

E

conomics and Climate Change: From Concept and Analytical Tools to Public Policy in Agriculture

Nirote Sinnarong^{1,*}

Abstract

Climate change is a key issue in socio-economic development, which gains attention globally, particularly in agricultural economic planning and development for economic, social, and environment balance and sustainability. This article aims to review crucial concepts embracing climate change, econometrics tools for studying the effect of climate change on agricultural production, and agricultural public policy frameworks. Evidences show that applied econometrics is a tool for studying the effect of climate change agricultural production that provides empirical information for agricultural policy planning. Policy frameworks have to cover the awareness of weather variables and agricultural production, the reduction of greenhouse gas emission, and the adaptation to mitigate the impact of future climate change. These require cooperation of all stakeholders in the society, ranging from national to local levels, in order for adaptations to be posed as core components of sustainable agricultural development strategy within the context of climate change.

Keywords: climate change, adaptation, econometrics, public policy, agriculture

¹ Applied Economics Program, Maejo University, Chiangmai, Thailand

* Corresponding author. E-mail: nirote1980@gmail.com



เศรษฐศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: จากแนวคิด เครื่องมือการวิเคราะห์ สู่นโยบายสาธารณะด้านการเกษตร

นิโรจน์ ลิ้นฉรังค์^{1,*}

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นประเด็นสำคัญด้านการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมที่กำลังได้รับความสนใจในระดับโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวางแผนและพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตรที่สมดุลยั่งยืนทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนกรอบความคิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การประยุกต์เครื่องมือทางเศรษฐมิติสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตทางการเกษตร และกรอบนโยบายสาธารณะด้านการเกษตร ทั้งนี้ เศรษฐมิติประยุกต์นับเป็นเครื่องมือหนึ่งทางเศรษฐศาสตร์ที่สามารถประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตทางการเกษตร เพื่อใช้เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ประกอบการวางนโยบายการเกษตร โดยกรอบนโยบายต้องครอบคลุมการสร้างความรู้ความตระหนักรู้ถึงความสำคัญของสภาพอากาศกับการผลิตทางการเกษตร การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนของสังคม ตั้งแต่ระดับชาติจนถึงระดับท้องถิ่น เพื่อให้การปรับตัวได้รับการพิจารณาให้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของยุทธศาสตร์การพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืนภายใต้บริบทการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การปรับตัว เศรษฐมิติ นโยบายสาธารณะ การเกษตร

¹ สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

* Corresponding author. E-mail: nirote1980@gmail.com

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นปัญหาลึ้มแวลลุ่มที่นานาประเทศต้องร่วมมือกันแก้ไขปัญหาย่างจริงจัง ใน ปี ค.ศ. 1990 คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ได้รายงานการประเมินสถานการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของฝน การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล และเหตุการณ์ความผิดปกติทางสภาพอากาศ และคาดการณ์ถึงภัยคุกคามที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงเกิดความร่วมมือระดับโลกขึ้น ตามกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) ในปี ค.ศ. 1992 ประเทศไทยได้ตระหนักถึงความรุนแรงของปัญหาและได้ให้สัตยาบันเป็นภาคีในกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติ เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2537 และได้ให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2545 เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นฐานทางเศรษฐกิจแบบพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ ประชากรจำนวนมากประกอบอาชีพเกษตรกรรม และมีอุตสาหกรรมและบริการซึ่งต้องใช้วัตถุดิบทางการเกษตรหรือทรัพยากรธรรมชาติเป็นฐาน ประเทศไทยจึงมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และมีความจำเป็นในการเตรียมความพร้อมในการรับมือและปรับตัวเพื่อลดผลกระทบ ดังนั้น การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นเรื่องสำคัญที่นักเศรษฐศาสตร์ให้ความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์นำเครื่องมือเชิงปริมาณด้วยวิธีการทางเศรษฐมิติมาใช้ศึกษาผลกระทบและการปรับตัวจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยมีฐานคิดในการหาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปรตาม เช่น ผลผลิตทางการเกษตร และตัวแปรอธิบาย เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝนในฤดูกาลเพาะปลูก ดังตัวอย่างการศึกษาของ Chen, McCarl และ Schimmelfennig (2004) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่มีต่อผลผลิตข้าวโพด ฝ้าย ข้าวฟ่าง ถั่วเหลือง และข้าวสาลีในอเมริกา โดยใช้ข้อมูลผสม (Panel Data) จาก 48 รัฐระหว่างปี ค.ศ. 1973-1997 และมีการพัฒนาการวิเคราะห์ต่อโดย McCarl, Villavicencio และ Wu (2008) ด้วยการเพิ่มตัวแปรความแปรปรวนของอุณหภูมิ ความหนาแน่นของฝน และดัชนีความแห้งแล้ง ที่ส่งผลต่อการผลิตทางการเกษตรทั้ง 5 ชนิด ในปี ค.ศ. 1960-2007 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Isik และ Devadoss (2006) ได้วิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อการผลิตข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ มันฝรั่ง และพืชไร่ของรัฐ Idaho โดยใช้ข้อมูลระดับภาคจำนวน 4 ภาคระหว่างปี ค.ศ. 1939-2001 การศึกษาของ Cabas, Weersink และ Olale (2010) ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตข้าวโพด ถั่วเหลือง และข้าวสาลีในเมือง Ontario แคนาดา โดยใช้ข้อมูลระดับชุมชนจาก 8 ชุมชน ระหว่างปี ค.ศ. 1981-2006 โดยมีข้อมูลสภาพอากาศเป็นตัวแปรอธิบาย ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย และปริมาณน้ำฝน นอกจากนี้ Demeke, Keil และ Zeller (2011) ได้วิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อความมั่นคงทางอาหาร โดยมีปริมาณน้ำฝนเป็นตัวแปรอธิบาย ทั้งนี้ตัวแปรสภาพอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ 2 ตัวแปรหลัก คือ อุณหภูมิเฉลี่ย และปริมาณน้ำฝน

รวมในฤดูกาลเพาะปลูก และมีการศึกษาเพิ่มเติม ด้วยการเพิ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน ตัวแปรผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน เพื่อช่วยให้การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ไม่มากนักในภาคการเกษตรของประเทศไทย เพื่อนำผลการวิจัยและความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาองค์ความรู้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นข้อเสนอแนะต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเป็นแนวทางการวางนโยบายการพัฒนาการเกษตร

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (2556-2559) ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับประเด็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ถึงการจัดมาตรการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนในการยกระดับขีดความสามารถในการรองรับและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้สังคมมีภูมิคุ้มกัน พัฒนาการองค์ความรู้และเครื่องมือในการบริหารจัดการเพื่อรองรับกับความท้าทายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงพัฒนาศักยภาพชุมชนให้พร้อมรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น การกำหนดนโยบายและวางแผนเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงต้องพิจารณาปัญหาในลักษณะของการลดผลกระทบ (Impact Mitigation) และคำนึงถึงการลดความเสี่ยง (Risk Mitigation) นโยบายและแผนที่เกี่ยวข้องจึงจำเป็นต้องมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อมีองค์ความรู้ทางวิชาการ โดยเฉพาะความรู้ด้านอุตุนิยมวิทยา มาสนับสนุนเพิ่มขึ้น โดยการกำหนดนโยบายและแผนต้องยึดหลักการป้องกันไว้ก่อน (Precautionary Principle)

