

ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชไร่หลักสามชนิดของประเทศไทย

Impact of Global Warming on Three Major Field Crops Production of Thailand

สมชาย บุญประดับ (Somchai Boonpradub)^{1*}

สุกิจ รัตนศรีวงษ์ (Sukit Ratanasriwong)²

วินัย ศรีวัต (Vinai Sarawat)³

ปรีชา กาเพ็ชร (Precha Kapetch)⁴

แคทลียา เอกอุ้น (Kathaliya Ek - un)⁵

วิภารัตน์ คำริเข้มตระกูล (Wibharat Damrhihemtrakul)⁶

อิสระ พุทธสิมมา (Issara Buddhasimma)³

เกริก ปันหน่งเพ็ชร (Krirk Pannangpetch)⁷

บทคัดย่อ

อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด เป็นพืชอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์ รวมทั้งยังเป็นแหล่งของพลังงานเชื้อเพลิง ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตที่ได้ของแต่ละพืชค่อนข้างแปรปรวนในแต่ละพื้นที่ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของคุณสมบัติของดินและภูมิอากาศ เช่น ปริมาณฝน อุณหภูมิ และปริมาณ CO₂ จึงได้นำข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคตจากผลการประเมินโดยแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS มาใช้กับแบบจำลองพืช (DSSAT) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อจำลองผลผลิตพืชไร่ทั้ง 3 ชนิด ในทุกพื้นที่ปลูกของประเทศไทย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099 โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ปลูกจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลชุดดินตัวแทนของแต่ละกลุ่มชุดดิน และข้อมูลปริมาณ CO₂ ซึ่งคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 330 ppmv ในปี 1980 ถึง 833 ppmv ในปี 2099 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุ สถานที่ เวลา และระดับความรุนแรง ของผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชไร่ทั้ง 3 ชนิด ในประเทศไทย ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ผลผลิตโดยรวมจากช่วงปี 1980-1989 (ปีฐาน) ถึง ช่วงปี 2090-2099 ในมันสำปะหลังและข้าวโพดลดลงร้อยละ 43 และ 15 ตามลำดับ ส่วนในอ้อยเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 โดยมีความแปรปรวน (normalize SD) ของผลผลิตรายปี (temporal) และรายพื้นที่ (spatial) ในข้าวโพด ร้อยละ 41 และ 45 มันสำปะหลังร้อยละ 34 และ 33 และในอ้อยร้อยละ 18 และ 23 ตามลำดับ

¹นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ กลุ่มวิชาการ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 กรมวิชาการเกษตร

²นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรร้อยเอ็ด สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 กรมวิชาการเกษตร

³นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร

⁴นักวิชาการเกษตรชำนาญการ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร

⁵นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาฬสินธุ์ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร

⁶นักวิชาการเกษตรชำนาญการ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเลย สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร

⁷ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Corresponding author, e-mail: boonpradub@gmail.com

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนดังกล่าวในเบื้องต้น พบว่าอาจเกิดจากปฏิกริยาร่วมระหว่างปริมาณฝนและคุณสมบัติอื่นๆ ที่เกิดเฉพาะกับพื้นที่แต่ละแห่ง ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ในการแก้ปัญหาของผลผลิตพืชที่ลดลงนั้น อาจจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเป็นแต่ละกรณีไป ตามคุณสมบัติของดินหรือสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้นๆ จากการจำแนกพื้นที่ hotspots (พื้นที่ซึ่งผลผลิตต่ำกว่าร้อยละ 70 ของผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศ ของปีฐาน) ออกเป็น 3 ช่วงเวลา พบว่า มันสำปะหลังเป็นพืชที่ได้รับผลกระทบเป็นอย่างมากจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ โดยในช่วงปี 1980-1989 มีพื้นที่ hotspots 91,776 ไร่ (ร้อยละ 0.70) ช่วงปี 2030-2039 มีพื้นที่ 4,429,644 ไร่ (ร้อยละ 35) และในช่วงปี 2090-2099 เพิ่มขึ้นเป็น 10,064,926 ไร่ (ร้อยละ 79) พืชที่ได้รับผลกระทบรองลงมาคือข้าวโพด ซึ่งพบว่า hotspots ในช่วงปี 1980-89 มีพื้นที่ 1,091,959 ไร่ ในช่วงปี 2030-39 ลดลงเป็น 859,996 ไร่ แต่กลับเพิ่มขึ้นอีกในปี 2090-99 เป็น 1,292,906 ไร่ และอ้อยได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศน้อยที่สุด โดย hotspots ในช่วงปี 1980-1989 มีพื้นที่ 1,599,995 ไร่ (ร้อยละ 15) ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่พื้นที่เหล่านี้ได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง เหลือเพียง 155,446 ไร่ (ร้อยละ 1) ในช่วงปี 2030-2039 และ 82,636 ไร่ (ร้อยละ 0.01) ในช่วงปี 2090-2099

Abstract

Sugarcane, Cassava and Maize, crops for food feed and fuel, are important economic crops of Thailand. However, variation in yields are often occurred throughout the country because of the variation of soil properties and climate i.e. rainfall, temperature and the amount of CO₂. The objective of this study is to define where (spatial), when (temporal) and magnitude of the impact of global warming on the 3 major field crops production. GIS and a DSSAT model, coupled under the CropDSS 1.0 shell, are employed in this research to simulate yield throughout the country during 1980-2099. Map data of growing areas were obtained from land use map. Weather data set from ECHAM4 A2 GCM and downscaled by PRECIS regional climate model was managed and input into the model including genetic coefficients, soil data, the atmospheric CO₂ concentration which increase from 330 ppmv in 1980 to 833 ppmv in 2099, and management of crop production. Preliminary results have shown that simulated cassava and maize yield in 2090-99 will be decreased by 43% and 15% respectively from 1980-89 (base year) but increased by 6% in sugarcane. However, the yields are much fluctuate in both temporal and spatial of the future climate systems by 41% and 45% on maize, 34% and 33% on cassava and 18% and 23% on sugarcane due to change in climate and soil and their interactions between climate and soil properties at the given area throughout the country. The hotspots on the cassava production map during 3 periods have been defined and revealed that there were 91,776 rais (0.70 %) in base year, 4,429,644 rais (35 %) in 2030-39 and 10,064,926 rais (79 %) in 2090-99. These phenomena suggest that cassava yield will be much affected by the climate change. The hotspots for maize, there are 1,091,959 rais in base year, 859,996 rais in 2030-39 and 1,292,906 rais in 2090-99. For sugarcane, the yields are still low in the Northeast region in the base year (15%), however, its area are reduce to 1% and 0.1% in 2030-2039 and 2090-2099, respectively.

คำสำคัญ: อ้อย, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด, ภาวะโลกร้อน, ผลผลิต

Keywords: sugarcane, cassava, maize, global warming, yield

บทนำ

การศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชไร่เศรษฐกิจสำคัญของประเทศสามชนิดได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อทราบทิศทางและโอกาสการปรับตัวเพื่อรองรับสถานการณ์ อ้อยเป็นพืชเพื่อที่มีกระบวนการผลิตครบวงจร ตั้งแต่การปลูก แปรรูปและจำหน่าย พื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศอยู่ระหว่าง 5.5-6.6 ล้านไร่ ผลผลิตอ้อยของไทยแต่ละปีมีความแปรปรวนตั้งแต่ 34.7-74.1 ล้านตัน เป็นผลสืบเนื่องมาจากการได้ผลผลิตต่อพื้นที่ต่ำเฉลี่ยทั้งประเทศได้ประมาณ 9 ตันต่อไร่ เพราะพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในเขตอาศัยน้ำฝน การดูแลรักษาและการป้องกันกำจัดศัตรูอ้อยที่ถูกต้องและเหมาะสมมีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับภาวะกาลอากาศในแต่ละฤดูกาล ปริมาณน้ำตาลต่อตันอ้อยเฉลี่ยของทั้งประเทศประมาณ 102 กิโลกรัมต่อตันอ้อย ซึ่งเกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศช่วงก่อนเก็บเกี่ยว เช่น มีฝนตก น้ำท่วมขังอ้อย ทำให้เก็บเกี่ยวได้ช้า อุณหภูมิโดยเฉพาะช่วงกลางคืนสูงมากกว่า 20 องศาเซลเซียส รวมถึงวิธีการเก็บเกี่ยว ที่มีการเผาอ้อยก่อนตัด และขาดการจัดการเกี่ยวกับการขนส่งอ้อยเข้าโรงงาน ทำให้ล่าช้า (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2546)

สำหรับมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้เข้าประเทศจากการส่งออกถึงปีละกว่า 20,000 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2546 มีมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทั้งหมด 24,978 ล้านบาท มันสำปะหลังสามารถแปรรูปเป็นแป้ง มันเส้น และมันอัดเม็ด รวมทั้งใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องมากมาย ทั้งอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์ และพลังงานเชื้อเพลิง (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2546) พื้นที่ปลูกทั้งประเทศอยู่ระหว่าง 6.7-7.4 ล้านไร่ ปริมาณผลผลิตรวม 22.5-26.9 ล้านตัน (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2551) ประเทศไทยมีความพร้อมในการผลิตมันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์สูงคือ มีสภาพภูมิอากาศทรัพยากรธรรมชาติและบุคลากรที่เหมาะสมในทุกส่วนของกระบวนการผลิตมันสำปะหลัง ตั้งแต่การปลูกโดยเกษตรกร จนถึงการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของภาคเอกชนที่มีประสิทธิภาพ

เพิ่มขึ้นทุกปี ดังเช่นอุตสาหกรรมแป้ง ที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่อเนื่องทุกปีอย่างน้อยร้อยละ 10 ต่อปี และมีความต้องการหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ยังหันมาใช้มันเส้นสะอาดเป็นวัตถุดิบทำอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นทุกปีเช่นกัน ทำให้เกิดการผลิตมันเส้นสะอาดไม่เพียงพอ รวมทั้งประเทศจีนมีความต้องการมันเส้นจากประเทศไทยไม่จำกัดจำนวน เพื่อผลิตแอลกอฮอล์สำหรับใช้ในด้านพลังงานเชื้อเพลิง เนื่องจากน้ำมันมีราคาสูงขึ้นมาก จำเป็นต้องหันมาใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลโดยใช้เป็นส่วนผสมกับน้ำมันเบนซิน ทำให้มีความต้องการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบเพิ่มขึ้นคาดว่าในปี พ.ศ. 2550 - 2554 มีความต้องการมันสำปะหลังหัวสดถึง 2 ล้านตันต่อปี

ในส่วน of ข้าวโพดพื้นที่ปลูกมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ โดยในปีเพาะปลูก 2539/40 มีพื้นที่ปลูก 8.66 ล้านไร่ ปริมาณการผลิต 4.53 ล้านตัน เปรียบเทียบกับปีเพาะปลูก 2549/50 มีพื้นที่ปลูก 6.08 ล้านไร่ ปริมาณการผลิต 3.70 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2546 และ 2550) ข้าวโพดที่ผลิตได้ร้อยละ 90 ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยมีความต้องการใช้ข้าวโพดเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้องการใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบเพิ่มขึ้นด้วย (เกรียงศักดิ์, 2544) สาเหตุที่ทำให้พื้นที่ปลูกข้าวโพดลดลง นอกจากมีการแข่งขันกับอ้อยและมันสำปะหลัง ทำให้ไม่สามารถขยายพื้นที่ปลูกได้แล้ว ยังมีปัญหาในการผลิตข้าวโพด คือ ประสิทธิภาพการผลิตต่ำ โดยเฉพาะความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ธีรศักดิ์, 2542)

