

ผลกระทบของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวในเขตภาคเหนือ Impacts of Climate Change on Rice Yield in the North Region

(Received: April 25, 2019; Revised: July 11, 2019; Accepted: August 7, 2019)

ศศิวิมล ภูพวง^{1*} นิโรจน์ สินณรงค์¹ กฤตวิทย์ อัจฉริยพานิชกุล¹ ขนิษฐา เสถียรพีระกุล¹

Sasiwimon Puphoun^{1*} Nirote Sinnarong¹ Kittawit Autchariyapanitkul¹

Kanitta Satienpirakul¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังเผชิญกับปัญหาภาวะโลกร้อนและภาคการเกษตรของไทยก็ได้รับผลกระทบเช่นกัน โดยเฉพาะพื้นที่สำหรับการปลูกข้าวมีมากถึงร้อยละ 46 ของพื้นที่ป่าไม้และการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรทั้งหมด การศึกษารังนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวในเขตภาคเหนือซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศ โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติในการวิเคราะห์ข้อมูลพาแนล (Panel Data) ของจังหวัดในภาคเหนือ 15 จังหวัด รวม 31 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 – 2560 โดยใช้แบบจำลอง Fixed Effect และใช้วิธีการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไปที่เป็นไปได้ (Feasible Generalized Least Squares : FGLS) เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยและความแปรปรวนของอุณหภูมิจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวนาปี ส่วนปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝน ความแปรปรวนของน้ำฝนรวม และความแปรปรวนของวันที่ฝนตก กลับส่งผลกระทบทางบวกหรือส่งผลดีต่อผลผลิตข้าวนาปี ผลการศึกษาทำให้ทราบว่า ปัจจัยของสภาพอากาศเป็นตัวแปรที่สามารถส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เกษตรกรควรเตรียมความพร้อมและปรับตัวเพื่อลดผลกระทบในอนาคต ส่วนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะได้เตรียมการช่วยเหลือสนับสนุน และหาวิธีการต่าง ๆ ที่จะบรรเทาหรือช่วยลดความเสี่ยงอย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ: สภาพอากาศ ภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลผลิตข้าว ภาคเหนือ

Abstract

Nowadays, the world is facing with the problem of global warming. Thailand's agricultural sector also affected by this situation. Especially the area for rice cultivation takes up space 46 percent of the forest and all agricultural area in Thailand. This study

¹ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Faculty of Economics, Maejo University

* email: ohmsimon@gmail.com

aimed to analyze the impacts of climate change on rice production in the northern region where is the major rice growing source of the country. The econometrics model was applied as panel data analysis of 15 provinces in the north of Thailand, including 31 years from 1987 – 2017. The Fixed Effect Model and Feasible Generalized Least Squares : FGLS also used as the data analysis procedure to estimate the coefficients of the average equation. The finding found that increasing average temperature and temperature variability had a negative impact on the in-season rice field. The factors that affected in the positive ways included rainfall, a total of rainfall variability, and variance of rainy days. This study is confirmed that the weather factor is a variable which could significantly affect rice production. Therefore, agriculturists should prepare and adapt themselves to reduce future impacts. The relevant authorities would be prepared to support and find ways to mitigate or decrease the risk that might happen continuously.

