



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย
มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย

**Impacts of Global Warming on Rice, Sugarcane, Cassava,
and Maize Production in Thailand**

โดย

เกริก ปั่นเหน่งเพชร และคณะ

31 ตุลาคม 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย

มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย

Impacts of Global Warming on Rice, Sugarcane, Cassava, and Maize

Production in Thailand

นายเกริก ปั่นเหล่งเพชร

นายวินัย ศรวัต

นายสมชาย บุญประดับ

นายสุกิจ รัตนศรีวงศ์

นายสหชัย คงทน

นายสมปอง นิลพันธ์

นายอิสระ พุทธสิมมา

นายปรีชา กาเพชร

นางแคทลียา เอกอุ้น

นางสาววิภาวรัตน์ ดำริเข้มตระกูล

นายชัชฌา บุคดาบุญ

นางกิ่งแก้ว คุณเขต

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 กรมวิชาการเกษตร

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา กรมวิชาการเกษตร

สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร

ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาฬสินธุ์ กรมวิชาการเกษตร

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเลย กรมวิชาการเกษตร

ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี กรมการข้าว

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว

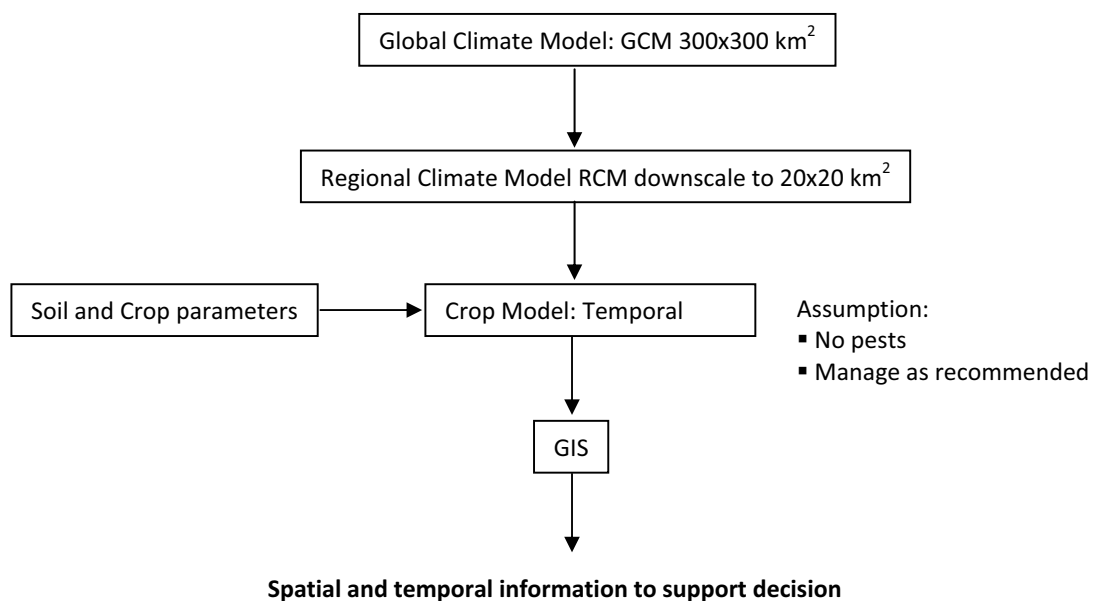
สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สรุปการดำเนินงานสำหรับผู้บริหาร

การผลิตพืชเป็นระบบที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบเศรษฐกิจของประเทศ เพื่อเตรียมการปรับตัวและสร้างทางเลือกของระบบการผลิตพืชเพื่อรองรับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศโลกในอนาคต โครงการนี้จึงได้ศึกษาผลกระทบจากภาวะดังกล่าวต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศคือ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ทั้งในแง่ของผลกระทบในระยะยาวที่สืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ คาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิ และผลอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของสภาพอากาศที่เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อน พร้อมกับวิเคราะห์หาพื้นที่ๆ จะได้รับผลกระทบที่รุนแรง และหาทางเลือกในการรับมือกับภาวะการณดังกล่าว

การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคต ปี 1980-2099 จากการประเมินโดยแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (regional climate model) PRECIS ซึ่งดำเนินการโดยสถาบัน SEA START มาใช้เป็นตัวแปรขับเคลื่อน (forcing function) แบบจำลองพืช DSSAT ภายใต้ข้อกำหนดที่ไม่มีการระบาดของโรคแมลง และมีการจัดการพืชตามคำแนะนำของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองโดยแบบจำลองพืช ไปวิเคราะห์เชิงพื้นที่โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังสรุปเป็นแผนภาพดังนี้



จากการศึกษาพบว่าผลกระทบในระยะยาวจากภาวะโลกร้อน ไม่มีผลกระทบที่รุนแรงต่อผลผลิตพืช ยกเว้นมันสำปะหลัง แต่ผลกระทบทางอ้อมต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศ ทำให้ผลผลิตมีความแปรปรวนรายปีสูง และความแปรปรวนระหว่างพื้นที่ยิ่งสูงมากขึ้น ดังนั้นแม้โดยภาพรวมผลผลิตจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักแต่บางพื้นที่จะได้รับผลกระทบในระดับที่วิกฤต ในกรณีของข้าวนาปี พื้นที่วิกฤตส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่พื้นที่นาชลประทานที่ได้รับผลกระทบรุนแรงจะกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ พื้นที่วิกฤตของการผลิตอ้อยและมันสำปะหลังส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และสำหรับข้าวโพดพื้นที่วิกฤตกระจายอยู่ทั่วไป

เมื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงพบว่าเกิดจากการกระจายตัวของฝน ประกอบกับความอุดมสมบูรณ์ดินเป็นสาเหตุที่สำคัญ ส่วนผลผลิตอ้อยจะได้รับผลกระทบจากความชื้นดินซึ่งขึ้นกับฝน คุณสมบัติทางกายภาพของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่การกระจายตัวของรากเป็นไปได้อย่างจำกัด การลดลงของผลผลิตมันสำปะหลังเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่มีปฏิกริยาร่วมอย่างชัดเจนกับคุณสมบัติทางกายภาพของดิน แต่ในเขตการผลิตภาคเหนือตอนล่างการลดลงของผลผลิตเกิดจากอุณหภูมิ สำหรับข้าวโพดการลดลงของผลผลิตเกิดจากการขาดน้ำในช่วงออกดอกติดฝัก และแสดงออกอย่างรุนแรงในดินที่อุ้มน้ำได้น้อย

แนวทางของการปรับระบบการผลิตพืชเพื่อรองรับภาวะดังกล่าวประกอบด้วยการพัฒนาพันธุ์พืชที่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูง อัตราการเจริญเติบโตเร็ว อายุสั้น และทนแล้ง รากหยั่งลึก พัฒนาระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ และจัดหาแหล่งน้ำในไร่นา การปรับปรุงบำรุงดิน การจัดการดินและธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่

อย่างไรก็ตาม ควรที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ ข้อมูลภูมิอากาศจากแบบจำลองภูมิอากาศอื่นๆ และแบบจำลองพืชอื่นๆ ตลอดจนประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนกับการระบาดของโรคแมลงศัตรูพืช ซึ่งจะทำให้สามารถสรุปผลกระทบจากภาวะการณดังกล่าวแม่นยำมากยิ่งขึ้น

รหัสโครงการ: RDG5130007

ชื่อโครงการ: ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย

ชื่อนักวิจัย: เกริก บัณฑิตเพ็ชร¹ วินัย ศรีวัด² สมชาย บุญประดับ² สุกิจ รัตนศรีวงษ์² สหัชชัย คงทน³ สมปอง นิลพันธ์³ ชัชฌา บุดดาบุญ⁴ กิ่งแก้ว คุณเขต⁴ อิศระ พุทธสีมา³ ปรีชา กาเพชร³ แคทลียา เอกอุ้น³ วิจารณ์ ดำริเข้มตระกูล³
¹คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ²กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ³กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ⁴กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

email address: krirk@kku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: มกราคม 2551 – ตุลาคม 2552

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลกมีผลกระทบต่อผลผลิตพืช ทั้งในระยะยาวและความแปรปรวนของผลผลิต ดังนั้นจึงได้ประเมินผลกระทบดังกล่าวต่ออนาคตการผลิตข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด โดยใช้แบบจำลองพืช DSSAT ร่วมกับ ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ และใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศปี 1980-2099 จากการจำลองของ ECHAM4-PRECIS เป็นตัวแปรขับเคลื่อน ภายใต้ข้อกำหนดที่ไม่มีการระบาดของโรคแมลง และมีการจัดการพืชตามคำแนะนำของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

การประเมินผลพบว่าการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิ มีผลกระทบในระยะยาวค่อนข้างต่ำต่อผลผลิตข้าว อ้อย และข้าวโพด แต่ทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลงถึงร้อยละ 43 ในแง่ความแปรปรวนของผลผลิตซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความเสี่ยงของระบบการผลิตมีค่าความแปรปรวนสูง โดยมีค่าความแปรปรวนระหว่างปีเฉลี่ย ร้อยละ 14 สำหรับข้าวหน้าน้ำฝนและนาชลประทาน ร้อยละ 18 สำหรับอ้อย ร้อยละ 34 สำหรับมันสำปะหลัง และร้อยละ 41 สำหรับข้าวโพด ความแปรปรวนระหว่างพื้นที่มีค่าสูงมากขึ้น เฉลี่ยร้อยละ 33 สำหรับข้าวหน้าน้ำฝนและนาชลประทาน ร้อยละ 23 สำหรับอ้อย ร้อยละ 33 สำหรับมันสำปะหลัง และร้อยละ 45 สำหรับข้าวโพด

พื้นที่ปลูกข้าวหน้าน้ำฝนที่ได้รับผลกระทบที่รุนแรงส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับข้าวชลประทานอยู่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนพื้นที่ปลูกอ้อยและมันสำปะหลังที่ได้รับผลกระทบสูงอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพื้นที่ปลูกข้าวโพดอยู่ในภาคเหนือและบริเวณรอยต่อกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สาเหตุเกิดจากความแปรปรวนของฝนที่จะแสดงออกอย่างรุนแรงในดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังนั้นการปรับตัวจึงต้องพัฒนาโดยการขยายระบบชลประทานและอนุรักษ์ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

คำสำคัญ: ภาวะโลกร้อน ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด

Abstract

Project Code: RDG5130007

Project Title: Impacts of Global Warming on Rice, Sugarcane, Cassava, and Maize Production in Thailand

Investigators: Pannangpetch K.¹, Sarawat V.², Boonpradub S.², Ratanasriwong S.², Kongton S.³, Nilpunt S.³, Buddhaboon C.⁴, Kunket K.⁴, Buddhasimma I.², Kapetch P.², Ek-un K.², Damrhikhemtrakul W.²

¹Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, ²Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, ³Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, ⁴Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives,

email address: krirk@kku.ac.th

Project Duration: January 2008 – October 2009

Global climate change can affect both long term changes in crop yield, and yield variability. Therefore its influences on the future production of rice, sugarcane, cassava, and maize were investigated using DSSAT crop model linked with GIS, and driven by weather data from ECHAM4-PRECIS climate models. Simulation was conducted under the conditions of no pests and crop management as recommended by the Ministry of Agriculture and Cooperatives.

Results showed that CO₂ and temperature increases had insignificant effect on long term changes in yields of rice, sugarcane, and maize, but reduced yield of cassava by 43 percent. Yield variability, an important determinant of risk, was high with mean annual variation of 14, 18, 34, and 41 percent for rainfed and irrigated rice, sugarcane, cassava, and maize respectively. Spatial yield variability was even higher, 33 percent for rainfed and irrigated rice, 23 percent for sugarcane, 33 percent for cassava and 41 percent for maize. Impacts of climate change were most pronounced in the Northeast region for rainfed rice, in the Central plain and Northeast for irrigated rice, in the Northeast region for sugarcane and cassava, and in the North region and along the border to the Northeast for maize. Yield variability was largely governed by intensity and pattern of rainfall variability which interacted and manifested strongly in soils with low water holding capacity and low fertility. Hence adaptation would require extensive irrigation and soil conservation and improvement.

Key words: Global Warming, rice, sugarcane, cassava, maize

สารบัญ

	หน้า
สรุปการดำเนินงานสำหรับผู้บริหาร	II
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
รายละเอียดผลการศึกษา	1
บทนำ	1
วัตถุประสงค์หลักของโครงการ	2
ขั้นตอนการดำเนินการ	2
การรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูล	3
หน่วยย่อยการผลิตพืช (Simulation Mapping Unit)	3
ข้อมูลดิน	4
ข้อมูลภูมิอากาศ	5
ข้อมูลพื้นที่ปลูกพืช	6
การสร้างหน่วยย่อยการผลิตพืช (SMU)	8
การตรวจสอบความถูกต้องของการประเมินผลของแบบจำลอง	11
การเลือกข้อมูลผลผลิตพืชจากการวัดภาคสนาม	11
แหล่งปลูกข้าว	13
แหล่งปลูกอ้อย	14
แหล่งปลูกมันสำปะหลัง	15
แหล่งปลูกข้าวโพด	17
การจำลองผลผลิตพืชและเปรียบเทียบกับผลผลิตจากการวัดภาคสนาม	19
วิธีการจำลองผลผลิตและตรวจสอบผลการจำลอง	19
ผลการจำลองและการตรวจสอบ	22
ข้าว	22
อ้อย	24
มันสำปะหลัง	26
ข้าวโพด	28
สรุป	30
การจำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืช	31
การตรวจสอบการใช้ระดับ CO ₂ เฉลี่ย และข้อมูลภูมิอากาศรายวัน	32
การตรวจการใช้ระดับ CO ₂ เฉลี่ย	32
การตรวจสอบข้อมูลนำเข้าภูมิอากาศ	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิธีการจำลอง	36
วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตเชิงเวลาและพื้นที่	37
ผลการจำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืช	38
ผลกระทบต่อผลผลิตข้าวในระยะยาวและระยะสั้น	38
ผลกระทบต่อผลผลิตอ้อยระยะยาว และระยะสั้น	40
ผลกระทบต่อผลผลิตมันสำปะหลังระยะยาวและระยะสั้น	42
ผลกระทบต่อผลผลิตข้าวโพดระยะยาว และระยะสั้น	43
สรุป	45
การวิเคราะห์พื้นที่และช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบรุนแรง	46
พื้นที่และช่วงเวลาที่ผลผลิตข้าวได้รับผลกระทบ	46
พื้นที่และช่วงเวลาที่ผลผลิตอ้อยได้รับผลกระทบ	47
พื้นที่และช่วงเวลาที่ผลผลิตมันสำปะหลังได้รับผลกระทบ	48
พื้นที่และช่วงเวลาที่ผลผลิตข้าวโพดได้รับผลกระทบ	49
ดัชนีชี้วัดผลกระทบ Impact Index	50
พื้นที่วิกฤตของการผลิตพืช	50
การแบ่งชั้นการกำหนดค่าดัชนีของผลกระทบ	54
การเปรียบเทียบผลกระทบภายใต้ SRES A2 และ B2	59
การปรับระบบการผลิตพืชเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลก	62
การปรับระบบการผลิตข้าว	63
การปรับระบบการผลิตอ้อย	80
การปรับระบบการผลิตมันสำปะหลัง	91
การปรับระบบการผลิตข้าวโพด	106
สรุป	117
เอกสารอ้างอิง	118
ภาคผนวก	121
บทความและสิ่งตีพิมพ์ที่ได้เผยแพร่ไปแล้ว	121
ผลงานนำเสนอภาคโปสเตอร์	122
ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมตามแผน ผลที่คาดว่าจะได้รับตามแผน และ	126
ผลการดำเนินการ	
ข้อมูลกลุ่มชุดดินและชุดดินตัวแทน	129
รายชื่อจังหวัดของประเทศไทย และตัวย่อ	143
ภาพภาคผนวก	144

รายละเอียดผลการศึกษา

บทนำ

การเกษตรและการผลิตพืชเป็นระบบที่อ่อนไหว และเปราะบาง (sensitive and vulnerable) ต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าภายในเวลา 70 ปี จากปัจจุบัน จะส่งผลทำให้อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ปริมาณและรูปแบบการกระจายตัวของฝน เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมดังกล่าว จะมีผลกระทบต่อระบบการผลิตพืชโดยตรง (IPCC, 2007a) ซึ่งอาจเป็นผลดีกับระบบการผลิตพืชในเขตอบอุ่น (temperate) แต่เป็นผลเสียในเขตร้อน (IPCC, 2007b) เนื่องจากความสัมพันธ์ของภูมิอากาศและผลผลิตพืชมีลักษณะเป็น non-linear การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตพืชจึงใช้แบบจำลองพืช

Cline (2007) ได้ใช้ statistical model และ crop model ทำนายว่าผลผลิตทางการเกษตรของประเทศกำลังพัฒนาในปี 2080 จะลดลงจากปัจจุบันร้อยละ 20 และสำหรับประเทศไทยจะลดลงร้อยละ 15 Zhai และ Zhuang (2009) ได้ใช้แนวทางดังกล่าวประเมินผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจและรายงาน GDP ของประเทศใน SE-Asia จะลดลงร้อยละ 1.4 และสำหรับประเทศไทยลดลงร้อยละ 2.4 สูงที่สุดในกลุ่ม ASEAN Gerald *et. al.* (2009) ได้เชื่อมโยงแบบจำลองทางเศรษฐกิจ IMPACT เข้ากับแบบจำลองพืช DSSAT และคาดการณ์ว่าผลผลิตการเกษตรและคุณภาพชีวิต (human well-being) จะลดลงจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก นอกจากนี้ Anwar และคณะ (2007) ได้ใช้ CCAM-CropSyst ประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตข้าวสาลีในประเทศออสเตรเลียในช่วงปี 2000-2070 พบว่า ผลผลิตข้าวสาลีจะลดลง 25-29% จากปัจจุบัน ในทางตรงกันข้าม Richter และ Semenov (2005) ได้ประเมินผลผลิตข้าวสาลีในอังกฤษและเวลส์ โดยใช้แบบจำลอง HadCM2-Sirius พบว่าผลผลิตจะเพิ่มขึ้น แต่มีโอกาสประสบภาวะขาดน้ำมากขึ้น Kabubo-Mariara และ Karanja (2007) พบว่าภาวะโลกร้อนจะเป็นผลเสียต่อการผลิตพืชและรายได้ต่อครัวเรือนของประชากรประเทศเคนยา (Kenya) อย่างมาก และจำเป็นที่จะต้องเตรียมให้เกษตรกรปรับตัวกับภาวะดังกล่าว Tan และ Shibasaki (2003) ได้บูรณาการ แบบจำลอง EPIC เข้ากับ GIS และ Interference Engine Technique เพื่อประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืช และทางแก้ปัญหาที่เหมาะสม (optimization) จากการประเมินผลพบว่าส่วนใหญ่ของโลกจะได้รับผลเสียจากภาวะดังกล่าว และต้องปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และเศรษฐกิจของประเทศขึ้นกับผลผลิตพืช สภาพดินฟ้าอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปจึงมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและสภาพความเป็นอยู่ของประชากรของประเทศ และจำเป็นที่จะต้องเตรียมการในการปรับตัวและสร้างทางเลือกของระบบการผลิตพืชเพื่อรองรับผลกระทบจากภาวะการณดังกล่าว ดังนั้นโครงการ ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย จึงได้นำข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคตจากผลการประเมินโดยแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (regional climate model) PRECIS ซึ่งดำเนินการโดยสถาบัน SEA START มาใช้กับแบบจำลองพืช (DSSAT: Hoogenboom *et. al.*, 2004) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcView: ESRI, 1996) เพื่อประเมินผลการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศคือ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ภาพได้สภาพเงื่อนไขของการใช้พลังงานของโลกที่ต่างกัน (A2 และ B2) และวิเคราะห์หาทางเลือก เป็นการเตรียมการในการปรับตัว เพื่อรองรับผลกระทบจากภาวะการณดังกล่าว