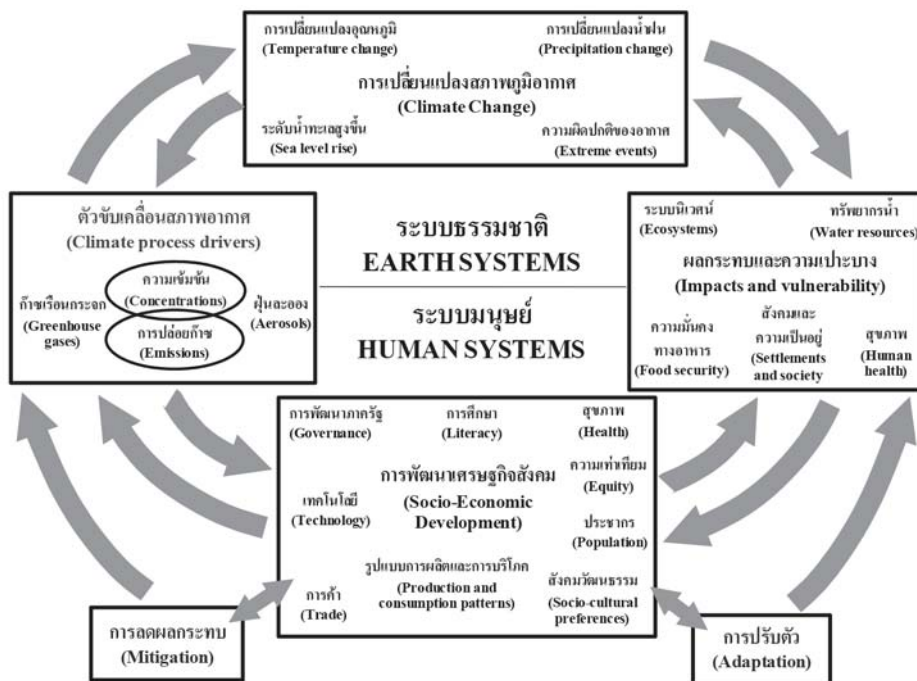
และควรกำหนดกระบวนการที่จะก่อให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิชาการ และการปรับเปลี่ยนนโยบายและแผนให้สอดคล้องกันอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมแนวคิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการพัฒนาเศรษฐกิจสังคม ศึกษาการประยุกต์เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการผลิตทางการเกษตร และเชื่อมโยงข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสาธารณะด้านการเกษตรบนความท้าทายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเป็นแนวทางในการวางแผนพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืนที่สมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยคำนึงถึงผลกระทบและการปรับตัวที่เหมาะสมเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับการพัฒนาเศรษฐกิจสังคม

รายงานประเมินสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกฉบับที่ 4 (AR4) ปี ค.ศ. 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007) สรุปว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อระบบทางกายภาพและชีวภาพของโลก และระบบทางธรรมชาติในทุกทวีป ระบบนิเวศชายฝั่งมีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบสูงจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น ประชาชนจำนวนหลายล้านคนในแถบที่ราบลุ่มแม่น้ำในทวีปเอเชียและแอฟริกา และในหมู่เกาะขนาดเล็กมีความเสี่ยงที่จะได้รับผลเสียหายจากภัยน้ำท่วม สำหรับทรัพยากรน้ำมีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในเขตร้อนชื้นและบริเวณเส้นละติจูดสูงทางซีกโลกเหนือ แต่จะลดน้อยลงในบริเวณที่แห้งแล้งอยู่เดิม ด้านความหลากหลายทางชีวภาพ

จะลดลง ภาคเกษตรกรรมในเขตละติจูดต่ำจะได้รับผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ผลผลิตลดน้อยลงและส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางด้านอาหารสำหรับภพฉายอนาคตของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Projection) ของไทย โดย Chithaisong (2010) พบว่า ประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทั้งกลางวันและกลางคืน โดยที่อุณหภูมิกลางวันจะเปลี่ยนแปลงมากกว่า อุณหภูมิกลางวัน อีกทั้งจะมีช่วงเวลาที่มียากอากาศร้อนในรอบปียาวนานมากขึ้น ซึ่งอนุมานได้ว่าฤดูร้อนยืดยาวขึ้น นำไปสู่ภาวะความแห้งแล้งมากขึ้น โดยที่ฤดูหนาวจะหดสั้นลง และฤดูฝนมีฝนตกชุกมากขึ้น รวมถึงการเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติของสภาพ

อากาศและภัยธรรมชาติที่จะมีความถี่และความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อระบบทางธรรมชาติมีความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพอากาศได้น้อยลง ซึ่งก่อให้เกิดความเปราะบางและอ่อนไหว (Vulnerability and sensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับพื้นที่จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพื้นที่ โดย IPCC (2007) ได้กำหนดกรอบแนวคิดการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไว้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ที่มา: IPCC, 2007, p. 26

ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของระบบที่เป็นธรรมชาติของโลกและระบบที่เกิดจากมนุษย์ เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emissions) จากกิจกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ในขณะเดียวกันสถานการณ์ก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ (Greenhouse Gas Concentrations) ก็มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางภูมิอากาศหลัก ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ระดับน้ำทะเล และความผิดปกติของสภาพอากาศ เช่น ภาวะภัยแล้ง ภัยหนาว น้ำท่วม เป็นต้น ซึ่ง IPCC ได้แบ่งระบบและภาคส่วนที่จะได้รับผลกระทบออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ระบบนิเวศ ทรัพยากรน้ำ ความมั่นคงทางอาหาร การตั้งถิ่นฐานของประชากร และสังคม และสุขภาพ ทั้งนี้ ผลกระทบที่จะได้รับขึ้นอยู่กับปัจจัยทางภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง และศักยภาพในการรับมือและปรับตัวต่อผลกระทบของระบบหรือภาคส่วนนั้น ๆ และศักยภาพดังกล่าวก็ขึ้นอยู่กับบริบทในการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมที่ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากขึ้น ทั้งด้านการพัฒนาภาครัฐ ที่ต้องมีแผนและนโยบายที่รองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ชัดเจน โดยเฉพาะการจัดสรรงบประมาณในโครงการพัฒนาภาครัฐ การพัฒนาระเบียบข้อบังคับ และสร้างแรงจูงใจให้ภาคเอกชนมีส่วนร่วมในการพัฒนา การพัฒนาการศึกษาให้สังคมเห็นความสำคัญและรู้เท่าทันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากขึ้น การพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด การส่งเสริมผลิตและการบริโภค สนับสนุนการค้าการลงทุนในกิจกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การพัฒนาคุณภาพชีวิตและสุขภาพของประชากร การพัฒนาสังคมด้วยการสร้างการมีส่วนร่วมในการขับเคลื่อนกิจกรรมการลดผลกระทบตั้งแต่ระดับชุมชนไปจนถึงระดับประเทศ เช่น การอนุรักษ์ป่าชุมชน รวมไปถึงการอนุรักษ์

ศิลปวัฒนธรรมดั้งเดิมผ่านกิจกรรมอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่น การลอยกระทงด้วยวัสดุธรรมชาติ การละเล่นพื้นบ้านที่ใช้วัสดุธรรมชาติเป็นองค์ประกอบ สำหรับการพัฒนาการเกษตร โดยเฉพาะระบบการเกษตรของไทยที่ต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก (Rain-fed System) หากไม่มีการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบและความเปราะบางเพื่อการปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตและการบริโภค อาจส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลง ส่งผลต่อความมั่นคงทางอาหารและการค้าระหว่างประเทศในอนาคตได้ เป็นต้น โดยแนวทางการแก้ไขปัญหา คือ การลดผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Mitigation) และการปรับตัวจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Adaptation) (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning [ONEP], 2010) ดังนั้น การพัฒนาการเกษตรจึงต้องคำนึงถึงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ควบคู่กับการปรับตัวและสร้างภูมิคุ้มกันเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังเช่นตัวอย่างวิธีการปรับตัวของเกษตรกรในระดับฟาร์ม (Lasco, Habito, Delfino, Pulhin, & Concepcion, 2011) ดังนี้