Keywords: Weather, Climate, Climate change, Rice yield, The north of Thailand

บทนำ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าแต่ละประเทศทั่วโลกกำลังเผชิญกับปัญหาภาวะโลกร้อนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะประเทศเกษตรกรรมอย่างประเทศไทย การใช้ที่ดินส่วนใหญ่ของประเทศเป็นไปเพื่อภาคการเกษตร เช่นในปี 2560 ประเทศไทยมีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 320.70 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ป่าไม้และใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมากถึง 251.41 ล้านไร่ หรือมากกว่าร้อยละ 78.00 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีที่ดินนอกภาคการเกษตรเพียง 69.29 ล้านไร่เท่านั้น และพื้นที่ทางการเกษตรส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สำหรับการปลูกข้าวมากถึง 68.73 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 46.00 ของพื้นที่ทำการเกษตรรวมทั้งหมด ทำให้มีผลผลิตข้าวรวมมากถึง 32,900 ล้านตัน หรือเฉลี่ยประมาณ 492 กิโลกรัมต่อไร่ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562ค : 2-3) ดังนั้นความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศย่อมส่งผลกระทบต่อชาวนาผู้ปลูกข้าวรวมถึงพืชอื่น ๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงพบว่า มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศซึ่งผลการวิจัยเป็นเครื่องยืนยันถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อภาคการเกษตร เช่น งานวิจัยผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำมูลต่อผลผลิตการเกษตร (วิเชียร เกิดสุข, ศุภกร ชินวรรณ และ พรวิไล ไทโพธิ์ทอง, 2556 : 203-206) พบว่า ผลการประเมินผลผลิตพืชไร่หลัก สรุปผลผลิตข้าวนาปีที่อาศัยน้ำฝนในฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย แต่ผลผลิตข้าวนาปรังที่อาศัยน้ำจากระบบชลประทานในฤดูแล้งมีแนวโน้มลดลง งานวิจัยของ เกริก บัณฑิตเพ็ชร และ คนอื่น ๆ (2552 : 105-106) ที่ศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ของประเทศไทย พบว่า ผลกระทบในระยะยาวจากภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบรุนแรงต่อมันสำปะหลัง เมื่อทำการวิเคราะห์

หาสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง พบว่า เกิดจากการกระจายตัวของฝน ประกอบกับความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นสาเหตุที่สำคัญ จะเห็นได้ว่า ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศส่งผลโดยตรงต่อการผลิตพืช และกระทบกับความเป็นอยู่ของเกษตรกร เกิดความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติอยู่ตลอดเวลา ทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณและคุณภาพเปลี่ยนแปลงไปจากที่คาดการณ์ไว้ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรายได้

ในส่วนของภาคเหนือ ปี 2560 ที่ผ่านมา มีการปลูกข้าวมากถึง 13.027 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 22.92 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ และมีผลผลิตประมาณ 579 กิโลกรัมต่อไร่ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562ข : 5) การที่ภาคเหนือเป็นแหล่งเพาะปลูกข้าวที่สำคัญนี้ เกษตรกรก็ย่อมที่จะได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ งานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษาเพื่อให้เห็นถึงผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศที่มีต่อข้าวนาปีในภาคเหนือ โดยวิเคราะห์ข้อมูลข้าวนาปีที่ผ่านมาในอดีตจากการใช้สมการทางเศรษฐมิติ มีการใช้ข้อมูลทั้งเชิงพื้นที่และข้อมูลของเวลา ทำการทดสอบความนิ่งของข้อมูล (Panel Unit Root) การทดสอบและแก้ไขปัญหาความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งนี้เกษตรกรจะได้ทราบถึงปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศที่อาจจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว มุ่งประสงค์ให้เกษตรกรได้มีแนวทางในการปฏิบัติ ลดความเสี่ยง สามารถปรับแผนการผลิตข้าวและพึ่งพาตนเองได้ในอนาคต ก่อให้เกิดรายได้ต่อการดำรงชีวิตภายใต้สภาวะที่มีความแปรปรวนของสภาพอากาศต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวในเขตภาคเหนือ

ประโยชน์ของการวิจัย

เกษตรกรในเขตภาคเหนือและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลกระทบต่อผลผลิตข้าว โดยสามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อการตัดสินใจในการเพาะปลูก การวางแผนการผลิต รวมถึงเตรียมการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบและความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศในอนาคต

สมมติฐานของการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเนื่องมาจากปัจจัยอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิแต่ละปีมีแนวโน้มสูงขึ้นจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลง

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษผลกระทบของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวในเขตภาคเหนือ มีการกำหนดขอบเขตการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวนาปีกับปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ ดังนี้

ขอบเขตของข้อมูล เป็นการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ประกอบไปด้วยข้อมูลผลผลิตข้าวนาปีจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เป็นผลผลิตรวมในฤดูกาลเพาะปลูก มีหน่วยเป็นกิโลกรัม พื้นที่ปลูกข้าวแต่ละจังหวัดมีหน่วยเป็นไร่ และข้อมูลสภาพอากาศซึ่งเป็นข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และข้อมูลปริมาณน้ำฝนมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ขอบเขตด้านพื้นที่ แบ่งจังหวัดตามกรมอุตุนิยมวิทยาประกอบไปด้วยจังหวัดในภาคเหนือ 15 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยาแพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน อุตรดิตถ์ สุโขทัย ตาก กำแพงเพชร พิจิตร และเพชรบูรณ์