วัตถุประสงค์หลักของโครงการ

- ระบุ สถานที่ เวลา และระดับความรุนแรง ของผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชแต่ละชนิด ในประเทศ
- เสนอแนวทางเลือกของระบบการผลิต เพื่อรองรับผลกระทบจากภาวะการณดังกล่าว (adaptation)

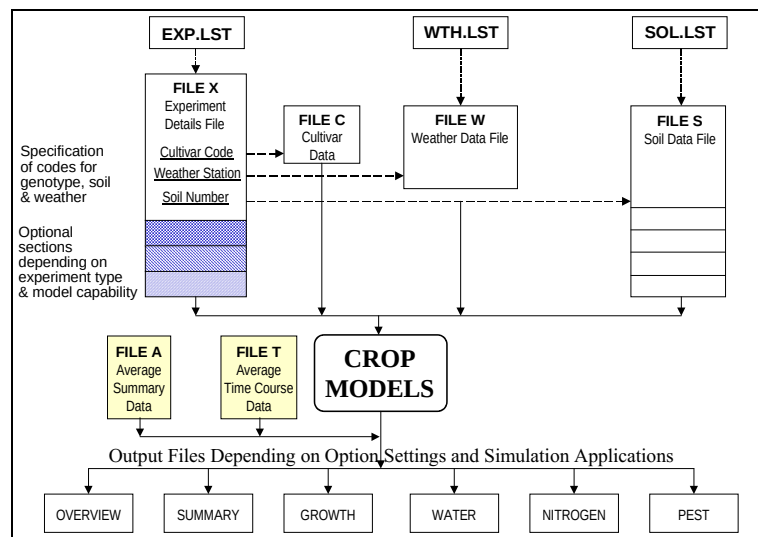
ขั้นตอนการดำเนินการ

โครงการได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักคือ

- รวบรวมและสร้างฐานข้อมูล
- ตรวจสอบความถูกต้องของการประเมินผลของแบบจำลอง
- จำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชทั้ง 4 ชนิด และวิเคราะห์หา พื้นที่ และเวลาที่เกิดผลกระทบ ที่สร้างความเสียหายที่รุนแรง
- วิเคราะห์และทดสอบทางเลือกของการผลิตพืช โดยใช้แบบจำลอง เพื่อหาทางเลือกของระบบการผลิตพืชภาพ ได้สภาพการณดังกล่าว

การรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูล

อัตราการเปลี่ยนแปลงของสภาพพืชและดิน นอกจากจะขึ้นกับสถานะของพืชและดิน ณ เวลานั้นๆ (concurrent states) แล้ว ยังขึ้นกับคุณสมบัติของพืช ของดิน (system properties) และสภาพของภูมิอากาศ เช่น แสง อุณหภูมิ และฝน ณ เวลานั้นๆ (driving variables) อีกด้วย ในการคำนวณหาผลผลิตของพืช แบบจำลองพืชจึงต้องการข้อมูลนำเข้า ซึ่งประกอบด้วย คุณสมบัติของพืช (cultivar data) การจัดการพืช (experiment details) คุณสมบัติของดิน (soil data) และสภาพของภูมิอากาศรายวัน (weather data) ดังแสดงในภาพที่ 1 ข้อมูลสองรายการแรกนั้นเป็นข้อมูลที่เฉพาะกับพืช ส่วนข้อมูลสองรายการหลังเป็นข้อมูลที่สามารถใช้ร่วมกันได้ทุกพืช ดังนั้นการรวบรวมและสร้างฐานข้อมูลจึงเน้นที่การสร้างระบบฐานข้อมูลกลางเพื่อใช้ร่วมกัน



ภาพที่ 1. แผนผังแสดงข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ของการจำลองผลผลิตพืชโดยแบบจำลอง DSSAT

แผนที่หน่วยจำลอง (Simulation Mapping Unit)

แบบจำลองจะจำลองการเจริญเติบโตพืช ณ จุดใดจุดหนึ่งบนพื้นที่ ไปกับเวลา ผลลัพธ์ที่ได้จึงเป็นข้อมูลที่แสดงผล ณ จุดๆ หนึ่งบนพื้นที่ (point data) เท่านั้น หากต้องประเมินผลผลิตพืชของพื้นที่ๆ มีบริเวณกว้าง เช่น พื้นที่ของทั้งประเทศ จำเป็นที่จะต้องแปลงผลการประเมินเชิงจุดให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (areal data)

จุดที่อยู่ใกล้เคียงกันมักจะมีคุณสมบัติของดินและสภาพของภูมิอากาศที่ใกล้เคียงกัน และผลผลิตพืชจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสามารถรวมจุดซึ่งมีคุณสมบัติดังกล่าวที่ใกล้เคียงกันเข้าด้วยกันเป็นพื้นที่ ภายในบริเวณของพื้นที่ดังกล่าวจะมีสภาพแวดล้อม (ดินและภูมิอากาศ) ใกล้เคียงกัน ฉะนั้นการเจริญเติบโตพืชจึงเท่ากัน สมมติเสมอทั่วบริเวณ พื้นที่ดังกล่าวเรียกว่า Simulation Mapping Unit (SMU) ค่าที่ได้จากการจำลองผลผลิต ไม่ว่าจะเป็นจุดไหนใน SMU นั้นๆ จะเท่ากัน และถือว่าเป็นผลผลิตเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งหมดใน SMU นั้นๆ

SMU แต่ละหน่วยจะมีคุณลักษณะที่เฉพาะตัว และแตกต่างจาก SMU อื่นๆ จำนวนและขนาดของ SMU ในพื้นที่ศึกษาจะขึ้นกับความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (spatial variation) ของพื้นที่ศึกษานั้นๆ หากความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูง จำนวนของ SMU จะมาก แต่ SMU จะมีขนาดเล็ก โดยที่แต่ละ SMU ไม่จำเป็นที่จะต้องมียพื้นที่เท่ากันเสมอไป

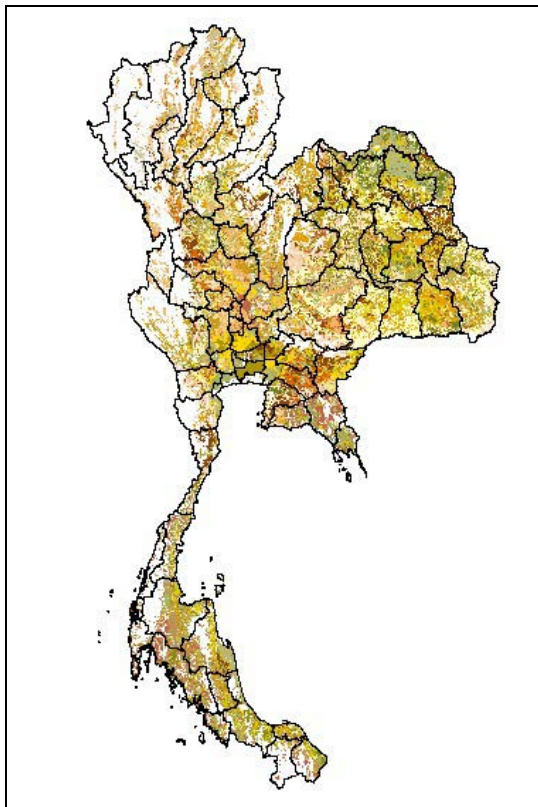
ดังนั้นการดำเนินการในขั้นตอนนี้จึงเป็นการกำหนดขอบเขต และคุณสมบัติของแต่ละ SMU จากข้อมูลคุณลักษณะดิน ภูมิอากาศ และพื้นที่ๆ ปลูกพืชแต่ละชนิด แล้วสร้างเป็นฐานข้อมูลกลาง โดยอาศัยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อใช้ประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืชทั้ง 4 ชนิด

ข้อมูลดิน

ข้อมูลดินที่ใช้ในการประเมินผลผลิตพืชโดยแบบจำลองครั้งนี้ เป็นข้อมูลกลุ่มชุดดินที่กรมพัฒนาที่ดินได้ผลิตขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) ประกอบด้วยแผนที่ มาตรฐาน 1: 50,000 ซึ่งใช้แผนที่ของกรมแผนที่ทหารเป็นแผนที่ฐาน ข้อมูลดังกล่าวเป็นการรวมกลุ่มของชุดดินที่ได้รับการจำแนกด้วยระบบอนุกรมวิธานดิน และมีข้อจำกัดและลักษณะปัญหาที่ต้องการการจัดการคล้ายคลึงกันมาไว้ด้วยกัน พร้อมทั้งกำหนดชุดดินตัวแทนเพื่อใช้อธิบายลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของกลุ่มชุดดินนั้นๆ ข้อมูลประกอบด้วย 62 กลุ่มชุดดิน ดังแสดงในภาพที่ 2 และเสนอรายละเอียดไว้ในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 ลักษณะที่สำคัญสำหรับการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1. คำนวณขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของปริมาณน้ำ (ชม.³/ชม.³) ในแต่ละชั้นความลึกของทุกชุดดินตัวแทน
2. คำนวณความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density: กรัม/ชม.³) ของแต่ละชั้นความลึกของทุกชุดดินตัวแทน
3. คำนวณปริมาณไนโตรเจน (Percent) จากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของแต่ละชั้นความลึกของทุกชุดดินตัวแทน
4. คำนวณอัตราการซาบซึมน้ำ (Sat. hydraulic conductivity: ชม./ชม.) ของแต่ละชั้นความลึกของทุกชุดดินตัวแทน
5. ประเมินปริมาณรากพืชและความลึกของรากของแต่ละชั้นความลึกของทุกชุดดินตัวแทน

ลักษณะข้อมูลอยู่ในรูปแผนที่ทั้งในรูปแบบเอกสาร และแผนที่เชิงเลข (digital map) สามารถนำไปวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS)



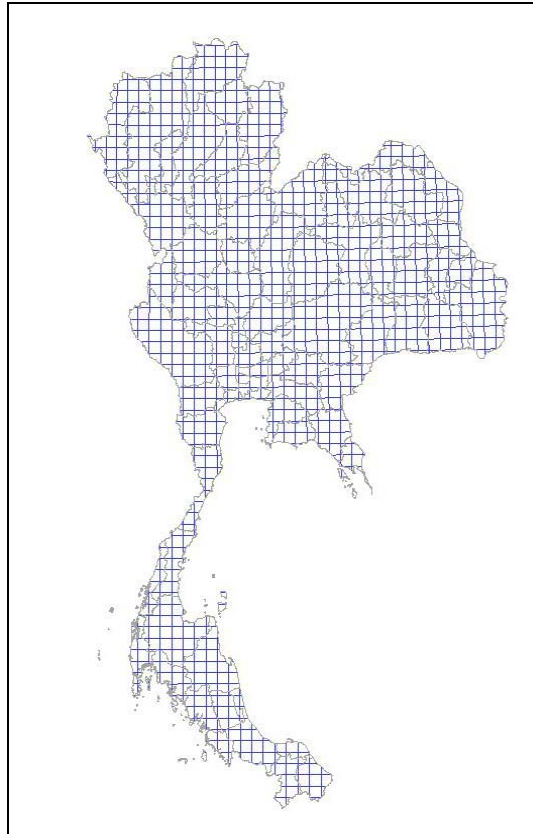
ภาพที่ 2. การกระจายตัวของกลุ่มชุดดินที่ใช้ในการจำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตของข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด

ข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยข้อมูล 2 ประเภทคือ

- ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในอนาคต จากปี ค.ศ. 1980-2099 ภายใต้สภาพของการใช้พลังงานของโลก SRES A2 และ B2 ซึ่งได้จากการประเมินของแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (regional climate model GCM) PRECIS (Jones *et.al.*, 2004) ที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ของการประเมินเท่ากับ 20 x 20 กิโลเมตร การประเมินของแบบจำลอง PRECIS นั้นได้ใช้ข้อมูลของ boundary condition จากแบบจำลองภูมิอากาศระดับโลก (global climate model) ECHAM 4 (Roeckner *et.al.*, 1996) ข้อมูลภูมิอากาศนี้ได้รับการอนุเคราะห์จากสถาบัน SEA START RC จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเป็นข้อมูลที่จะใช้ในการประเมินผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืชทั้ง 4 ชนิดในอนาคต ภาพที่ 3 แสดง การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของขอบเขตภูมิอากาศ (กริดอากาศ)
- ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในอดีต เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดภาคสนาม ใช้สำหรับการตรวจสอบการประเมินผลของแบบจำลอง ข้อมูลภูมิอากาศที่ได้จากการวัดภาคสนามนี้จะ เป็นข้อมูลที่วัดในพื้นที่ๆ ทำการเก็บข้อมูล

ผลผลิตและการเจริญเติบโตของพืชภาคสนาม ที่นำมาใช้ในการตรวจสอบแบบจำลอง แต่ในกรณีที่การเก็บข้อมูลพืชไม่ได้ทำการวัดสภาพภูมิอากาศควบคู่ไปด้วย ก็จะใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภูมิอากาศที่อยู่ใกล้เคียงพื้นที่ๆ ทำการเก็บข้อมูลพืชมากที่สุด ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมโดย กรมอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากข้อมูลจากการวัดภาคสนามใช้เฉพาะการ validate แบบจำลองเท่านั้น ดังนั้นจึงยังไม่รวมไว้ในฐานข้อมูลกลางในการวิจัยนี้



ภาพที่ 3. เขตภูมิอากาศ รายละเอียดระดับ 20 x 20 ตารางกิโลเมตร จากแบบจำลองระดับภูมิภาค (RCM) ที่ใช้ในการจำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตของข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด

ข้อมูลพื้นที่ปลูกพืช

ข้อมูลพื้นที่ปลูกข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดนั้น ได้มาจากข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของโปรแกรม AgZone 1.0 (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ, 2544) ซึ่งมีรายการการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ รวมอยู่ด้วยถึง 1912 รายการ ข้อมูลขนาดพื้นที่และแหล่งปลูกของพืชทั้ง 4 ชนิดนี้ได้มาจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ปี 2543-2544 และเป็นข้อมูลที่แสดงถึงขนาดของพื้นที่ๆสามารถจะปลูกพืชเหล่านี้ได้

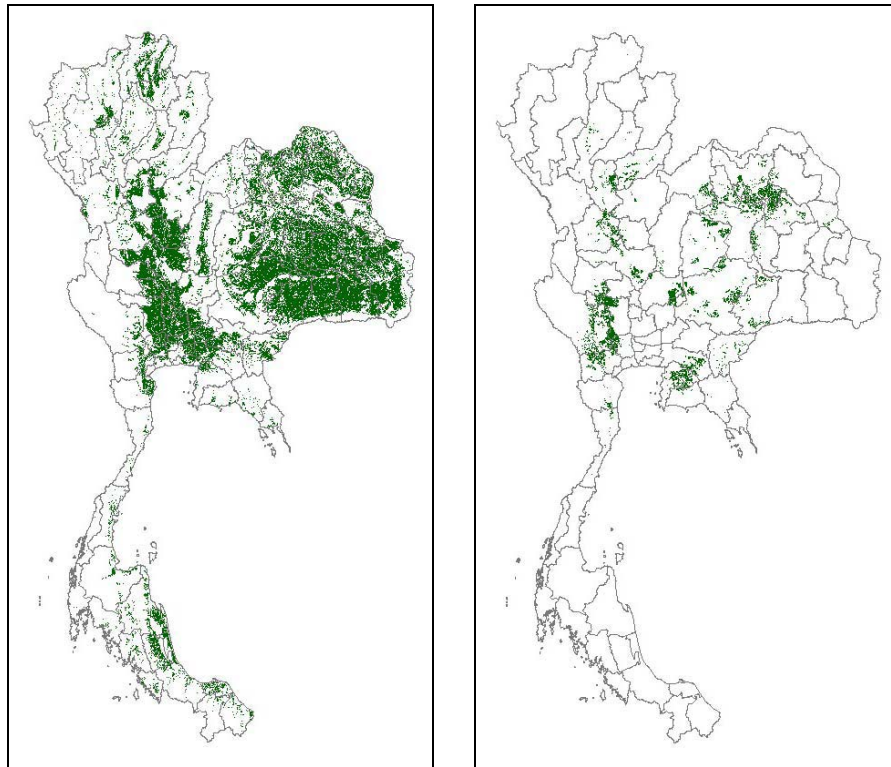
การแยกข้อมูลพื้นที่การปลูกพืชออกมาจากข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้โปรแกรม ArcView 3.2a มี 4 ขั้นตอนหลักโดยสังเขปดังนี้ (รายละเอียดในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1)

ขั้นตอนที่ 1 การเชื่อมตารางคุณลักษณะของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินกับตารางรายการการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้คำสั่ง *Join table*