1) การปรับเปลี่ยนสายพันธุ์ โดยใช้สายพันธุ์ที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากขึ้น 2) การปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูก โดยการเปลี่ยนพืชที่จะผลิตและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการเพาะปลูกเพื่อตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล 3) การปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการฟาร์ม โดยการเปลี่ยนรูปแบบการจัดการดิน การจัดการและอนุรักษ์น้ำ การป้องกันไฟฟ้า การจัดการศัตรูพืช การจัดการของเสียจากฟาร์ม รวมทั้งการทำวนเกษตรที่เป็นมิตรกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และ 4) การกระจายความเสี่ยงด้านรายได้จากภาคการเกษตร โดยการหาแหล่งรายได้นอกฟาร์มมากขึ้น การกระจายต้นทุน

การทำฟาร์มสู่การทำธุรกิจที่เกี่ยวข้อง เช่น การแปรรูปสินค้าเกษตร การทำอาชีพเสริม เป็นต้น นอกจากนี้ ธนาคารพัฒนาเอเชีย (Asian Development Bank [ADB], 2009) ได้เสนอประเด็นสำคัญเร่งด่วนด้านการปรับตัวจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ควรบูรณาการ คือ การเร่งเผยแพร่ความตระหนักรู้แก่สาธารณชนเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบ การวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลกระทบและความจำเป็นของการปรับตัวในระดับท้องถิ่น การสร้างระบบหรือส่งเสริมความร่วมมือระหว่างหน่วยงานและการทำงานร่วมกันของหลายภาคส่วน และการส่งเสริมการปรับตัวในระดับท้องถิ่นที่เหมาะสมสำหรับบริบทของพื้นที่

การประยุกต์เศรษฐมิติเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับผลผลิตการเกษตร

การวิจัยเชิงประจักษ์ (Empirical Research) ทางเศรษฐศาสตร์ นิยมใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์และสถิติเข้ามาช่วย เพื่อให้การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ง่ายขึ้น เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ คือ การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) นับเป็นเครื่องมือที่ตอบคำถามในเชิงสถิติได้กว้างขวาง จนกระทั่งได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของวิชาเศรษฐมิติ หรือ Econometrics (Keeranani, 1981) โดยปัจจุบันเครื่องมือทางเศรษฐมิติได้ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตทางการเกษตรมากขึ้น ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลจากการสังเกตจริงมาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติ เพื่อศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ของผลผลิตและปัจจัยการผลิตในอดีต และทำนาย

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยกำหนดให้สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยการผลิตร่วมกับปัจจัยการผลิตทั่วไป การวิเคราะห์เศรษฐมิติยังมีการประยุกต์ใช้น้อยสำหรับประเทศไทยแม้จะมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เช่น การศึกษาของ Chen et al. (2004) McCarl et al. (2008) และ Cabas et al. (2010) โดยการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อศึกษาผลของปัจจัยทางสภาพอากาศต่อผลผลิตการเกษตร สำหรับการศึกษาเชิงประจักษ์ในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองการผลิตพืช (Crop Simulation Approach) ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์การผลิตทางการเกษตร โดยกำหนดปัจจัยการผลิตที่ใกล้เคียงความเป็นจริง และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองระบบการผลิตพืชตามปัจจัยการผลิตที่กำหนด จากนั้นจึงทำการประเมินผลผลิตในอนาคตภายใต้สถานการณ์ที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงไป เช่น การจำลองผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าว พบว่าผลผลิตข้าวของประเทศไทยในอนาคตภายใต้เงื่อนไขสภาพภูมิอากาศอนาคตจะเปลี่ยนแปลงไป โดยอยู่ในช่วงระหว่าง +9.3% ถึง -11.6% (Matthews, Kropff, Horie, & Bachelet, 1997) การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่จังหวัดเชียงราย สกลนคร และสระแก้ว พบว่า ภายใต้สภาพภูมิอากาศอนาคตเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นเป็น 720 ppm นั้น ความแปรปรวนของผลผลิตรายปีจะเพิ่มสูงขึ้น (Buddhaboon, Kongton, & Jintrawet, 2005) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ผลผลิตจากข้าวโพดและอ้อยในจังหวัดขอนแก่นเพิ่มขึ้น แต่ผลผลิตมันสำปะหลังจะลดลง โดยการปรับเปลี่ยนการให้ปุ๋ยเคมีจะช่วยลดปัญหา

ความแปรปรวนของผลผลิตที่เกิดจากสภาพอากาศได้ (Kongthon, Sornrawat, & Rattanasriwong, 2004) นอกจากนี้ Pannangpetch et al. (2009) ได้สรุปว่า ผลผลิตทางการเกษตรในประเทศไทยโดยทั่วไปไม่ได้รับผลกระทบที่รุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ยกเว้นมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตาม ความแปรปรวนของสภาพอากาศในอนาคตส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรมีความแปรปรวนไปด้วย (Isvilanonda, Pranitwattakul, & Kumwong, 2009) พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรที่ปลูกข้าวชาวดอกมะลิในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ เมื่อนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงผลผลิตต่อไร่มาคำนวณหาปริมาณการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิต พบว่า ผลผลิตข้าวชาวดอกมะลิจะเพิ่มขึ้นโดยรวม 1.4 ล้านตัน สำหรับเกษตรกรในภาคกลางที่ปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 จะมีผลผลิตข้าวลดลง โดยมีปริมาณผลผลิตโดยรวมเปลี่ยนแปลงลดลง 0.2 ล้านตัน

การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยวิธีการทางเศรษฐมิติมีการศึกษาโดย Sinnarong (2013a) โดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวของประเทศไทย 73 จังหวัด ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1989-2009 พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูกาลเพาะปลูกส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวในทุกภาค การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนส่งผลต่อการผลิตข้าวในปีในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่มีผลในเชิงลบต่อการผลิตข้าวในภาคกลางและภาคใต้ และทำนายการผลิตข้าวในอนาคตโดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ ในปี ค.ศ. 2030 ถึง ปี ค.ศ. 2090 พบว่า ผลผลิตข้าวเฉลี่ยของไทยมีแนวโน้มลดลง 5-33% และมีความแปรปรวนของผลผลิตเพิ่มขึ้น 3-15% โดยที่การผลิตข้าวในภาคเหนือและภาคกลางของไทย

ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพการผลิตสูงของประเทศจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากที่สุด นอกจากนี้แล้ว Sinnarong (2013b) ศึกษาผลของการปรับตัวของเกษตรกรในภาคเหนือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยใช้ข้อมูลการผลิตข้าวและสภาพอากาศระดับจังหวัด 17 จังหวัด ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1989-2012 ด้วยการจำลองการเปลี่ยนแปลงปฏิทินการเพาะปลูกข้าวล่าช้าออกไป 1-3 เดือน พบว่า การปรับตัวโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาการเพาะปลูกจะช่วยลดผลกระทบเชิงลบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในฤดูกาลเพาะปลูกต่อผลผลิตข้าวเฉลี่ยและความแปรปรวนของการผลิตได้