การเพิ่มขึ้นของ CO₂ เป็นเหตุทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ปริมาณและรูปแบบการกระจายตัวของฝนเปลี่ยนแปลงไป มีความแปรปรวนและรุนแรงมากขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ อย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ (IPCC, 2007) เนื่องจากสภาพแวดล้อมโลกเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีเวลาของการตอบสนอง และคืนตัวที่ช้า (response

time and relaxation time) ดังนั้นแม้จะสามารถหยุดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) ได้ทั้งหมดในช่วงทศวรรษนี้ และสามารถป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของโลกสูงจนถึงจุด tipping point ได้ แต่ผลกระทบที่มีต่อสภาพภูมิอากาศ และระบบนิเวศน์ของโลกก็ยังคงอยู่ต่อไปอีก ยาวนานนับศตวรรษ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมดังกล่าวจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อการผลิตพืชในอนาคที่ไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้

ปัจจุบันได้มีการนำแบบจำลองภูมิอากาศและแบบจำลองพืชมาใช้ร่วมกันเพื่อประเมินเชิงปริมาณถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตพืชและการเกษตรในภูมิภาคต่างๆ ของโลก เช่น Anwar และคณะ (2007) ได้ใช้ CCAM-CropSyst ประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตข้าวสาลีในประเทศออสเตรเลียในช่วงปี ค.ศ. 2000-2070 พบว่า ผลผลิตข้าวสาลีจะลดลง ร้อยละ 25-29 จากปัจจุบัน ในขณะที่ Tan และ Shibasaki (2003) ได้บูรณาการ แบบจำลอง EPIC เข้ากับ GIS และ Interference Engine Technique เพื่อประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืช และแนวทางแก้ปัญหาที่เหมาะสม (optimization) จากการประเมินผลพบว่า ส่วนใหญ่ของโลกจะได้รับผลเสียจากภาวะดังกล่าว และต้องปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และเศรษฐกิจของประเทศขึ้นกับผลผลิตพืช สภาพดินฟ้าอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปจึงมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและสภาพความเป็นอยู่ของประชากรของประเทศ จำเป็นที่จะต้องเตรียมการในการปรับตัวและสร้างทางเลือกของระบบการผลิตพืชเพื่อรองรับผลกระทบจากภาวะการณดังกล่าว วัตถุประสงค์ในการศึกษานี้ เพื่อระบุ สถานที่ เวลา และระดับความรุนแรง ของผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชไร่ทั้ง 3 ชนิดของประเทศไทย (hotspots identification)

วิธีการวิจัย

ข้อมูลที่ต้องการในการนำเข้าไปในแบบจำลองประกอบด้วย

1. ข้อมูลสัมประสิทธิ์พันธุ์กรรมพืช โดยในอ้อย ใช้พันธุ์ K84-200 (อรรถชัย และคณะ, 2540) เป็นตัวแทนพันธุ์อ้อยทั้งประเทศ มันสำปะหลังใช้พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (วินัย และคณะ, 2542) เป็นตัวแทน และข้าวโพดใช้พันธุ์สุวรรณ 1 เป็นตัวแทน
2. ข้อมูลการจัดการ ใช้ข้อมูลการจัดการในการปลูกพืชแต่ละชนิด ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (นิรนาม, 2545, 2547ก และ 2547ข)
3. ข้อมูลสภาพแวดล้อม โดยการสร้างหน่วยย่อยการผลิตพืช (SMU : Simulation Mapping Unit) ซึ่งสร้างขึ้นจากเทคนิคการซ้อนทับ (overlay technique) ของโปรแกรม ArcView (ESRI, 1996) โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ปลูก จากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของโปรแกรม Agzone 1.0 (ศูนย์สารสนเทศ, 2544) มาวิเคราะห์เชิงซ้อน กับแผนที่กลุ่มชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) และแผนที่ภูมิอากาศจากการประเมินของแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (regional climate model) PRECIS ที่มีรายละเอียดของการประเมินเท่ากับ 25 x 25 กิโลเมตร และมีระดับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ CO₂ เป็นไปตามค่าภายใต้เงื่อนไข A2 SRES IPCC (2007)

จากนั้นนำข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม CropDSS (อรรถชัย, 2551) ซึ่งเป็นระบบการเชื่อมโยงแบบจำลองการผลิตพืช DSSAT (Tsuji et al, 1994) เข้ากับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ยกเว้นในอ้อยที่นำข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม DSSAT ver. 3.5 แล้วจึงนำผลที่ได้มาแสดงในโปรแกรม ArcView ภายหลัง (เนื่องจากมีปัญหาเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์พันธุ์กรรมพืชที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุง) เมื่อได้ผลลัพธ์จากการ simulate ในแต่ละ SMU แล้ว นำมาวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อผลผลิตพืชในช่วงเวลาต่างๆ และในระยะยาว วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเมื่อเทียบกับปีฐาน รวมทั้งวิเคราะห์หาพื้นที่

ที่ได้รับผลกระทบที่รุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (hotspots)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเชิงพื้นที่ คำนวณได้จากการนำผลผลิตในแต่ละ SMU ทั้งประเทศ หาค่าเฉลี่ย ตั้งแต่ปี ค.ศ.1980-2099 แล้วทำการถ่วงน้ำหนักจากขนาดของพื้นที่ในแต่ละ SMU ดังสมการ

$$W_y = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

เมื่อ W_y = ผลผลิตเฉลี่ยของแต่ละปี

A_i = พื้นที่ของ SMU นั้น ๆ

y_i = ผลผลิตของ SMU นั้น ๆ

พร้อมกับหาค่าความแปรปรวนของผลผลิตของค่าเฉลี่ยรายปี (standard deviation)

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเชิงเวลา คำนวณได้จาก

$$W_s = \frac{\sum_{i=1}^{10} y_i}{10}$$

เมื่อ W_s = ผลผลิตเฉลี่ยราย 10 ปี,

y_i = ผลผลิตของปีในช่วง 10 ปีนั้น ๆ

จากนั้นหาค่าความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ของค่าเฉลี่ยราย 10 ปี

การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเมื่อเทียบกับปีฐาน คำนวณได้จาก

1) กำหนดให้ผลผลิตเฉลี่ยของปี ค.ศ.1980-1989 เป็นผลผลิตเฉลี่ยปีฐาน หาค่าเฉลี่ยของผลผลิตเฉลี่ยปีฐานโดยถ่วงน้ำหนักจากขนาดของพื้นที่แต่ละ SMU คำนวณจาก

$$\bar{y}_b = \frac{\sum_{i=1}^n A_i W_{s_i}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

เมื่อ $\bar{y}_b$ = ผลผลิตเฉลี่ยปีฐาน

A_i = พื้นที่ของ SMU นั้น ๆ

W_{s_i} = ผลผลิตเฉลี่ยราย 10 ปี ของ SMU นั้น ๆ

2) หาค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลง ของผลผลิตจากปีฐาน ($\bar{y}d$) จากสูตร

$$\bar{y}d_i = \frac{100W_{s_i}}{\bar{y}_b}$$

เมื่อ $\bar{y}d_i$ = ร้อยละของความแตกต่างของผลผลิต SMU นั้น ๆ

W_{s_i} = ผลผลิตเฉลี่ยราย 10 ปี ของ SMU นั้น ๆ

การวิเคราะห์หาพื้นที่วิกฤตต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (hotspots) ดำเนินการโดยคัดเลือกพื้นที่ (SMU) ที่มีผลผลิตต่ำกว่า ร้อยละ 70 ของปีฐาน โดยใช้ ปี 1980-89, 2030-39 และ 2090-99 เป็นตัวแทนของ 3 ช่วงระยะเวลา ระหว่าง ปี 1980 ถึง 2099

หาก A_1 คือพื้นที่ hotspots ในช่วงเวลาที่ 1 และ A_2 คือพื้นที่ hotspots ในช่วงเวลาที่ 2 เมื่อ intersect พื้นที่ทั้ง 2 $A_{1,2} = A_1 \cap A_2$ จะได้พื้นที่ $A_{1,2}$ ซึ่งเป็นพื้นที่ hotspots ที่ปรากฏอยู่ทั้งในช่วงเวลาที่ 1 และ 2 จากนั้นสามารถหาพื้นที่ใน A_1 ที่ไม่ปรากฏใน $A_{1,2}$ ($\bar{A}_1$) ได้โดยการหา complement ของ $A_{1,2}$ ใน A_1

$$\bar{A}_1 = A_1 - A_{1,2} = \{x \in A_1 \mid x \notin A_{1,2}\}$$

ในการทำนองเดียวกันจะสามารถหาพื้นที่ใน A_2 ที่ไม่ปรากฏใน $A_{1,2}$ ($\bar{A}_2$) ได้เช่นกัน

$A_{1,2}$ แสดงถึงพื้นที่ ๆ เป็น hotspots ที่ผลผลิตได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องจากช่วงเวลา 1 จนถึง ช่วงเวลาที่ 2 ส่วน $\bar{A}_{1,2}$ คือพื้นที่ ๆ ผลผลิตต่ำในช่วงเวลาที่ 1

แต่เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศอาจทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและไม่เป็น hotspots อีก ตรงกันข้ามกับพื้นที่ ซึ่งเดิมไม่มีปัญหาของผลผลิตต่ำ แต่การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศอาจทำให้ผลผลิตในพื้นที่นั้นลดลงจนเป็นปัญหา เป็น hotspots ที่เกิดขึ้นใหม่จากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

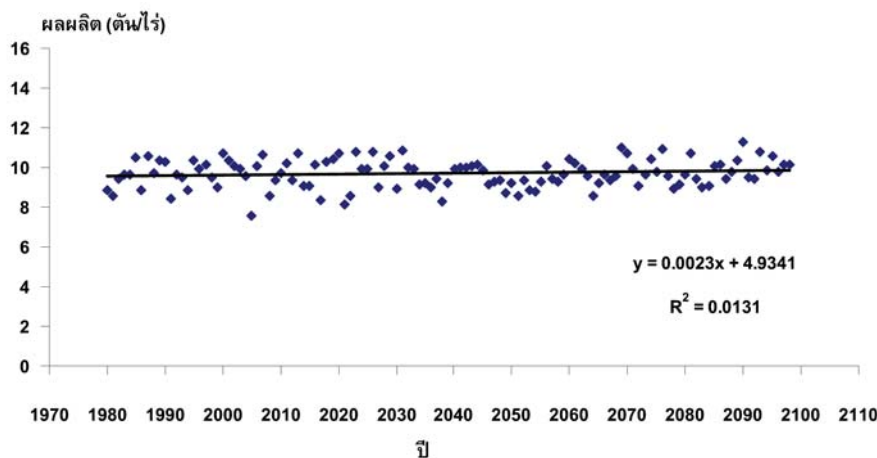
ผลกระทบต่อผลผลิตของแต่ละพืชใน

ระยะยาว

อ้อย

ผลผลิตอ้อยที่ได้จากแบบจำลองในช่วงปี ค.ศ. 1980-2099 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 1) โดย

เพิ่มขึ้นจาก 9.6 ตันต่อไร่ (เฉลี่ย 10 ปี) ในปี 1980-89 เป็น 10.2 ตันต่อไร่ ในปี 2090-99 โดยที่ผลผลิตเฉลี่ยของอ้อยเพิ่มขึ้นหรือลดลงระหว่างปี อยู่ระหว่างร้อยละ 96-106 เมื่อเปรียบเทียบกับปี 1980-1989 (ปีฐาน) (ตารางที่ 1) การเพิ่มขึ้นของผลผลิตอ้อยอาจไม่ได้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของ CO_2 จากการศึกษาของ Joseph และ Leon (2009) พบว่า การเพิ่มระดับ CO_2 จาก 360 เป็น 720 ppmv มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของอ้อย (C_4) เพียงเล็กน้อย แต่พบว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงของอ้อยจะได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำมากกว่า ขณะที่ Kim และคณะ (2007) ซึ่งศึกษาในข้าวโพดซึ่งเป็นพืช C_4 เช่นเดียวกับอ้อย พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อการเจริญเติบโต พัฒนาการและผลผลิตมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับ CO_2



รูปที่ 1. ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลองของอ้อยพันธุ์ K84-200 ทั่วประเทศกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปี 1980-2099