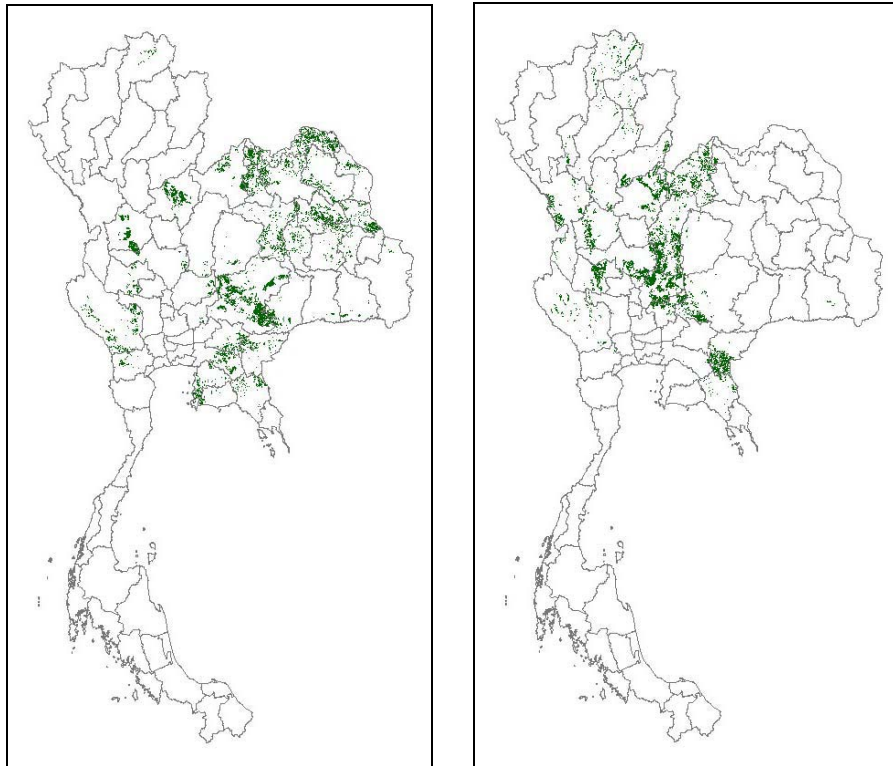
ขั้นตอนที่ 2 การเลือกเฉพาะรายการการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต้องการ คือ พื้นที่ปลูกข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด โดยใช้คำสั่ง *query*

ขั้นตอนที่ 3 สร้างแผนที่ใหม่จากรายการการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต้องการ โดยการใช้คำสั่ง *converts to shape file* ซึ่งจะได้แผนที่การกระจายตัวของพื้นที่ปลูกพืชแต่ละชนิด แสดงในภาพที่ 4ก สำหรับพื้นที่ปลูกข้าว ภาพที่ 4ข พื้นที่ปลูกอ้อย ภาพที่ 4ค พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง และภาพที่ 4ง พื้นที่ปลูกข้าวโพด

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ขนาดพื้นที่ปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด



ภาพที่ 4ก. และ 4ข. พื้นที่ปลูกข้าว (ซ้าย) และ พื้นที่ปลูกอ้อย (ขวา)



ภาพที่ 4ค. และ 4ง. พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง (ซ้าย) และ พื้นที่ปลูกข้าวโพด (ขวา)

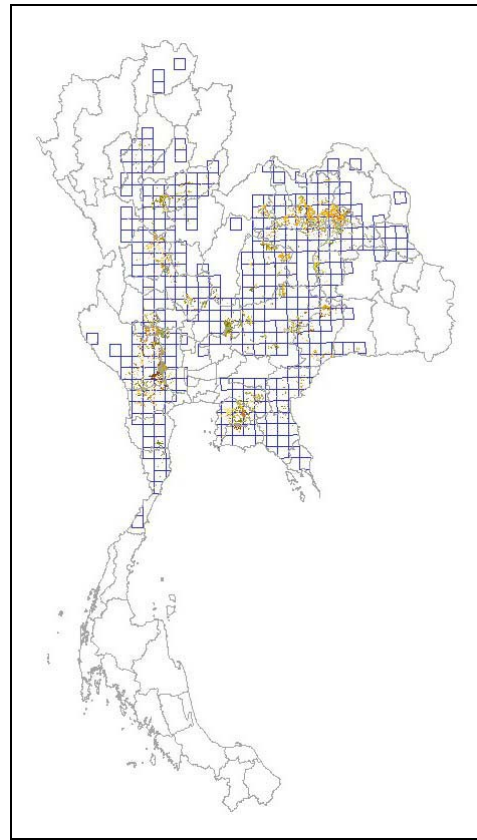
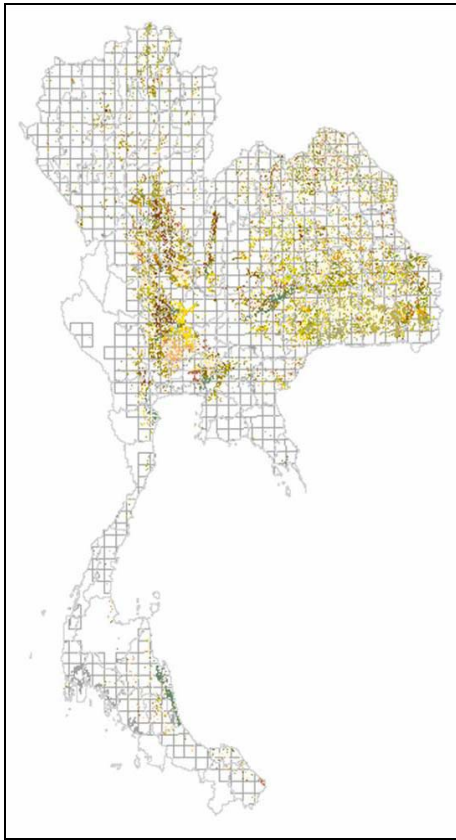
การสร้างหน่วยย่อยการผลิตพืช (SMU)

เมื่อได้แผนที่พื้นที่ปลูกพืชแต่ละชนิดแล้ว นำแผนที่ของพืชแต่ละชนิดมาสร้างหน่วยย่อยการผลิตพืช (SMU) โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ (Overlay Technique) ซึ่งมีขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้

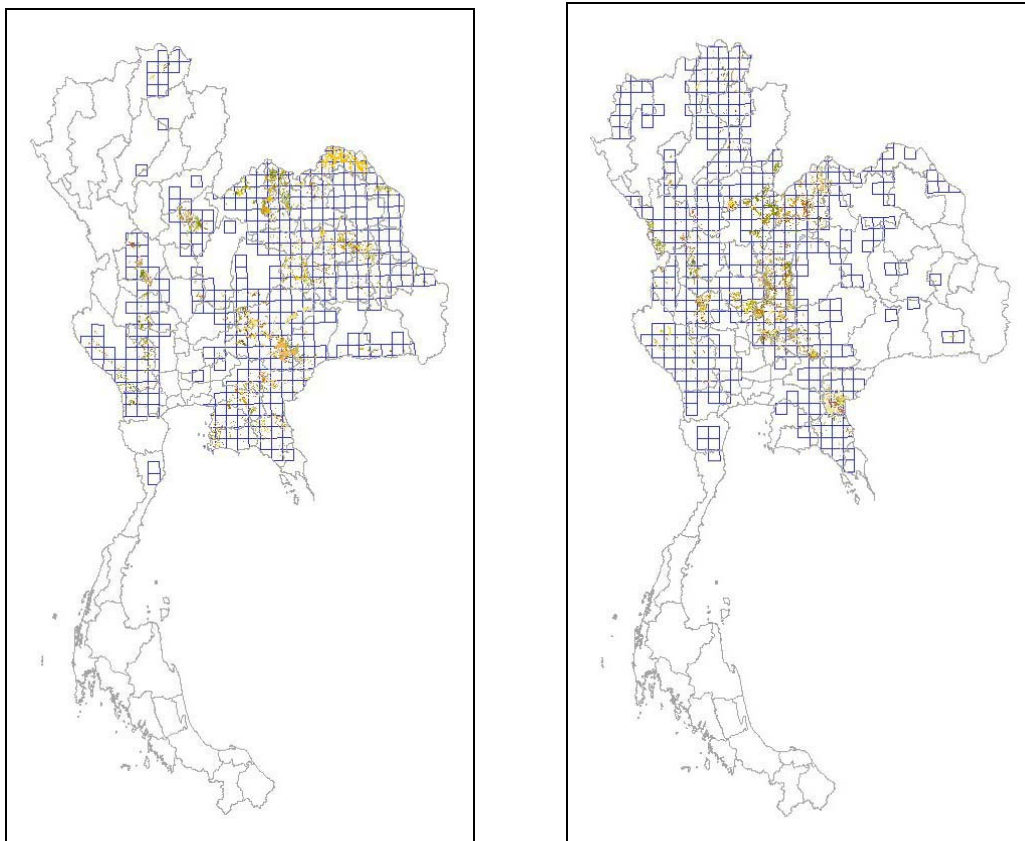
ขั้นตอนที่ 1 ซ้อนทับแผนที่ปลูกพืชแต่ละชนิดกับแผนที่ชุดกลุ่มดินของประเทศไทย โดยใช้คำสั่ง *intersect* ผลที่ได้คือ ข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินต่าง ๆ ในพื้นที่ปลูกพืชแต่ละชนิด

ขั้นตอนที่ 2 นำแผนที่ ๆ ได้ในขั้นตอนที่ 1 มาซ้อนทับกับแผนที่กริดอากาศ ขนาด 20 x 20 กิโลเมตร ของแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS โดยใช้คำสั่ง *intersect* ผลลัพธ์ที่ได้เป็นแผนที่พื้นที่ปลูกพืชแต่ละชนิดที่ประกอบไปด้วยหน่วยย่อย ๆ ดังแสดงในภาพที่ 5ก สำหรับข้าว ภาพที่ 5ข สำหรับอ้อย ภาพที่ 5ค สำหรับมันสำปะหลัง และภาพที่ 5ง สำหรับข้าวโพด แต่ละหน่วยมีสภาพฟ้าอากาศและดินแตกต่างกัน (SMU) และเป็นองค์ประกอบของระบบฐานข้อมูลที่สำคัญสำหรับการศึกษานี้ ทั้งในการ validate แบบจำลอง การวิเคราะห์หาพื้นที่วิกฤตที่จะได้รับผลกระทบที่รุนแรง และหาทางเลือกในการปรับตัว

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ขนาดของหน่วยย่อยการผลิตของพืชทั้ง 4 ชนิด ผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 1) ระบุว่าพื้นที่ ๆ สามารถปลูกข้าวได้มีพื้นที่มากที่สุด (58,383,689 ไร่) ส่วนพื้นที่ ๆ สามารถปลูกพืชไร่ทั้ง 3 มีพื้นที่ใกล้เคียงกัน สภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูกข้าวจะมีความหลากหลายของสภาพแวดล้อมมากที่สุด โดยมีจำนวน SMU มากถึง 9,254 หน่วย แต่โดยเฉลี่ยพื้นที่ของ SMU ของพืชทั้ง 4 จะมี ขนาดใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 5ก. และ 5ข. หน่วยย่อยการผลิตของข้าว (ซ้าย) และ หน่วยย่อยการผลิตของอ้อย (ขวา)



ภาพที่ 5ค. และ 5ง. หน่วยย่อยการผลิตของมันสำปะหลัง (ซ้าย) และ หน่วยย่อยการผลิตของข้าวโพด (ขวา)

รายละเอียดของการดำเนินงานเสนอในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 ซึ่งพื้นที่ปลูกในบางตารางกริดจะมีขนาดเล็กมาก และไม่สามารถแสดงให้เห็นได้ชัดในภาพทั้ง 4

ตารางที่ 1. สรุปข้อมูลหน่วยย่อยการผลิตของข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด

	ข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด
พื้นที่ของ SMU ทั้งหมด (ไร่)	58,383,689	12,768,268	14,912,127	12,318,420
จำนวน polygon ของ SMU ทั้งหมด	396,199	36,177	50,672	33,947
จำนวน SMU ทั้งหมด	9,254	2,821	3,345	2,908
ขนาด SMU ที่เล็กที่สุด (ไร่)	< 1	<1	<1	<1
ขนาด SMU ที่ใหญ่ที่สุด (ไร่)	224,381	175,174	193,411	129,005
ค่าเฉลี่ยขนาดของ SMU (ไร่)	6317	4,525	4,456	4,236
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ไร่)	15,946	11,575	11,209	10,657

การตรวจสอบความถูกต้องของการประเมินผลของแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืชในโครงการนี้คือโปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer; DSSAT) (Uehara and Tsuji, 1998) ที่บรรจุไว้ด้วยแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว CERES-Rice (Singh *et al.*, 1993) อ้อย CANEGRO (O'Leary, 2000) มันสำปะหลัง GUMCAS (Matthews and Hunt, 1994) และข้าวโพด CERES-Maize (Jones and Kiniry, 1986) แบบจำลองเหล่านี้ได้ถูกทดสอบและใช้งานในระดับจังหวัดหรือภูมิภาคของประเทศไทยมาแล้ว (วินัย และคณะ, 2547; สมชาย และคณะ, 2548; อรรถชัย และคณะ, 2545; เมธี และคณะ, 2543) ดังนั้นการทดสอบครั้งนี้จึงเป็นการทดสอบความสามารถของแบบจำลองในการประเมินผลในขอบเขตที่กว้างขึ้น ในระดับประเทศ การดำเนินการทดสอบแบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ

- การเลือกข้อมูลผลผลิตพืชที่ได้จากการวัดภาคสนามเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้จากการจำลอง
- การจำลองผลผลิตพืช และการเปรียบเทียบกับข้อมูลผลผลิตภาคสนาม ณ จุดที่ได้คัดเลือกในขั้นตอนที่ 1

การเลือกข้อมูลผลผลิตพืชจากการวัดภาคสนาม

ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถ validate แบบจำลองได้ทุกสภาพของการผลิต ตามจำนวนของ SMU ดังนั้นจึงต้องทำการเลือกพื้นที่ตัวแทนของพื้นที่ปลูก เพื่อไม่ให้เกิดการลำเอียง (bias) ให้น้ำหนักกับพื้นที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งมากกว่าพื้นที่อื่น ข้อมูลภาคสนามที่นำมาใช้ตรวจสอบแบบจำลองนั้นจะต้องมีการกระจายตัวไปตามแหล่งผลิตต่างๆ ของประเทศอย่างเหมาะสม เป็นไปตามระดับของการผลิต แหล่งผลิตเหล่านี้จะมีความหนาแน่นของการปลูกพืชชนิดนั้นๆ สูง และมีพื้นที่ปลูกติดต่อกันเป็นพื้นที่กว้าง ดังนั้นจึงได้นำข้อมูล SMU จากระบบฐานข้อมูลที่ได้สร้างไว้มาประยุกต์ใช้กำหนดขอบเขตของแหล่งผลิต

จากข้อมูลดังกล่าว เมื่อใช้พื้นที่ตารางสี่เหลี่ยม 20 x 20 กิโลเมตร เป็นกรอบอ้างอิงในการประเมินความหนาแน่นของพื้นที่ปลูก (พื้นที่ปลูก/พื้นที่ดิน) จะเห็นได้ชัดเจนถึงความแตกต่างของความหนาแน่น ในภาพรวมแหล่งปลูกพืชทั้ง 4 ชนิดของประเทศ (zone) จะแบ่งเป็น 5-6 แหล่งเท่านั้น โดยมีพื้นที่ปลูกที่หนาแน่นอยู่ในบริเวณส่วนกลางของแหล่งปลูก และลดลงเมื่อห่างออกไป ดังที่เห็นได้ในภาพที่ 5ก-5ง บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างแหล่งปลูกจะมีความหนาแน่นต่ำ หากนำข้อมูลภาคสนามจากพื้นที่ๆ มีความหนาแน่นต่ำดังกล่าวมาใช้ตรวจสอบการประเมินผลของแบบจำลอง อาจเป็นการให้น้ำหนักที่มากเกินไปกับสภาพแวดล้อมที่ปลูกพืชชนิดนั้นๆ น้อย และมีความสำคัญต่ำต่อระบบการผลิตพืชชนิดนั้นในระดับประเทศ ดังนั้นจึงกันพื้นที่ๆ มีความหนาแน่นของการปลูกที่อยู่ในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำมากๆ ออกจากพื้นที่ๆ ใช้ในการคัดเลือกข้อมูลภาคสนาม

ขั้นตอนดำเนินการที่จะให้ได้ข้อมูลดังกล่าวแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 รวมพิกัดของพื้นที่ปลูกพืชในแต่ละตารางกิต ขนาด 20 x 20 กิโลเมตร เข้าด้วยกันและคำนวณหาความหนาแน่นของพื้นที่ปลูกพืช (พื้นที่ปลูก/พื้นที่ดิน) โดยการใช้คำสั่ง *summarize* และ *calculate*

ขั้นตอนที่ 2 แบ่งชั้นความหนาแน่นของพื้นที่ปลูกพืช ออกเป็นออกเป็น 10 ชั้น (range) โดย

$$range = \frac{Max.Density - Min.Density}{10}$$

จากนั้นสร้างแผนที่โดยใช้คำสั่ง *classify* ผลที่ได้คือแผนที่ข้อมูลการปลูกพืชตามระดับชั้นความหนาแน่นของการปลูก ข้อมูลการกระจายตัวของความหนาแน่นและพื้นที่ปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณสัดส่วนของพื้นที่ของแต่ละชั้น เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการตัดพื้นที่ๆ มีความหนาแน่นต่ำออก โดยคิดจาก

$$Area\ in\ each\ class\ \% = \frac{Class\ area}{Total\ area} 100$$

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดขอบเขตพื้นที่ของแหล่งผลิตพืชแต่ละชนิด โดยพิจารณาจากพื้นที่ปลูกและความหนาแน่นควบคู่กัน โดยที่พื้นที่ปลูกต้องมีขนาดมากพอและมีความหนาแน่นสูงพอที่จะเป็นตัวแทนได้ ซึ่งจะทำให้การใช้ข้อมูลภาคสนามที่ได้จากการวัดภายในขอบเขตของพื้นที่เหล่านี้ไม่มีการลำเอียงตามที่ได้กล่าวไว้ ผลที่ได้จากขั้นตอนนี้คือแผนที่แหล่งปลูกที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสูงของประเทศ ดังภาพที่ 6ก-6ง ซึ่งแสดงพร้อมกับตำแหน่งของข้อมูลผลผลิตภาคสนามที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลอง

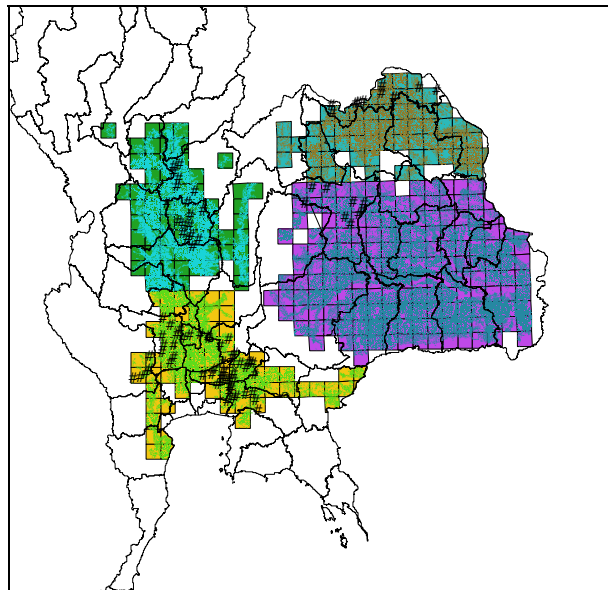
ขั้นตอนที่ 5 นำแผนที่ของจุดที่ได้ทำการเก็บข้อมูลผลผลิตภาคสนามมาซ้อนทับกับแผนที่ขอบเขตของแหล่งปลูกพืช และเลือกเฉพาะข้อมูลที่อยู่ในพื้นที่ดังกล่าว จากนั้นจึงทำการคัดเลือกข้อมูลที่อยู่ในพื้นที่แหล่งปลูกพืชอีกครั้ง โดยให้มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอในพื้นที่นั้นๆ และมีสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในแต่ละเขตของแหล่งปลูกใกล้เคียงกับสัดส่วนของพื้นที่ปลูกของแต่ละเขต ดังแสดงในตารางที่ 3ก-3ง