ขอบเขตด้านเวลา ข้อมูลผลผลิตข้าวนาปีและข้อมูลสภาพอากาศดังที่กล่าวมานั้นเป็นข้อมูลในช่วงการเพาะปลูกข้าวนาปีในฤดูกาล คือ ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 – พ.ศ. 2560 รวม 31 ปี ลักษณะเป็นแบบข้อมูลแบบพาแนล (Panel Data) ข้อมูลเป็นข้อมูลภาคตัดขวางร่วมกับข้อมูลอนุกรมเวลา ดังนั้นทำให้สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอธิบายของหน่วยภาคตัดขวางแต่ละหน่วยในช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวใช้การวิเคราะห์แบบจำลองทางเศรษฐมิติ (Econometrics Model) เพื่อศึกษาถึงผลการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่มีผลต่อผลผลิตข้าวสามารถใช้แบบจำลองการถดถอยสำหรับข้อมูลพาแนลที่ประกอบด้วยข้อมูลผลผลิตข้าวยาวจังหวัดในแต่ละปี ที่สามารถควบคุมปัจจัยที่เกิดจากความแตกต่างของพื้นที่และช่วงเวลาของแบบจำลอง โดยมีลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลองข้อมูลพาแนล ดังนี้

1. การทดสอบความนิ่งของข้อมูล (Stationary) เนื่องจากหากใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีลักษณะไม่นิ่งมาทำการพยากรณ์แล้วจะทำให้การพยากรณ์ดังกล่าวไม่ถูกต้อง คือ ได้ผลการถดถอยที่ไม่แท้จริง ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบความนิ่งของข้อมูล โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบ Panel Unit Root Test ของตัวแปรที่ทำการศึกษา โดยใช้วิธี Levin, Lin and Chu Test การทดสอบพาแนลยูนิทรูทหรือการทดสอบความนิ่งของตัวแปรทุกตัวด้วยวิธี Levin, Lin and Chu Test มีข้อสมมติฐาน คือ ข้อมูลมี Unit Root Test (คือ ข้อมูลมีความนิ่ง (Stationary Data)) ทำการทดสอบพาแนลยูนิทรูทของตัวแปรแต่ละตัว โดยทำการทดสอบวิธีดังกล่าว หากข้อมูลที่ได้มีลักษณะเป็นความสัมพันธ์อันดับที่ 1 หรือ $I(0)$ แล้ว สามารถนำข้อมูลไปทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรด้วยวิธีต่อไป

2. การทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) (Levin, Lin and Chu, 2002 : 1-24) การทดสอบปัญหาต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากการศึกษานี้เป็นข้อมูลแบบ Panel Data ซึ่งมีทั้งข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Data) และข้อมูลภาคตัดขวาง (Cross Section Data) ดังนั้นปัญหาสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมีปัญหา Multicollinearity กับปัญหา Autocorrelation ที่อาจจะเกิดขึ้นในข้อมูลอนุกรมเวลา และปัญหา Heteroscedasticity กับปัญหา Cross-sectional Correlation ในข้อมูลภาคตัดขวาง ตามแนวคิดของ Gardebroek, Chavez and Lansink (2010 : 67) ด้วยวิธี White's Test ซึ่งหากแบบจำลองเกิดปัญหาดังกล่าวก็จะสามารถใช้วิธีการประมาณกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปที่เป็นไปได้ (Feasible Generalized Least Squares, FGLS) แทนการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบธรรมดา (OLS) เพื่อให้ได้ตัวประมาณค่าที่ดีที่สุดและมีความแม่นยำตามหลักการทางสถิติด้วยวิธี Panel Model เพื่อจัดการตัวแปร Time Invariant Variable ได้ 2 วิธี คือ Fixed Effect Model และ Random Effect Model โดยทำการทดสอบ Hausman's Specification Test เพื่อดูวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสมกับข้อมูล

วิธี Fixed Effect Model เป็นการวิเคราะห์ที่ควบคุม a_i ด้วยวิธี Demean โดยกำจัดอิทธิพลของ a_i ออกไปจากสมการไม่ให้นับการวิเคราะห์ สมมติฐานที่สำคัญคือ a_i ต้องมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในสมการและต้องไม่สัมพันธ์กันเองหรือ $Cov(a_i, a_j) = 0 ; i \neq j$ วิธี Demean จะแยกตัวแปร a_i ออกมาจากค่าความคลาดเคลื่อน v_{it} ก่อน กลายเป็น $a_i + u_{it}$ หลังจากนั้นนำค่าตัวแปรของตัวอย่างลบด้วยค่าเฉลี่ยของตัวแปรของตัวอย่างนั้น ๆ และบวกด้วยเวลาและตัวอย่างทั้งหมด (StataCorp, 2013 : 397-399)

