (2019) พบว่า ปริมาณฝนรวมและอุณหภูมิเฉลี่ยส่งผล กระทบเชิงลบต่อผลผลิตข้าวในประเทศไทย โดยส่งผลให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลงร้อยละ 4.56 - 33.77 และความ แปรปรวนของผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.87-15.70 ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาไป ประกอบการวางแผนการปรับตัวเพื่อลดความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะสูญเสียในเชิงพื้นที่อย่างเหมาะสม อาทิ ปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูกข้าว เป็นต้น

Table 2 Results on Percentage Change in Rice Average Yield, Yield Variance and Yield Skewness under Projections of Climate Change

	SRES	In-Season Rice	Off-Season Rice
Mean Yield			
2030	A2	-15.13	-6.43
	B2	-8.29	-3.05
2060	A2	-11.72	-9.69
	B2	-11.82	-5.33
2090	A2	-28.97	-11.04
	B2	-8.73	-6.15
Variance of Yield			
2030	A2	70.89	107.82
	B2	100.76	80.57
2060	A2	54.77	124.30
	B2	79.24	132.81
2090	A2	126.36	167.12
	B2	52.81	145.61
Skewness of Yield			
2030	A2	277.86	49.43
	B2	417.43	197.13
2060	A2	527.29	176.75
	B2	512.90	121.49
2090	A2	509.19	584.67
	B2	516.02	642.12

2) แนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการเกษตรที่ปราศแปรปรวนด้านสภาพภูมิอากาศเพื่อการผลิตข้าวในเชิงพื้นที่

การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าว เพื่อเปิดประเด็นกรอบแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการเพาะปลูกข้าวที่ปราศแปรปรวนด้านสภาพอากาศ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกนักวิชาการด้านข้าวและเกษตรกรต้นแบบที่เข้าใจกรอบ CSA พบว่า เกษตรกรผู้ผลิตข้าวในพื้นที่ศึกษารับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2552 – 2561) กล่าวคือ รับรู้ถึงความผันผวนของปริมาณน้ำฝน ที่มีความไม่แน่นอน บางปีปริมาณน้ำฝนมาก (น้ำท่วมขัง) บางปีปริมาณน้ำฝนน้อย ไม่สามารถทำการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรังได้ และต้องหันไปทำการเกษตรทางเลือกที่อาศัยน้ำน้อย หรือทำงานนอกภาคการเกษตร อีกทั้งพบว่าอุณหภูมิในพื้นที่สูงขึ้นตลอดทั้งวัน และจำนวนวันที่อากาศร้อนมีมากขึ้น จนไม่สามารถทำการเพาะปลูกในช่วง ปลายเดือนมีนาคม-เมษายน ซึ่งเกษตรกรในพื้นที่มีการปรับเปลี่ยนระบบการผลิตข้าว โดยได้รับการแนะนำจากศูนย์วิจัยข้าว และเกษตรจังหวัดในพื้นที่ อาทิ การเลือกใช้พันธุ์ข้าวปรับปรุงที่อายุสั้น เช่น กข 43 กข 61 อายุ 95 วัน หรือ กข 41 กข 81 อายุ 105 เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจุบันศูนย์วิจัยข้าวเป็นผู้รับผิดชอบในการส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรในพื้นที่ดำเนินการเพาะปลูกข้าวคาร์บอนต่ำ ภายใต้โครงการ Thai Rice NAMA ซึ่งเป็นโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ) (โครงการ 5 ปี พ.ศ. 2561-2566) ที่มุ่งเพิ่มประสิทธิภาพ

การผลิตและลดภาวะโลกร้อนจากการทำนาเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ด้วยเทคโนโลยีการผลิตข้าว คือ การปรับพื้นที่ด้วยเลเซอร์ (LLL) ร่วมกับการเพาะปลูกข้าวแบบเปียกสลับแห้ง (AWD) ซึ่งปัจจุบันอยู่ระหว่างการดำเนินการแปลงสาธิต เพื่อนำไปสู่มาตรฐานการผลิตข้าวที่ยั่งยืน (GAP++) คือ การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practices) บวกงดการเผาตอและซังข้าวเพื่อลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก และลดการใช้แรงงานเด็ก ซึ่งประเทศไทยไม่มีการใช้แรงงานเด็กในนโยบายของโครงการ ซึ่งโครงการดังกล่าวมีกรอบที่เข้าข่ายการเกษตรที่ปราศเบี่ยงเบนสภาพภูมิอากาศ (CSA)

สามารถสรุปแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการเกษตรที่ปราศเบี่ยงเบนด้านสภาพภูมิอากาศเพื่อการผลิตข้าวในเชิงพื้นที่ 5 ด้าน ตามกรอบ CSA (Table 3) ดังนี้

1) การปรับระบบการผลิต คือ การปรับรูปแบบการผลิตให้สอดคล้องกับ ปัจจัยสภาพอากาศ ตามผลการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวมร่วมกับอุณหภูมิสูงสุด ส่งผลกระทบต่อโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปี และปริมาณน้ำฝนรวมร่วมกับอุณหภูมิสูงสุด ส่งผลกระทบต่อโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวนาปรัง อย่างมีนัยสำคัญที่ร้อยละ 0.10 นั้น เกษตรกรผู้ปลูกข้าวควรมีการปรับเปลี่ยนระบบการผลิต คือ (1) การปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูก โดยควรปลูกข้าวไม่เกิน 2 รอบ คือ รอบที่ 1 หรือนาปี ช่วงเดือน พ.ค.-ก.ย. ปีนี้ และรอบ 2 ช่วงเดือน ธ.ค. - มี.ค. ปีถัดไป โดยพักหน้าดินสำหรับพื้นที่รับน้ำ (ทุ่งรับน้ำ เดือน ต.ค.-พ.ย.) และ ช่วงฤดูแล้ง อากาศร้อนจัด เดือนเมษายน (2) การปรับหน้าดินให้เสมอกันโดยใช้เลเซอร์ (Land Laser Leveling: LLL) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการถ่ายทอดผ่านโครงการ Thai Rice NAMA ซึ่งมีส่วนช่วยในการลดการใช้ น้ำในการเตรียมดินแบบเดิม(ที่อาศัยน้ำเป็นหลัก) และลดความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวสูญเสีย คือ ข้าวเน่า และ ลดการเกิดวัชพืช (หญ้าดอกขาว) นอกจากนี้ มีส่วนช่วยในการเพิ่มผลผลิตเนื่องจากต้นข้าวขึ้นสม่ำเสมอ ดูแลได้ทั่วถึง เป็นต้น (3) การใช้พันธุ์ข้าวปรับปรุงหรือ พันธุ์ข้าวอายุสั้น อาทิ พันธุ์ กข 41, กข 43, กข 89 เป็นต้น ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และเป็นข้าวอายุสั้น เพียง 95-105 วัน ซึ่งมีส่วนในการช่วยลดการปล่อยออกของก๊าซมีเทน เนื่องจากมีหน้าตัดของทอลำเลี้ยงแคบและสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศ ซึ่งทนอากาศร้อนและแล้งได้ (4) การจัดการน้ำในนาข้าวแบบเปียกสลับแห้ง (AWD) หรือมีการจัดการน้ำโดยการระบายน้ำช่วงกลางฤดู (MD) ช่วงข้าวแตกกอ เทคโนโลยีดังกล่าวได้รับการถ่ายทอดผ่านโครงการ Thai Rice NAMA ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Arunrat, Sereenonchai & Pumijumnong (2018) พบว่า มีส่วนช่วยในการประหยัดน้ำ ถึงร้อยละ 40 – 63 และมี ส่วนในการลดการปล่อยออกของก๊าซมีเทนถึงร้อยละ 20 – 81 เป็นต้น

2) ความคล่องตัวและเครือข่ายทางสังคม การรวมกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดความเสี่ยง และเพิ่มอำนาจทางการตลาด เช่น (1) โครงการนาแปลงใหญ่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การจัดการทางการตลาด ตลอดจนการบริหารจัดการความเสี่ยง เช่นการทำประกันกลุ่ม การทำ GAP กลุ่ม ตลอดจนการประยุกต์ขนาดในด้านต้นทุนต่อหน่วย ในการจัดซื้อปุ๋ยสั่งตัด และการต่อรองราคา ผลผลิตข้าวเปลือก เป็นต้น (2) โครงการ Thai Rice NAMA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดภาวะโลกร้อนจากการทำนา ด้วยเทคโนโลยีการผลิตข้าวเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Omyeneke, Igberi, Uwadoka & Aligbe. (2017) พบว่า การรวมกลุ่มของเกษตรกรเพื่อรับการอบรมเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต หรือสร้างอำนาจการต่อรองมีส่วนในการช่วยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ และลดความแปรปรวนของผลผลิต และเพิ่มความยืดหยุ่นของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