ตารางที่ 2. ระดับความหนาแน่นและพื้นที่ในแต่ละระดับความหนาแน่นของการปลูก ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด

ชั้น	ข้าว		อ้อย		มันสำปะหลัง		ข้าวโพด	
	% ความหนาแน่น	พื้นที่ (ล้านไร่)	% ความหนาแน่น	พื้นที่ (ล้านไร่)	% ความหนาแน่น	พื้นที่ (ล้านไร่)	% ความหนาแน่น	พื้นที่ (ล้านไร่)
1	0-10	4.64	0-2	1.48	0-7	2.22	0-0.6	1.5
2	>10-20	6.18	>2-9	1.79	>7-15	2.77	>0.6-1.3	1.5
3	>20-30	9.02	>9-16	1.58	>15-22	1.98	>1.3-1.9	1.3
4	>30-40	10.04	>16-23	1.50	>22-30	2.84	>1.9-2.5	2.2
5	>40-50	9.47	>23-29	1.46	>30-37	2.47	>2.5-3.2	1.3
6	>50-60	11.82	>29-36	1.68	>37-44	1.23	>3.2-3.8	0.8
7	>60-70	5.71	>36-43	1.17	>44-52	1.11	>3.8-4.4	1.1
8	>70-80	1.19	>43-48	0.75	>52-59	0.00	>4.4-5.0	1.5
9	>80-90	0.00	>48-54	0.63	>59-66	0.00	>5.0-5.7	0.2
10	>90-100	0.38	>54-61	0.72	>66	0.29	>5.7-6.3	0.9
รวม		58.45		12.77		14.91		12.3

แหล่งปลูกข้าว

จากข้อมูลความหนาแน่นและพื้นที่ๆ ปลูกข้าว เมื่อตัดชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2 ออก จะเหลือพื้นที่ปลูกข้าวร้อยละ 81 ของพื้นที่ทั้งหมด และขอบเขตของแหล่งปลูกข้าวปรากฏชัดเจน สามารถจัดแบ่งเป็น 4 เขต คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน และภาคกลางและภาคตะวันออก ดังแสดงในภาพที่ 6ก



ภาพที่ 6ก. แผนที่แหล่งปลูกข้าวที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสูง พร้อมกับตำแหน่งของข้อมูลผลผลิตภาคสนาม (จุดสีดำ) ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลอง

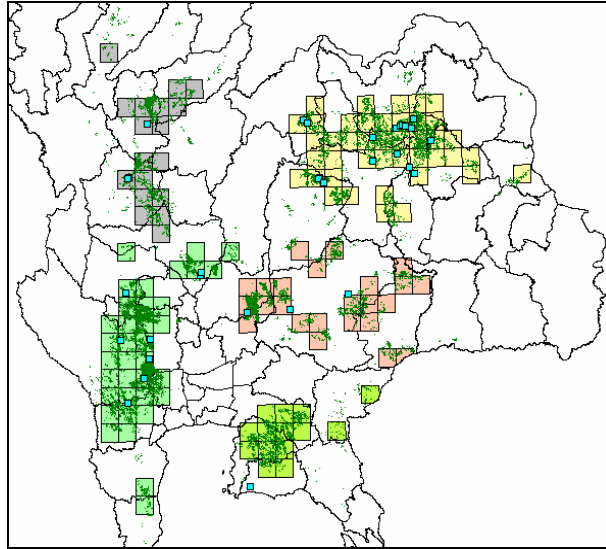
ข้อมูลพื้นที่และสัดส่วนของเขตแหล่งผลิตข้าวทั้ง 4 เขต ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3ก เขตปลูกข้าวแหล่งใหญ่คือ ภาคอีสานตอนล่าง มีพื้นที่มากกว่า 23 ล้านไร่ หรือคิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 48 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด สัดส่วนของแหล่งผลิตทั้ง 4 มีอัตราส่วน 1 : 4 : 2 : 2 และได้ใช้อัตราส่วนนี้ร่วมกับลักษณะของระบบการผลิต กำหนดสัดส่วนข้อมูลจากแต่ละเขตที่จะนำมาทำการ validate แบบจำลอง

ตารางที่ 3ก. พื้นที่ปลูกข้าวในแต่ละเขต และสัดส่วนของพื้นที่ๆ ใช้กำหนดสัดส่วนจำนวนตัวแทนข้อมูลภาคสนามเพื่อใช้ในการตรวจสอบการประเมินของแบบจำลอง

เขตแหล่งผลิต	พื้นที่ (ล้านไร่)	สัดส่วน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	6.7	1
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	24.0	4
ภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน	9.8	2
ภาคกลางและภาคตะวันออก	9.6	2
รวม	50.1	-

แหล่งปลูกอ้อย

ในกรณีของอ้อย สามารถแบ่งพื้นที่ปลูกออกได้เป็น 5 เขตของแหล่งปลูก ได้แก่ เขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน ภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคเหนือตอนล่าง (ภาพที่ 6ข)



ภาพที่ 6ข. แผนที่แหล่งปลูกอ้อยที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสูง พร้อมกับตำแหน่งของข้อมูลผลผลิตภาคสนาม (จุดสีฟ้า) ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลอง

ดินในเขตแหล่งผลิตอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ส่วนใหญ่เป็นชุดดินโคราช (Kt) ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 8.7 แสนไร่ คิดเป็นร้อยละ 23.7 ของพื้นที่ปลูกอ้อยในเขตแหล่งผลิตที่ 1 ดินในเขตแหล่งผลิตอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง รวมถึงภาคกลางตอนบน ส่วนใหญ่ยังเป็นชุดดินโคราช (Kt) เหมือนกับเขตแหล่งผลิตที่ 1 มีพื้นที่ 1.3 แสนไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 8.7 ของพื้นที่ปลูกอ้อยในเขตนี้ ในเขตแหล่งผลิตอ้อยภาคตะวันออก ชุดดินบ้านบึง (Bbg) เป็นชุดดินที่สำคัญ มีพื้นที่ 1.3 แสนไร่ หรือร้อยละ 10 ส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดชลบุรี สำหรับเขตแหล่งผลิตอ้อยภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง ชุดดินที่สำคัญและมีพื้นที่ปลูกมากคือ ชุดดินตาคี (Tk) 3.1 แสนไร่ คิดเป็นร้อยละ 8.7 เขตแหล่งผลิตที่ 5 ภาคเหนือตอนล่าง ประกอบด้วยชุดดินต่าง ๆ 120 ชุดดิน โดยชุดดินที่พบมาก ได้แก่ ชุดดินกำแพงแสน (Ks) พื้นที่ 1.7 แสนไร่ คิดเป็นร้อยละ 13

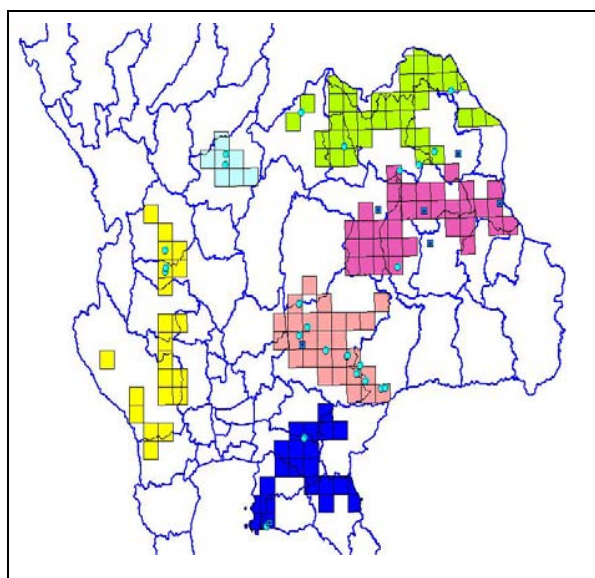
ข้อมูลพื้นที่และสัดส่วนของเขตแหล่งผลิตอ้อย ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3ข เขตปลูกอ้อยแหล่งใหญ่คือภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน มีพื้นที่ 3.7 ล้านไร่ และภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง 3.5 ล้านไร่ สัดส่วนของแหล่งผลิตทั้ง 5 มีอัตราส่วน 3 : 1 : 1 : 3 : 1 และได้ใช้อัตราส่วนนี้กำหนดสัดส่วนข้อมูลจากแต่ละเขตที่จะนำมาทำการทดสอบแบบจำลอง

ตารางที่ 3ข. พื้นที่ปลูกอ้อยในแต่ละเขต และสัดส่วนของพื้นที่ๆ ใช้กำหนดสัดส่วนจำนวนตัวแทนข้อมูลภาคสนามเพื่อใช้ในการตรวจสอบการประเมินของแบบจำลอง

เขตแหล่งผลิต	พื้นที่ (ล้านไร่)	สัดส่วน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	3.7	3
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน	1.6	1
ภาคตะวันออก	1.2	1
ภาคกลาง	3.5	3
ภาคเหนือตอนล่าง	1.3	1
รวม	11.3	-

แหล่งปลูกมันสำปะหลัง

พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังสามารถแบ่งเขตพื้นที่การผลิตมันสำปะหลังได้ เป็น 6 เขต ดังแสดงในภาพที่ 6ค



ภาพที่ 6ค. แผนที่แหล่งปลูกมันสำปะหลังที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสูง พร้อมกับตำแหน่งของข้อมูลผลผลิตภาคสนาม (จุดสีฟ้า) ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลอง

ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน มีพื้นที่ปลูกรวม 3,416,448.75 ไร่ โดยส่วนใหญ่เป็นชุดดินโพนพิสัย (Pp) มีพื้นที่ประมาณ 1.44 ล้านไร่ เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง มีพื้นที่ปลูกรวม 2,561,379.03 ไร่ ชุดดินส่วนใหญ่เป็นชุดดินจอมพระ (Cpr) มีพื้นที่ประมาณ 3.16 แสนไร่ เขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง มีพื้นที่ปลูกรวม 2,906,914.02 ไร่ ดินส่วนใหญ่เป็นชุดดินชุมพวง (Cpg) ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 4.98 แสนไร่ เขตภาคตะวันออก มีพื้นที่ปลูกรวม 1,620,255.31 ไร่ โดยส่วนใหญ่เป็นชุดดินสติก (Suk) ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 1.84 แสนไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 11.55 ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในเขตแหล่งผลิตที่ 4 เขตภาคกลางมีพื้นที่ปลูกรวม 1,235,341.44 ไร่ โดยส่วนใหญ่เป็นชุดดินสติก (Suk) ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 1.49 แสนไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 12.08 ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในเขตแหล่งผลิตที่ 5 เขตภาคเหนือตอนล่าง มีพื้นที่ปลูกรวม 654,550.53 ไร่ โดยส่วนใหญ่เป็นชุดดินด่านซ้าย (Ds) ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 1.32 แสนไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 20.17 ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในเขตแหล่งผลิตที่ 6

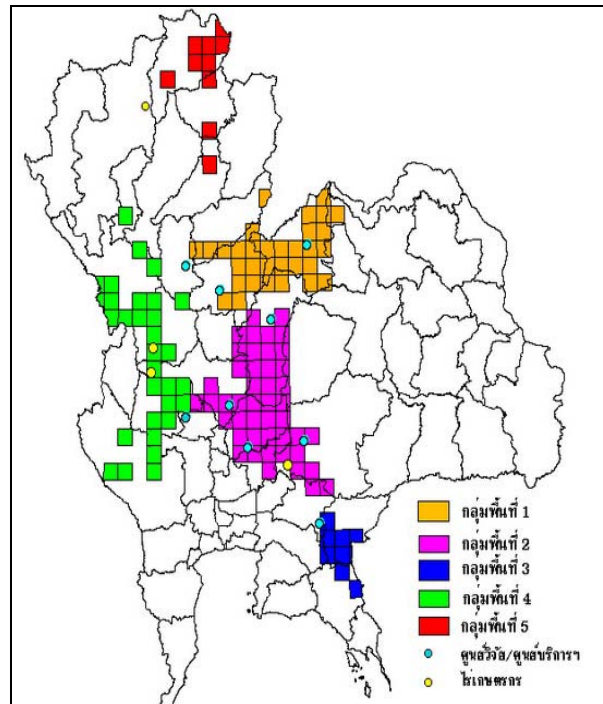
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่ปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด สัดส่วนของพื้นที่ปลูกทั้ง 6 เขตมีอัตราส่วน 5 : 4 : 4 : 2 : 2 : 1 ตามลำดับ จึงได้ใช้อัตราส่วนนี้กำหนดสัดส่วนของข้อมูลที่จะนำมาทำการ ทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง แต่เนื่องจากสภาพการผลิตปัจจุบัน ในเขตแหล่งผลิตที่ 1 พื้นที่จังหวัดหนองคาย ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมากมาแต่เดิม ได้มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่จากการผลิตมันสำปะหลังไปเป็นยางพาราเป็นจำนวนมาก จึงได้ทำการปรับอัตราส่วนใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการณ์ที่เปลี่ยนไป คือเป็น 4 : 6 : 7 : 3 : 2 : 1 ตามลำดับ ดังสรุปในตารางที่ 3ค

ตารางที่ 3ค. พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในแต่ละเขต และสัดส่วนของพื้นที่ๆ ใช้กำหนดสัดส่วนจำนวนตัวแทนข้อมูลภาคสนามเพื่อใช้ในการตรวจสอบการประเมินของแบบจำลอง

เขตแหล่งผลิต	พื้นที่ (ล้านไร่)	สัดส่วน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	3.5	4
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง	2.7	6
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	2.9	7
ภาคตะวันออก	1.6	3
ภาคกลาง	1.3	2
ภาคเหนือตอนล่าง	0.7	1
รวม	12.7	-

แหล่งปลูกข้าวโพด

แหล่งปลูกข้าวโพดจะกระจายอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือตอนล่าง ภาคกลาง และบางส่วนของภาคตะวันออก และสามารถแบ่งเขตแหล่งผลิตออกเป็น 5 เขต ดังภาพที่ 6ง



ภาพที่ 6ง. แผนที่แหล่งปลูกข้าวโพดที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสูง พร้อมกับตำแหน่งของข้อมูลผลิตภาคสนาม (จุดสีฟ้าและสีเหลือง) ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลอง

ในเขตแหล่งผลิตภาคเหนือตอนล่างและบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน รวมชุดดินที่พบในเขตนี้จำนวน 29 ชุดดิน ชุดดินที่พบมากที่สุดคือ มวกเหล็ก โดยมีพื้นที่เท่ากับ 431,065.11 ไร่ (ร้อยละ 16.61) เขตแหล่งผลิตในภาคกลางตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ชุดดินลพบุรีเป็นกลุ่มชุดดินที่พบมาก มีพื้นที่เท่ากับ 961,952.16 ไร่ (ร้อยละ 20.04) รวมชุดดินที่พบในเขตนี้จำนวน 34 ชุดดิน เขตแหล่งผลิตในภาคตะวันออก ชุดดินที่พบมาก ได้แก่ เชียงคาน โดยมีพื้นที่เท่ากับ 206,820.14 ไร่ (ร้อยละ 19.63) รวมชุดดินที่พบในเขตนี้จำนวน 24 ชุดดิน เขตแหล่งผลิตในบริเวณภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางชุดดินที่พบมากที่สุดคือปากช่อง มีพื้นที่เท่ากับ 367,588.70 ไร่ (ร้อยละ 18.50) รวมชุดดินที่พบในเขตนี้จำนวน 24 ชุดดิน เขตแหล่งผลิตที่ 5 คือภาคเหนือตอนบน ชุดดินที่พบมาก ได้แก่ กำแพงแสน โดยมีพื้นที่เท่ากับ 86,412.18 ไร่ (ร้อยละ 24.24) รวมชุดดินที่พบในเขตนี้จำนวน 35 ชุดดิน

จากการแบ่งเขตแหล่งผลิตข้าวโพดเป็น 5 เขต มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมด 10.9 ล้านไร่ หรือคิดเป็นพื้นที่ปลูกร้อยละ 88 ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมด เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของพื้นที่ปลูกข้าวโพดของแต่ละเขต พบว่า มี

อัตราส่วน 2 : 4 : 1 : 2 : 1 จึงได้ใช้อัตราส่วนนี้กำหนดสัดส่วนข้อมูลผลผลิตพืชภาคสนามที่จะนำมาทำการ validate การประเมินผลของแบบจำลอง ดังสรุปในตารางที่ 3ง

ตารางที่ 3ง. พื้นที่ปลูกข้าวโพดในแต่ละเขต และสัดส่วนของพื้นที่ๆ ใช้กำหนดสัดส่วนจำนวนตัวแทนข้อมูลภาคสนาม เพื่อใช้ในการตรวจสอบการประเมินของแบบจำลอง

เขตแหล่งผลิต	พื้นที่ (ล้านไร่)	สัดส่วน
ภาคเหนือตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	2.6	2
ภาคกลางตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	4.8	4
ภาคภาคตะวันออก	1.1	1
ภาคเหนือตอนล่างและภาคกลาง	2.0	2
ภาคเหนือตอนบน	0.4	1
รวม	10.9	

การจำลองผลผลิตพืชและเปรียบเทียบกับผลผลิตจากการวัดภาคสนาม

แบบจำลองพืชในปัจจุบัน รวมทั้งแบบจำลองใน DSSAT เป็นแบบจำลองแบบ mechanistic แบบจำลองพืชจะสามารถจำลองการตอบสนองของพืชต่อ แสง อุณหภูมิ ความชื้นดิน ระดับของ CO₂ ในอากาศ และความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจนในดิน ภายใต้เงื่อนไขที่มีการจัดการปัจจัยการผลิตอื่นๆ อย่างเหมาะสม เช่นการจัดการโรค แมลง และวัชพืช แม้จะมีข้อจำกัดดังกล่าว แต่แบบจำลองเหล่านี้ก็ยังสามารถใช้ประเมินผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืชได้เป็นอย่างดี เพราะว่าการกระทบโดยตรงนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ ระดับของ CO₂ อุณหภูมิ และฝน ส่วนผลกระทบทางอ้อม เช่นการเปลี่ยนแปลงของระดับของโรค แมลง และ วัชพืช นั้น แม้จะมีผลต่อผลผลิตพืช แต่เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้