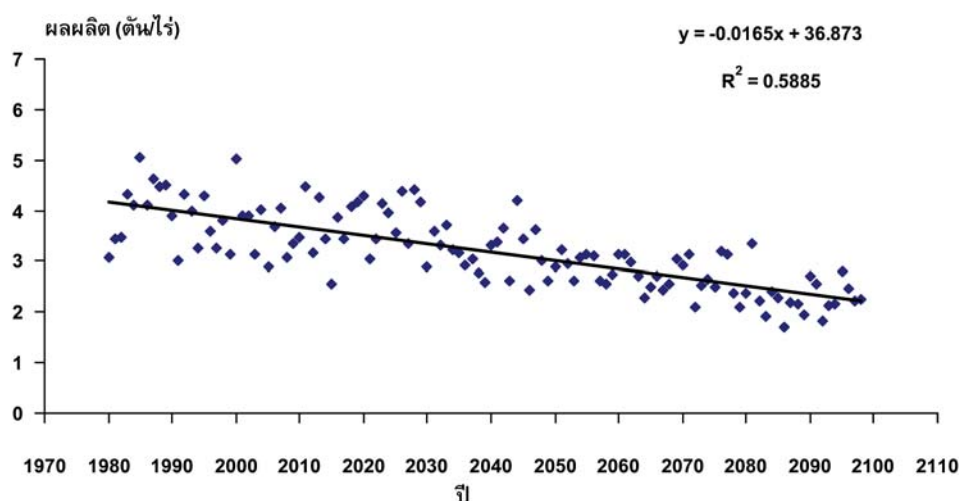
ตารางที่ 1. ผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลอง (ตัน/ไร่) ของอ้อยพันธุ์ K84-200 ทั้งประเทศ ระหว่างปี 1980-2099

ปี	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน/ไร่)											
	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19	2020-29	2030-39	2040-49	2050-59	2060-69	2070-79	2080-89	2090-99
1	8.9	10.3	10.7	9.7	10.4	9.0	9.9	9.2	10.4	10.7	9.7	11.3
2	8.6	8.4	10.3	10.2	10.7	10.9	10.0	8.6	10.2	9.9	10.7	9.5
3	9.5	9.6	10.1	9.3	8.2	10.0	10.0	9.3	9.9	9.1	9.5	9.5
4	9.6	9.5	9.9	10.7	8.6	10.0	10.1	8.9	9.6	9.6	9.0	10.8
5	9.7	8.9	9.5	9.0	10.8	9.2	10.1	8.8	8.5	10.4	9.0	9.8
6	10.5	10.3	7.6	9.1	10.0	9.2	9.8	9.3	9.2	9.8	10.1	10.6
7	8.8	9.9	10.1	10.2	10.0	9.0	9.2	10.0	9.6	10.9	10.1	9.8
8	10.6	10.1	10.6	8.3	10.8	9.5	9.3	9.4	9.4	9.6	9.4	10.1
9	9.7	9.5	8.6	10.3	9.0	8.3	9.3	9.3	9.6	8.9	9.8	10.2
10	10.3	9.0	9.4	9.7	10.1	9.2	8.7	9.7	11.0	9.2	10.4	NA
เฉลี่ย	9.6	9.6	9.7	9.7	9.9	9.4	9.6	9.3	9.7	9.8	9.8	10.2
%	100.0	99.3	100.6	100.3	102.5	98.0	100.2	96.2	101.2	102.0	101.6	105.8

มันสำปะหลัง

จากผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง โดยใช้โปรแกรม DSSAT ver. 3.5 ที่อยู่ภายใต้ CropDSS ภายใต้สภาพ CO₂ ที่เพิ่มขึ้น จาก 330 ppmv ในปี 1980 เป็น 833 ppmv ในปี 2099 โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศจาก ECHAM4 SRES A2 scenario พบว่า ผลผลิตหัวสด ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ลดลง จากปี 1980

ถึง ปี 2099 สมการ linear regression (รูปที่ 2) แสดงแนวโน้มของการลดลง โดยมีความเชื่อมั่นในระดับปานกลาง คือมีค่า R² เท่ากับ 0.6 ผลผลิตหัวสดลดลงจาก 4.1 ตันต่อไร่ (เฉลี่ยระหว่างปี 1980-89) เป็น 2.3 ตันต่อไร่ (เฉลี่ยระหว่างปี 2090-99) หรือ ร้อยละ 43 เมื่อเปรียบเทียบกับปี 1980-1989 (ปีฐาน) (ตารางที่ 2)



รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลองของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทั้งประเทศ กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปี 1980-2099

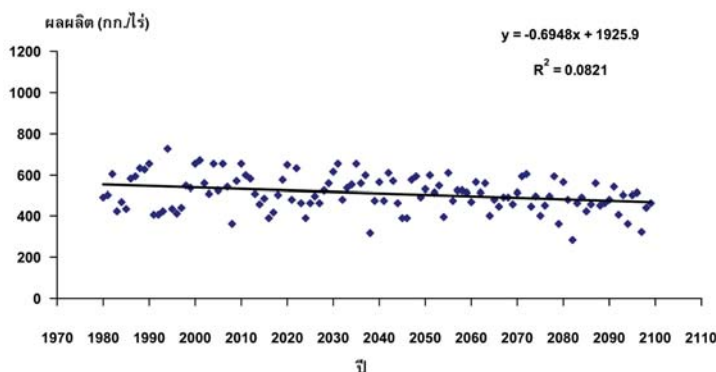
ตารางที่ 2. ผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลอง (ตัน/ไร่) ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทั้งประเทศ ในระหว่างปี 1980 ถึง ปี 2099

ปี	ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย (ตัน/ไร่)											
	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19	2020-29	2030-39	2040-49	2050-59	2060-69	2070-79	2080-89	2090-99
1	3.08	3.91	5.02	3.47	4.30	2.88	3.31	2.89	3.13	2.94	2.36	2.70
2	3.43	3.02	3.90	4.48	3.04	3.59	3.37	3.21	3.13	3.13	3.35	2.55
3	3.48	4.33	3.89	3.17	3.45	3.33	3.65	2.95	2.98	2.11	2.21	1.82
4	4.34	3.99	3.14	4.27	4.14	3.71	2.62	2.62	2.69	2.53	1.93	2.14
5	4.10	3.25	4.01	3.45	3.95	3.22	4.20	3.09	2.30	2.64	2.39	2.15
6	5.04	4.28	2.90	2.55	3.55	3.17	3.45	3.12	2.50	2.50	2.27	2.81
7	4.11	3.60	3.69	3.87	4.39	2.93	2.43	3.10	2.70	3.20	1.69	2.47
8	4.61	3.26	4.04	3.43	3.34	3.04	3.61	2.61	2.43	3.14	2.20	2.23
9	4.47	3.79	3.06	4.09	4.41	2.77	3.02	2.56	2.57	2.38	2.15	2.25
10	4.49	3.12	3.35	4.17	4.16	2.58	2.60	2.75	3.04	2.10	1.95	NA
เฉลี่ย	4.12	3.66	3.70	3.70	3.87	3.12	3.23	2.89	2.75	2.67	2.25	2.35
%	100.0	88.8	89.9	89.8	94.1	75.9	78.4	70.2	66.8	64.8	54.7	57.0

ข้าวโพด

ผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด ภายใต้สภาพการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศของโลก จากปี 1980 ถึง ปี 2099 โดยใช้โปรแกรม CropDSS พบว่า ผลผลิตเฉลี่ยพื้นที่ความชื้นร้อยละ 15 ของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ลดลง จาก 525 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปี 1980-1989 เหลือเพียง 445 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปี 2090-2099 หรือลดลงร้อยละ 15 (ตารางที่ 3) แม้ว่าสมการ linear regression จะแสดงให้เห็นแนวโน้มของการลดลงของผลผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจาก R^2 มีค่าอยู่ในระดับที่ต่ำ คือมีค่าเท่ากับ 0.0821 เท่านั้น (รูปที่ 3) ทำให้มีความเชื่อมั่นในแนวโน้มของการลดลงของผลผลิตดังกล่าวค่อนข้างต่ำ จากรายงานของ Zaidi

(2002) พบว่า การจำลองการเจริญเติบโตของพืชโดยการเพิ่มระดับ CO_2 จาก 300 เป็น 600 ppm ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวโพด (C4) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยร้อยละ 7 ในขณะที่พืช C_3 (ข้าว ข้าวสาลี) ให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25-40 ผลดังกล่าวแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ และชี้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความแปรปรวนของฝนอาจมีผลในทางลบมากกว่า และส่งผลทำให้ผลผลิตพืชโดยรวมลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Kim และคณะ (2007) พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง มีผลกระทบต่อการพัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวโพดมากกว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ CO_2



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลองของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ทั้งประเทศกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปี 1980-2099

ตารางที่ 3. ผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลอง (กก./ไร่) ของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ทั้งประเทศ ในระหว่างปี 1980 ถึง ปี 2099

ปี	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)											
	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19	2020-29	2030-39	2040-49	2050-59	2060-69	2070-79	2080-89	2090-99
1	512.3	616.3	596.7	596.7	612.6	578.0	566.3	514.7	473.2	511.5	558.9	465.7
2	495.9	439.8	637.3	562.7	492.0	619.1	498.7	575.9	554.1	569.5	485.1	515.0
3	603.0	418.8	553.6	571.8	594.4	482.1	580.3	482.2	510.1	557.9	294.2	395.1
4	424.1	434.6	508.9	527.7	461.4	540.9	527.8	533.0	542.8	447.6	453.7	477.3
5	496.1	695.0	589.0	458.7	382.5	542.9	489.8	416.7	412.2	487.3	490.2	369.9
6	440.1	469.9	525.1	506.0	494.2	618.4	395.7	544.1	509.4	424.1	431.9	485.7
7	566.0	425.2	584.8	432.1	464.7	526.3	393.5	461.5	429.3	432.3	448.4	493.5
8	573.7	477.7	548.6	418.2	448.8	602.3	590.7	510.7	466.5	501.7	524.3	356.6
9	566.4	496.3	377.6	508.8	516.8	356.8	569.5	479.2	480.0	520.7	441.2	434.5
10	568.9	522.9	536.2	540.6	532.6	467.6	485.0	535.2	458.6	387.9	452.6	458.9
เฉลี่ย	524.7	499.6	545.8	512.3	500.0	533.4	509.7	505.3	483.6	484.1	458.1	445.2
%	100.0	95.2	104.0	97.6	95.3	101.7	97.1	96.3	92.2	92.3	87.3	84.9

ผลกระทบต่อผลผลิตของแต่ละพืชเชิงพื้นที่ในช่วงเวลาต่างๆ

อ้อย

จากการจำลองผลผลิตของอ้อย ในสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ในโปรแกรม DSSAT 3.5 โดยใช้พันธุ์ K84-200 เป็นตัวแทน แบ่งเป็นสองช่วงวันปลูกได้แก่ การปลูกอ้อยข้ามแล้ง ที่ปลูกในช่วงเดือนตุลาคม ครอบคลุมเขตการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด และการปลูกอ้อยต้นฝน ที่ปลูกในช่วงเดือนเมษายน ได้แก่เขตการปลูกอ้อยในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ผลผลิตภาพรวมทั้งประเทศแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนจากระบบการปลูก โดยการปลูกอ้อยข้ามแล้ง ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.5-9.5 ตันต่อไร่ ขณะที่การปลูกอ้อยต้นฝน ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 9.5-12.5 ตันต่อไร่ มีบางส่วนของพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดกำแพงเพชร และช่วงรอยต่อระหว่างจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี และนครปฐม ที่ผลผลิตได้มากกว่า 15.5 ตันต่อไร่ ทั้งนี้จากการจำลองของแบบจำลองอ้อยเป็นแบบอาศัยน้ำฝน การปลูกอ้อยข้ามแล้งจะได้รับผลกระทบอย่างมากต่อสภาวะขาดน้ำในการเจริญเติบโตของอ้อยในช่วงแรก ซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตต่ำกว่าการจำลองสภาพการปลูกในฤดูฝน

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลผลิตในแต่ละช่วงกับปีฐาน พบว่า ผลผลิตของอ้อยในช่วงปลูกปี