3) การจัดการด้านการเงินของฟาร์ม มีการบริหารจัดการฟาร์มตามศักยภาพการผลิต โดยพิจารณาจากขนาดพื้นที่ต่อกำลังการผลิต ตลอดจนการบริหารจัดการความเสี่ยง เช่น (1) การลดขนาดพื้นที่เพาะปลูกให้

เหมาะสมกับกำลังการผลิต ตามหลักของ Economy of Scale (2) การทำประกันพืชผล เพื่อกระจายความเสี่ยง และ จัดทำบัญชีฟาร์มอย่างสม่ำเสมอ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kertsuk, Kongtong & Attachai. (2006) พบว่า ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากขนาดของการผลิตที่ลดลงและลดโอกาสการสูญเสียของผลผลิต โดยการกระจายความเสี่ยงและ มีการวางแผนการจัดการฟาร์มที่ดี

4) ความหลากหลายในและนอกฟาร์ม เพิ่มความยืดหยุ่นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยการลดการพึ่งพาสภาพอากาศ ตลอดจนเพิ่มความหลากหลายในการดำรงชีพ เช่น (1) การทำฟาร์มแบบผสมผสาน (2) การหาแหล่งรายได้นอกภาคการเกษตร สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Khunwishit, Rammanee & Somboonsuk. (2015) พบว่า การหาแหล่งรายได้อื่นนอกภาคการเกษตร จะเกิดประโยชน์ในแง่ของการดำรงชีพ เนื่องจาก ลดการพึ่งพาสภาพอากาศ

5) การจัดการความรู้และระเบียบข้อบังคับ มาตรการและระเบียบข้อบังคับในพื้นที่เพื่อช่วยลดความเสี่ยงและลดการปล่อยออกของก๊าซเรือนกระจก เช่น (1) มาตรการการจัดการอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำ (เครื่องสูบน้ำ อัจฉริยะ) (2) การยกเลิกการเผาฟางข้าว/ตอซังข้าว เป็นต้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Rattanaphon (2016) พบว่า การยกเลิกการเผาฟางข้าว โดยการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ในฟาร์ม อัดฟางจำหน่าย และเิกกลมเฉพาะตอซัง โดยใช้ จุลินทรีย์เข้มข้นสูง หรือน้ำหมักย่อยสลาย หรือปล่อยให้แห้งเปื่อย หรือปล่อยให้กลายเป็นอาหารสัตว์สำหรับทำ ประมงในช่วงน้ำท่วมซัง จะส่งผลให้ระบบการผลิตข้าวยั่งยืน ปลุกข้าวได้เร็วขึ้น เพิ่มความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และช่วยลดมลภาวะฝุ่นควัน

Table 3 Climate Smart Agricultural Practices for Rice Production in the Watershed Areas of Central Thailand

Practice	Productivity Impacts (Incremental Yield; Return to Labor, Capital)	Climate Change Adaptation and Resilience Implications (Increase in Incomes, Decreasing Dependence on Weather)	Mitigation Impacts (Reduction in Greenhouse Gases Emission)	References
1. Adjusting Production Systems				
Changing the planting dates on the dry season (1-2 rice crop per year)	Reduced tendency of crop failure	Production under changing rainfall and temperature patterns is maintained		-Khunwishit, Rammanee & Somboonsuk. (2015) -Paothong (2019)
Site-specific nutrient management (SSNM) (Apply fertilizer based on the soil testing, the need of rice, appropriate time, the amount and the type of the fertilizer.)	-The rice quality improves -reduce cost because fertilizer used in farming decrease			-Thai Rice Department (2017) -Arunrat, Sereenonchai & Pumijumnong (2018)
Using Ammonium sulfate instead of Urea (AS)			Positive mitigation	-Arunrat, Sereenonchai & Pumijumnong (2018)

Table 3 (continue)