การกำหนดแบบจำลองเชิงทฤษฎี (Theoretical Model) สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการผลิตทางการเกษตรสามารถใช้ฟังก์ชันการผลิตโดยให้ y คือ ผลผลิตทางการเกษตร ขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิต x ภายใต้สถานะความเสี่ยง (Risk) จากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศ ตามแนวคิดฟังก์ชันการผลิตของ Just and Pope (1979) กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตเชิงเส้นสุ่ม (Stochastic Production Function, SPF) หรือ $y = f(x, v)$ เมื่อ x เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตทั่วไป เช่น ที่ดิน ทุน แรงงาน และ v เป็นเวกเตอร์ของปัจจัยการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศในพื้นที่เพาะปลูก ทั้งนี้ เพื่อวิเคราะห์ผลของปัจจัยเชิงสุ่มต่อความไม่แน่นอนในการผลิต เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเข้มของแสงในฤดูกาลเพาะปลูก สามารถประยุกต์แนวคิดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต (Moment-Based Specification of the SPF) ตามแบบของ Antle (1983) ซึ่งพัฒนาเพิ่มเติมจากฟังก์ชันการผลิตของ Just และ Pope

(1979) เนื่องจากการผลิตภายใต้ความไม่แน่นอน การกระจายความน่าจะเป็นของผลผลิตจะมีลักษณะตามโมเมนต์ของข้อมูลผลผลิต โดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ยเป็นการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่หนึ่ง (First Moment) ของข้อมูล การวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่สูงขึ้น เช่น การวิเคราะห์ฟังก์ชันความแปรปรวนของผลผลิต เป็นการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่สอง (Second Moment) ฟังก์ชันความเบ้ของผลผลิต เป็นการวิเคราะห์ในโมเมนต์ที่สาม (Third Moment) โดยที่การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการผลิตเฉลี่ย (Mean Model) ภายใต้ภาวะความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ตามแนวคิดของ Saha, Havenner และ Talpaz (1997) และ Cabas et al. (2010) ฟังก์ชันการผลิตสามารถแยกการวิเคราะห์ได้สองส่วน คือ ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ย และปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนของผลผลิต คือ $y_{it} = f(x_{itk}, \beta_{ik}) + u_{it}$ เมื่อ y_{it} คือ ผลผลิตเฉลี่ย x_{itk} คือ ตัวแปรอธิบาย β_{ik} คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยที่ต้องประมาณค่า และ u_{it} คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่มีความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedastic Disturbance Term) ดัชนี i t และ k แสดงพื้นที่ ช่วงเวลา และจำนวนตัวแปรอธิบาย ตามลำดับ ซึ่งสามารถกำหนดแบบจำลองเชิงประจักษ์ โดยที่ผลผลิตอาจขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนในฤดูกาลเพาะปลูก ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน เพื่อวัดอิทธิพลของความผิดปกติของสภาพอากาศ และตัวแปรแนวโน้มเวลา ซึ่งเป็นตัวแทนของการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร เช่น การพัฒนาสายพันธุ์ การปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตและการจัดการฟาร์ม ในช่วงเวลาที่ศึกษา สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองความแปรปรวนของผลผลิต (Variance

Model) เพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของผลผลิต สามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการผลผลิตเฉลี่ยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) เป็นตัวประมาณค่าของความแปรปรวน (u_{it}) ตามแนวคิดของ Shankar, Bennett, และ Morse (2007) และประมาณค่าฟังก์ชัน u_{it}^2 กับตัวแปรอธิบายลักษณะเดียวกับสมการผลผลิตเฉลี่ย คือ $E(u_{it}^2) = f(x_{itk}, b_{ik})$ จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนจะถูกยกกำลังสองตามความหมายของค่าความแปรปรวน สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโอกาสความสูญเสียของผลผลิตเนื่องจากสภาพอากาศ (Skewness Model) เป็นการประมาณค่าฟังก์ชันความเบ้ของผลผลิต เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสความสูญเสียของผลผลิต สามารถใช้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสมการผลผลิตเฉลี่ย ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) เป็นตัวประมาณค่าของ u_{it}^2 โดยกำหนดให้ฟังก์ชันความเบ้ คือ $E(u_{it}^2) = f(x_{itk}, \beta_{ik})$ โดยหากความเบ้ของผลผลิตเพิ่มขึ้น หมายถึง การกระจายของผลผลิตจะมีความไม่สมมาตร (Asymmetry) มากขึ้น จะเป็นการเพิ่มความเบ้ของผลผลิตไปในทิศทางที่ต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ย (Downside Risk Exposure) เช่น เพิ่มโอกาสของความสูญเสียของผลผลิตในพื้นที่ ตามแนวคิดของ Di Falco และ Chavas (2009) และ Antle (2010) ทั้งนี้สามารถกำหนดแบบจำลองเชิงโมเมนต์ของฟังก์ชันการผลิต $y(x, v)$ ได้ตามสมการที่ (1)

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

โดยที่ $f_1(x, \beta_1) \equiv E[y(x, v)]$ คือ ฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ย $u \equiv y(x, v) - f_1(x, \beta_1)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ฟังก์ชันเชิงโมเมนต์ที่สองและโมเมนต์ที่สูงขึ้นของ $y(x, v)$

กำหนดได้ตามสมการที่ (2)

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

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

สำหรับวิธีการทางเศรษฐมิติในการประมาณค่าฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ยและฟังก์ชันในระดับโมเมนต์ที่สูงขึ้น โดยคำนึงถึงความแตกต่างเชิงพื้นที่และเวลา คือ วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยสำหรับข้อมูลแบบผสม (Panel data model) ตามแบบจำลองเชิงทฤษฎี ในสมการที่ (3)

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

โดยที่ y_{it} คือ ผลผลิตทางการเกษตร ในพื้นที่ที่ i

ณ ช่วงเวลา t

x_{itk} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรอธิบาย ในพื้นที่

ที่ i ณ ช่วงเวลา t จำนวน k ตัวแปร

$f_1(x_{itk}, \beta_k)$ คือ ฟังก์ชันผลผลิตเฉลี่ย

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

จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ย คือ ฟังก์ชัน $f_1(x, \beta_1)$ และปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนของผลผลิตตามฟังก์ชัน $f_2(x, \beta_2)$ ทั้งนี้ จากสมการที่ (2) โมเมนต์ที่สามของการผลิตหรือฟังก์ชัน $f_3(x, \beta_3)$ สามารถกำหนดได้ตามสมการที่ (4)

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

โดยที่ e_{it} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม

การประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองผลผลิตเฉลี่ยสามารถใช้วิธีภาวะควรจะเป็นสูงสุด