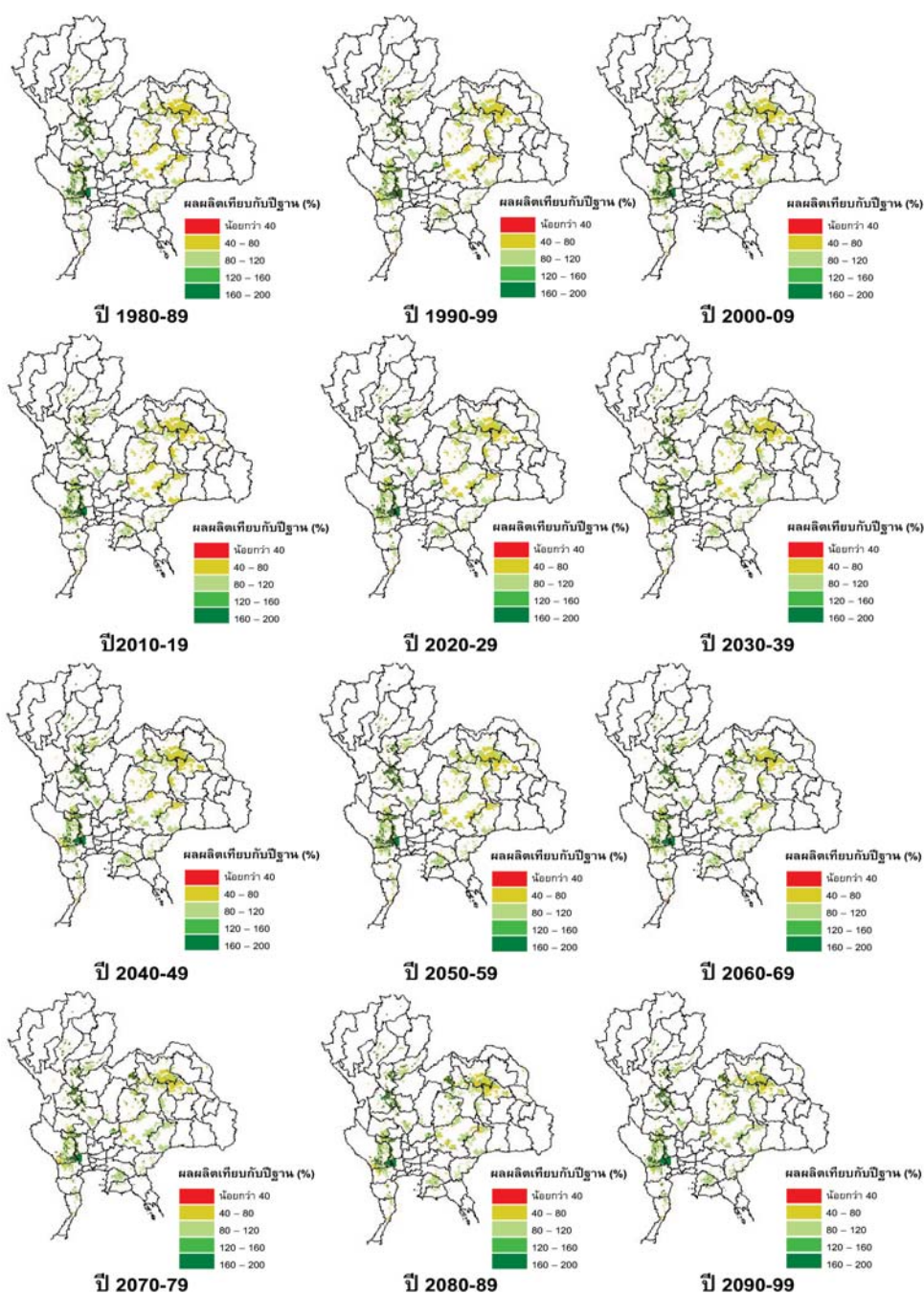
1990-2029 เขตการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความแปรปรวนกระจายไม่ในรูปแบบผลผลิตส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 40-80 เมื่อเทียบกับปีฐาน มีบางพื้นที่ผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 ในขณะที่เขตการปลูกในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลผลิตอ้อยค่อนข้างดีกว่าค่าเฉลี่ยจากปีฐาน ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 ของปีฐาน และมีเขตการปลูกในช่วงรอยต่อระหว่างจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี และนครปฐม ที่ได้ผลผลิตมากกว่าร้อยละ 120 ของปีฐาน

ในช่วงปี 2030-2069 ผลผลิตอ้อยส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเดียวกันกับผลผลิตในช่วงปี 1990-2029 ยกเว้นในปี 2060-69 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเมื่อเทียบกับปีฐาน ในพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดเลยและชัยภูมิ เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 80-120 เป็น 120-160

ในช่วงปี 2070-2098 ผลผลิตในแหล่งปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในเขตการปลูกอ้อยจังหวัดเลย และจังหวัดชัยภูมิ ผลผลิตเมื่อเทียบกับปีฐาน เพิ่มขึ้นในช่วงแรกจากร้อยละ 80-120 เป็นร้อยละ 120-160 ขณะเดียวกันพื้นที่ปลูกโดยรวมส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นอยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 และยังมีพื้นที่บางส่วนระหว่างรอยต่อจังหวัดอุดรธานี ขอนแก่น และกาฬสินธุ์ ที่ผลผลิตยังอยู่ในช่วงร้อยละ 40-80 ในขณะที่เขตการปลูกอ้อยภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือไม่มีการเปลี่ยนแปลง (รูปที่ 4)

โดยรวมแล้วผลจากการจำลองพบว่า ผลผลิตของอ้อยก่อนข้างดีเมื่อปลูกในเขตภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกของประเทศ ซึ่งเป็นการปลูกอ้อยต้นฤดูฝน ขณะที่ผลผลิตจะต่ำลงเมื่อปลูกในภาคตะวันออก

ออกเฉียงเหนือที่ปลูกอ้อยในเดือนตุลาคม อย่างไรก็ตามผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเขตจังหวัดเลย และชัยภูมิ ในขณะที่เขตปลูกอ้อยอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตอ้อยโรงงานรายพื้นที่ภายใต้สภาพการเพิ่มขึ้นของ CO₂ เมื่อเทียบกับปีฐานระหว่างปี 1980-2099

มันสำปะหลัง

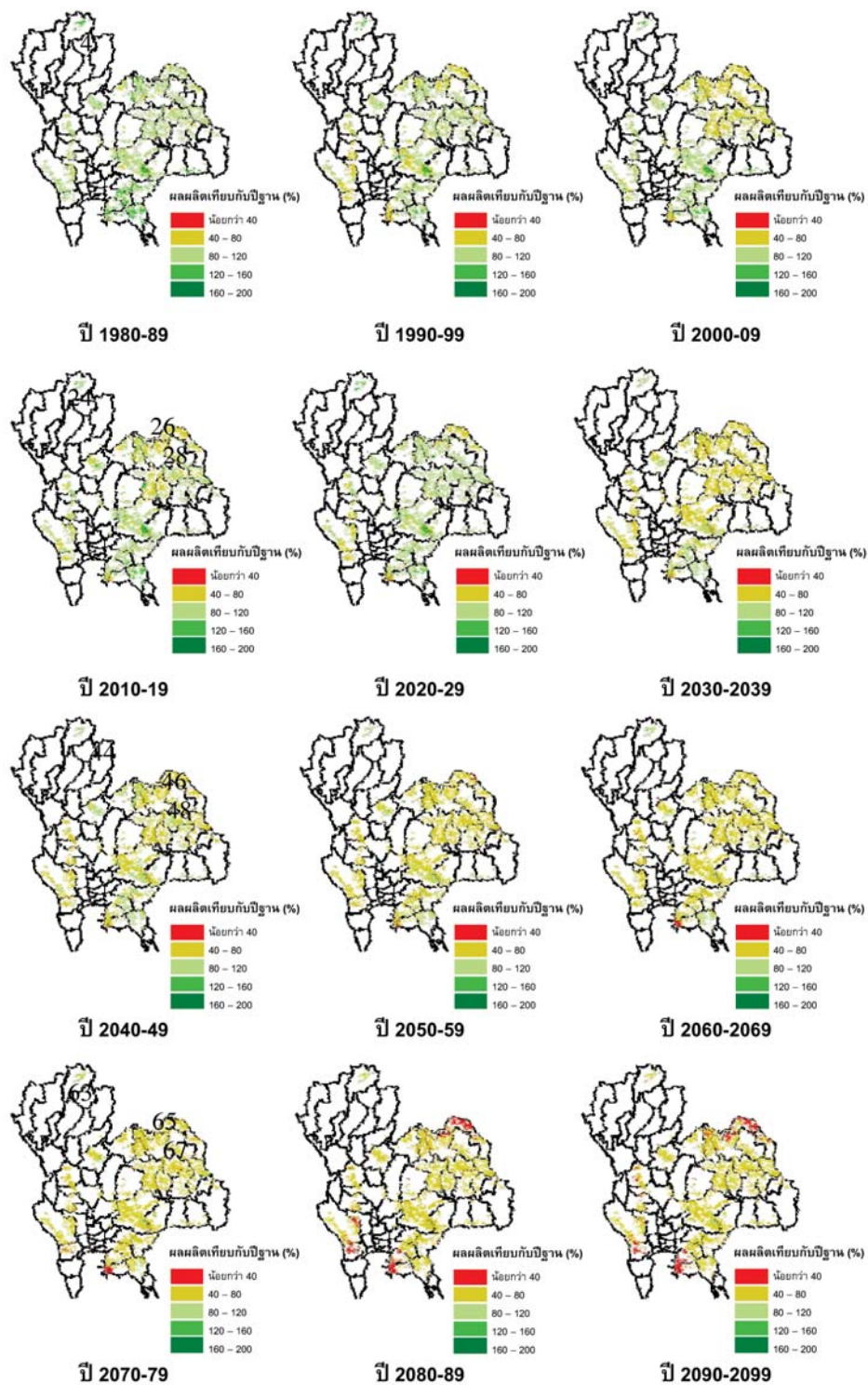
ผลการจำลองผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละแหล่งปลูกทั่วประเทศ สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงผลผลิตได้เป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วง 40 ปี จากปีฐาน คือระหว่างปี 1990-2029 แหล่งปลูกมันสำปะหลังบริเวณภาคตะวันออก เชียงเหนือตอนบน แถบจังหวัดหนองคาย และตอนเหนือของจังหวัดอุดรธานี และนครพนม รวมทั้งบริเวณตอนล่างของจังหวัดชลบุรีกับระยอง ผลผลิตจะลดลงจาก 3-5 ตันต่อไร่ มาตรฐานอยู่ในระดับน้อยกว่า 3 ตันต่อไร่ โดยผลผลิต ในช่วง 20 และ 40 ปีนี้ มีความแปรปรวนขึ้นๆ ลงๆ ค่อนข้างมาก โดยผลผลิตจากเดิมอยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 เมื่อเทียบกับปีฐาน บางส่วนจะเริ่มลดลงมาอยู่ที่ร้อยละ 40-80 โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกเชียงเหนือตอนบน แต่มีบางจุด เช่นบริเวณตะวันออกเชียงใต้ของจังหวัดนครราชสีมาต่อกับบุรีรัมย์ผลผลิตยังคงอยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 เมื่อเทียบกับปีฐาน

2) ช่วง 50-80 ปี จากปีฐาน คือระหว่างปี 2030-2069 บริเวณที่เป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่ของประเทศในภาคตะวันออกเชียงเหนือ ทั้งตอนบน ตอนกลาง และทางตะวันตก รวมทั้งใน

ภาคตะวันตกของประเทศ แถบจังหวัดกาญจนบุรี ไปจนถึงกำแพงเพชร ผลผลิตส่วนมาก จะลดลงมาอยู่ในระดับน้อยกว่า 3 ตันต่อไร่ โดยจะลดลงมาอยู่ที่ร้อยละ 40-80 เมื่อเทียบกับปีฐาน แต่มีบางบริเวณของจังหวัดจันทบุรี ผลผลิตยังคงอยู่ที่ร้อยละ 80-120 และมีพื้นที่ปลูกบางจุดบริเวณทางใต้ของจังหวัดชลบุรีกับระยอง ผลผลิตลดลงน้อยกว่าร้อยละ 40