Practice	Productivity Impacts	Climate Change Adaptation	Mitigation Impacts	References
1. Adjusting Production Systems (continue)				
Rice straw and stubble management (Straw into bales, use effective microorganisms (EM) and chop the straw and leave it to decompose on the ground.)	Increase soil fertility and yield		Positive mitigation	-Inmuong (2013)
Irrigation	Improved crop production and productivity	Reduced yield variability and greater climate resilience	Mitigation potential due to energy efficiency	- Sinnarong, Thaeye, Phuntulee, hanthana & Aikulola. (2019)
Mixed cropping	Increased yield	Increase resilience against climate change	Mitigation potential	-Panyakun (2012) -Inmuong (2013)
Cover cropping on the dry season	Increase soil fertility and yield	Improved soil fertility increases resilience to climate change	Positive mitigation, increased soil carbon storage	-Inmuong (2013)
2. Mobility and Social Network				
Joining, membership to the large rice plots project	Productivity (grain yield)	Reduced yield variability		- Paothong (2019)
Joining, membership to the Thai rice nationally appropriate mitigation action project (Thai rice NAMA)	Productivity (grain yield)	Increase resilience against climate change (Adapt rice production systems to changing climate)	Mitigate greenhouse gas emissions	- Thai Rice Department (2017)
Membership to cooperative societies	Benefit from rotational savings and labor from fellow members. Increased productivity	Increase income		-Omyeneke, Igberi, Uwadoka & Aligbe. (2017)
Level the land surface with the laser (Land Laser Leveling: LLL)	-Reduced tendency of crop failure -Increased crop yield and productivity	The spending for petrol needed for pumping water will be cut by 50%	Reduce methane emissions by improved water management	-Thai Rice Department.(2017)
Improved varieties of paddy (RD 41)	-Reduced tendency of crop failure -Increased crop yield and productivity	Reduced yield variability and greater climate resilience	Positive mitigation	-Paothong (2019)
Using rice breed short plant (from 120 day/crop to 105 day/crop (RD 41) and 95 day/crop (RD 43))	Increase crop yield and productivity Reduced tendency of crop failure	Reduced yield variability and greater climate resilience	Positive mitigation	-Paothong (2019)

Table 3 (continue)

Practice	Productivity Impacts	Climate Change Adaptation	Mitigation Impacts	References
2. Mobility and Social Network (continue)				
Broadcasting or direct sowing rice culture	reduce cost		Reduce methane emissions (2 time for compare with transplanting rice culture)	-Jimsawatpong et al.(2005) -Maneesuwan (2002)
Rice straw for improved soil fertility (Incorporation of rice straw into paddy soil can maintain and enhance soil fertility with a proper management)	Increase soil fertility and yield (straw 3-4 ton/rai to yield 659.9-757.4 kg/rai)	Improved soil fertility increases resilience to climate change	Positive mitigation, increased soil carbon storage	-Jimsawatpong et al.(2005)
-Alternate Wetting and Drying (AWD)	-reduce cost of pumping water (save water)	-Increase resilience against climate change -cut irrigation cost 20-50 %	Reduce methane emissions 20 – 81%	-Chumwong & Kwanyuen (2008) -Thai Rice Department (2017)
-Mid-season drainage (MD)			Positive mitigation	-Arunrat, Sereenonchai & Pumijumrong (2018)
3. Farm financial management				
Reduce investment in the farm by reducing land area cultivated	Productivity gains from scale of production, and reduced likelihood of crop failure	Maintained production under changing climatic patterns such as changes in the timing of rains or erratic rainfall patterns	Positive mitigation	- Kertsuk, Kongtong & Attachai. (2006)
Insurance	Insurance for crop failure, and reduced risk	Guaranteed income		-Omyeneke, Igberi, Uwadoka & Aligbe. (2017)
4. Diversification on and off the Farm				
Mixed cropping	Increased yield	Increase resilience against climate change	Mitigation potential	-Panyakun (2012) -Inmuong (2013)
Non-agricultural employment	Benefits in terms of livelihood diversification	Less dependence on weather and increased income		- Khunwishit, Rammanee & Somboonsuk. (2015)
5. Knowledge management and regulations				
Regulations on flood catchment	Increased yields due to drainage of agricultural lands in areas where flooding is problematic	Reduced yield variability under heavy rainfall conditions due to improved water management	Positive mitigation improved productivity and hence increased soil carbon	-Omyeneke, Igberi, Uwadoka & Aligbe (2017) -Lasco, Habito, Delfi, Pulhin & Concepcion. (2011)
Good Agricultural Practices: GAP	Increased yield	Increase resilience against climate change	Mitigation potential	-Thai Rice Department (2017)

Table 3 (continue)