(Maximum Likelihood Estimation, MLE) หรือใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไปที่เป็นไปได้ (Feasible Generalized Least Squares, FGLS) ภายใต้ภาวะความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่นิยมใช้วิธี FGLS ในกรณีที่มิกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (Judge, Griffiths, Hill, Lütkepohl, & Lee, 1985) แต่สำหรับในกรณีที่ใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กวิธี MLE จะมีประสิทธิภาพและไม่เอนเอียงดีกว่าวิธี FLGS (Saha et al., 1997) สำหรับแบบจำลองความแปรปรวนของผลผลิตและแบบจำลองความเบ้ของผลผลิตสามารถประยุกต์ใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (OLS) ได้ตามการศึกษาของ Shankar et al. (2007) ที่กำหนดให้ตัวแปรตาม คือ ความแปรปรวนของผลผลิต คือ ค่า u_{it} จากฟังก์ชันการผลิตเฉลี่ยยกกำลังสอง หรือ u_{it}^2 และการศึกษาของ Jones (2011) ที่กำหนดให้ความเบ้ของผลผลิต คือ ค่า u_{it} จากฟังก์ชันการผลิตเฉลี่ยยกกำลังสาม หรือ u_{it}^3 และทำการถดถอยตัวแปรตามกับตัวแปรอธิบายเช่นเดียวกับฟังก์ชันการผลิตเฉลี่ย วิธีดังกล่าวนี้ นอกจากสามารถแก้ไขปัญหาความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่แล้ว ยังช่วยให้การประมาณค่าสมการถดถอยมีประสิทธิภาพและกระบวนการอ้างอิงทางสถิติมีระดับความเชื่อมั่นสูงด้วย การกำหนดแบบจำลองและวิธีการวิเคราะห์ตามสมการที่ (1) ถึง (4) จะทำให้ทราบอิทธิพลของตัวแปรอธิบายที่มีผลต่อผลผลิตเฉลี่ย ความแปรปรวนของผลผลิต ความเบ้ของผลผลิต โดยเฉพาะตัวแปรสภาพอากาศ เช่น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการลดลงของปริมาณน้ำฝน มักจะส่งผลในเชิงลบต่อผลผลิตเฉลี่ยทางการเกษตรและทำให้ความแปรปรวนและความเบ้ของผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การหารูปแบบการปรับตัวที่เหมาะสมเพื่อรองรับกับสภาพอากาศที่

เปลี่ยนแปลง เช่น การพัฒนาพันธุ์พืชที่ทนต่อความแห้งแล้งมากขึ้น การพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร และสร้างระบบชลประทาน เป็นต้น ทั้งนี้ หลังจากการวิเคราะห์ผลกระทบแล้ว จะสามารถเชื่อมโยงระหว่างผลกระทบเข้ากับความเสี่ยงและการปรับตัวภายใต้บริบทการพัฒนาการเกษตรในอนาคต ว่าจะสามารถดำเนินการพัฒนาไปสู่เป้าหมายที่ตั้งไว้ได้หรือไม่ ซึ่งถ้าหากการพัฒนาสามารถดำเนินต่อไปได้ภายใต้สถานการณ์ภูมิอากาศนั้น ก็แสดงว่าภาคเกษตรไม่มีความเปราะบาง (Vulnerable) หรือมีความสามารถรองรับ (Coping Capacity) ที่เพียงพอ และในทางตรงกันข้ามหากการพัฒนานั้น ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ ชุมชนหรือภาคส่วนควรจะมีมาตรการเพิ่มเติมเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

นโยบายสาธารณะด้านการเกษตรกับการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

รายงานประเมินสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกฉบับที่ 5 (AR5) ของ IPCC (2014) ระบุว่า การปรับตัวเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลง

ที่ต้องเริ่มต้นจากการตระหนักรู้ (Awareness) โดยเฉพาะความตระหนักรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหลักทางสภาพอากาศ คือ อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน ซึ่งมีแนวโน้มแปรปรวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ให้เกษตรกรตระหนักว่าสภาพอากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตทางการเกษตรที่จะส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของผลผลิต ซึ่งจะกระทบไปถึงรายได้ครัวเรือน คุณภาพชีวิต และความมั่นคงทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ระดับบุคคล ครัวเรือน ชุมชน จังหวัด ภาค จนถึงระดับประเทศ เพื่อกำหนดกลยุทธ์และแผนการดำเนินงาน ที่ต้องอาศัยพลังร่วมตั้งแต่ระดับนานาชาติ ซึ่งตัวจักรสำคัญในการวางแผนและดำเนินการคือรัฐบาล ที่ต้องกำหนดกรอบนโยบาย กฎหมายที่เกี่ยวข้อง การดำเนินกิจกรรมเพื่อลดผลกระทบให้กลุ่มเสี่ยง และสนับสนุนงบประมาณ แก่องค์กรภาครัฐทุกระดับในการขับเคลื่อน โดยเฉพาะระดับท้องถิ่น ทั้งนี้ ข้อมูลสภาพอากาศจะเป็นจุดศูนย์กลางของการวิเคราะห์ผลกระทบและความเปราะบางของพื้นที่ การวางแผนระดับท้องถิ่น การจัดลำดับความสำคัญในการรองรับและการปรับตัวของชุมชน การปรับตัวในเชิงปฏิบัติและการสนับสนุนเชิงนโยบาย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 บทบาทของข้อมูลสภาพอากาศต่อการวิเคราะห์ผลกระทบและการปรับตัวในภาคเกษตร

ที่มา: Selvaraju, Gommès, & Bernadi (2011, p. 104)

การวิเคราะห์ความเปราะบางเกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศต่อระบบเกษตร บนพื้นฐานของลักษณะทางชีวกายภาพและเศรษฐกิจสังคมของพื้นที่ และทางเลือกการปรับตัวที่มีอยู่ อย่างไรก็ตาม ระบบการผลิตทางการเกษตรมีลักษณะเชิงพลวัตในตัวเอง การออกแบบการปรับตัวเฉพาะพื้นที่ที่ก้าวกั้นการเปลี่ยนแปลงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าข้อมูลสภาพอากาศเป็นศูนย์กลางของการปรับตัว ซึ่งเริ่มตั้งแต่การวิเคราะห์ผลกระทบ (Assessment) ความเสี่ยงและความเปราะบางของการผลิตทางการเกษตรทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยสามารถประยุกต์ใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการประเมินผลกระทบเชิงประจักษ์ได้ เพื่อใช้ประกอบการวางแผน (Planning) การปรับตัวและเตรียมการในระดับพื้นที่ การจัดลำดับความสำคัญ (Prioritization) ตามศักยภาพในการรองรับและ

การปรับตัวเชิงปฏิบัติของพื้นที่ ไปจนถึงขั้นการลงมือดำเนินการ (Implementation) ปรับตัวและการสาธิตในพื้นที่ โดยอาศัยการบูรณาการ (Integration) ในการติดตามประเมินผลนโยบายและการส่งเสริมที่ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถใช้การวิเคราะห์ต้นทุนประสิทธิผล (Cost-Effective Analysis) ได้ เนื่องจากเป็นวิธีการประเมินผลนโยบายสาธารณะวิธีหนึ่งที่คำนึงถึงต้นทุนและความคุ้มค่าของนโยบายที่ให้ประโยชน์ต่อสังคม (Kerdreuang, 2015)

การปรับตัวที่มีประสิทธิผลขึ้นอยู่กับนโยบายและมาตรการตั้งแต่ระดับนานาชาติ ภูมิภาค ระดับชาติ ระดับภาค จนถึงระดับท้องถิ่น ที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีและการสนับสนุนทางการเงินในการดำเนินการ และการส่งเสริมการปรับตัวที่ประสบผลสำเร็จ โดย IPCC (2014) ได้ให้ความสำคัญของความร่วมมือของนานาชาติ โดยเฉพาะการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การกำหนดนโยบายระดับชาติและระดับภาค

เนื่องจากประสบการณ์ในการปรับตัวจะแตกต่างกันไปตามลักษณะทางกายภาพของแต่ละพื้นที่ นโยบายของรัฐบาลมีความสำคัญต่อการวางแผนและการดำเนินการปรับตัวและลดผลกระทบ เช่น แผนการปรับตัวแห่งชาติ (National Adaptation plan) ซึ่งรัฐบาลต้องวางกรอบการดำเนินการเพื่อการปกป้อง

กลุ่มการผลิตที่มีความเสี่ยง ด้วยการสนับสนุนข้อมูลข่าวสาร กำหนดนโยบายและข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการสนับสนุนทางการเงิน ดังเช่นตัวอย่างเครื่องมือเชิงนโยบายสำหรับภาคการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ที่ดิน ดังแสดงในตาราง ดังนี้

ตาราง แสดงเครื่องมือเชิงนโยบายเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