3) ช่วง 90 ปี หลังจากปีฐาน ในปี 2070-79 และจากปี 2080 จนถึง 2099 พื้นที่เกือบทั้งหมดที่มีการปลูกมันสำปะหลัง จะได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน โดยให้ผลผลิตในระดับต่ำกว่า 3 ตันต่อไร่ หรือจะให้ผลผลิตลดลงมาอยู่ที่ร้อยละ 40-80 เมื่อเทียบกับปีฐาน โดยมีพื้นที่บางส่วนทางเหนือของจังหวัดอุดรธานีต่อกับหนองคาย และทางใต้ของจังหวัดหนองคายต่อกับนครพนม รวมทั้งทางใต้ของจังหวัดกาญจนบุรีต่อกับราชบุรี ให้ผลผลิตน้อยกว่าร้อยละ 40 และพื้นที่ทางตอนใต้ของจังหวัดชลบุรีกับระยอง จะมีขอบเขตของพื้นที่ที่ได้ผลผลิตน้อยกว่าร้อยละ 40 เพิ่มมากขึ้น ขณะที่บางจุดบริเวณตะวันออกเชียงใต้ของจังหวัดนครราชสีมาต่อกับบุรีรัมย์ ยังคงให้ผลผลิตร้อยละ 80-120 เมื่อเทียบกับปีฐาน (รูปที่ 5)



รูปที่ 5. การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตมันสำปะหลังรายพื้นที่ภายใต้สภาพการเพิ่มขึ้นของ CO_2 เมื่อเทียบกับปีฐานระหว่างปี 1980-2099

ข้าวโพด

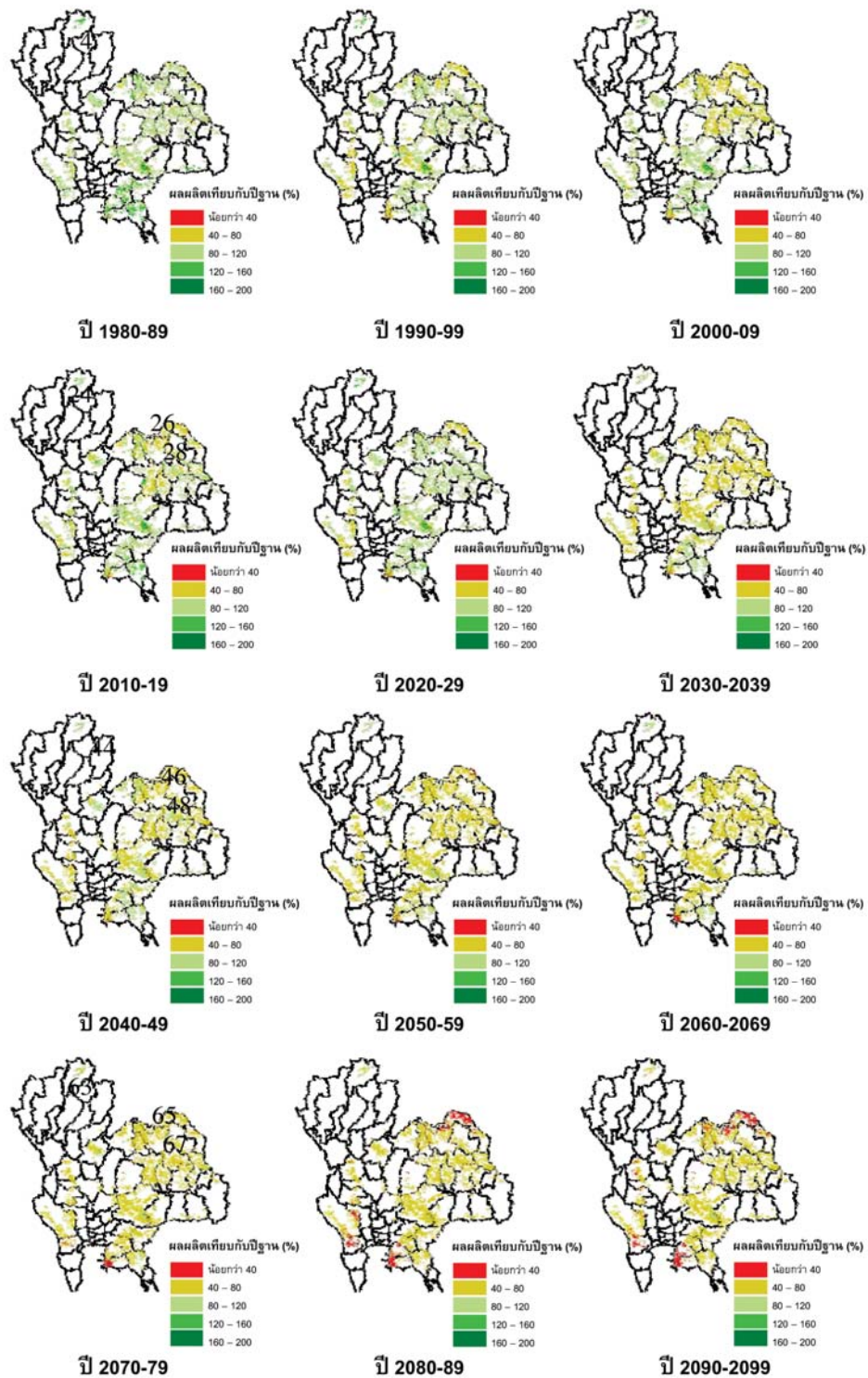
ผลการจำลองผลผลิตข้าวโพดในแต่ละแหล่งปลูก แบ่งการเปลี่ยนแปลงผลผลิตได้เป็น 3 ช่วง คือ

1) ช่วงปี 1990-2029 เปรียบเทียบกับปี 1980-1989 ผลปรากฏว่า พื้นที่ปลูกเขตภาคกลาง ซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าวโพดแหล่งใหญ่ของประเทศไทย (combelt) ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ ลพบุรี เพชรบูรณ์ และจังหวัดอุทัยธานี ให้ผลผลิตข้าวโพดลดลงอยู่ระหว่าง 320-480 กิโลกรัมต่อไร่ หรือร้อยละ 40-80 โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่าปี 1980-1989 ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 480-640 กิโลกรัมต่อไร่ หรือร้อยละ 80-120

2) ช่วงปี 2030-2069 เปรียบเทียบกับปี 1980-1989 ผลปรากฏว่า พื้นที่ปลูกเขตภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ ลพบุรี และเพชรบูรณ์ รวมทั้งจังหวัดอุทัยธานี ได้ขยายพื้นที่ปลูกในส่วนที่ให้ผลผลิตข้าวโพดลดลง นอกจากนี้ ยังมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดที่ให้ผลผลิตลดลง อยู่ระหว่าง 320-480 กิโลกรัมต่อไร่ หรือระหว่างร้อยละ 40-80 เพิ่มมากขึ้น ส่วนในภาคอื่นๆ ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ในจังหวัดนครราชสีมา และเลย ภาคเหนือที่จังหวัดเชียงราย พะเยา แพร่ และกำแพงเพชร ให้ผลผลิตลดลงจากร้อยละ 120-160 เหลือผลผลิตอยู่ระหว่างร้อยละ 80-120 นอกจากนี้ ด้านตะวันตกของจังหวัดตาก และตอนกลางของจังหวัดเพชรบูรณ์ ให้ผลผลิตน้อยกว่าร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับปีฐาน

3) ช่วงปี 2070-2099 เปรียบเทียบกับปี 1980-1989 ผลปรากฏว่า พื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมดให้ผลผลิตลดลง อยู่ระหว่าง 320-480 กิโลกรัมต่อไร่ หรือร้อยละ 40-80 ยกเว้นในบางพื้นที่ยังคงให้ผลผลิตอยู่ในระดับเดียวกับค่าเฉลี่ยของปี 1980-1989 ได้แก่ จังหวัดพิจิตร โลก ดอนใต้ของจังหวัดนครราชสีมา ตอนกลางของจังหวัดเพชรบูรณ์ ตอนกลางของจังหวัดกำแพงเพชร ตอนเหนือและตอนกลางของจังหวัดเลย และจังหวัดเชียงราย นอกจากนี้ พื้นที่ปลูกข้าวโพดในบางจังหวัด ได้แก่ จังหวัดตาก ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก ระหว่าง 160-320 กิโลกรัมต่อไร่ มาอยู่ระหว่าง 320-480 กิโลกรัมต่อไร่ หรือจากน้อยกว่าร้อยละ 40 มาเป็น ร้อยละ 40-80 (รูปที่ 6)



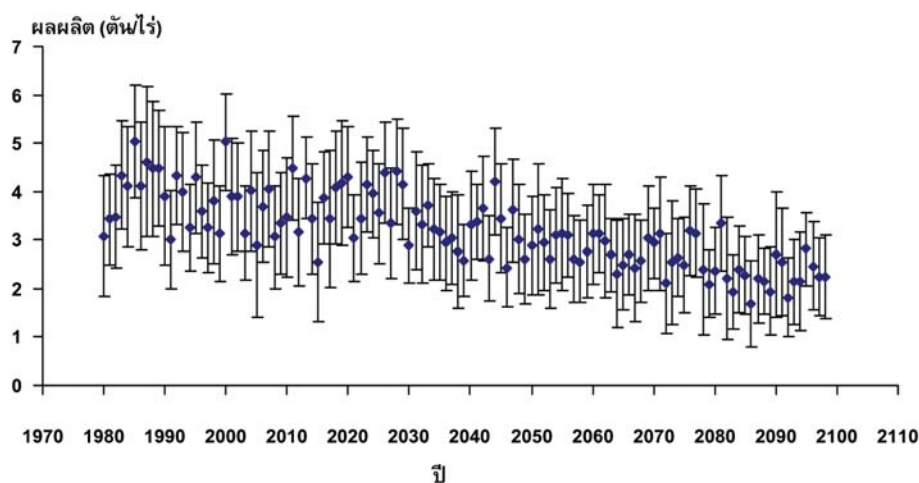
รูปที่ 6. การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวโพดรายพื้นที่ภายใต้สภาพการเพิ่มขึ้นของ CO₂ เมื่อเทียบกับปีฐานระหว่างปี 1980-2099

ความแปรปรวนของผลผลิตของแต่ละพืชเชิงเวลา

อ้อย

จากผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย ระหว่างปี 1980 ถึง 2099 พบว่าความแปรปรวนของผลผลิตค่อนข้างสูงผลผลิตระหว่าง 8.2 ถึง 10.8 ตันต่อไร่ และมีค่า temporal SD เท่ากับ 1.8 ตันต่อไร่ และเมื่อประเมินในรูปของ normalized SD พบว่ามีค่าเท่ากับ ร้อยละ 18 ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของผลผลิตกับการเพิ่มขึ้นของผลผลิตอ้อย จากปี 1980 ถึง 2099 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของผลผลิต (0.6 ตันต่อไร่) นั้นเป็นการเพิ่มขึ้นที่ไม่มากนัก ดังนั้นผลของภาวะโลกร้อนต่อความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศจึงเป็นประเด็นที่สำคัญต่อระบบการผลิตอ้อยและก่อให้เกิดภาวะเสี่ยง