วิธี Random Effect Model เป็นการวิเคราะห์ที่ให้ a_i สามารถเข้ามามีผลกระทบต่อตัวแปรในสมการได้ โดยจะนำ a_i ไปรวมอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อน u_{it} กลายเป็นค่าความคลาดเคลื่อนใหม่ v_{it} การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะมีสมมติฐานสำคัญ คือ a_i ต้องไม่สัมพันธ์กับตัวแปรอิสระใด ๆ ในสมการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ σ_a^2 จากนั้นจะเปลี่ยนรูปตัวแปรด้วยวิธี FGLS (StataCorp, 2013 : 401-402)

วิธี Panel Model ทั้งวิธี Fixed Effect Model และ Random Effect Model นี้มีแบบจำลองเชิงทฤษฎีดังสมการที่ 1

$$Y_{it} = a_i + X'_{it}\beta + u_{it} \quad \dots(1)$$

กำหนดแบบจำลองแบบมีความคลาดเคลื่อนทางเดียว (One-way Error Component Model) จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองซึ่งเท่ากับสมการที่ 2

$$u_{it} = \mu_i + v_{it} \quad \dots(2)$$

- เมื่อ Y_{it} คือ ผลผลิตข้าวของจังหวัดที่ i ณ ปีที่ t
 X'_{it} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรอธิบายของจังหวัดที่ i ณ ปีที่ t
 β คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์จากการประมาณค่าจากแบบจำลอง
 u_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงเฟ้นสุ่ม (White Noise Residuals)
 μ_i คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความแตกต่างเชิงพื้นที่ (Unobservable Individual-

Specific Effect)

และ v_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่และเวลาของแบบจำลอง (Disturbance Term)

การทดสอบโดยวิธี Hausman's Specification Test มีสมมติฐานหลัก (H_0) คือ Random Effect Model และสมมติฐานรอง (H_1) คือ Fixed Effect Model (Oscar, 2007 : 29) โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นไว้ที่ระดับร้อยละ 95.00 หรือระดับนัยสำคัญที่ .05 ซึ่งวิธีของ Hausman Test ดังนี้

เมื่อกำหนดให้

$$\text{Hausman Test} = (\beta_F - \beta_R)'(V_F - V_R)^{-1}(\beta_F - \beta_R) \quad \dots(3)$$

โดยที่

β_F คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์จากการถดถอยด้วยวิธี Fixed Effect

β_R คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์จากการถดถอยด้วยวิธี Random Effect

V_F คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์จากการถดถอยด้วยวิธี Fixed Effect

V_R คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์จากการถดถอยด้วยวิธี Random Effect

สมมติฐานคือ

H_0 : การใช้ Random Effect Model มีประสิทธิภาพมากกว่า Fixed Effect Model

H_1 : การใช้ Fixed Effect Model มีประสิทธิภาพมากกว่า Random Effect Model

3. การกำหนดแบบจำลองเชิงประจักษ์ในการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อศึกษาปัจจัยด้านสภาพอากาศที่มีผลต่อผลผลิตข้าวนาปีในภาคเหนือตอนบน ในงานวิจัยนี้ ได้นำแนวคิดการกำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตแบบ Stochastic Production Function (SPF) หรือ $y = f(x, v)$ ซึ่งกำหนดฟังก์ชันการผลิตให้ y คือ ผลผลิตข้าว ขึ้นอยู่กับปัจจัย x ซึ่งเป็นสภาพอากาศ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มปัจจัยด้านอุณหภูมิ จำนวน 2 ตัวแปร และกลุ่มปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝน จำนวน 4 ตัวแปร และ v เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมได้ เพื่อให้ได้ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าว โดยกำหนดให้อิทธิพลของตัวแปรอื่นที่ไม่ได้นำเข้ามาวิเคราะห์เป็นค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้จัดรูปแบบของสมการให้อยู่ในรูปแบบ Double-Log ดังสมการที่ 4