Practice	Productivity Impacts	Climate Change Adaptation	Mitigation Impacts	References
5. Knowledge management and regulations (continue)				
National Master Plan for Open Burning Control. (Straw into bales, use effective microorganisms (EM) and chop the straw and leave it to decompose on the ground.)	Increase soil fertility and yield	Increase resilience against climate change	-Reduce greenhouse gases emission - Reduce Particulate Matter (PM)	-Pollution Control Department (2011) -Rattanaphon (2016) -Thai Rice Department (2017)

สรุป

การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ และจำลองผลกระทบในอนาคตต่อผลผลิตข้าวจำแนกตามฤดูกาลเพาะปลูกผ่านแบบจำลองค่าเฉลี่ย (Mean Yield Model) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 3.05 ถึง 28.97 และแบบจำลองความแปรปรวน และความเบ้ (the Variance and Skewness of the Yield) เป็นการยืนยันว่าตัวแปรปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ เป็นตัวแปรเพิ่มความเสี่ยงที่ผลผลิตข้าวจะสูญเสีย นั่นคือ ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 52.81 ถึง 167.12 และโอกาสความสูญเสียผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.43 ถึง 584.67 นอกจากนี้ ตัวแปรแนวโน้มเวลา ซึ่งเป็นตัวแทนของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร เช่น การพัฒนาสายพันธุ์ข้าว การปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตข้าว มีส่วนในการช่วยลดผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งระดับค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และความเบ้ นั่นคือ การพัฒนาเทคโนโลยีมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงที่ผลผลิตจะสูญเสียจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งข้อมูลที่ได้ช่วยเพิ่มความตระหนักแก่เกษตรกรต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเกษตรกรในพื้นที่รับรู้ถึงความผันผวนของปริมาณน้ำฝน (บางปีปริมาณน้ำฝนมาก (น้ำท่วมขัง) บางปีปริมาณน้ำฝนน้อย ไม่สามารถทำการเพาะปลูกข้าวในฤดูนาปรังได้) และอุณหภูมิในพื้นที่สูงขึ้นตลอดทั้งวัน และจำนวนวันที่อากาศร้อนมีมากขึ้น ไม่สามารถทำการเพาะปลูกในช่วง ปลายเดือนมีนาคม-เมษายน ซึ่งเกษตรกรในพื้นที่มีการปรับเปลี่ยนระบบการผลิตข้าวให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ตามคำแนะนำของศูนย์วิจัยข้าวและเกษตรจังหวัด แนวทางปฏิบัติการเกษตรที่ปราศเบี่ยงเบนสภาพภูมิอากาศสำหรับการเพาะปลูกข้าวในระดับฟาร์ม ตามกรอบ CSA ดังนี้

- 1) ปรับเปลี่ยนระบบการผลิต (เช่น ปรับปฏิทินการเพาะปลูกให้สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศ, ปรับพื้นที่ให้เรียบด้วยเลเซอร์)
- 2) ความคล่องตัวและเครือข่ายทางสังคม (เช่น การเข้าร่วมเป็นสมาชิกโครงการ Thai Rice NAMA, นาแปลงใหญ่)
- 3) การจัดการด้านการเงินของฟาร์ม (เช่น การทำประกัน)
- 4) เพิ่มความหลากหลายในและนอกฟาร์ม (เช่น การหาแหล่งรายได้นอกฟาร์ม) และ
- 5) การจัดการความรู้และระเบียบข้อบังคับ (เช่น มาตรการยกเลิกการเผาฟางข้าว)

ข้อเสนอแนะจากการศึกษา หน่วยงานส่งเสริมการเกษตรที่เกี่ยวข้อง ควรสร้างความตระหนักถึงขนาดผลกระทบต่อโอกาสความสูญเสียของผลผลิตข้าวในเชิงพื้นที่แก่เกษตรกร หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย พัฒนาช่องทาง แหล่งข้อมูลข่าวสารที่น่าเชื่อถือให้แก่เกษตรกร เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการวางแผนการผลิต ตลอดจนส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรปฏิบัติตามแนวทางที่เหมาะสมของการเกษตรที่ปราศเบี่ยงเบนสภาพภูมิอากาศ (CSA) สำหรับการผลิข้าว โดย 1) สร้างองค์ความรู้ที่ถูกต้อง ถึงความสำคัญและประโยชน์ของแนวปฏิบัติ CSA 2) การปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิต (การเตรียมดิน การคัดเลือกพันธุ์ข้าว การบริหารจัดการน้ำ การจัดการของเสียจากนาข้าว) ให้สอดคล้องกับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง 3) สนับสนุนให้เกิดการรวมกลุ่ม เพื่อประโยชน์ในการเข้าถึงเทคโนโลยีการผลิต และประหยัดต้นทุน 4) การบริหารจัดการ