ดังนั้นการจำลองการเจริญเติบโตพืชและการตรวจสอบแบบจำลองจึงดำเนินการภายใต้เงื่อนไขของสภาพการณ์ที่มีการจัดการปัจจัยการผลิตอื่นๆ เช่น การจัดการโรค แมลง วัชพืช และความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารอื่นๆ อย่างเหมาะสม ข้อมูลภาคสนามที่นำมาตรวจสอบแบบจำลองนี้จึงเป็นข้อมูลที่ได้มาจากแปลงที่มีการจัดการใกล้เคียงกับสภาพของเงื่อนไขดังกล่าวมากที่สุด

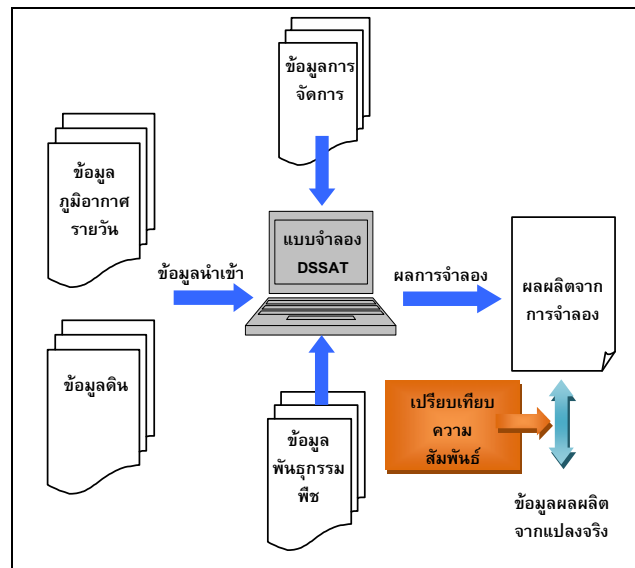
การ Validate Model DSSAT มีข้อมูลนำเข้าที่จำเป็นจำนวน 4 ชุด คือ ข้อมูลการจัดการ ข้อมูลดิน ข้อมูลอากาศ และข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืช วิธีการ Validate เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยในศูนย์วิจัยฯ ศูนย์บริการฯ และไร่นาเกษตรกร ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ปลูกของแต่ละพืช ดังที่ได้รายงานในขั้นตอน การเลือกข้อมูลผลผลิตพืชจากการวัดภาคสนาม เพื่อมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยใช้ชุดข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องจากบริเวณเดียวกันหรือใกล้เคียงที่สุด เพื่อเป็นการยืนยัน ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองก่อนการนำไปประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตในขั้นตอนต่อไป

วิธีการจำลองผลผลิตและตรวจสอบผลการจำลอง

การ Validate Model มีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ข้อมูลนำเข้า (Input for model simulation)

ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลนำเข้า (input data) สำหรับใช้ในแบบจำลองข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ได้แก่ ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (cultivar data) ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน (daily weather data) ข้อมูลดิน (soil data) และข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการพืช (management data) และข้อมูลการเจริญเติบโตพืชและผลผลิตจากแปลงทดลองจริงเพื่อใช้ตรวจสอบแบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7. องค์ประกอบของแบบจำลอง ข้อมูลนำเข้า ผลลัพธ์จากการประเมินผล และการเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม

1.1 ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืช (cultivar data)

ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าว ได้แบ่งพันธุ์ข้าวออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 คือ ข้าวนาชลประทาน ได้ใช้สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่นิยมปลูกมากเป็นตัวแทน ส่วนกลุ่มที่ 2 คือ ข้าวนาหน้าฝน ได้ใช้สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นตัวแทน

ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมอ้อย ใช้ข้อมูลของพันธุ์อ้อยทอง 3 (ทักษิณา และคณะ, 2549) โดยเป็นพันธุ์อ้อยของกรมวิชาการเกษตร

ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมมันสำปะหลัง ใช้ข้อมูลของพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และ พันธุ์ระยอง 72 (วินัย และคณะ, 2542) เป็นพันธุ์มันสำปะหลังที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย และให้ผลผลิตสูง ซึ่งได้รับการพัฒนาพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และกรมวิชาการเกษตร ตามลำดับ

ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวโพด ใช้ข้อมูลของพันธุ์นครสวรรค์ 72 (สมชาย และศักดิ์ดา, 2544) โดยเป็นพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวของกรมวิชาการเกษตร

1.2 ข้อมูลทางภูมิอากาศรายวัน (weather data) จากกรมอุตุนิยมวิทยา

1.3 ข้อมูลดิน (soil data) จากกรมพัฒนาที่ดิน

1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการพืช (experiment details) จากงานทดลอง และทดสอบต่างๆ ทั้งในศูนย์วิจัยฯ ศูนย์บริการวิชาการฯ ของกรมวิชาการเกษตร กรมการข้าว และในไร่เกษตรกร ตั้งแต่ปี 2537 ถึง ปี 2550 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1

ใน file นี้ นอกจากต้องระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพืชเช่น วันปลูก การให้น้ำ การจัดการปุ๋ย ฯลฯ แล้ว ผู้ใช้ต้องระบุรหัสของ พันธุ์พืช ดิน และสถานีวิจัยภูมิอากาศ เพื่อให้ input module ของโปรแกรม DSSAT สามารถค้นหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ได้อย่างถูกต้อง จากฐานข้อมูล ใน file ต่างๆ

1.5 ข้อมูลผลผลิตจากแปลงจริง (observed data) ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลในส่วนของผลผลิตของพืชต่าง ๆ จากแปลงทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ ทั้งในศูนย์วิจัยฯ ศูนย์บริการวิชาการฯ รวมทั้งแปลงทดสอบในไร่นาเกษตรกร ในจังหวัดต่างๆ ของประเทศไทย (เพื่อให้สะดวกต่อการเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลจริงภาคสนาม โปรแกรม DSSAT ได้มีทางเลือกให้ผู้ใช้งานสามารถระบุให้โปรแกรม DSSAT นำค่าข้อมูลจริงภาคสนามไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองและแสดงผลในรูปแบบที่เหมาะสมได้ ดังนั้น ข้อมูลผลผลิตจากแปลงจริงไม่ใช่ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจำลองผล)

ขั้นตอนที่ 2 การสร้าง experiment details file (FILEX) และ observed data file (FILE A)

เมื่อได้ข้อมูลนำเข้าตามที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการสร้างไฟล์แสดงรายละเอียดของการทดลอง (experiment details file FILEX) ที่ระบุถึงการจัดการต่าง ๆ ในงานทดลอง รวมถึงสถานที่ เวลา ข้อมูลอากาศ ชุมดิน และพันธุ์ที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงไปหาไฟล์ข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ ที่ได้เตรียมไว้ ได้แก่ ไฟล์ข้อมูลอากาศขณะทำการทดลอง (*.WTH) และไฟล์ข้อมูลดิน (SOIL.SOL) ที่มีรายละเอียดของชุดดินที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งไฟล์ข้อมูลทางพันธุกรรมของแต่ละพันธุ์ ส่วนการสร้างไฟล์ ที่แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดจากแปลงทดลอง (average value of experiment performance data file FILE A) เป็นทางเลือก เพื่อสะดวกต่อการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจริงกับผลผลิตจากการจำลองเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบความแม่นยำ (validate)

3.1 การ validate แบบจำลองข้าว

ได้ดำเนินการ validate แบบจำลองข้าว ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 4 เขตแหล่งผลิต โดยแบ่งสัดส่วนของจุดที่จะใช้ในการ validate ตามความหนาแน่นของพื้นที่ปลูกข้าว คือ 3 : 12 : 6 : 6 : รวมทั้งหมด 130 แปลง ดังแสดงในรายงานการจัดเขตแหล่งผลิตที่ปลูกข้าวของประเทศไทย (รายละเอียดในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1)

3.2 การ validate แบบจำลองอ้อย

ได้ดำเนินการ validate แบบจำลองอ้อย ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้ง 5 เขตแหล่งผลิต โดยแบ่งจุดที่จะใช้ในการ validate ตามสัดส่วนของพื้นที่ปลูกอ้อย คือ 3 : 1 : 1 : 3 : 1 รวมทั้งหมด จำนวน 44 แปลง ดังแสดงในรายงานการจัดเขตแหล่งผลิตอ้อยของประเทศไทย (รายละเอียดในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1)

3.3 การ validate แบบจำลองมันสำปะหลัง

ได้ดำเนินการ validate แบบจำลองมันสำปะหลัง ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 6 เขตแหล่งผลิต โดยแบ่งจุดที่จะใช้ในการ validate ตามสัดส่วนของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง คือ 4 : 6 : 7 : 3 : 2 : 1 รวมทั้งหมด จำนวน 44 แปลง ดังแสดงในรายงานการจัดเขตแหล่งผลิตที่ปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย (รายละเอียดในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1)

3.4 การ validate แบบจำลองข้าวโพด

ได้ดำเนินการ validate แบบจำลองข้าวโพด ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 5 เขตแหล่งผลิต โดยแบ่งสัดส่วนของจุดที่จะใช้ในการ validate ขึ้นต่ำ ตามความหนาแน่นของพื้นที่ปลูกข้าวโพด คือ 2 : 4 : 1 : 2 : 1 รวมทั้งหมด จำนวน 59 แปลง ดังแสดงในรายงานการจัดเขตแหล่งผลิตที่ปลูกข้าวโพดของประเทศไทย (รายละเอียดในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1)

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการจำลอง

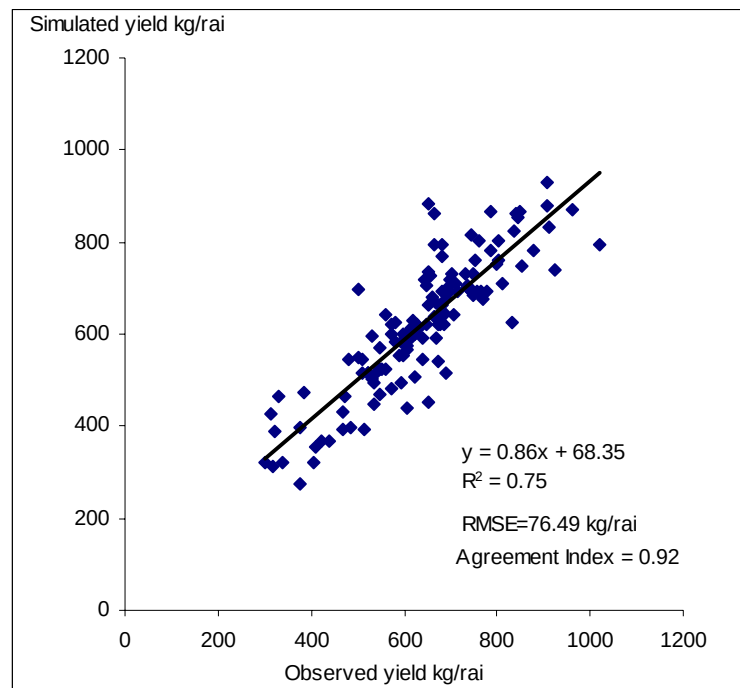
ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบความสอดคล้องของผลการจำลอง (S_i) กับค่าจริงที่ได้จากงานทดลองภาคสนาม (O_i) ในแต่ละแปลง โดยเปรียบเทียบกับกราฟ 1:1 line (Jongkaewwattana, 1995) การวิเคราะห์สมการ linear regression โดยใช้ค่า R^2 ค่า intercept และค่า slope รวมการประเมินจากค่า RMSE (Root mean square error) และค่า agreement index

$$Agreement\ Index = 1 - \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{\sum (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

ผลการจำลองและการตรวจสอบ

ข้าว

จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าจำลองของผลผลิตข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ในสภาพแวดล้อมต่างๆ จำนวนรวมทั้งหมด 130 แปลง พบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตเมล็ดแห้งจากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับผลผลิตเมล็ดแห้งที่ได้จากแปลงทดลองจริง คือ 620 ± 143 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับ 638 ± 143 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ค่า slope ของ linear regression มีค่าใกล้เคียงกับ 0.86 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับ 1.0 และค่า intercept เท่ากับ 68.35 กิโลกรัมต่อไร่ ใกล้ 0 ส่วน R^2 มีค่าค่อนข้างสูง คือ 0.75 เมื่อพิจารณาถึงค่า agreement index ก็มีค่าใกล้ 1.0 เช่นกัน คือ 0.92 และมีค่า RMSE 76.49 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 8) ดังนั้นสรุปได้ว่าแบบจำลองข้าวสามารถประเมินผลผลิตข้าวภายใต้สภาพที่ไม่มีโรคและแมลงได้ดี



ภาพที่ 8. เปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจริง และผลผลิตจำลองจำนวน 130 แปลง ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

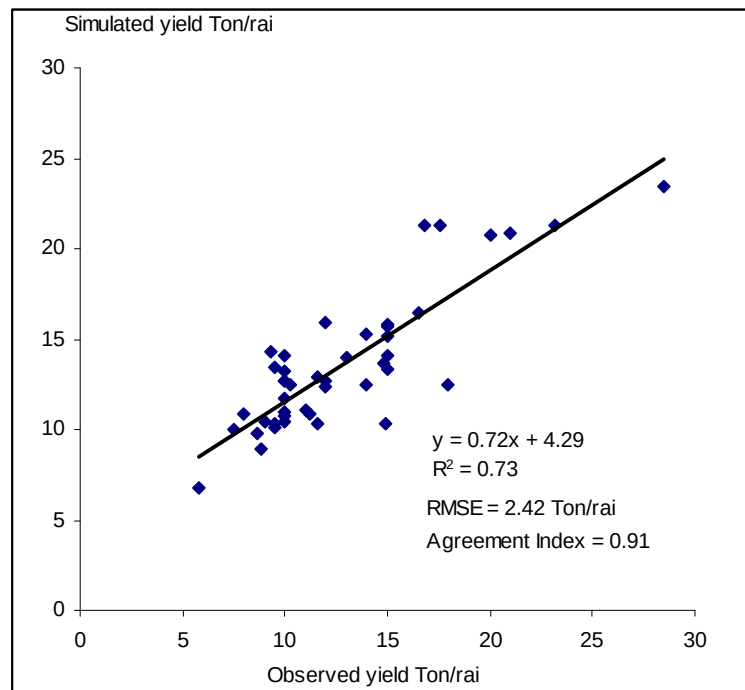
เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลผลิตข้าวที่ความชื้นเมล็ด 14 เปอร์เซ็นต์ แยกเป็นกรณีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และ สุพรรณบุรี1 ในแต่ละเขตแหล่งผลิตที่ปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศไทย จำนวน 4 กลุ่ม (ตารางที่ 4) พบว่า เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ซึ่งเป็นพื้นที่ข้าวนาน้ำฝน ปลูกขาวดอกมะลิ105 ผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองระหว่างปี2546-2547 มีค่าเฉลี่ย 407 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตจากแปลงทดลองจริงเฉลี่ย 483 กิโลกรัมต่อไร่ ในเขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เช่นกัน ผลผลิตจากแบบจำลองในปี 2548 มีค่าเฉลี่ย 556 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตจากแปลงทดลองจริงเฉลี่ย 580 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนในเขตแหล่งผลิตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน ปี 2546-2547 ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาชลประทาน ผลผลิตข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 จากแบบจำลองมีค่าเฉลี่ย 747 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตจากแปลงทดลองจริงเฉลี่ย 754 กิโลกรัมต่อไร่ ในเขตแหล่งผลิตภาคกลางและภาคตะวันออก ปี 2543-2550 ผลผลิตจากแบบจำลองเฉลี่ย 628 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตจากแปลงทดลองจริงเฉลี่ย 641 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 4. ผลผลิตข้าวเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่) ที่ได้จากแปลงทดลอง และจากการจำลอง ในแต่ละเขตแหล่งผลิตที่ปลูกข้าวของประเทศไทย

เขตแหล่งผลิต	จำนวนแปลง	ปีที่ดำเนินงาน	ผลผลิตจาก	ผลผลิต
	ทดลอง		แปลงทดลอง	จากแบบจำลอง
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	10	2546 – 2547	483	407
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	7	2548	580	556
ภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน	14	2546 – 2547	754	747
ภาคกลางและภาคตะวันออก	99	2543 – 2550	641	624
รวม / เฉลี่ย	130	2543 – 2550	638	620

อ้อย

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าจำลองของผลผลิตของอ้อยพันธุ์อู่ทอง 3 ในสภาพแวดล้อมต่างๆ ของประเทศไทย จำนวน 35 จุด รวมแปลงทั้งหมด 44 แปลง พบว่า ผลผลิตที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 13.6 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้จากแปลงจริง เฉลี่ย 12.8 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 5) ค่า R^2 ของ linear regression มีค่าค่อนข้างสูง คือ 0.73 และ ยังมีค่า agreement index เข้าใกล้ 1.0 เช่นกัน คือ 0.91 และค่า RMSE เท่ากับ 2.42 ตันต่อไร่ (ภาพที่ 9) เมื่อพิจารณาค่า slope เท่ากับ 0.72 และค่า intercept 4.29 ตันต่อไร่ จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากการจำลองจะ overestimate ภายใต้ภาวะที่ผลผลิตจริงต่ำ และจะ underestimate ภายใต้ภาวะที่ผลผลิตจริงสูง แต่โดยภาพรวมแบบจำลองสามารถประเมินผลได้ดี



ภาพที่ 9. เปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าจำลองของผลผลิตของอ้อยพันธุ์อุทอง 3 ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน 35 แห่ง