เมื่อประเมินหาความแปรปรวนของผลผลิตระหว่างพื้นที่ต่างๆ (ระหว่าง SMU) ภายในแต่ละปีพบว่ามีความแปรปรวนที่สูงกว่าความแปรปรวนระหว่างปี โดยมีค่า spatial SD เท่ากับ ± 2.3 ตันต่อไร่ (รูปที่ 7) และมีค่า normalized SD เท่ากับร้อยละ 23 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของภาวะสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปโดยการเพิ่มระดับ CO_2 และอุณหภูมิ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตอ้อยเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบของผลผลิตที่เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมที่อาจรุนแรงขึ้นจากภาวะโลกร้อน นอกจากความแปรปรวนของภูมิอากาศจะเกิดขึ้นระหว่างปีแล้วความแปรปรวนยังเกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ต่างๆ อีกด้วย ประกอบกับความหลากหลายของดินทำให้ผลผลิตในพื้นที่ต่างๆ มีความแปรปรวนที่สูงกว่าความแปรปรวนระหว่างปี ดังนั้นพื้นที่บางแห่งที่ได้รับผลกระทบที่รุนแรงและบ่อยครั้งจะเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อระบบการผลิตสูงต้องได้รับการแก้ไข



รูปที่ 7. ความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลอง อ้อยพันธุ์ K84-200 ทั้งประเทศ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปี 1980-2099

มันสำปะหลัง

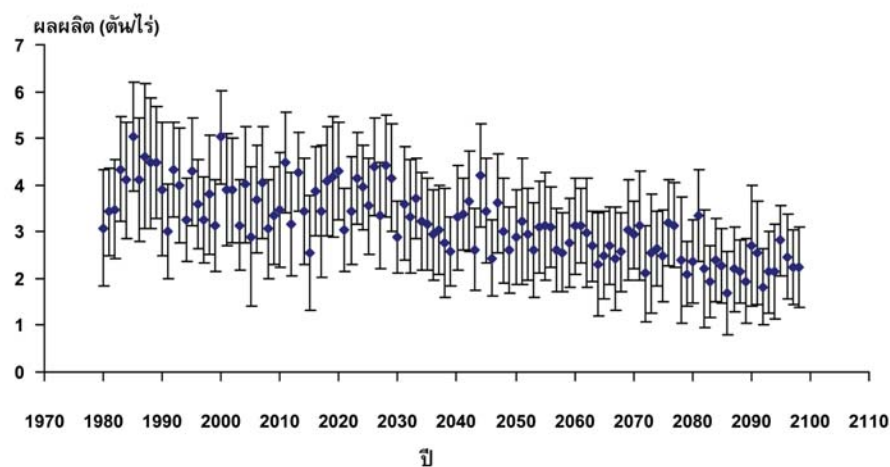
จากการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง ระหว่างปี 1980 ถึง 2099 ดังแสดงในภาพที่ 1 ผลการศึกษา พบว่า มีความ

แปรปรวนของผลผลิตมันสำปะหลังระหว่างปีในแต่ละช่วง 10 ปี ตั้งแต่ปี 1980 ถึง 2099 มีค่าระหว่าง 0.63 ถึง 4.07 ตันต่อไร่ และเมื่อหาค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนระหว่างปี temporal SD จะมีค่า ± 1.10 ตัน

ต่อไร่ โดยมีค่า normalized SD เท่ากับร้อยละ 34 เมื่อเปรียบเทียบระดับของผลผลิตที่ลดลง 1.8 ตันต่อไร่ กับค่า temporal SD จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาวจะมีผลกระทบที่ค่อนข้างรุนแรงต่อผลผลิตของมันสำปะหลังซึ่งทำให้ผลผลิตลดลงเหลือเพียงร้อยละ 53 ของปัจจุบันเท่านั้น โดยที่ความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศ ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพภูมิอากาศก็ยังเป็นปัญหาที่สำคัญและทำให้ผลผลิตระหว่างปีแปรปรวนถึง ± 25 ตันต่อไร่

เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนของผลผลิตระหว่าง SMU ในแต่ละปี พบว่ามีค่า SD อยู่ระหว่าง ± 0.69 ถึง ± 1.55 ตันต่อไร่ และเมื่อหาค่าเฉลี่ยทั้งหมด spatial SD จะมีค่าเท่ากับ 1.04 ตันต่อไร่ (รูปที่ 8) โดย

มีค่า normalized SD เท่ากับร้อยละ 33 และมีค่าต่ำกว่า temporal SD ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ภาวะสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี โดยมีการเพิ่มระดับ CO_2 อุณหภูมิ รวมทั้งปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นจากปี 1980 ถึง 2099 มีผลกระทบต่อผลผลิตมันสำปะหลัง สูงกว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมของแหล่งปลูกต่างๆ ในปีเดียวกัน ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติของดิน เช่น เนื้อดิน ความลึกของดินชั้นบน ซึ่งมีผลต่อความชื้นขาน้ำ รวมทั้งความลาดเอียงของพื้นที่ การจัดการในแต่ละแหล่งปลูก รวมถึงความแปรปรวนของภูมิอากาศระหว่างพื้นที่ต่างๆ เหล่านั้นด้วย



รูปที่ 8. ความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลอง มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทั้งประเทศ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปี 1980-2099

ข้าวโพด

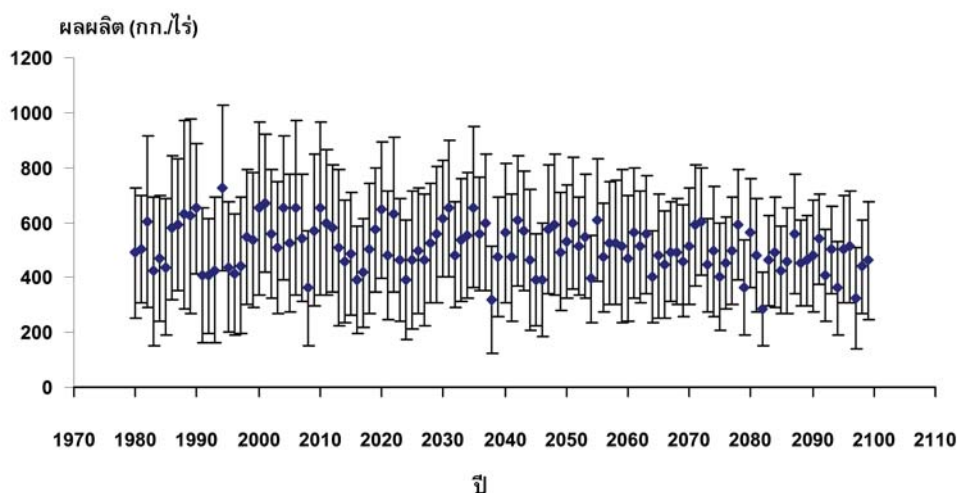
จากผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมของโลก ระหว่างปี 1980 ถึง 2099 พบว่าผลผลิตเฉลี่ยของทั้งประเทศของข้าวโพดมีความแปรปรวนระหว่างปีก่อนข้างสูง ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 356 ถึง 695 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีค่า SD ในแต่ละช่วง 10 ปี อยู่ระหว่าง ± 68.7 ถึง ± 365.3 กิโลกรัมต่อไร่ และมีค่าของ temporal SD สูงถึง ± 205.8 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 41 ของ

ผลผลิตเฉลี่ย ดังนั้นเมื่อนำแนวโน้มของระดับผลผลิตที่ลดลง 80 กิโลกรัมต่อไร่ จากช่วงปี 1980 ถึง 2099 จะเห็นว่าปัญหาที่สำคัญต่อระบบการผลิตข้าวโพดคือความแปรปรวนของผลผลิตระหว่างปีต่อปี ซึ่งความแปรปรวนดังกล่าวส่วนหนึ่งอาจมาจากการเพิ่มขึ้นของ CO_2 และอุณหภูมิของโลก เมื่อ normalized ค่า temporal จะให้ค่า normalized SD สูงถึงร้อยละ 42

เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนของผลผลิตข้าวโพด ระหว่างแต่ละพื้นที่ปลูก (SMU) ภายในแต่ละปี พบว่ามีค่าของ SD ในแต่ละช่วง 10 อยู่ระหว่าง ± 132.7

ถึง ± 353.8 กิโลกรัมต่อไร่ และมีค่า spatial SD เท่ากับ ± 224.0 กิโลกรัมต่อไร่ ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวโพดระหว่างพื้นที่ปลูก (SMU) ในแต่ละปีมีความแปรปรวนมากกว่าความแปรปรวนของผลผลิตระหว่างปีเพียงเล็กน้อย และมีค่า

normalized SD เท่ากับร้อยละ 45 ซึ่งอาจเกิดจากดินในพื้นที่ ที่ทำการปลูกข้าวโพดนั้นไม่ก่อให้เกิดความแปรปรวนของผลผลิตที่มากนัก เมื่อเทียบกับสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นปัญหาหลักของการผลิตข้าวโพดในอนาคตน่าจะเกิดจากความแปรปรวนของภูมิอากาศ



รูปที่ 9. ความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ยรายปีที่ได้จากการจำลอง ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ทั้งประเทศ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปี 1980-2099

พื้นที่วิกฤต (Hotspots) ของแต่ละพืชอ้อย

ผลผลิตเฉลี่ยปีฐานของอ้อยเท่ากับ 9.6 ตันต่อไร่ ผลผลิตในพื้นที่ที่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของผลผลิตเฉลี่ย หรือต่ำกว่า 6.7 ตันต่อไร่ ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการผลิตอ้อย ในช่วงปีฐาน (1980-89) พบว่าพื้นที่ที่ให้ผลผลิตต่ำ ส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่รวมทั้งหมด 1,599,995 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศ โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ระหว่างรอยต่อจังหวัดกาฬสินธุ์และอุดรธานี บางส่วนของจังหวัดมหาสารคาม ขอนแก่น นครราชสีมา เลย และชัยภูมิ ขณะที่ในภาคอื่นๆ มีบ้างเพียงเล็กน้อย เมื่อเวลาผ่านไป

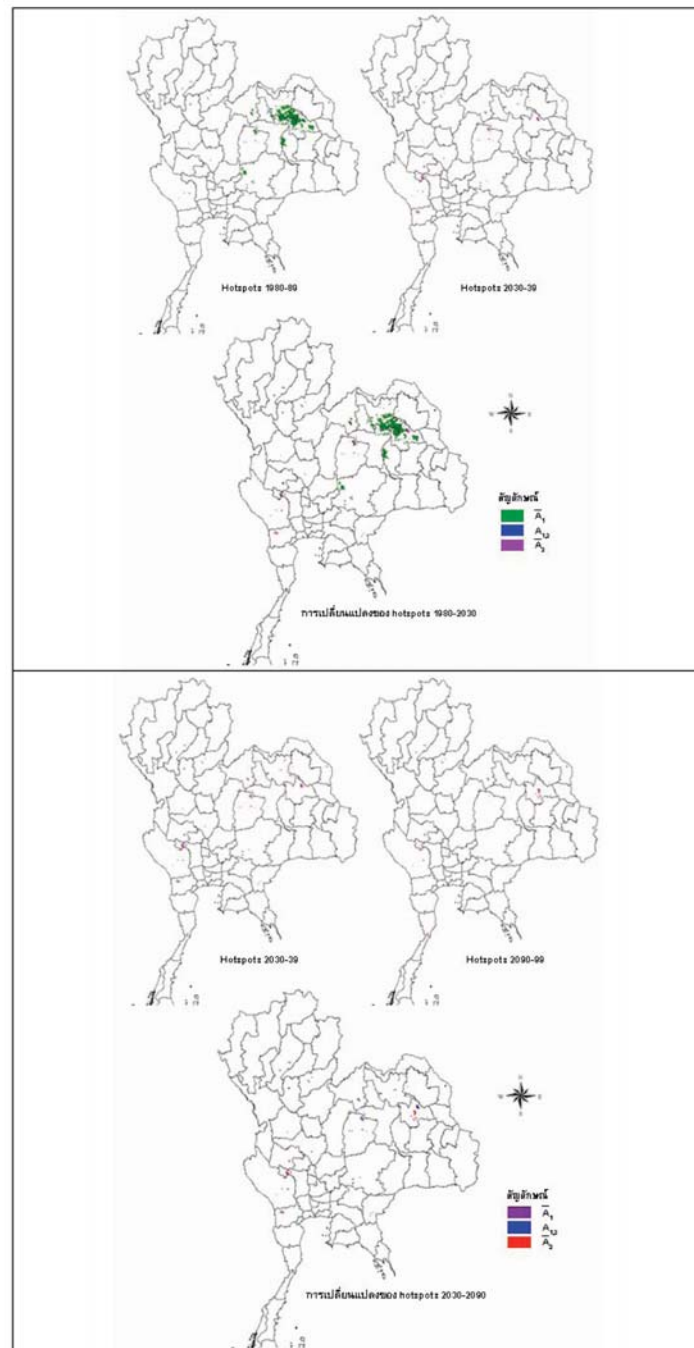
ในช่วงปี 2030-39 พบว่าผลผลิตเฉลี่ยของอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือดีขึ้น อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกอ้อยในเขตจังหวัดขอนแก่น