สมการค่าเฉลี่ย (Mean Function)

$$\begin{aligned} \ln \text{PROD}_{it} = & \alpha_{it} + \beta_{11} \ln \text{LAND}_{it} + \beta_{12} \ln \text{TEMP}_{it} + \beta_{13} \ln \text{VTEMP}_{it} + \beta_{14} \ln \text{RAIN}_{it} \\ & + \beta_{15} \ln \text{VRRAIN}_{it} + \beta_{16} \ln \text{RNDY}_{it} + \beta_{17} \ln \text{VRNDY}_{it} \\ & + \beta_{18} \text{TIMETD}_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad \dots(4)$$

โดยที่

$\ln \text{PROD}_{it}$ คือ ผลผลิตข้าวของจังหวัดที่ i ณ ปีที่ t

$\ln \text{LAND}_{it}$ คือ พื้นที่ปลูกข้าว (ไร่)

$\ln \text{TEMP}_{it}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

$\ln VTEMP_{it}$ คือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิ
 $\ln RAIN_{it}$ คือ ปริมาณน้ำฝนรวม (มิลลิเมตร)
 $\ln VRAIN_{it}$ คือ ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวม
 $\ln RNDY_{it}$ คือ จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)
 $\ln VRNDY_{it}$ คือ ความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตก
 $TIMETD_{it}$ คือ แนวโน้มของเวลาแทนความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางการเกษตร (ปี)
 u_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเชิงสุ่มไม่สามารถสังเกตได้
 i และ t คือ พื้นที่จังหวัดที่ i และ ณ เวลา t

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลกระทบของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวในเขตภาคเหนือโดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ มีผลในการดำเนินการทดสอบตามวิธีการและได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบพาแนลยูนิทรูท (Panel Unit Root Test) ที่ระดับ Level หรือ $I(0)$ เพื่อทดสอบความนิ่งของข้อมูลด้วยวิธี Levin, Lin and Chu Test

ตัวแปร	Levin, Lin and Chu Test (Assumes Common Unit Root Process)	ระดับความนิ่ง (Stationary)
$PROD_{it}$	-4.83501***	$I(0)$
$LAND_{it}$	-3.38266***	$I(0)$
$TEMP_{it}$	-14.0804***	$I(0)$
$VTEMP_{it}$	-15.0236***	$I(0)$
$RAIN_{it}$	-15.3477***	$I(0)$
$VRAIN_{it}$	-16.7621***	$I(0)$
$RNDY_{it}$	-13.2709***	$I(0)$
$VRNDY_{it}$	-4.83501***	$I(0)$

(ที่มา : จากการคำนวณโดยโปรแกรม eviews8)

หมายเหตุ : *** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบพาแนลยูนิทรูท ด้วยวิธี Levin, Lin and Chu Test พบว่า ข้อมูลตัวแปรทั้งหมดมีลักษณะหนึ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.00 หรือ ที่ระดับ Level I(0) ของทุกตัวแปร ดังนั้นผู้วิจัยสามารถนำข้อมูล Panel Data มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Fixed Effects Model และ Random Effect Model ในการวิเคราะห์ได้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) การทดสอบ โดยวิธีของ White

White Test			
F-statistic	8.509166	Prob. F	0.0000
Obs*R-squared	219.1551	Prob. Chi-Square	0.0000

(ที่มา : จากการคำนวณโดยโปรแกรม evIEWS8)

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่โดยวิธีของ White พบว่า แบบจำลองผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคเหนือ มีค่า P-value (Prob.F และ Prob. Chi-Square) ที่ได้เท่ากับ 0.0000 หมายความว่า แบบจำลองมีปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่จึงสามารถใช้วิธีการประมาณกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปที่เป็นไปได้ (Feasible Generalized Least Squares, FGLS) แทนการประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบธรรมดา (OLS)

ตารางที่ 3 ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันก่ค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวนาปีในจังหวัดภาคเหนือ แบบ Fixed Effect Model และ Random Effect Model

ตัวแปร	แบบจำลอง Fixed Effect	แบบจำลอง Random Effect
พื้นที่ปลูกข้าว ($\ln\text{LAND}_{it}$)	0.9878 (0.0042) ***	0.9834 (0.0277) ***
อุณหภูมิเฉลี่ย ($\ln\text{TEMP}_{it}$)	-1.2808 (0.1892) ***	-0.2466 (0.5027)
ความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ($\ln\text{VTEMP}_{it}$)	-0.0076 (0.0054) *	-0.0172 (0.0086) **
ปริมาณน้ำฝนรวม ($\ln\text{RAIN}_{it}$)	0.0377 (0.0171) **	0.0019 (0.0442)