เครื่องมือ	มาตรการ	ตัวอย่างกิจกรรมการลดก๊าซเรือนกระจกและลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
1) เครื่องมือทางเศรษฐกิจ เช่น ภาษีคาร์บอน (Economic Instruments – Taxes (carbon taxes) และการอุดหนุน (Subsidies)	<ul style="list-style-type: none"> - การเก็บภาษีปุ๋ยและไนโตรเจน เพื่อลดไนโตรเจนออกไซด์ - การให้สินเชื่อพิเศษสำหรับเกษตรกรคาร์บอนต่ำ และป่าไม้ยั่งยืน 	<ul style="list-style-type: none"> - การลดการใช้ปุ๋ยเคมี และเพิ่มการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การปรับปรุงดินด้วยวิธีธรรมชาติ - ระบบเกษตรธรรมชาติ เกษตรอินทรีย์ - ระบบวนเกษตร
2) เครื่องมือทางการตลาด (Tradable Allowances)	การให้เครดิตการปล่อยก๊าซ ผ่านกลไกการพัฒนาที่สะอาด และตลาดคาร์บอนแบบสมัครใจ	<ul style="list-style-type: none"> - การขายการสะสมคาร์บอนในภาคเกษตรและป่าไม้ให้กับภาคอุตสาหกรรม
3) การใช้กฎระเบียบ (Regulatory Approaches)	<ul style="list-style-type: none"> - นโยบายระดับชาติเพื่อส่งเสริมการลดการตัดไม้ทำลายป่าและความเสื่อมโทรมของป่า - กฎหมายห้ามตัดไม้ทำลายป่า - การควบคุมมลพิษทางน้ำและอากาศ - การวางแผนและควบคุมการใช้ที่ดิน 	<ul style="list-style-type: none"> - การกำหนดเขตและช่วงเวลาห้ามเผา - จัดระเบียบที่ดินทำกินโดยชุมชน เช่น ระบบโฉนดชุมชน - ระเบียบชุมชน
4) การพัฒนาข้อมูลข่าวสาร (Information Programs)	<ul style="list-style-type: none"> - นโยบายข้อมูลข่าวสาร - การลดการตัดไม้ทำลายป่าและความเสื่อมโทรมของป่า - การให้การรับรองการรักษาป่าไม้อย่างยั่งยืน 	<ul style="list-style-type: none"> - พัฒนาระบบข้อมูลอุตุนิยมวิทยาการเกษตร - การประชาสัมพันธ์ ปลูกฝังค่านิยมนักอนุรักษ์ - ตราผลิตภัณฑ์รักษาป่า
5) การจัดสินค้าและบริการสาธารณะภาครัฐ (Government Provision of Public Goods or Services)	<ul style="list-style-type: none"> - การป้องกันและรักษาป่าไม้ของประเทศ ภูมิภาคและป่าชุมชน - การลงทุนและเผยแพร่เทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ทางการเกษตรและป่าไม้ 	<ul style="list-style-type: none"> - อุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า - เพิ่มพื้นที่ป่าชุมชน ด้วยการจัดพื้นที่เกษตรแลกพื้นที่ป่า - เกษตรประหยัดพลังงาน
6) กิจกรรมตามความสมัครใจ (Voluntary Actions)	<ul style="list-style-type: none"> - การส่งเสริมความยั่งยืนด้วยการพัฒนามาตรฐานและการให้การศึกษา 	<ul style="list-style-type: none"> - มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ - หลักสูตรเกษตรอินทรีย์

ที่มา: ปรับปรุงจาก IPCC, 2014, p. 108

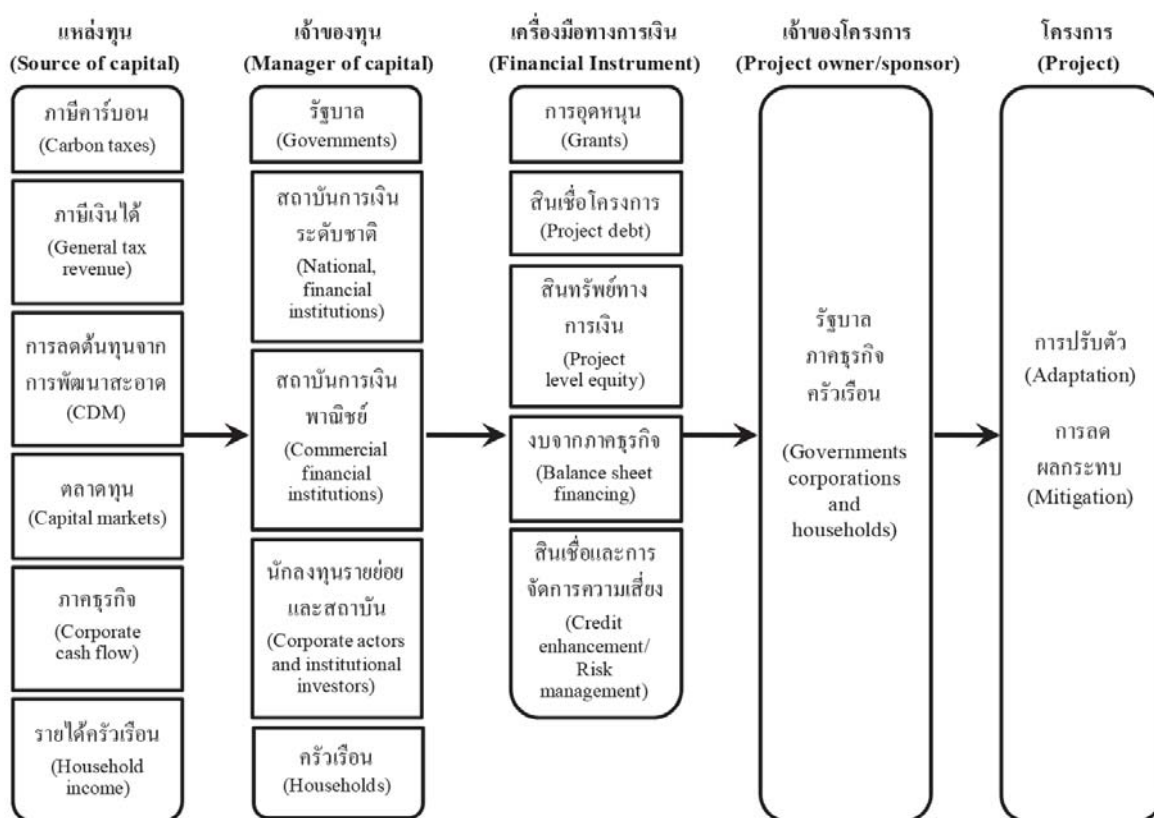
จะเห็นได้ว่าเครื่องมือเชิงนโยบายเกษตรมี 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การบังคับด้วยกฎระเบียบและการสร้างแรงจูงใจให้ปฏิบัติด้วยความสมัครใจ โดยมีเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังเช่นตัวอย่างเครื่องมือสำคัญ ๆ ทั้ง 6 เครื่องมือ คือ 1) เครื่องมือทางเศรษฐกิจที่ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากการเพิ่มภาษีทำให้ราคาปุ๋ยเคมีสูงขึ้น เกษตรกรจึงต้องปรับตัวด้วยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนและใช้การปรับปรุงดินด้วยวิธีธรรมชาติมากขึ้น เช่น การปลูกพืชหมุนเวียน การทำปุ๋ยพืชสด การปลูกหญ้าแฝก เป็นต้น การให้สินเชื่อพิเศษสำหรับเกษตรกรที่ต้องการทำเกษตรธรรมชาติ เกษตรอินทรีย์ และวนเกษตร เนื่องจากเป็นระบบเกษตรทางเลือกที่อาจให้ผลตอบแทนช้ากว่าเกษตรเชิงพาณิชย์ การให้สินเชื่อจึงต้องมีลักษณะพิเศษที่ผ่อนปรนกว่าปกติ 2) เครื่องมือทางการตลาดด้วยการซื้อขายคาร์บอนระหว่างภาคเศรษฐกิจ เช่น เกษตรกรเจ้าของสวนป่าหรือสวนไม้ยืนต้นสามารถขายคาร์บอนจากการสะสม (Carbon Sequestration) ในพื้นที่ตนเองให้กับโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทดแทนกับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศของโรงงานได้ 3) การใช้กฎระเบียบผ่านการบังคับใช้กฎหมายตั้งแต่ระดับชาติจนถึงระเบียบชุมชน ซึ่งการใช้กฎหมายจำเป็นต้องอาศัยกลไกการควบคุมของรัฐอย่างเคร่งครัด เช่น กฎหมายห้ามตัดไม้ทำลายป่า การกำหนดเขตและช่วงเวลาห้ามเผาป่าและเศษวัสดุการเกษตรในจังหวัดทางภาคเหนือ ในขณะที่มาตรการระดับชุมชนต้องอาศัยการมีส่วนร่วมของคนในชุมชน โดยภาครัฐเป็นพี่เลี้ยงอำนวยความสะดวกในการขับเคลื่อน เช่น การให้อำนาจชุมชนร่วมกันออกโฉนดชุมชนเพื่อจัดสรรที่ดินทำกินให้เกษตรกรโดยกันเขตพื้นที่ป่าไว้เป็นป่าชุมชน และชุมชนจะร่วมกันออก