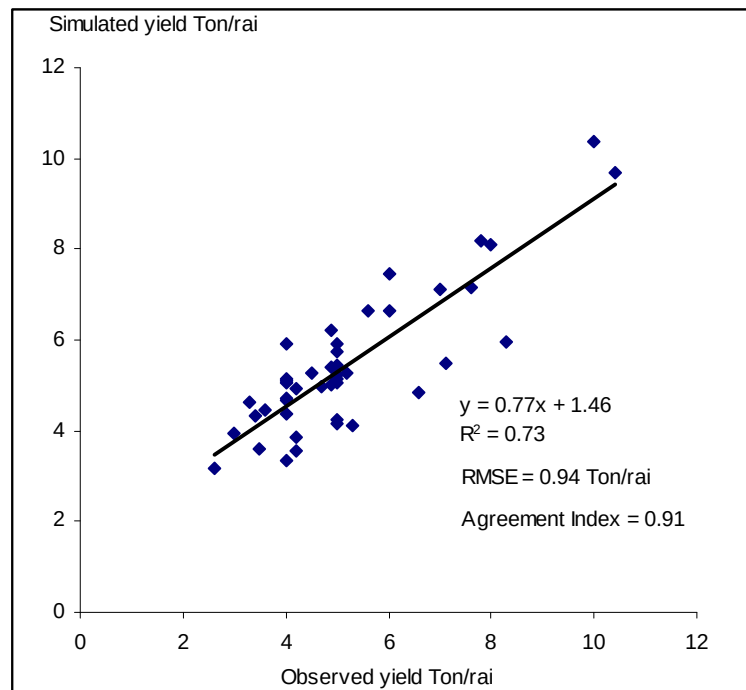
เมื่อการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าจำลองของผลผลิต ของอ้อยพันธุ์อุทอง 3 ในแต่ละเขตแหล่งผลิตที่ปลูกอ้อยที่สำคัญของประเทศไทย จำนวน 5 กลุ่ม ผลการศึกษา พบว่าในเขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ผลผลิตจำลองมีค่าเฉลี่ย 12.6 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตจริงเฉลี่ย 10.9 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 5) เขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนล่าง ผลผลิตจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.5 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้จากแปลงจริง เฉลี่ย 12.1 ตันต่อไร่ ส่วนในเขตแหล่งผลิตภาคตะวันออก แบบจำลองให้ผลผลิต เฉลี่ย 12.4 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตจากแปลงจริง เฉลี่ย 10.3 ตันต่อไร่ เขตแหล่งผลิตภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง ผลผลิตจำลองมีค่าเฉลี่ย 16.4 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตจริง เฉลี่ย 15.9 ตันต่อไร่ และในเขตแหล่งผลิตภาคเหนือตอนล่างผลผลิตจำลองมีค่าเฉลี่ย 12.3 ตันต่อไร่ ในขณะที่ผลผลิตจริง เฉลี่ย 13.8 ตันต่อไร่

ตารางที่ 5. ผลผลิตเฉลี่ยของอ้อย (ตันต่อไร่) ที่ได้จากแปลงทดลอง และจากการจำลองในแต่ละเขตแหล่งผลิตของประเทศไทย

เขตแหล่งผลิต	จำนวน สถานที่/แปลง	ปีที่ผ่านมา	ผลผลิตจาก แปลงทดลอง	ผลผลิตจาก แบบจำลอง
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	18/18	2544	10.8	12.5
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง และภาคกลางตอนบน	3/7	2544-2549	12.6	12.9
ภาคตะวันออก	1/1	2545	10.3	12.4
ภาคกลาง	10/12	2544-2547	15.9	16.4
ภาคเหนือตอนล่าง	3/6	2544-2549	13.8	12.3
รวม / เฉลี่ย	44	2544-2549	12.8	13.6

มันสำปะหลัง

จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าจำลองของผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 72 ในสภาพแวดล้อมต่างๆ ของประเทศไทย จำนวน 32 จุด รวมแปลงทั้งหมด 44 แปลง พบว่า ผลผลิตหัวสดให้ค่าจากการจำลอง เฉลี่ย 5.23 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตหัวสดที่ได้จากแปลง เฉลี่ย 4.81 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 6) ค่า slope ของ linear regression ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.77 และค่า intercept 1.46 ตันต่อไร่ ซึ่งภายใต้สภาพการผลิตที่ให้ผลผลิตจริงต่ำ ค่าที่ได้จากการจำลองจะ overestimate ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากปัจจัยอื่นที่อยู่นอกเหนือเงื่อนไขของการจำลอง อย่างไรก็ตาม R^2 มีค่าค่อนข้างสูง คือ 0.73 โดยให้ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในขณะเดียวกัน ยังมีค่า agreement index เข้าใกล้ 1.0 เช่นกัน คือ 0.91 และมีค่า RMSE 0.94 ตันต่อไร่ (ภาพที่ 10) ผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองมันสำปะหลัง แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังสามารถจำลองผลผลิตได้ค่อนข้างแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงจริง



ภาพที่ 10. เปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าจำลอง ของผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 72 ภายใต้สภาพแวดล้อมต่างกัน 32 แห่ง

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าสังเกต (observed) และค่าจำลอง (simulated) ของผลผลิต ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 72 ในแต่ละเขตแหล่งผลิตที่ปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญของประเทศไทย จำนวน 6 กลุ่ม พบว่า เขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ผลผลิตหัวสดที่ได้จากแบบจำลอง เฉลี่ย 5.13 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตหัวสดที่ได้จากแปลงจริง เฉลี่ย 4.64 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 6) เขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง ผลผลิตหัวสดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 5.70 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตหัวสดที่ได้จากแปลงจริง เฉลี่ย 6.09 ตันต่อไร่ เขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างผลผลิตหัวสดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 5.36 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตหัวสดที่ได้จากแปลงจริง เฉลี่ย 4.95 ตันต่อไร่ เขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกผลผลิตหัวสดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 6.48 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตหัวสดที่ได้จากแปลงทดลองจริง เฉลี่ย 6.02 ตันต่อไร่ เขตแหล่งผลิตภาคกลางผลผลิตหัวสดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 5.23 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตหัวสดที่ได้จากแปลงจริง เฉลี่ย 3.77 ตันต่อไร่ เขตแหล่งผลิตภาคเหนือตอนล่างผลผลิตหัวสดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 3.51 ตันต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตหัวสดที่ได้จากแปลงจริง เฉลี่ย 3.40 ตันต่อไร่

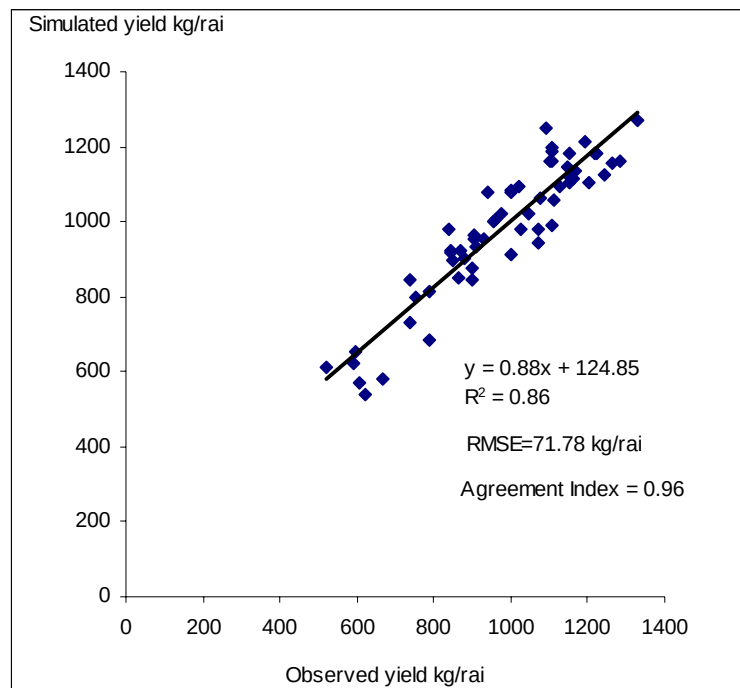
ตารางที่ 6. ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย (ตันต่อไร่) ของมันสำปะหลังที่ได้จากแปลงทดลองและจากการจำลอง ในแต่ละเขตแหล่งผลิตของประเทศไทย

เขตแหล่งผลิต	จำนวน สถานที่/แปลง	ปีที่ดำเนินงาน	ผลผลิตจาก แปลงจริง	ผลผลิตจาก แบบจำลอง
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	7/8	2538-2549	4.64	5.13
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง	4/12	2537-2541	6.09	5.70
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	12/14	2539-2549	4.95	5.36
ภาคตะวันออก	4/5	2539-2549	6.02	6.48
ภาคกลาง	3/3	2548-2549	3.77	5.23
ภาคเหนือตอนล่าง	2/2	2548-2549	3.40	3.51
รวม / เฉลี่ย	44	2537-2549	4.81	5.23

ข้าวโพด

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าจำลอง ของผลผลิตของข้าวโพด พันธุ์นครสวรรค์ 72 ในสภาพแวดล้อมต่างๆ ของประเทศไทย จำนวน 13 จุด รวมแปลงทั้งหมด 59 แปลง พบว่า ผลผลิตเฉลี่ยแท้จริงจากการจำลองมีค่าเฉลี่ย 986 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตเฉลี่ยแท้จริง เฉลี่ย 981 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 7) ค่าที่ได้จากแบบจำลองส่วนใหญ่ให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงทดลองจริง ทั้งนี้เนื่องจากค่าจากแบบจำลองไม่รวมถึงผลกระทบจากปัจจัยอื่น นอกเหนือจากเงื่อนไขที่ได้กล่าวไว้ (Boonpradub, 2000)

ผลการ validate แบบจำลองข้าวโพด แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดสามารถจำลองผลผลิตได้ค่อนข้างแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงทดลองจริง ซึ่งมีค่า slope 0.88 แม้ค่า intercept จะยังค่อนข้างสูง 124.85 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ค่า R^2 ค่อนข้างสูง คือ 0.86 นอกจากนี้ ยังมีค่า agreement index เข้าใกล้ 1.0 เช่นกัน คือ 0.96 และมีค่า RMSE 71.78 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 11) สอดคล้องกับ Jongkaewwattana (1995) รายงานว่า การใช้สมการ linear regression เหมาะสำหรับการ validate แบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแปลงทดลองจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองค่อนข้างแม่นยำ เมื่อค่า slope เข้าใกล้หนึ่ง และค่า intercept เข้าใกล้ศูนย์ ในขณะเดียวกัน Willmott (1982), อ้างใน Boonpradub (2000) กล่าวว่า ค่า RMSE เป็นค่าที่บ่งบอกถึง model performance โดยค่า RMSE ค่อนข้างต่ำ แสดงว่า แบบจำลองค่อนข้างแม่นยำ



ภาพที่ 11. เปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าจำลองของผลผลิตของข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์72 ภายใต้สภาพแวดล้อมต่างกัน 13 แห่ง

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าจำลอง ของผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นเมล็ด 15 เปอร์เซ็นต์ ของข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์72 ในแต่ละเขตแหล่งผลิตข้าวโพดที่สำคัญของประเทศไทย จำนวน 5 กลุ่มพบว่า ในเขตแหล่งผลิตภาคเหนือตอนล่างและตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ผลผลิตเมล็ดจากแบบจำลองมีค่า เฉลี่ย 915 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตเมล็ดที่ได้จากแปลงทดลองจริง เฉลี่ย 888 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 7) ในเขตแหล่งผลิตภาคกลางตอนบนและตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างผลผลิตเมล็ดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 1,059 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตเมล็ดที่ได้จากแปลงทดลองจริง เฉลี่ย 1,063 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนเขตแหล่งผลิตภาคภาคตะวันออก ผลผลิตเมล็ดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 652 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับผลผลิตเมล็ดที่ได้จากแปลงทดลองจริง เฉลี่ย 646 กิโลกรัมต่อไร่ เขตแหล่งผลิตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลาง ผลผลิตเมล็ดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 844 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าแปลงทดลองจริง เฉลี่ย 3 กิโลกรัมต่อไร่ เขตแหล่งผลิตภาคเหนือตอนบนผลผลิตเมล็ดที่ได้จากการจำลอง เฉลี่ย 1,219 กิโลกรัมต่อไร่ ต่ำกว่าแปลงทดลองจริง เฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 7. ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่) ของข้าวโพดที่ได้จากแปลงทดลอง และจากการจำลองในแต่ละเขตแหล่งผลิต ของประเทศไทย

เขตแหล่งผลิต	จำนวน สถานที่/แปลงทดลอง	ปีที่ดำเนินงาน	ผลผลิตจาก แปลงทดลอง	ผลผลิตจาก แบบจำลอง
ภาคเหนือตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	3/15	2543 - 2549	888	915
ภาคกลางตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	5/35	2538 - 2549	1063	1059
ภาคภาคตะวันออก	1/3	2546 - 2547	646	652
ภาคเหนือตอนล่างและภาคกลาง	3/5	2547 - 2549	841	844
ภาคเหนือตอนบน	1/1	2549	1192	1219
รวม / เฉลี่ย	59	2538 - 2549	981	986

สรุป

แม้ว่าโดยภาพรวม slope ของสมการ linear จะมีค่าต่ำกว่า 1 และ intercept สูงกว่า 0 ซึ่งชี้ว่า แบบจำลองจะ overestimate เมื่อผลผลิตต่ำ ซึ่งอาจเกิดปัจจัยการผลิตที่แบบจำลองยังไม่สามารถจำลองได้ แต่ค่า coefficient of determination R^2 จะมีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญ (~0.7) และ agreement index ใกล้ 1 (~0.9) ทำให้สรุปได้ว่าแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CERES-Rice) อ้อย (CANEGRO) มันสำปะหลัง (GUMCAS) และข้าวโพด (CERES-Maize) สามารถทำนายผลผลิตของแต่ละพืชได้ค่อนข้างแม่นยำ และสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย และวิเคราะห์หาแนวทางการปรับตัวของระบบการผลิตพืชทั้ง 4 ภายใต้ภาวะดังกล่าวได้

การจำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืช

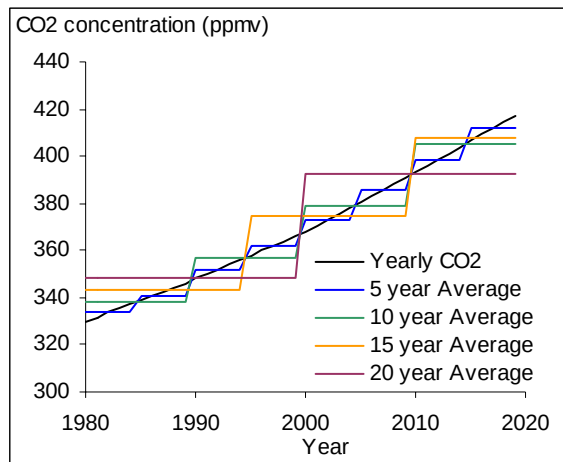
การจำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชได้ใช้ โปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร DSSAT/CropDSS ร่วมกับระบบ GIS เนื่องจากการวิจัยนี้ต้องการประเมินผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืชเป็นหลัก และมีความจำเป็นที่จะต้องลดความซับซ้อนของปฏิกิริยาร่วมจากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบในระดับประเทศได้ ดังนั้นจึงได้กำหนดปัจจัยการผลิตอื่นๆ ให้คงที่ เช่นการจัดการพืชให้เป็นไปตามคำแนะนำในปัจจุบันของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์สำหรับพืชแต่ละชนิด และไม่มีการทำลายจากโรค แมลง และศัตรูพืชอื่นๆ เป็นต้น ตัวแปรของระบบจึงประกอบด้วยสภาพฟ้าอากาศและดินเท่านั้น การดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน:

1. ตรวจสอบการใช้ค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้น CO₂ และข้อมูลภูมิอากาศที่ได้จากการแบบจำลอง ECHAM4 และ PRECIS ภาพได้เงื่อนไข A2 SRES ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลอง DSSAT
2. จำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชทั้ง 4 ชนิด และวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเวลาและพื้นที่ ทั้งในระยะยาว และระยะสั้น
 - ผลกระทบระยะยาวเป็นผลที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของ CO₂ และอุณหภูมิ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการอัตราการเจริญเติบโตและอายุของพืช เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับ CO₂ และอุณหภูมิโลกเป็นไปอย่างช้าๆ ดังนั้นการประเมินผลกระทบดังกล่าวจึงวิเคราะห์ในรูปแบบของแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตในระยะยาว
 - ผลกระทบระยะสั้นเป็นผลที่เกิดจากภาวะโลกร้อนทำให้สภาพอากาศ (weather) มีความแปรปรวนมากขึ้น ในปีที่เกิดภาวะแล้งระดับความรุนแรงอาจเพิ่มมากขึ้น และในปีที่เกิดน้ำท่วมระดับความรุนแรงก็อาจมากกว่าปกติ และทำให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงขึ้น ผลกระทบดังกล่าวจะทำให้ผลผลิตพืชมีความแปรปรวนระหว่างปี และระหว่างพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เพิ่มความเสี่ยงให้กับระบบการผลิต การประเมินผลกระทบดังกล่าวจึงวิเคราะห์ผลในรูปแบบของความแปรปรวน
3. ประเมินค่าดัชนีผลกระทบ (impact index) จาก ระดับความรุนแรง ขนาดพื้นที่ และ ความยาวนานของผลกระทบ และสร้างแผนที่ของพื้นที่วิกฤตในแง่การผลิตพืช เพื่อใช้วิเคราะห์สาเหตุและการปรับตัว

ตรวจสอบการใช้ระดับ CO₂ เฉลี่ย และข้อมูลภูมิอากาศรายวัน

การตรวจการใช้ระดับ CO₂ เฉลี่ย

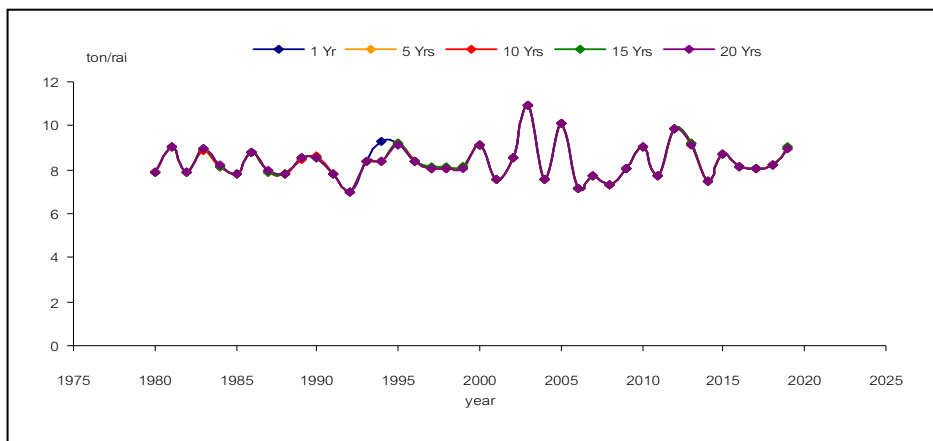
ความเข้มข้นของ CO₂ มีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช ภายใต้สภาพภูมิอากาศโลกในอนาคตที่ระดับ CO₂ จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงต้องระบุค่าความเข้มข้นของ CO₂ ที่เปลี่ยนแปลงให้ตรงกับภาวะเงื่อนไขที่แบบจำลองภูมิอากาศ ECHAM4-PRECIS (ศุภกร และคณะ, 2551) ใช้ในการคำนวณสภาพภูมิอากาศ แต่เนื่องจากโปรแกรม DSSAT และ CropDSS ซึ่งเป็นระบบเชื่อมโยงแบบจำลอง DSSAT กับข้อมูลเชิงพื้นที่ (อรรถชัย, 2551) ยังไม่เปิดทางให้สามารถนำเข้าข้อมูลการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของ CO₂ ได้ และหากต้อง run model อย่าง manual เพื่อให้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ CO₂ สำหรับทุกๆ พื้นที่หน่วยจำลอง (smu) ทุกๆ ปี ก็จะต้องทำการ run มากกว่า 1-3 แสนครั้ง ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถดำเนินการได้ ด้วยเหตุผลทางด้านเทคนิคดังกล่าวจึงต้องทดสอบว่า จะสามารถกำหนดให้การเพิ่มขึ้นของ CO₂ เป็นแบบขั้นบันได (discrete) โดยใช้ค่าเฉลี่ยดังภาพที่ 12 ได้หรือไม่ และจะมีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินโดยแบบจำลองทั้งสามใน DSSAT (CERES, CANEGRO, และGUMCAS) มากน้อยเพียงใด