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ตัวแปร	แบบจำลอง Fixed Effect	แบบจำลอง Random Effect
ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวม ($\ln VRAIN_{it}$)	0.0140 (0.0042) ***	0.0146 (0.0111)
จำนวนวันที่ฝนตก ($\ln RNDY_{it}$)	0.0303 (0.0270)	0.1150 (0.0735) *
ความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตก ($\ln VRNDY_{it}$)	0.0143 (0.0045) ***	0.0197 (0.0106) **
แนวโน้มของเวลา ($TIMETD_{it}$)	0.0135 (0.0009) ***	0.0129 (0.0008) ***
Constant	10.3137 (0.6780) ***	6.2573 (1.8326) ***
R-squared	0.9952	0.8094
Adjusted R-squared	0.9951	0.8061
Prob (F-statistic)	0.0000	0.0000

(ที่มา : จากการคำนวณโดยโปรแกรม evIEWS8)

หมายเหตุ : ตัวเลขใน () หมายถึง Standard Error

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .10

ผลการทดสอบ Hausman's Specification Test

การประมาณค่าแบบจำลอง Panel Data ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็นการประมาณด้วยวิธี Fixed Effect Model และ Random Effect Model แล้วจะทำการเลือกวิธีที่เหมาะสมด้วยวิธี Hausman's Specification Test

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมมติฐานการประมาณค่า Fixed Effect กับ Random Effect โดยวิธี Hausman Test

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Prob.
Hausman Test	187.80768	0.0000

(ที่มา : จากการคำนวณโดยโปรแกรม reviews8)

หมายเหตุ : *** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01

จากตารางที่ 4 ผลของการทดสอบสมมติฐานการประมาณค่า Fixed Effect กับ Random Effect โดยวิธี Hausman Test เมื่อจัดรูปแบบของสมการให้อยู่ในรูปแบบ Double-Log และพิจารณาค่า P-value (Prob.) จากผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวนาปีในจังหวัดภาคเหนือแบบ Fixed Effect Model และ Random Effect โดยค่าที่ได้ คือ 0.0000 หมายความว่า การใช้ Fixed Effect Model มีประสิทธิภาพมากกว่า Random Effect Model ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทำให้สามารถเขียนเป็นสมการค่าเฉลี่ย (Mean Function) จากตารางที่ 3 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \ln \text{PROD}_{it} = & 10.3137 + 0.9878 \ln \text{LAND}_{it} - 1.2808 \ln \text{TEMP}_{it} - 0.0076 \ln \text{VTEMP}_{it} + 0.0377 \ln \text{RAIN}_{it} \\ & (0.6780) *** \quad (0.0042) *** \quad (0.1892) *** \quad (0.0054) * \quad (0.0171) ** \\ & + 0.0140 \ln \text{VRRAIN}_{it} + 0.0303 \ln \text{RNDY}_{it} + 0.0143 \ln \text{VRNDY}_{it} + 0.0135 \text{TIMETD}_{it} \dots (5) \\ & (0.0042) *** \quad (0.0270) \quad (0.0045) *** \quad (0.0009) *** \end{aligned}$$

R-squared = 0.9952, Adjust R-squared = 0.9951, Prob (F-statistic) = 0.0000

(ที่มา : จากการคำนวณโดยโปรแกรม reviews8)

หมายเหตุ : *** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .10

สมการค่าเฉลี่ยในสมการที่ 5 สามารถอธิบายได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตข้าวในภาคเหนืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99.00 มีทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ พื้นที่ปลูกข้าว อุณหภูมิเฉลี่ย ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวม ความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตก และแนวโน้มของเวลา ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.00 และร้อยละ 90.00 ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรวม และความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย ตามลำดับ ส่วนจำนวนวันที่ฝนตกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90.00 และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (Adjust Coefficient of Determination) ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 99.51 แสดงว่า ผลผลิตข้าวในจังหวัดภาคเหนือสามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัยทั้งหมด 8 ปัจจัยที่กล่าวมาแล้วถึงร้อยละ 99.51 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 0.49 เป็นผลกระทบมาจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่ได้นำมาเข้าร่วมในสมการนี้