ความเสี่ยง โดยคำนึงถึงความสำคัญด้านการเงิน และความหลากหลายทางอาชีพ และ5) การจัดการความรู้ อาทิ การบริหารจัดการน้ำ และลดการปล่อยออกของก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว ตามกรอบ CSA ทั้งนี้เพื่อให้การปฏิบัติสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง ควรได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานเอกชน อาทิ นักลงทุนรับจ้างปรับหน้าดิน (ควรรับเทคนิคการปรับพื้นที่ด้วยเลเซอร์ (Land Laser Leveling) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และเกิดการประหยัดต่อขนาด) ผู้ผลิตปุ๋ย (ควรมีสตอร์สั้ตตามสภาพดิน และอายุข้าวตามความจำเป็น เช่น 46 0 0 เหลือเพียง 21 0 0 เนื่องจากพบปัญหาการผสมปุ๋ยใช้เอง) และมาตรการการจัดการฟางข้าวที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป เพื่อการพัฒนาการวิจัยด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว ควรต่อยอดการวิเคราะห์เชิงลึกในระดับฟาร์ม อาทิ จำแนกตามประเภทพันธุ์ข้าว (ไวแสง และไม่ไวแสง) โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวที่ภาครัฐสนับสนุนให้เกษตรกรเพาะปลูก อาทิ ข้าวพันธุ์ กข 43 เทียบกับ พันธุ์ข้าวที่นิยม อาทิ กข 41 เป็นต้น หรือมีการเพิ่มตัวแปรสภาพอากาศอื่นที่อาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว อาทิ ความเข้มของแสง เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลการประมาณค่าผลกระทบที่เฉพาะเจาะจงและนำไปใช้ในการวางแผนรับมือได้อย่างรัดกุมยิ่งขึ้น และควรศึกษาต่อถึงผลของการนำกรอบแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการเพาะปลูกข้าวที่ปราศเบื่่องเรื่องสภาพภูมิอากาศไปใช้ในระดับฟาร์ม จะส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิต เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างไร รวมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยที่มีส่วนในการสนับสนุนให้เกษตรกรเลือกให้แนวทางปฏิบัติที่ดีดังกล่าว เพื่อเป็นประโยชน์ในการวางแผนจัดการการส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรในรูปแบบการเกษตรที่ยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- Antle, J.M. (2010). Asymmetry, Partial Moments, and Production Risk. *American Journal of Agricultural Economics*, 92(5), 1294–1309.
- Arunrat, N., Sereenonchai, S., & Pumijumong, N. (2018). On-Farm Evaluation of the Potential Use of Greenhouse Gas Mitigation Techniques for Rice Cultivation: A Case Study in Thailand. *Climate*, 36(3), 16–17.
- 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 June 20, 2019, from <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2016/11/Working-Paper-256-Bezabih-et-al.pdf>
- Brüssow, K., Faße, A., & Grote, U. (2017). Implications of climate-smart strategy adoption by farm households for food security in Tanzania. *Food Security: The Science, Sociology and Economics of Food Production and Access to Food*, Springer;The International Society for Plant Pathology, 9(6), 1203–121. DOI 10.1007/s12571-017-0694-y.
- Chen, C. C., McCarl, B. A., & Schimmelpfennig, D. E. (2004). Yield Variability as Influenced by Climate: A Statistical Investigation. *Climatic Change*, 66, 239–261.
- Chulalongkorn University Academic Service Center. (2011). *Study of the impacts of climate change and climate change* (research report). Bangkok: Natural Resources and Environmental Policy and Planning Office, Ministry of Natural Resources and Environment. (in Thai)
- ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2554). *การศึกษาด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในอนาคตและการปรับตัวของภาคส่วนที่สำคัญ* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