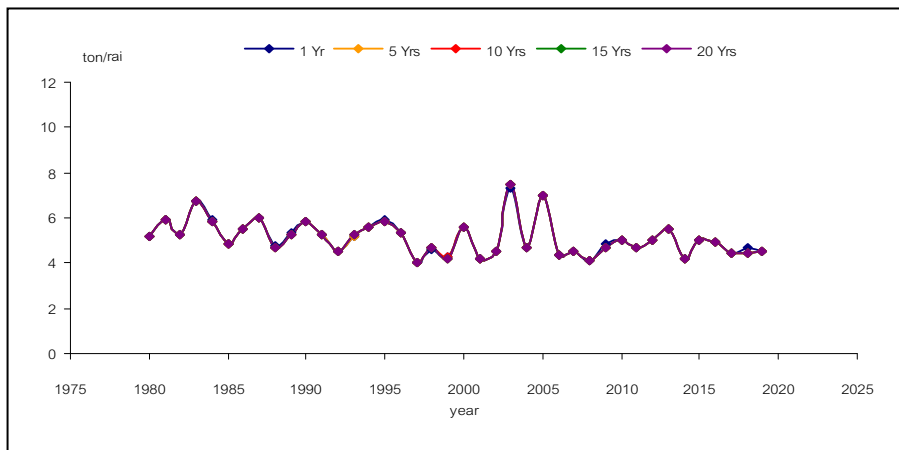
ภาพที่ 12. การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น CO₂ รายปี และค่าเฉลี่ยราย 5 ปี 10 ปี 15 ปี และ 20 ปี ภายใต้เงื่อนไข SRES A2 (IPCC, 2007) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ จากปี 1980-2019

ในการเปรียบเทียบนี้ได้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศจาก ECHAM4-PRECIS SRES A2 ปี 1980-2019 ทำการจำลองการเจริญเติบโตผลผลิตของ อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในเขตที่มีพื้นที่ปลูกหนาแน่น สำหรับอ้อยและข้าวโพด พื้นที่ดังกล่าวอยู่ในเขตการผลิตที่ 1 ส่วนมันสำปะหลังอยู่ในเขตการผลิตที่ 2 (เกริก และคณะ, 2551)

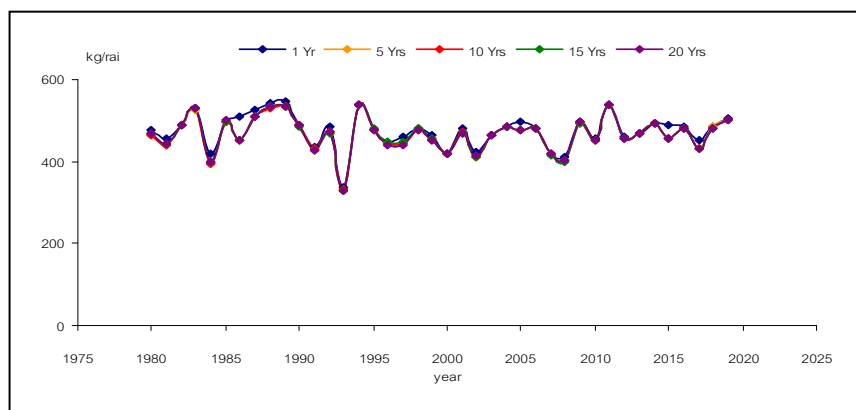
ผลจากการเปรียบเทียบพบว่า การเปลี่ยนแปลงของ CO₂ ทั้ง 5 รูปแบบไม่มีผลต่อผลผลิตของอ้อย และมันสำปะหลัง (8.3 และ 5.1 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ภาพที่ 13ก และ 13ข) แต่ในข้าวโพดการใช้ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยราย 5 10 15 และ 20 ปี จะให้ผลผลิตเท่ากัน และต่ำกว่าการใช้ระดับความเข้มข้นรายปีเพียงร้อยละ 2 เท่านั้น (467.0 และ 475.5 ตันต่อไร่ ตามลำดับภาพที่ 13ค) ดังนั้นเพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพจึงใช้ค่าความเข้มข้นของ CO₂ เฉลี่ยราย 10 ปี



ภาพที่ 13ก. ผลผลิตของอ้อยจากการจำลอง ที่นำเข้าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 ปี และใช้ค่าเฉลี่ยทุก 5 10 15 20 ปี ตั้งแต่ ปี 1980 - 2019



ภาพที่ 13ข. ผลผลิตของมันสำปะหลังจากการจำลอง ที่นำเข้าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทุก 1 ปี และใช้ค่าเฉลี่ยทุก 5 10 15 20 ปี ตั้งแต่ ปี 1980 - 2019

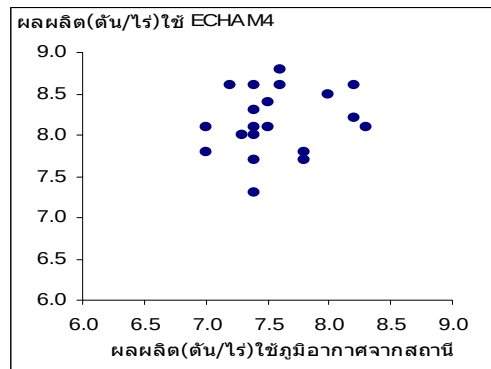


ภาพที่ 13ค. ผลผลิตของข้าวโพดจากการจำลอง ที่นำเข้าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทุก 1 ปี และใช้ค่าเฉลี่ยทุก 5 10 15 20 ปี ตั้งแต่ ปี 1980 - 2019

การตรวจสอบข้อมูลนำเข้าภูมิอากาศ

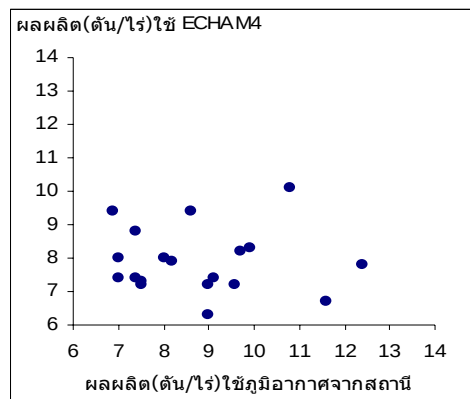
ข้อมูลนำเข้าภูมิอากาศเป็นข้อมูลที่สำคัญเป็นอันดับแรกต่อการประเมินผลผลิตพืช จึงตรวจสอบหาความคลาดเคลื่อนของการประเมินผลผลิตพืชที่อาจเกิดขึ้นจากข้อมูลนำเข้าภูมิอากาศ ที่ได้มาจากการคำนวณของแบบจำลองภูมิอากาศ ECHAM4-PRECIS โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่ได้จากการวัดภาคสนามที่สถานีตรวจอากาศเกษตรร้อยเอ็ด ปี 1984 - 2003 กับการใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจาก ECHAM4-PRECIS A2 SRES ที่ กริด 2CDA (ซึ่งครอบคลุมจุดที่ตั้งสถานีตรวจอากาศเกษตรร้อยเอ็ด) ปี 1984 - 2003 ในการจำลองผลผลิตทั้งสองกรณี สิ่งที่แตกต่างกันมีเพียงภูมิอากาศเท่านั้น

จากการจำลองผลผลิตอ้อย (ภาพที่ 14ก) แม้ว่าลำดับการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตรายปีที่ได้จากการจำลองโดยใช้ภูมิอากาศจากการคำนวณของ ECHAM4-PRECIS นั้นจะแตกต่างและไม่สัมพันธ์กับลำดับที่ได้จากการใช้ข้อมูลภูมิอากาศจริงก็ตาม แต่สิ่งที่สำคัญสำหรับการวิจัยนี้ก็คือค่าเฉลี่ยของผลผลิต และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการใช้ข้อมูลทั้งสองแหล่งมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ข้อมูลภูมิอากาศจริงจากสถานีอากาศเกษตรร้อยเอ็ด ผลผลิตอ้อยจากปี 1984-2003 มีค่าเฉลี่ย 7.6 ตันต่อไร่ ขณะที่ผลผลิตที่ได้จากข้อมูลอากาศ ECHAM4-A2 มีค่าเฉลี่ย 8.2 ตันต่อไร่ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.4 ตันต่อไร่ เท่ากัน



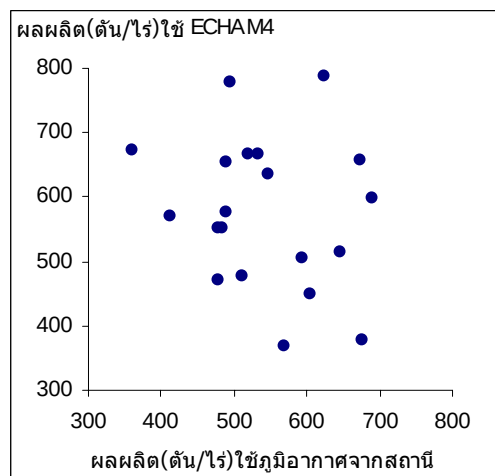
ภาพที่ 14ก. ผลผลิตอ้อย (ตันต่อไร่) จากการจำลองที่นำเข้าข้อมูลภูมิอากาศ ECHAM4 และภูมิอากาศจริงจากสถานีอากาศเกษตรร้อยเอ็ดปี 1984 - 2003

สำหรับมันสำปะหลัง (ภาพที่ 14ข) การใช้ข้อมูลภูมิอากาศจริงให้ผลผลิตเฉลี่ย 8.8 ตันต่อไร่ และ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.6 ตันต่อไร่ สูงกว่าการใช้ข้อมูลภูมิอากาศจาก ECHAM4 ที่ให้ค่าผลผลิตเฉลี่ย 7.8 ตันต่อไร่ และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.1 ตันต่อไร่



ภาพที่ 14ข. ผลผลิตมันสำปะหลัง (ตันต่อไร่) จากการจำลองที่นำเข้าสู่ข้อมูลภูมิอากาศ ECHAM4 และภูมิอากาศจริงจากสถานีอากาศเกษตรร้อยเอ็ดปี 1984 - 2003

ส่วนข้าวโพด (ภาพที่ 14ค) พบว่าผลผลิตเฉลี่ยจากการใช้ภูมิอากาศจริงมีค่า 544 กิโลกรัมต่อไร่ ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้จากการใช้ภูมิอากาศ ECHAM4-A2 ที่มีค่าเฉลี่ย 577 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตที่ได้จากการใช้ภูมิอากาศ ECHAM4-A2 มีความแปรปรวน 117 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าการใช้ภูมิอากาศจริงที่มีความแปรปรวน 90 กิโลกรัมต่อไร่



ภาพที่ 14ค. ผลผลิตข้าวโพด (กิโลกรัมต่อไร่) จากการจำลองที่นำเข้าสู่ข้อมูลภูมิอากาศ ECHAM4 และภูมิอากาศจริงจากสถานีอากาศเกษตรร้อยเอ็ดปี 1984 - 2003

จากการตรวจสอบสรุปได้ว่าสามารถใช้ข้อมูลภูมิอากาศจาก ECHAM4-PRECIS เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ผลผลิตพืชทั้ง 4 ชนิดได้ เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยและมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกับการใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่ได้จากการตรวจวัด

วิธีการจำลอง

การประเมินผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืช ได้ใช้โปรแกรม DSSAT/CropDSS โดยทำการจำลองผลกระทบต่อผลผลิตพืชทั้ง 4 ชนิดในแต่ละหน่วยย่อยการผลิตพืช (Simulation Mapping Unit, SMU) ตามที่ได้สร้างไว้ในขั้นตอน การรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูล ซึ่งภายในแต่ละ SMU นั้นจะมีสภาพแวดล้อม (ภูมิอากาศและดิน) ที่สม่ำเสมอ และแตกต่างจาก SMU อื่นๆ

สภาพอากาศในแต่ละ SMU นั้นเป็นข้อมูลสภาพอากาศรายวัน ปี 1980-2099 ได้จากการประเมินของแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (regional climate model : RCM) PRECIS (Jones *et.al.*, 2004) โดยใช้ boundary condition จากแบบจำลองภูมิอากาศระดับโลก (global climate model : GCM) ECHAM 4 (Roeckner *et.al.*, 1996) ข้อมูลภูมิอากาศนี้ได้รับการอนุเคราะห์จากสถาบัน SEA START RC จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยส่วนคุณสมบัติดินในแต่ละ SMU นั้นเป็นข้อมูลกลุ่มชุดดินที่กรมพัฒนาที่ดินได้จัดทำขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

ส่วนข้อมูลพืช สำหรับข้าวใช้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรม (genetic coefficients) ของพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นตัวแทนข้าวชลประทาน และข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นตัวแทนข้าวนาหว่าน ส่วนอ้อยได้ใช้สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ K84-200 เป็นตัวแทน มันสำปะหลังใช้สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นตัวแทน และข้าวโพด ใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์สุวรรณ 1 เป็นตัวแทน

ข้อมูลการจัดการพืชแต่ละพืชนั้นเป็นไปตามคำแนะนำของกรมการข้าว และกรมวิชาการเกษตร ดังสรุปในตารางที่ 8

ตารางที่ 8. ข้อมูลการจัดการพืชที่ใช้ในการจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

	ข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด
พันธุ์	ข้าวดอกมะลิ 105 สุพรรณบุรี 1	K84-200	เกษตรศาสตร์ 50	สุวรรณ 1
วันปลูก	8 ก.ค.	15 ต.ค./15 เม.ย.	15 พ.ค.	15 พ.ค.
วิธีการปลูก	เป็นแถว	เป็นแถว	เป็นแถว	เป็นแถว
จำนวนประชากร (ต้น/ตร.ม.)	25	5	1	6.5
การใส่ปุ๋ย (กก./ไร่)	น้ำฝน 8 ชลประทาน 12.8	18	optimal N	20
การให้น้ำ	อาศัยน้ำฝน ชลประทาน	อาศัยน้ำฝน	อาศัยน้ำฝน	อาศัยน้ำฝน
การเก็บเกี่ยว	เมื่อสุกแก่	15 ธ.ค./15 ก.พ.	อายุ 12 เดือน	เมื่อสุกแก่

วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงผลผลิตเชิงเวลาและพื้นที่

เมื่อ $y_{i,t}$ คือผลผลิตใน SMU i ในปี t และ A_i คือพื้นที่ของ SMU i การคำนวณหาผลผลิตเฉลี่ยรายปี y_t ในปี t ของประเทศ โดยใช้วิธี weighted average ซึ่งถ่วงน้ำหนักจากพื้นที่ปลูก คำนวณได้ดังนี้

$$y_t = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_{i,t}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

n คือจำนวนของ SMU ทั้งหมด ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีค่าของ n ไม่เท่ากัน ส่วนผลผลิตเฉลี่ยรายทศวรรษ y_i ของ SMU i คำนวณดังนี้

$$y_i = \frac{\sum_{t=1}^d y_{i,t}}{d}, \text{ สำหรับทศวรรษ } d=10$$

ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตระหว่าง SMU ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในปี t (σ_t spatial variation) คำนวณดังนี้

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{i,t} - y_t^*)^2}{n-1}}, \text{ เมื่อ } y_t^* \text{ ในที่นี้เป็น unweighted mean ของผลผลิตในปี } t$$

และความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตของ SMU i ที่เกิดขึ้นระหว่างปี 1980-2099 (σ_i temporal variation) คำนวณดังนี้

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^d (y_{i,t} - y_i)^2}{d-1}}, \text{ เมื่อ } d = 100 \text{ และ } y_i \text{ คือค่าเฉลี่ยของปี 1980-2099}$$

ในการแสดงผลเชิงพื้นที่จะนำค่า y_i รายทศวรรษของแต่ละ SMU ไปบันทึกไว้ในรูปแบบ file.dbf แล้วนำไปเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลพื้นที่ปลูกพืชในระบบ GIS (ArcView) โดยใช้รหัส smucode เป็นตัวเชื่อม จากฐานข้อมูลดังกล่าวสามารถจัดชั้นข้อมูลและสร้างแผนที่แสดงระดับของความแตกต่างของผลผลิตจากค่าเฉลี่ยของปีฐาน (ปี 1980-1989) ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิงเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก

ผลการจำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืช

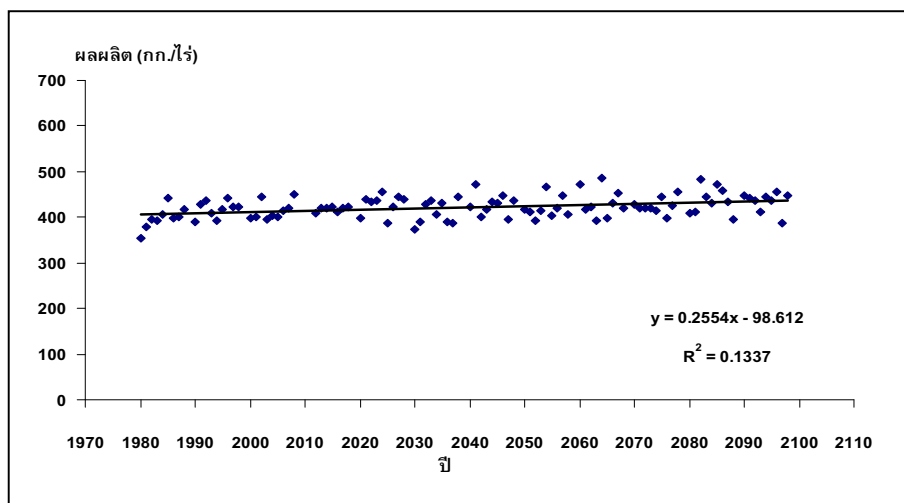
ผลกระทบต่อผลผลิตข้าวในระยะยาวและระยะสั้น