ระเบียบชุมชนผ่านเวทีประชาคมเพื่อวางมาตรการในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 4) การพัฒนาข้อมูลข่าวสารด้านอุดมศึกษาเพื่อเกษตรกร ด้วยการเพิ่มช่องทางการรับรู้ข่าวสารที่หลากหลายทั่วถึง ระบบการเตือนภัยจากสภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพ เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง รวมไปถึงการพัฒนาเครื่องมือป้องกันความเสี่ยงจากสภาพอากาศ เช่น การประกันภัยพืชผลจากสภาพอากาศ การประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างจิตสำนึกและปลูกฝังค่านิยมการอนุรักษ์ การให้การรับรองและส่งเสริมการรักษาป่าไม้อย่างยั่งยืน เช่น มาตรฐานการใช้เฟอร์นิเจอร์ไม้ที่มีตรารับรองว่าใช้ไม้จากสวนป่าที่ถูกต้องตามกฎหมาย การใช้กระดาษหรือบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นต้น 5) การจัดสินค้าและบริการสาธารณะ ผ่านทางกลไกการบริหารจัดการและปกป้องเขตอุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า การเพิ่มพื้นที่ป่าชุมชนด้วยการจัดสรรพื้นที่การเกษตรแลกกับพื้นที่ป่าที่เกษตรกรจับจองเป็นที่ทำกิน เช่น กิจกรรมนาแลกป่า โดยภาครัฐรับแต่งพื้นที่บริเวณไหล่เขาที่มีความชันไม่มากเป็นพื้นที่ทำนาให้เกษตรกรเพื่อแลกกับพื้นที่ป่าในที่สูงที่เกษตรกรจับจองไว้ การสนับสนุนระบบเกษตรประหยัดพลังงาน เช่น การพัฒนาพันธุ์พืชและรณรงค์การปลูกพืชที่ต้องการใช้น้ำน้อยแทนการทำนาปรัง การสนับสนุนระบบหมอดินเพื่อการปรับปรุงดินและอนุรักษ์น้ำด้วยวิธีธรรมชาติ การส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากสิ่งเหลือใช้ในฟาร์ม และ 6) กิจกรรมตามความสมัครใจด้วยการส่งเสริมระบบมาตรฐานการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การรับรองมาตรฐานเกษตรปลอดสารพิษ เกษตรอินทรีย์ เนื่องจากการเป็นเกษตรกรที่ปลอดภัยทั้งตัวเกษตรกรผู้ผลิตเอง ไปจนถึงผู้บริโภคในตลาด ถึงแม้ว่าราคาสินค้าที่ได้รับมาตรฐานจะสูง

กว่าสินค้าทั่วไป แต่มาตรฐานความปลอดภัยและเหตุผลด้านสุขภาพจะเป็นแรงจูงใจต่อรูปแบบการผลิตและการตลาดของสินค้าด้วยตัวมันเอง นอกจากนี้ การให้การศึกษานับเป็นมาตรการที่ช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างยั่งยืน ทั้งการศึกษาในระบบและนอกระบบ สถาบันการศึกษาทางด้านการเกษตรเริ่มให้ความสนใจจัดการศึกษา วิจัย และบริการวิชาการทางด้านการเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทั้งหลักสูตร

การเรียนการสอน การวิจัยและพัฒนา และการฝึกอบรมเกษตรกร รวมไปถึงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ผ่านการสาธิต การศึกษาดูงาน ในพื้นที่จริงของหน่วยงานภาครัฐด้านการเกษตรและเกษตรกรตัวอย่างทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ

นอกจากนี้ การปรับตัวต้องอาศัยการลงทุนและเครื่องมือทางการเงิน เนื่องจากการลดก๊าซเรือนกระจกต้องอาศัยการลงทุนที่สูง ซึ่งแสดงเส้นทางการไหลเวียนทางการเงินสำหรับการปรับตัวได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การไหลเวียนทางการเงินสำหรับการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ที่มา: IPCC, 2014, p. 111

กิจกรรมหรือโครงการสำหรับการปรับตัวและการลดผลกระทบ มีแหล่งที่มาของเงินทุนในการดำเนินการจากหลายส่วน เช่น ภาษีคาร์บอน ภาษีเงินได้ของภาครัฐ ตลาดทุน ภาคธุรกิจ และภาคครัวเรือน โดยการบริหารจัดการเงินทุนมีทั้งระดับรัฐบาล สถาบันการเงินระดับชาติ สถาบันการเงินพาณิชย์ นักลงทุนรายย่อยและสถาบันในตลาดทุน ไปจนถึงระดับครัวเรือน อาศัยเครื่องมือทางการเงินที่สำคัญ ได้แก่ การอุดหนุน การให้กู้ยืม สินทรัพย์ทางการเงิน เช่น การขายพันธบัตรของโครงการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การให้สินเชื่อและการจัดการความเสี่ยง โดยแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์จะให้ความสนใจกับการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทนเพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดในการปรับตัว รวมถึงการพัฒนาการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวทางผลิตภาพสีเขียว (Green Productivity) เน้นพึ่งพาอาศัยกันของระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม (Chareonkitjarukorn, 2013) ยึดหลักการสำคัญคือ คงความสามารถในการทำกำไรด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิต และพัฒนาคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของเกษตรกรให้เอื้อต่อการปรับตัวพร้อมรับการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในอนาคต

สรุปและข้อเสนอแนะ

สภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเกษตร ที่ส่งผลต่อการผลิตและความมั่นคงทางอาหาร โดยเฉพาะการเกษตรที่ต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียงมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ย ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส ในช่วงกลางศตวรรษที่ 21 เป็นต้นไป รูปแบบของฝนจะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น รวมถึง

การเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติของสภาพอากาศและภัยธรรมชาติที่จะมีความถี่และความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ภาคการเกษตรจึงนับเป็นภาคเศรษฐกิจที่มีความเปราะบางและเสี่ยงจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการปรับตัวทั้งในระบบธรรมชาติและระบบของมนุษย์ ซึ่งจะช่วยลดความเปราะบางและเพิ่มภูมิคุ้มกันให้สังคมทั้งในระดับบุคคล ครัวเรือน ชุมชน ธุรกิจ และรัฐบาล โดยการปรับตัวที่ “ตอบสนอง” ต่อผลกระทบที่เป็นที่ประจักษ์แล้ว ร่วมกับมาตรการ “เชิงรุก” และการสร้างขีดความสามารถในการปรับตัว (Capacity Building) เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต สำหรับเครื่องมือการวิเคราะห์ผลกระทบและการปรับตัวสำหรับภาคการเกษตร สามารถประเมินผลกระทบของสภาพภูมิอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิต โดยวิธีการทางเศรษฐมิติ โดยใช้ข้อมูลจากการสังเกตจริงมาวิเคราะห์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของผลผลิตและปัจจัยการผลิตในอดีต โดยกำหนดให้สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยการผลิตร่วมกับปัจจัยการผลิตปกติและนำผลที่ได้ไปทำนายการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตในอนาคตเมื่อสภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงและเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สามารถใช้ประกอบการวางแผนและดำเนินนโยบายเกษตรสมัยใหม่ที่ก้าวทันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับสภาพอากาศเพื่อการเกษตร ด้วยการพัฒนาเครื่องมือการทำนายการจัดการข้อมูล และการวิเคราะห์ผลกระทบนับเป็นสิ่งสำคัญในปัจจุบัน และการเผยแพร่ความรู้ด้านอุตุนิยมวิทยาการเกษตรแก่เกษตรกรในทุกพื้นที่เพื่อสร้างการรับรู้และตระหนักถึงความเสี่ยงของอากาศและเตรียมการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบทั้งในระดับนโยบายและระดับปฏิบัติในฟาร์ม นโยบาย

การเกษตรจึงต้องสนใจข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่ การรวบรวมข้อมูลอากาศเชิงพื้นที่ให้ครอบคลุม การ จัดระบบและวิเคราะห์ข้อมูล การพัฒนาระบบการ เตือนภัยและการคาดการณ์ที่แม่นยำ และพัฒนา ช่องทางการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ การวิจัยและ พัฒนาพันธุ์พืชที่ทนทานสภาพอากาศ ระบบ ชลประทานที่มีประสิทธิภาพ การพัฒนาและทดลอง เครื่องมือนวัตกรรมกระจายความเสี่ยงสำหรับภาค เกษตร เช่น การประกันภัยตามดัชนีอากาศ การ พัฒนาการมีส่วนร่วมและเรียนรู้ร่วมกันของเกษตรกร ด้วยการถ่ายทอดประสบการณ์สู่เวทีแลกเปลี่ยน เรียนรู้ของชุมชน รวมถึงการสร้างและพัฒนา เครือข่ายเกษตรอัจฉริยะด้านสภาพอากาศ (Climate-Smart Agriculture) ด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการ ผลิตและรายได้ภาคเกษตรอย่างยั่งยืน การปรับตัว และการพัฒนาศักยภาพรองรับการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากภาคเกษตร เพื่อนำไปสู่เป้าหมายการพัฒนา เกษตรที่ยั่งยืนสำหรับการรักษาความมั่นคงทางอาหาร ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใน อนาคต

บรรณานุกรม

- 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.
- Asian Development Bank. (2009). *Economics of climate change in Southeast Asia: A regional review*. Manila, Philippines: Author.
- Buddhaboon, C., Kongton, S., & Jintrawet, A. (2005). Climate scenario verification and impact on rain-fed rice production: The study of future climate changes 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(3-4), 559-616.
- Chareonkitjarukorn, P. (2013). Green productivity and sustainability reporting guidelines. *University of the Thai Chamber of Commerce Journal*, 33(1), 189-214. (in Thai).
- Chen, C.C., McCarl, B.A., & Schimmelpfennig, D.E. (2004). Yield variability as influenced by climate: A statistical investigation. *Climatic Change*, 66(1-2), 239-261.
- Chithaisong, A. (2010). *Thailand climate change information: Vol. 2*. Bangkok, Thailand: Thailand Research Fund. (in Thai).
- Demeke, A.B., Keil, A., & Zeller, M. (2011). Using panel data to estimate the effect of rainfall shocks on smallholders food security and vulnerability in rural Ethiopia. *Climatic Change*, 108(1-2), 185-206.

- 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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate change 2007: Synthesis report*. Geneva, Switzerland: Author.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report*. Geneva, Switzerland: Author.
- Isik, M., & Devadoss, S. (2006). An analysis of the impact of climate change on crop yields and yield variability. *Applied Economics*, 38(7), 835-844.
- Isvilanonda, S., Pranitwattakul, S., & Kumwong, C. (2009). *Economic impact assessment of climate change on rice production in Thailand*. Bangkok, Thailand: Thailand Research Fund. (in Thai).
- Jones, A.D. (2011). *An analysis of stochastic maize production functions in Kenya* (Unpublished master's thesis). University of Arkansas.
- Judge, G.G., Griffiths, W.E., Hill, R.C., Lütkepohl, H., & Lee, T.-C. (1985). *The theory and practice of econometrics*. (2nd ed.). New York, NY: Wiley.
- Just, R.E., & Pope, R.D. (1979). Production function estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics*, 61(2), 276-284.
- Keeranant, T. (1981). Applied regression analysis for empirical research. Retrieved May 25, 2016, from <http://www.econ.chula.ac.th/public/publication/dp/1981/dp2407.pdf> (in Thai).
- Kerdreuang, A. (2015). Cost-effectiveness analysis for public policy evaluation. *University of the Thai Chamber of Commerce Journal*, 35(2), 174-184. (in Thai).
- Kongthon, S., Sornrawat, W., & Rattanasriwong, S. (2004). Impacts of global warming on rice, sugarcane, cassava, and maize production in Northeast Thailand: A study of Khonkan Province. Retrieved June 10, 2016, from http://www.seaclimatechange.org/Content/Document/Paper_T/SEA%20START%20RC_Doc_001T_2004.pdf (in Thai).
- Lasco, R.D., Habito, C.M.D., Delfino, R.J.P., Pulhin, F.B., & Concepcion, R.N. (2011). *Climate change adaptation for smallholder farmers in Southeast Asia*. Manila, Philippines: World Agroforestry Centre.
- 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.
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2010). *National master plan on climate change 2010-2019*. Bangkok, Thailand: Author. (in Thai).
- Pannangpetch, K., Sarawat, V., Boonpradub, S., Rattanasriwong, S., Kongton, S., Nilpunt, S., ... Damrikhemtrakul, W. (2009). *Impacts of global warming on rice, sugarcane, cassava, and maize production in Thailand*. Bangkok, Thailand: Thailand Research Fund. (in Thai).
- Saha, A., Havenner, A., & Talpaz, H. (1997). Stochastic production function estimation: Small sample properties of MLE Versus FGLS. *Applied Economics* 29: 459-469.
- Selvaraju, R., Gommès, R., & Bernardi, M. (2011). Climate science in support of sustainable agriculture and food security. *Climate Research*, 47(1-2), 95-110.
- 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. (2013a). *Essays on the impact of climate change in agricultural production* (Unpublished doctoral dissertation). National Chung Hsing University, Taiwan.
- Sinnarong, N. (2013b). The potential impacts of weather on rice production and evaluation of agro-adaptation measure for Northern Thailand. *The Journal of Interdisciplinary Networks*. 2(2). 450-456.