และมหาสารคาม ส่วนพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดอุดรธานี และกาฬสินธุ์ยังเหลือเพียงเล็กน้อยที่ให้ผลผลิตต่ำ และพื้นที่ปลูกจังหวัดชัยภูมิ และนครราชสีมาใกล้เคียงกับปีก่อน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือผลผลิตสูงขึ้น แต่กลับมีพื้นที่ปลูกในบางจังหวัดกลับลดต่ำลง ที่เห็นได้ชัดคือในจังหวัดเพชรบุรี และสุพรรณบุรี แต่โดยรวมแล้วพบว่า พื้นที่ที่ให้ผลผลิตต่ำเหลือเพียง 155,446 ไร่ หรือเหลือเพียงร้อยละ 1 ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศ

ในปี 2090-99 พบว่า พื้นที่ปลูกอ้อยที่ยังคงให้ผลผลิตต่ำยังอยู่ในเขตพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดกาฬสินธุ์ สุพรรณบุรี ประจวบคีรีขันธ์และในภาคเหนือได้แก่ อุดรดิตถ์ สุโขทัยและลำปาง แต่เมื่อเทียบสัดส่วนกับทั้ง 2 ช่วงเวลาที่ผ่านมา พบว่า พื้นที่ที่ยังให้ผลผลิตต่ำอยู่เหลือเพียง 82,636 ไร่ หรือเพียงร้อยละ 0.0 ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศ (รูปที่ 10)

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ hotspots พบว่า พื้นที่ที่ผลผลิตต่ำในช่วงปี 1980-89 จะมีผลผลิตเพิ่มขึ้น และทำให้พื้นที่ที่เป็น hotspots ในช่วงปี 2030-39 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อ

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ hotspots จากช่วงปี 2030-39 ถึง 2090-99 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก พื้นที่ hotspots จะเพิ่มขึ้นในเขตจังหวัดกาฬสินธุ์ และสุพรรณบุรี



รูปที่ 10. พื้นที่ hotspots ของอ้อย ปี 1980-89, 2090-99 และการเปลี่ยนแปลงในช่วงดังกล่าว

มันสำปะหลัง

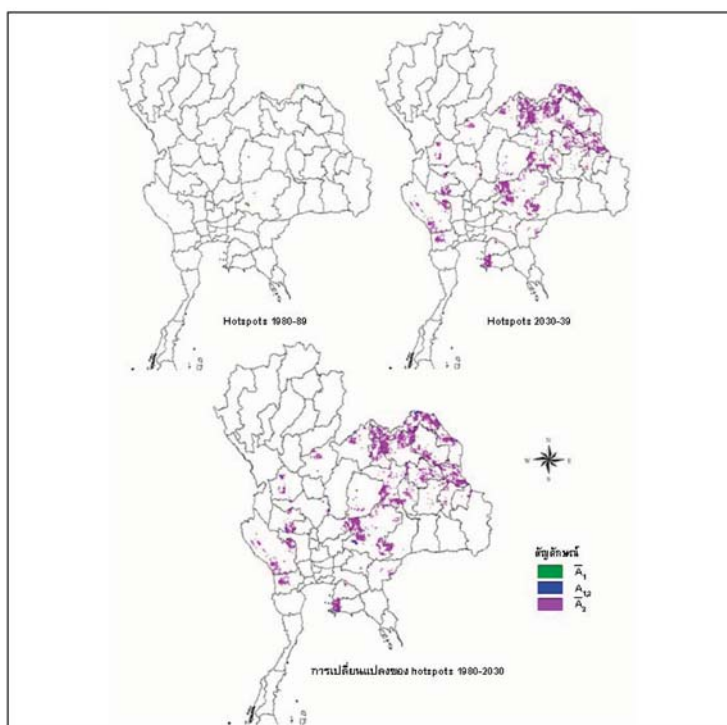
เมื่อพิจารณาจากผลผลิตเฉลี่ยปีฐานของ มันสำปะหลังเท่ากับ 4.1 ตันต่อไร่ พื้นที่ที่ผลผลิตต่ำกว่า ร้อยละ 70 ของผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศ หรือต่ำกว่า 2.9 ตันต่อไร่ มีพื้นที่เพียง 91,776 ไร่ พบในจังหวัดหนองคาย ชัยภูมิ และ นครราชสีมา

ในช่วงปี 2030-39 พื้นที่ที่ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลงต่ำกว่าร้อยละ 70 ของปีฐาน มีพื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 4,429,644 ไร่ พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่จังหวัดหนองคาย อุดรธานี หนองบัวลำภู ขอนแก่น กาฬสินธุ์ สกลนคร นครราชสีมา สำหรับภาคกลางได้แก่ จังหวัดราชบุรี กาญจนบุรี และอุทัยธานี ส่วนภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง (รูปที่ 11)

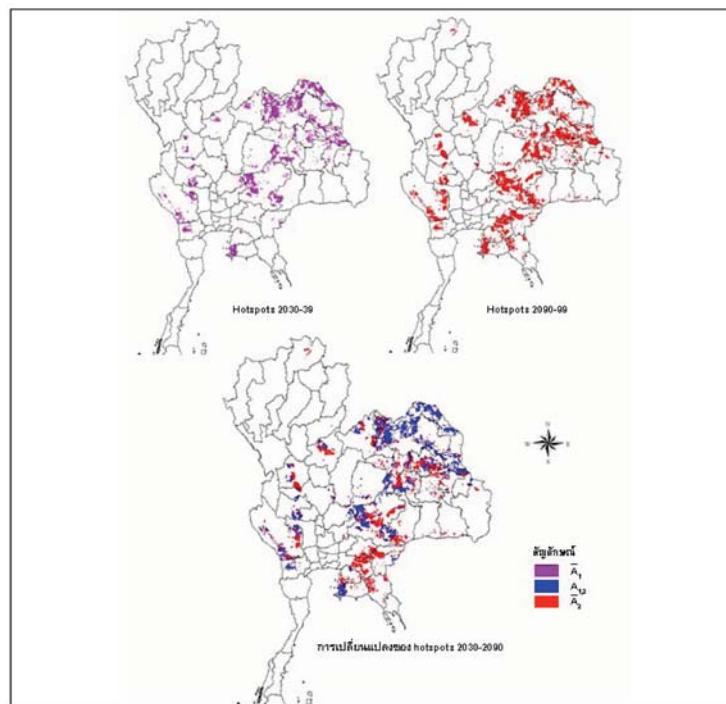
ในปี 2090-99 พื้นที่ดังกล่าวเพิ่มขึ้นอีกเป็น 10,064,926 ไร่ ปรากฏมากในพื้นที่ปลูกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่จังหวัดหนองคาย

อุดรธานี หนองบัวลำภู ขอนแก่น กาฬสินธุ์ สกลนคร นครราชสีมา ร้อยเอ็ด มหาสารคาม และบุรีรัมย์ ภาคกลางได้แก่ จังหวัดราชบุรี กาญจนบุรี และอุทัยธานี และกำแพงเพชร ส่วนภาคตะวันออก ได้แก่จังหวัดสระแก้ว ฉะเชิงเทรา ระยอง และจันทบุรี นอกจากนี้พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่รุนแรงยังขยายไปสู่ภาคเหนือ ได้แก่จังหวัดพิจิตร และเชียงรายอีกด้วย (รูปที่ 12)

เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ hotspots พบว่า พื้นที่ hotspots ที่เกิดขึ้นใหม่ในช่วงปี 2030-39 จะกระจายอยู่ในพื้นที่ที่ปลูกมันสำปะหลังทั่วประเทศ แต่พื้นที่ของ hotspots ในช่วงปี 2090-99 จะประกอบด้วย hotspots เดิมจากปี 2030-39 ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในแถบจังหวัดเลย อุดรธานี หนองคาย นครพนม นครราชสีมา และระยอง ส่วน hotspots ที่เกิดขึ้นใหม่ในช่วงปี 2090-99 จะเห็นได้ชัดในแถบจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด มหาสารคาม นครราชสีมา บุรีรัมย์ สระแก้ว ฉะเชิงเทรา และจันทบุรี



รูปที่ 11. พื้นที่ hotspots ของมันสำปะหลัง ปี 1980-89, 2030-39 และการเปลี่ยนแปลง ในช่วงดังกล่าว



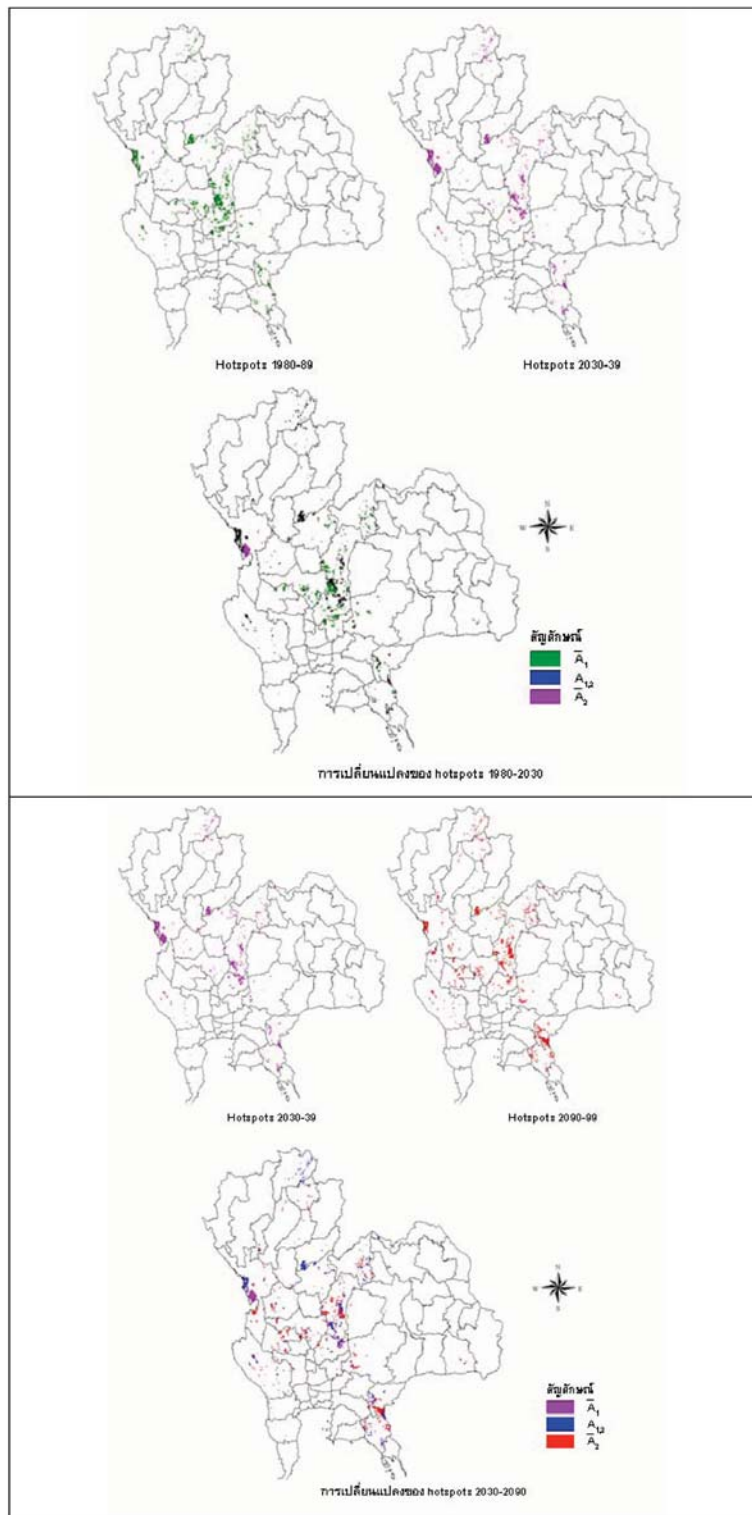
รูปที่ 12. พื้นที่ hotspots ของมันสำปะหลังปี 2030-39, 2090-99 และการเปลี่ยนแปลงในช่วงดังกล่าว