- Chumvong, A., & Kwanyuen, B. (2008). Water Management in Paddy Field for Reducing of Environmental Impacts on Water and Atmosphere. *Research and Development Journal*. 19(2), 52-60. (in Thai)
- จักรวาล ชุมวงศ์ และบุญญา ขวัญเย็น. (2551). การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับน้ำและบรรยากาศ. *วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา*. 19(2), 52-60.
- 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>
- Inmuong. (2013). *Climate change: the challenge of Isan farmers in adapting* (research report). Faculty of Environment and Resource. (in Thai)
- ยรรยงค์ อินทร์ม่วง. (2556). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ความท้าทายของเกษตรกรภาคอีสานในการปรับตัว (รายงานผลการวิจัย). คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์.
- Isvilanonda, S., Pranangwatkun, S., & Kumwong, C. (2009). *Economic impact assessment of climate change on rice production in Thailand* (research report). Bangkok: The Thailand Research Fund. (in Thai)
- สมพร จิตวิลาณนท์, สุวรรณ ประณีตวาทกุล, และชนาพร คำวงษ์. (2552). การประเมินผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อการผลิตข้าวในประเทศไทย (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- Jirmsawatpong, P., Wongmaniroj, A., Kananuch, L., Charoensin, N., Chairot, P., & Kunathai, H. (2005) *Methane emission from paddy fields in Thailand and data base management* (research report). Kasetsart University. Retrieved 29 October 2017, from <http://www.research.trf.or.th/node/1055> (in Thai)
- พิมพ์พันธ์ เจิมสวัสดิพงษ์, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, นวัตกรรม เจริญศิลป์, ประไพ ชัยโรจน์ และนรรษา คุณาโท. (2548). การปล่อยออกของก๊าซมีเทนจากนาข้าวในประเทศไทยและการจัดทำฐานข้อมูล. (รายงานผลการวิจัย). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้น 29 ตุลาคม 2560, จาก <http://www.research.trf.or.th/node/1055>
- Just, R.E., & Pope, R.D. (1979). Production Function Estimation and Related Risk Considerations. *American Journal of Agricultural Economics*, 61, 276-284.
- Kerdsuk, v., Kongtong, S., & Attachai, J. (2006). Impact of climate change on rice production in Tung Kula Field, Thailand. *Journal of remote sensing and GIS Association of Thailand*, 5(2). (in Thai)
- วิเชียร เกิดสุข, สหัชชัย คงทน และจรรักษ์ จินตะเวช. (2549). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในทุ่งกุลาร้องไห้. *วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย*, 5(2).
- Khunwishit, S., Rammanee, Y., & Somboonsuk. B. (2015). *Climate Change and Human's Livelihoods : An Examination of Impacts and Adaptations of Rice Farmers in Songkhla Lake Basin Area* (research report). Songkhla: Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University. (in Thai)
- สมพร คุณวิจิต, ยุพิน รามณีย์ และปัญญา สมบูรณ์สุข. (2558). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับวิถีชีวิตของมนุษย์: ศึกษาผลกระทบและการปรับตัวของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (รายงานผลการวิจัย). สงขลา: คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Lasco R. D., Habito C. M. D., Delfi, R. J. P., Pulhin F. B., & Concepcion R. N. (2011). *Climate Change Adaptation for Smallholder Farmers in Southeast Asia*. Philippines: World Agroforestry Centre.
- Maneesuwan, C. (2002). *Effect of Cultivation Methods and Soil Organic Matter Amendment on Methane Emission of Paddy Fields* (Master of Science). King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- ชาติชาย มณีสุวรรณ. (2545). อิทธิพลของวิธีการปลูกข้าวและการเพิ่มอินทรีย์วัตถุต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Office of Agricultural Economics. (2015). *Dread the climate fluctuation affecting the agricultural economy. Agriculture. Emphasized the need to develop technology to fight. Proactive in the future.* Retrieved 24 March 2019, from https://region2.prd.go.th/ewt_news.php?nid=125769&filename=index. (in Thai)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). *หวั่นอากาศแปรปรวนกระทบภาคเกษตร สศก.ย้ำ ต้องพัฒนาเทคโนโลยีเข้าสู่ ทุกระดับมือใน อนาคต.* สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2562, จาก https://region2.prd.go.th/ewt_news.php?nid=125769&filename=index

Office of Agricultural Economics. (2017). *Situation and Trend of Agricultural Commodities in 2018.* Bangkok:Office of Agricultural Economics. (In Thai)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2561.* กรุงเทพฯ:สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

Omyeneke, R. U., Igberi, C. O., Uwadoka C. O., & Aligbe, J. O. (2017). Status of climate-smart agriculture in southeast Nigeria. *GeoJournal*, 83(2), 333-346.