การอภิปรายผล

ปัจจัยพื้นที่ปลูกข้าว เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของพื้นที่ปลูกข้าวในเขตภาคเหนือมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.9878 สามารถอธิบายได้ว่า หากพื้นที่ปลูกข้าวในเขตภาคเหนือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00 โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.99 พื้นที่ปลูกข้าวจึงมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับผลผลิตข้าว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีอุปทานสินค้าเกษตร เนื่องจากการเพิ่มหรือลดพื้นที่เพาะปลูกจะส่งผลต่อปริมาณผลผลิตให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การเพิ่มอุปทานได้หรือเพิ่มปริมาณผลผลิตได้เมื่อระยะเวลาในการเพาะปลูกสั้นก็จะสามารถเก็บเกี่ยวและขยายพื้นที่ปลูกได้ง่าย

กลุ่มปัจจัยด้านอุณหภูมิ ได้แก่ 1) ปัจจัยอุณหภูมิเฉลี่ย เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของอุณหภูมิเฉลี่ย มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -1.2808 สามารถอธิบายได้ว่า หากอุณหภูมิเฉลี่ยในการปลูกข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00 โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 1.28 และ 2) ปัจจัยความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ -0.0076 สามารถอธิบายได้ว่า หากค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยในการปลูกข้าวเพิ่มจากค่าเฉลี่ยปกติร้อยละ 1.00 โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตข้าวลดลงประมาณร้อยละ 0.01 โดยทั้งอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับผลผลิตข้าว หมายถึง เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลง และหากค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยปกติจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลง เช่นเดียวกับรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้ระบุถึงปัญหากล้งและความแปรปรวนของฤดูกาลทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง พันธุ์พืชที่มีอยู่ไม่สามารถปรับตัวต่อสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลง การสังเกตหรือประสบการณ์ของเกษตรกรอาจจะไม่เพียงพอต่อการรับมือ ไม่สามารถเตรียมการได้ทัน ทำให้มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียผลผลิต นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อการผลิตข้าว หากอุณหภูมิเพิ่มสูงมากกว่า 35 องศาเซลเซียส ช่อดอกจะเป็นหมัน มีละอองเกสรที่ผิดปกติ ทำให้ผลผลิตและคุณภาพข้าวลดลง (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560 : 42-43)

กลุ่มปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝน ได้แก่ 1) ปัจจัยปริมาณน้ำฝนรวม เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของปริมาณน้ำฝนรวมมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.0377 สามารถอธิบายได้ว่า หากปริมาณน้ำฝนรวมในฤดูเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00 โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 0.04 2) ปัจจัยความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวม เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.0140 สามารถอธิบายได้ว่า หากค่าความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมในฤดูเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00 โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 0.01 3) ปัจจัยความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตก เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตกมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.0143 สามารถอธิบายได้ว่า หากค่าความแปรปรวนของจำนวนวันที่ฝนตกในฤดูเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00 โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 0.01 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับผลผลิตข้าว เมื่อปริมาณฝนมากขึ้นหรือปริมาณน้ำฝนรวมเพิ่มขึ้นจากปริมาณน้ำฝนที่มีค่าเฉลี่ยปกติก็จะส่งผลให้

ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นด้วย แหล่งน้ำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2562ก : 6) ได้รายงานไว้ในส่วนของข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ข้าวเป็นพืชที่ต้องการน้ำในปริมาณมาก แต่ในปี 2561 มีผลผลิตลดลงเนื่องจากข้าวในแหล่งผลิตหลายแห่งประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ ฝนทิ้งช่วง ทำให้ต้นข้าวแห้งตาย บางพื้นที่ให้ผลผลิตน้อยลง และยังทำให้มีวัชพืชขึ้นแทรกในนาข้าว ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว นอกจากนี้ผลการวิจัยของ Felkner, Tazhibayeva and Townsend (2009 : 6) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อข้าวในประเทศไทย ยังแสดงถึงปริมาณน้ำฝนที่สัมพันธ์กับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หากสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณที่สูง ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และหากมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำอัตราผลตอบแทนเพิ่มขึ้นจริงกว่าร้อยละ 80.00 ของแปลง ดังนั้นเกษตรกรสามารถใช้ประโยชน์จากปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาพภูมิอากาศที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ

ปัจจัยแนวโน้มของเวลา เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นของแนวโน้มของเวลามีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.0135 สามารถอธิบายได้ว่า หากปัจจัยแนวโน้มของเวลาแทนความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางการเกษตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00 โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 0.01 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางการเกษตรจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีช่วยให้สามารถผลิตข้าวได้เพิ่มขึ้นโดยใช้พื้นที่เท่าเดิมหรือมีต้นทุนที่ต่ำลง การนำนวัตกรรมการเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือการเก็บรักษาผลผลิตและบรรจุภัณฑ์ย่อมทำให้เกิดการสูญเสียของผลผลิตข้าวลดลงตามไปด้วย (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, <https://is.gd/effWXR>, 2562)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้

จากการศึกษาครั้งนี้มีกลุ่มปัจจัยด้านอุณหภูมิและกลุ่มปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝนในจังหวัดภาคเหนือเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตข้าวนาปีอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยทำให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวควรเตรียมความพร้อมและปรับตัวในการวางแผนการผลิตเพื่อลดผลกระทบในอนาคต เช่น การจัดหาแหล่งน้ำใหม่ การดูแลดินให้มีความชุ่มชื้น หรืออาจจะต้องปรับเปลี่ยนพันธุ์ข้าวทนแล้ง และติดตามข่าวสารเกี่ยวกับสภาพดินฟ้าอากาศมากขึ้น ส่วนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรจะมีการเตรียมการช่วยเหลือและสนับสนุนด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ การให้ความรู้ในการรับมือและประชาสัมพันธ์ให้เห็นถึงความสำคัญจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ เพื่อบรรเทาหรือลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างต่อเนื่อง

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการนำปัจจัยด้านอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนมาเพียงบางส่วน ซึ่งการทำการปลูกข้าวย่อมมีปัจจัยทางสภาพอากาศและปัจจัยอีกหลายชนิด เช่น ปริมาณความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ประเภทของดิน ฯลฯ อาจจะได้้นำปัจจัยอื่น ๆ เพื่อศึกษาเพิ่มเติม นอกจากนี้ยังมีพืชชนิดอื่นที่พืช

ล้มลุก พืชไร่ พืชสวน ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ ก็ควรจะได้มีการศึกษาเพื่อให้เกิดการรับรู้และปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศของพืชชนิดนั้น ๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยแผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ตามทิศทางการยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562

รายการอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2559). *เทคโนโลยีการผลิตข้าวอินทรีย์*. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2562 จาก, <https://is.gd/effWXR>
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). *ยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 – 2579) และแผนพัฒนาการเกษตรในช่วงพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564)*. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงฯ.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562ก). *รายงานประจำปี 2561*. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงฯ.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562ข). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย 2561*. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงฯ.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562ค). *สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตร รายสินค้าปี 2561*. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงฯ.
- เกริก ปั่นเหน่งเพชร และ คนอื่น ๆ. (2552). *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ “โครงการผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย”*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.).
- วิเชียร เกิดสุข, ศุภกร ชินวรรณ และ พรวิไล ไทโรโพธิ์ทอง. (2556). *การประเมินผลกระทบ ความเสี่ยง ความล่อแหลมเปราะบาง และแนวทางการปรับตัว ของระบบการเกษตรและสังคมเกษตรต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงเชิงเศรษฐกิจและสังคมในอนาคต : กรณีศึกษาลุ่มน้ำชี-มูล*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.).
- Felkner, J., Tazhibayeva, K., and Townsend, R. (2010). Impact of climate change on rice production in Thailand. *American Economic Review*, 99(2), 1-9.

- Gardebroek, C., Chavez, M.D. and Lansink, A.O. (2010). Analyzing production technology and risk in organic and conventional Dutch Arable farming using panel data. *Journal of Agricultural Economics*, 61(1), 60-75.
- Levin, A., Lin, C. F. and Chu, C. (2002). Unit root tests in panel data : Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24.
- Oscar, Torres-Reyna. (2007). *Panel data analysis fixed and random effects using stata* (v.4.2). Retrieved October 12, 2017, from <https://dss.princeton.edu/training/Panel101.pdf>
- StataCorp. (2013). *Stata : Release 13 Stata longitudinal-data/panel-data reference manual statistical software*. College Station, Texas: StataCorp LP.