ข้าวโพด

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตเป็นร้อยละของค่าเฉลี่ยจากปีฐาน (1980-89) กับปี 2030 และปี 2090 ในแต่ละแหล่งปลูกทั่วประเทศ พบว่า ในปี 2030 มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดที่มีผลผลิตต่ำกว่าร้อยละ 70 ของผลผลิตเฉลี่ยในปีฐาน เท่ากับ 859,996 ไร่ หรือคิดเป็นพื้นที่ลดลงร้อยละ 21.24 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยปีฐาน ซึ่งมีพื้นที่ 1,091,959 ไร่ แสดงว่าพื้นที่ที่มีผลผลิตต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าเฉลี่ยปีฐานลดลง หรือมีพื้นที่ที่ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน ในขณะที่ปี 2090 มีพื้นที่ที่มีผลผลิตต่ำกว่าร้อยละ 70 ของปีฐาน เพิ่มขึ้นเป็น 1,292,906 ไร่ หรือเพิ่มขึ้นจากช่วงปี 2030 เท่ากับ 432,910 ไร่ หรือคิดเป็นพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 50.34 และมีพื้นที่ที่มีผลผลิตต่ำกว่าร้อยละ 70 ของปีฐาน เพิ่มขึ้น 200,947 ไร่ หรือคิดเป็นพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 18.40 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน โดยพื้นที่ที่มีผลผลิตต่ำดังกล่าว สามารถ

แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มที่ 1 คือ พื้นที่จังหวัดเลย เพชรบูรณ์ และนครราชสีมา กลุ่มที่ 2 คือ พื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ อุทัยธานี กาญจนบุรี กำแพงเพชร ตาก และลำพูน กลุ่มที่ 3 คือ พื้นที่จังหวัดสระแก้ว และจันทบุรี กลุ่มที่ 4 คือ พื้นที่จังหวัดเชียงราย พะเยา ลำปาง และแพร่

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ hotspots พบว่า hotspots ของปี 1980-89 ได้ลดลงในปี 2030-39 อย่างเห็นได้ชัดในภาคกลางบริเวณจังหวัดลพบุรี และนครสวรรค์ ส่วน hotspots ที่เกิดขึ้นใหม่ อยู่ในเขตจังหวัดตาก ส่วนพื้นที่ที่ยังคงเป็น hotspots อยู่ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์ ตาก และเพชรบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปี 2030-39 กับ ปี 2090-99 พบว่า hotspots เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในภาคกลางและภาคตะวันออก ส่วนพื้นที่ในจังหวัดอุตรดิตถ์ ตาก และเพชรบูรณ์ ยังคงเป็น hotspots อย่างต่อเนื่องจากปี 1980-89 (รูปที่ 13)



รูปที่ 13. พื้นที่ hotspots ของข้าวโพด ปี 1980-89, 2030-39, 2090-99 และการเปลี่ยนแปลง ในช่วงดังกล่าว

สรุป

ในอ้อยโรงงานผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตในระยะยาว ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ CO₂ และอุณหภูมิ ทำให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มสูงขึ้น ประมาณร้อยละ 6 เมื่อเปรียบเทียบผลระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตกับความแปรปรวนรายปีและรายพื้นที่ มีความแปรปรวนร้อยละ 18 และ 23 ตามลำดับ การจำแนกพื้นที่วิกฤต (hotspots) ในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา พบว่า อ้อยโรงงานเป็นพืชที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศน้อยที่สุด พื้นที่ที่ผลผลิตต่ำในปี 1980-89 ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่พื้นที่เหล่านี้ได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง เหลือเพียงร้อยละ 1 ในช่วงปี 2030-2039 และ ร้อยละ 0.01 ในช่วงปี 2090-2099 สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศจากปี 1980-2099 นั้นไม่ส่งผลกระทบในด้านลบต่อการผลิตอ้อยแต่ในขณะเดียวกัน ยังส่งผลให้ผลผลิตอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

ในมันสำปะหลัง ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตในระยะยาว เกิดขึ้นรุนแรง โดยที่ผลผลิตลดลงถึงร้อยละ 43 เมื่อเปรียบเทียบผลระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตกับความแปรปรวนรายปี พบว่า ความแปรปรวนรายปีมีค่าสูง และเมื่อคิดในรูปร้อยละของค่าผลผลิตเฉลี่ย ($SD/mean \times 100$) พบว่า มีค่าร้อยละ 34 เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนรายพื้นที่ ซึ่งนอกเหนือจากภูมิอากาศแล้ว ยังมีผลกระทบจากความหลากหลายของคุณสมบัติของดินมาเกี่ยวข้องด้วย พบว่าค่าเชิงพื้นที่ของ $SD/mean \times 100$ โดยเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีค่าร้อยละ 33 เมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนดังกล่าวเบื้องต้น พบว่า อาจเกิดจากปฏิกริยาร่วมระหว่างปริมาณฝนและคุณสมบัติอื่นๆ ที่เกิดเฉพาะกับพื้นที่แต่ละแห่ง ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ว่าการแก้ปัญหาของผลผลิตอาจจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเป็นแต่ละกรณีไป ตามคุณสมบัติของพื้นที่นั้นๆ การจำแนกพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่รุนแรง (hotspots) จึงพิจารณาทั้งในแง่ของพื้นที่และเวลาควบคู่กัน

โดยได้แบ่งระยะเวลาออกเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ปี 1980-89 ช่วงที่ 2 ปี 2030-39 และช่วงที่ 3 ปี 2090-99 พบว่า มันสำปะหลังเป็นพืชที่ได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก โดยในช่วงปี 1980-89 มีพื้นที่ hotspots 91,776 ไร่ (ร้อยละ 0.70) ช่วงปี 2030-39 มีพื้นที่ 4,429,644 ไร่ (ร้อยละ 35) และในช่วงปี 2090-99 เพิ่มขึ้นเป็น 10,064,926 ไร่ (ร้อยละ 79) ครอบคลุมพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ

ในข้าวโพด ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตข้าวโพดในระยะยาว ทำให้ผลผลิตข้าวโพดลดลง ร้อยละ 15 และพบว่ามี ความแปรปรวนของผลผลิตสูงทั้งรายปีและรายพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 41 และ 45 ตามลำดับ ซึ่งนอกจากภูมิอากาศแล้ว ยังมีผลกระทบจากความหลากหลายของคุณสมบัติของดินมาเกี่ยวข้องด้วย แต่เมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนดังกล่าวเบื้องต้น กลับไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างปริมาณฝนในช่วงฤดูปลูกกับผลผลิต ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกริยาร่วมระหว่างปริมาณฝนและคุณสมบัติอื่นๆ ที่เกิดเฉพาะกับพื้นที่แต่ละแห่ง ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ว่าการแก้ปัญหาของผลผลิตข้าวโพดอาจจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเป็นกรณี ๆ ตามคุณสมบัติของดินในพื้นที่นั้นๆ เนื่องจากความแปรปรวนที่สูงทั้งเชิงเวลาและพื้นที่ดังกล่าว ประกอบกับปฏิกริยาร่วมระหว่างภูมิอากาศและดิน การจำแนกพื้นที่ ที่ได้รับผลกระทบที่รุนแรง (hotspots) จึงพิจารณาทั้งในแง่ของพื้นที่และเวลาควบคู่กัน และได้แบ่งระยะเวลาออกเป็น 3 ช่วง เช่นเดียวกับมันสำปะหลัง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ hotspots จะลดลงในช่วงปี 1980-89 ถึง 2030-39 แต่กลับเพิ่มขึ้นอีกในปี 2090-99

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2543. ระบบฐานข้อมูลกลุ่มชุดดิน Soil View version 2.0 ฝ่ายระบบสารสนเทศ วิชาการ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- เกรียงศักดิ์ สุวรรณธรรดล. 2544. ส่องทศวรรษของธุรกิจเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดไร่ลูกผสมใน

- ประเทศไทย. เอกสารประกอบคำบรรยายในการประชุมข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติครั้งที่ 30. วันที่ 19-20 สิงหาคม 2544 ณ โรงแรมเนวาด้า แกรนด์ จังหวัดอุบลราชธานี. 18 หน้า.
- ธีรศักดิ์ มานูพันธ์. 2542. สถานการณ์ข้าวโพด. รายงานการประชุมวิชาการข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 29. วันที่ 23-27 สิงหาคม 2542 ณ โรงแรมเฟลิกซ์ ริเวอร์แคว จ.กาญจนบุรี. 10 หน้า
- นิรนาม. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลัง. เกษตรดีที่เหมาะสม ลำดับที่ 13. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 22 หน้า. (พิมพ์ครั้งที่ 1)
- นิรนาม. 2547ก. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. เกษตรดีที่เหมาะสม ลำดับที่ 17. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 23 หน้า. (พิมพ์ครั้งที่ 2)
- นิรนาม. 2547ข. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับอ้อย. เกษตรดีที่เหมาะสม ลำดับที่ 19. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 27 หน้า. (พิมพ์ครั้งที่ 2)
- วินัย ศรีวัด สุกิจ รัตนศรีวงษ์ และเพ็ญเพ็ญ ศรีวัด. 2542. การเจริญเติบโตและการพัฒนาการของมันสำปะหลังพันธุ์แนะนำ. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2542 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 134-159.
- ศูนย์สารสนเทศ. 2544. โปรแกรมสนับสนุนการกำหนดเขตปลูกพืชเศรษฐกิจ (AgZone 1.0) กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวง เกษตรและสหกรณ์.
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2551. ข้อมูลพื้นฐานการเศรษฐกิจการเกษตร. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 15.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2546. รายงานผลการสำรวจข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปีการเพาะปลูก 2545/46. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 124 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. รายงานผลการสำรวจข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปีการเพาะปลูก 2549/50. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 120 หน้า.
- สถาบันวิจัยพืชไร่. 2546. ผลงานวิจัยพืชไร่ ปี 2546. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. 276 หน้า
- อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เลาสีรวงศ์ และเฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง. 2540. การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อย. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยการพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 56-65.
- อรรถชัย จินตะเวช. 2551. วิธีการและเครื่องมือในการศึกษาผลกระทบโลกร้อนต่อระบบการผลิตอาหาร. ใน รายงานการประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติครั้งที่ 4 วันที่ 27-28 พฤษภาคม 2551 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส เชียงใหม่. หน้า 28-38.
- Anwar, M. R., G. O'Leary, D. McNeil, H. Hossain, and R. Nelson. 2007. Climate change impact on rainfed wheat in south-eastern Australia. Field Crops Research 104: 139-147.
- ESRI. 1996. ArcView: The Geographic Information System for Everyone. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007-02-05). In Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, NY.

- Joseph, C.V. Vu. and Leon, H. Allen Jr. 2009. Growth at elevated CO₂ delays the adverse effects of drought stress on leaf photosynthesis of the C₄ sugarcane. **Journal of Plant Physiology**. 166:107-116.
- Kim, S., D.C. Gitz, R.C. Sicher Jr, J.T. Baker, D.J. Timlin, and V. Reddy. 2007. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. **Environmental and Experimental Botany**. 61:224-236.
- Tan, G., and R. Shibasaki. 2003. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. **Ecological Modelling** 168: 357-370.
- Tsuji, G.Y., G. Uehara, and S. Balas (eds.). 1994. DSSAT 3 vol 1-3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Zaidi, P. 2002. Global climate change & problem of drought in maize. CIMMYT, Mexico. 3 pp.