Paothong, K. (2019, October 9). Head of Academic Section, Ayutthaya Rice Research Center. (Interview). (in Thai)

กฤษณ์กมล ปาทอง. (2562, ตุลาคม 9). หัวหน้ากลุ่มงานวิชาการ ศูนย์วิจัยข้าวพระนครศรีอยุธยา. (สัมภาษณ์)

Panyakun, W. (2012). *Climate change: vulnerability and adaptation guidelines for dealing with climate change.* Bangkok: Green net. (in Thai)

วิฑูรย์ ปัญญากุล (2555). *การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ: ความเปราะบางและแนวทางการปรับเพื่อรับมือกับภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง* กรุงเทพฯ: กรีนเนท.

Pollution Control Department. (2011). *Report of water pollution situation from rice fields (research report).* Bangkok; Water Quality Management Division, Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (in Thai)

กรมควบคุมมลพิษ. (2554). *สถานการณ์มลพิษทางน้ำจากนาข้าวและการจัดการ (รายงานผลการวิจัย).* กรุงเทพฯ: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

Rattanachock, S. (2009). *Organizational Behavior and Management.* Bangkok: Top Publishing Co., Ltd.

สุธรรม รัตนโชติ (2552). *พฤติกรรมองค์การและการจัดการ.* กรุงเทพฯ:บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

Rattanaphon, S. (2016). *Soil Conservation and Rehabilitation Project for Agriculture(research report).* Udon Thani Province: Udon Thani Provincial Agriculture and Cooperatives office.

เสน่ห์ รัตนภรณ์. (2559). *โครงการการอนุรักษ์และฟื้นฟูสภาพดินเพื่อการเกษตร(รายงานผลการวิจัย).* จุฬารธานี: สำนักงานเกษตร จังหวัดอุดรธานี.

Rerkasem, B. (2009). *Strategic research and development of agriculture to support global warming (research report).* Chiang Mai: Department of Health.

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. (2552). *ยุทธศาสตร์การวิจัยและพัฒนาเกษตรเพื่อรองรับโลกร้อน (รายงานผลการวิจัย).* เชียงใหม่: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ.

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

นิโรจน์ สิ้นณรงค์. (2560). *เศรษฐศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: จากแนวคิด เครื่องมือการวิเคราะห์สู่นโยบายสาธารณะด้านการเกษตร.* วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทยมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 37(3), 143-161.

Sinnarong, N. (2017). *Economics and Climate Change: From Concept and Analytical Tools to Public Policy in Agriculture.* *University of the Thai Chamber of Commerce Journal Humanities and Social Sciences*, 37(3), 143-161.

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.

Sinnarong, N., Thaeye, K., Phuntulee, S., Chanthana, S., & Aikulola, O. I. (2019). Impacts of Climate Change and daptation Simulation for Risk Reduction of Rain-fed Rice Production in Central Region. *Economics and Public Policy Journal*, 10(19), 36-58. (in Thai)

นิโรจน์ สีนณรงค์, กษมา ถาชัย, ศิริพร พันธุลี, ฉันทนา ชูแสงทรัพย์ และ Olalekan Israel Aikulola. (2562) ผลกระทบและการจำลองการปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับลดความเสี่ยงของผลผลิตข้าวนาปี ในภาคกลาง. *วารสารเศรษฐศาสตร์และนโยบายสาธารณะ*, 10(19), 36-58.

Steenwerth, K. L., Hodson, A. K., Bloom, A. J., Carter, M. R., Cattaneo, A., Chartres, C., Leemans, R. (2014). Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. *Agriculture & Food Security*, 11(3). 39.
DOI:10.1186/2048-7010-3-11

Thai Rice Department. (2017). *Thai Rice NAMA Purpose, Overview & Current Status*. [Power Point]. Bangkok.

Vanavichit, .A. (2013). *Research status project Biotechnology and the improvement of photosynthesis system under global warming* (research report). Nakhon Pathom : Rice Science Center & Rice Gene Discovery, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus. (in Thai)

อภิชาติ วรรณวิจิตร. (2556). *สถานการณ์งานวิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพกับการปรับปรุงระบบการสังเคราะห์แสงภายใต้สภาวะโลกร้อน*. (รายงานผลการวิจัย). นครปฐม: ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

Zhang, H. L., Zhao, X., Yin, X. G., Liu, S. L., Xue, J. F., Wang, M., P. C., Lal, R., & Chen, F. (2015). Challenges and adaptations of farming to climate change in the North China Plain. *Climatic Change*, 129. 213-224.
DOI:10.1007/s10584-015-1337-y