จากการจำลองและวิเคราะห์พบว่าผลผลิตข้าวหน้าน้ำฝนเฉลี่ยทั้งประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก 399 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปีฐาน (1980-1989) เป็น 434 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี 2090-99 (ภาพที่ 15) ส่วนผลผลิตข้าวนาชลประทานกลับมีแนวโน้ม ลดลงจาก 785 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปีฐาน เป็น 666 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี 2090-99 หรือผลผลิตเฉลี่ย ลดลง ร้อยละ 9-18 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน (ภาพที่ 16)

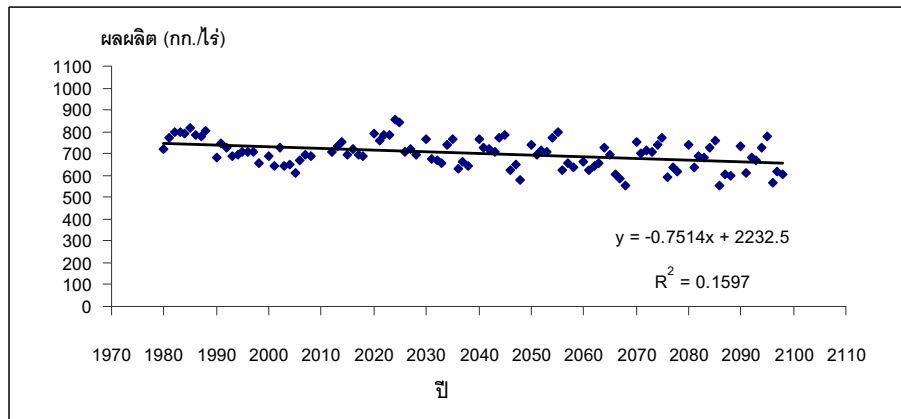
เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างปีของผลผลิตของข้าวหน้าน้ำฝน โดยเฉลี่ยจากค่า σ_i จากปี 1980-2099 ของ SMU ทั้งหมด พบว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตรายปี ($\overline{\sigma_i}$) มีค่าเท่ากับ ± 57 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของผลผลิตจากปี 1980-2099 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35 กิโลกรัมต่อไร่ กับค่า $\overline{\sigma_i}$ อาจกล่าวได้ว่า แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของผลผลิตของข้าวหน้าน้ำฝนโดยภาพรวมของทั้งประเทศในระยะยาวนั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ในกรณีของข้าวนาชลประทาน แม้การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตจะเห็นได้ชัดเจนกว่าข้าวหน้าน้ำฝน แต่เมื่อเปรียบเทียบระดับการลดลงของผลผลิตดังกล่าวกับ $\overline{\sigma_i}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ ± 95 กิโลกรัมต่อไร่ ก็จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตในระยะยาวนั้น มีระดับของการเปลี่ยนแปลงที่น้อยเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบความแปรปรวนเชิงเวลาของระบบการผลิตข้าวทั้งสองพบว่า แม้ว่าค่า $\overline{\sigma_i}$ ของข้าวนาชลประทานจะสูงกว่าค่าของข้าวหน้าน้ำฝน แต่เมื่อ normalized ให้เป็น ร้อยละของค่าเฉลี่ย ($100 \overline{\sigma_i} / \overline{y_{i,t}}$) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณ ร้อยละ 14 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่ทำให้ภูมิอากาศมีความแปรปรวนระหว่างปีต่อปีมากขึ้น อาจมีผลกระทบที่ชัดเจนและรุนแรงต่อการผลิตข้าว มากกว่าผลกระทบในระยะยาวที่เกิดจากอุณหภูมิโลกและระดับ CO_2 ที่สูงขึ้น

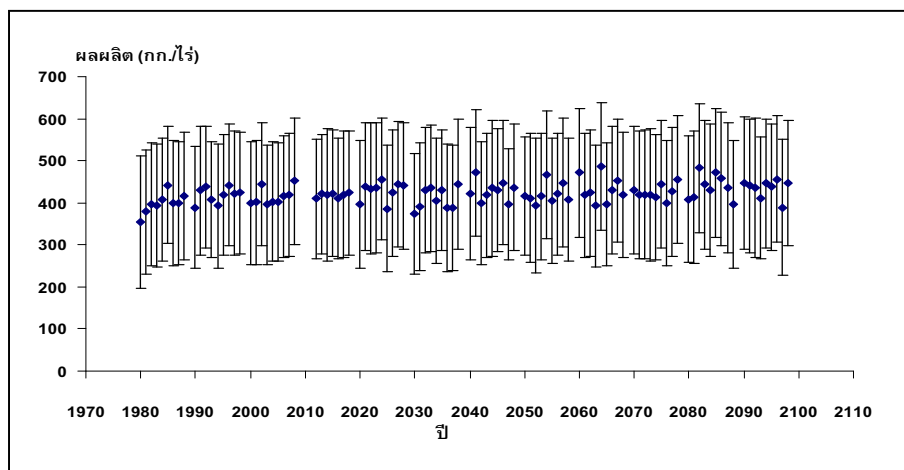


ภาพที่ 15. ผลผลิตจำลองเฉลี่ยรายปีในพื้นที่น่าน้ำฝนของข้าวขาวดอกมะลิ105 ทั้งประเทศ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจากปี 1980 ถึง ปี 2099

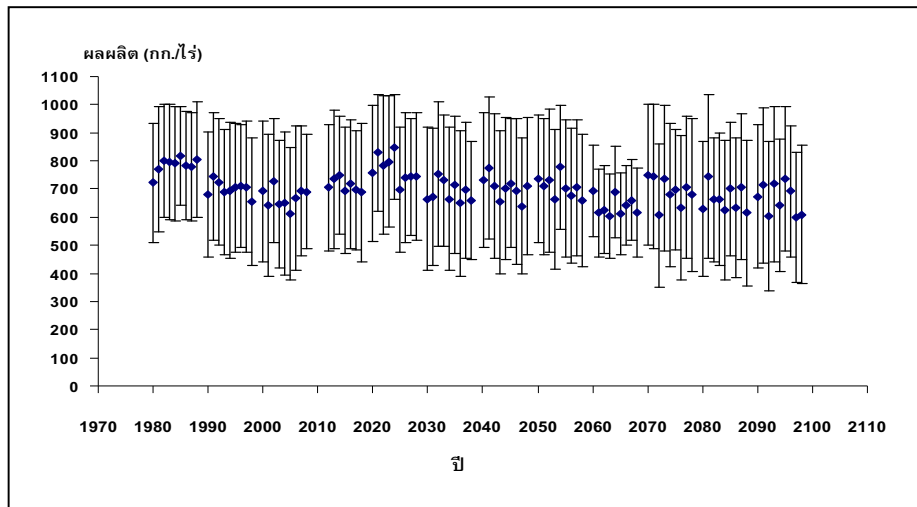


ภาพที่ 16. ผลผลิตจำลองเฉลี่ยรายปีในพื้นที่นาชลประทานของข้าวสุพรรณบุรี1 ทั้งประเทศ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจากปี 1980 ถึง ปี2099

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตระหว่าง SMU ต่าง ๆ ของข้าวนาหน้าฝนในแต่ละปี (σ_t) พบว่า มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง ดังแสดงใน ภาพที่ 17 และเมื่อนำค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตระหว่าง SMU ในแต่ละปีมาหาค่าเฉลี่ย $\bar{\sigma}_t$ ตลอดช่วงปี 1980-2099 พบว่าค่าดังกล่าวของข้าวนาหน้าฝนมีค่าเท่ากับ ± 148 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่า $\bar{\sigma}_t$ ถึง เกือบ 3 เท่า ส่วนข้าวนาชลประทานมีค่า $\bar{\sigma}_t$ เท่ากับ ± 227 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่า $\bar{\sigma}_t$ ถึง 2 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 18 อย่างไรก็ตามเมื่อ normalized ค่า $\bar{\sigma}_t$ พบว่า ระบบการผลิตข้าวทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ ร้อยละ 33



ภาพที่ 17. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของข้าวขาวดอกมะลิ105 ในพื้นที่น่าน้ำฝน ทั้งประเทศ จากปี 1980 ถึง ปี2099

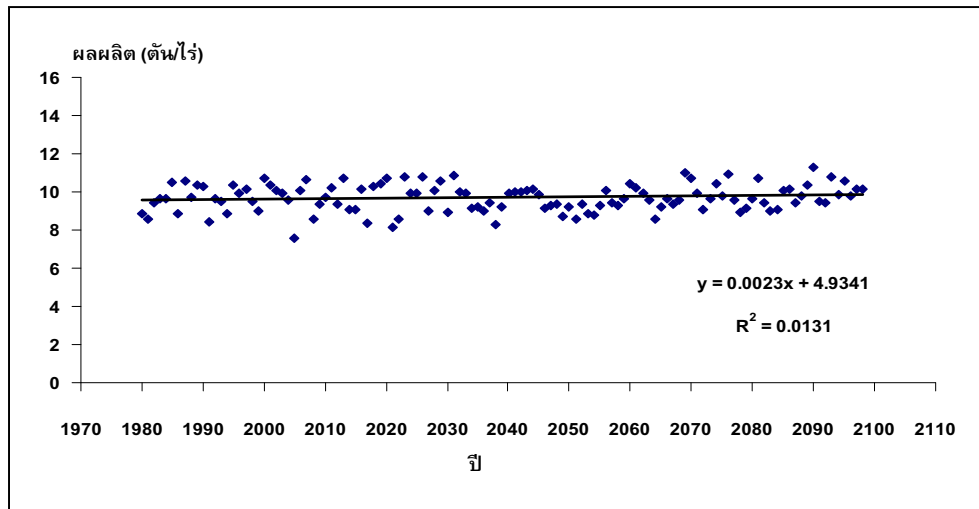


ภาพที่ 18. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 ในพื้นที่นาชลประทานทั่วประเทศ จากปี 1980 ถึง ปี2099

ความแตกต่างของความแปรปรวนเชิงพื้นที่ และ เชิงเวลา ซึ่งว่า ความแตกต่างของคุณสมบัติดินและสภาพอากาศในแต่ละ SMU นั้นส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว ทำให้ความแปรปรวนเชิงพื้นที่มีค่าสูงกว่าเชิงเวลา ดังนั้น แม้ในปีที่ผลผลิตเฉลี่ยของประเทศจะสูง แต่ในบางพื้นที่ก็ยังมีโอกาสที่ผลผลิตจะต่ำ และในปีที่ผลผลิตเฉลี่ยของประเทศต่ำ ระดับความเสียหายในพื้นที่ดังกล่าวอาจรุนแรงจนถึงขั้นวิกฤตได้

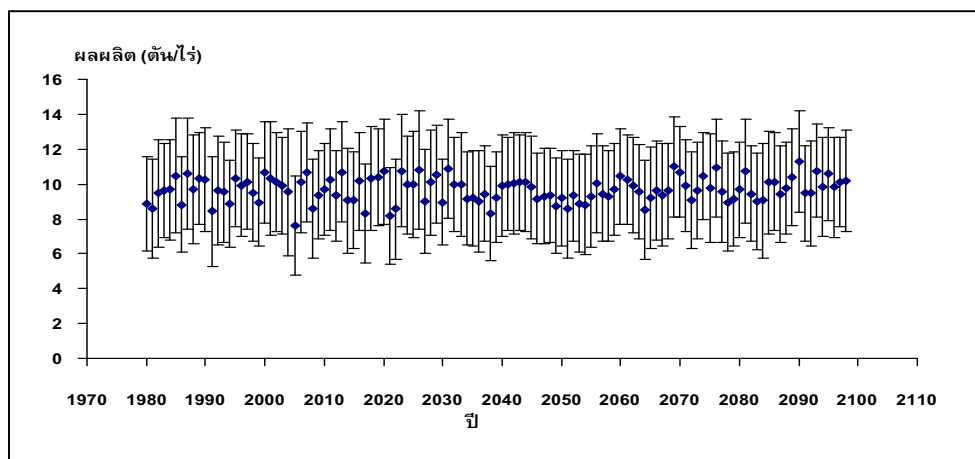
ผลกระทบต่อผลผลิตอ้อยระยะยาว และระยะสั้น

สมการ linear regression ซึ่งให้เห็นแนวโน้มในระยะยาวของการเพิ่มขึ้นของผลผลิตอ้อย ภายใต้ภาวะโลกร้อน (ภาพที่ 19) โดยผลผลิตอ้อย เพิ่มขึ้นจาก 9.6 ตันต่อไร่ (เฉลี่ย 10 ปี) ในปี 1980-89 เป็น 10.2 ตันต่อไร่ ในปี 2090-99 การเพิ่มขึ้นของผลผลิตอ้อยอาจไม่ได้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของ CO_2 จากการศึกษาของ Josept *et. al.* (2009) พบว่า การเพิ่มระดับ CO_2 จาก 360 เป็น 720 ppmv มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของอ้อย (C4) เพียงเล็กน้อย แต่พบว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงของอ้อยจะได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำมากกว่า (ขณะที่ Kim *et. al.* (2007) ที่ศึกษาในข้าวโพดซึ่งเป็นพืช C4 เช่นเดียวกับอ้อย พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะมีผลต่อการเจริญเติบโต พัฒนาการและผลผลิต มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับ CO_2)



ภาพที่ 19. ผลผลิตจำลองเฉลี่ยรายปีของอ้อยพันธุ์K84-200 ทั้งประเทศ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจากปี 1980 ถึง ปี 2099

จากการวิเคราะห์ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย ระหว่างปี 1980 ถึง 2099 พบว่าความแปรปรวนของผลผลิตค่อนข้างสูงโดยมีค่าของผลผลิตระหว่าง 8.2 ถึง 10.8 ตันต่อไร่ และมีค่า σ_i เท่ากับ 1.8 ตันต่อไร่ และเมื่อ normalized มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 18 ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนระหว่างปีกับการเพิ่มขึ้นของผลผลิตอ้อย จากปี 1980 ถึง 2099 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของผลผลิต (0.6 ตันต่อไร่) นั้นเป็นการเพิ่มขึ้นที่ไม่มากนัก ดังนั้นผลของภาวะโลกร้อนต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศจึงเป็นประเด็นที่สำคัญต่อระบบการผลิตอ้อยและก่อให้เกิดภาวะเสี่ยงมากกว่าผลโดยตรงจากการเพิ่มขึ้นของ CO_2 และอุณหภูมิ

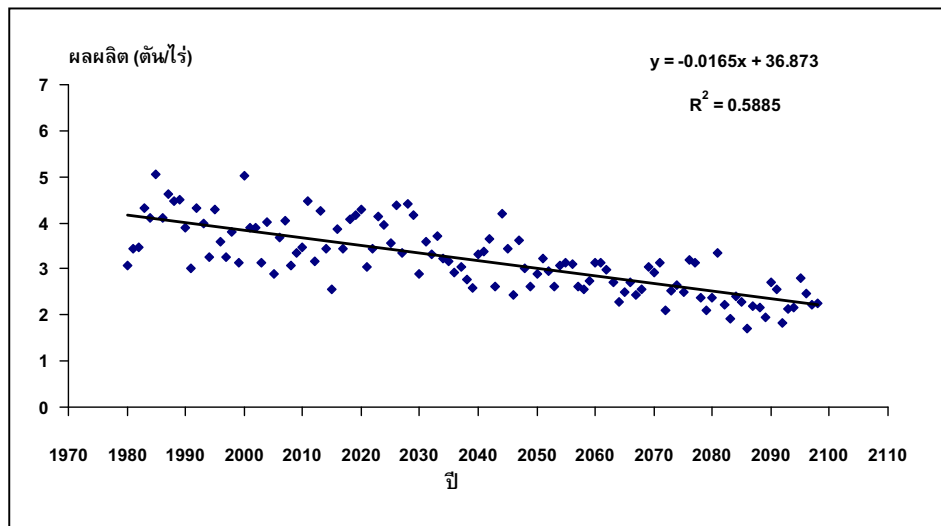


ภาพที่ 20. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของอ้อยพันธุ์K84-200 ทั้งประเทศ จากปี 1980 ถึง ปี2099

เมื่อประเมินหาความแปรปรวนของผลผลิตระหว่าง SMU ภายในแต่ละปี (σ_t) พบว่ามีความแปรปรวนที่สูงกว่าความแปรปรวนระหว่างปี โดยมีค่า $\bar{\sigma}_t$ เท่ากับ ± 2.3 ตันต่อไร่ (ภาพที่ 20) และมีค่า normalized เท่ากับร้อยละ 23 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของภาวะสภาพภูมิอากาศในระยะยาวจากการเพิ่มระดับ CO₂ และอุณหภูมิ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตน้อยเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบของผลผลิตที่เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมที่อาจรุนแรงขึ้นจากภาวะโลกร้อน และเมื่อประกอบกับความหลากหลายของดินทำให้ผลผลิตในพื้นที่ต่างๆ มีความแปรปรวนที่สูงกว่าความแปรปรวนระหว่างปี

ผลกระทบต่อผลผลิตมันสำปะหลังระยะยาวและระยะสั้น

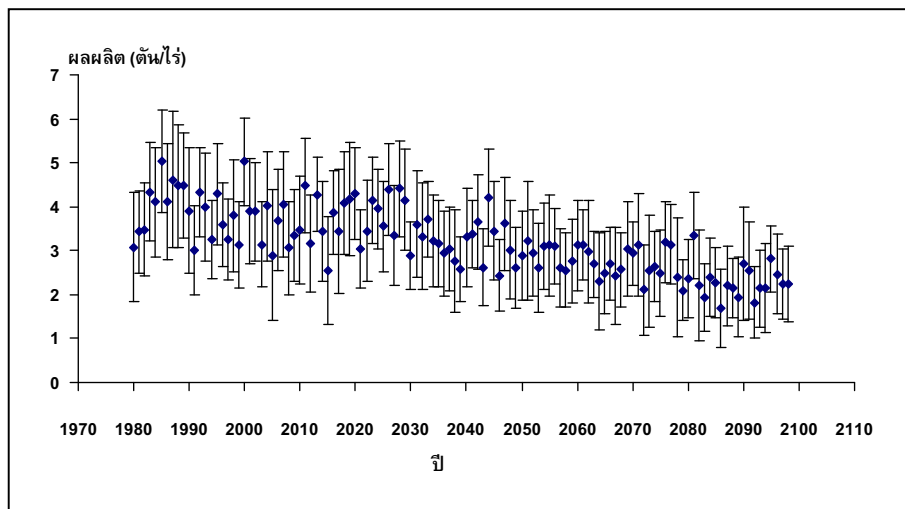
จากผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพบว่า ผลผลิตหัวสด ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ลดลงอย่างต่อเนื่อง จาก 4.1 ตันต่อไร่ (เฉลี่ยระหว่างปี 1980-89) เป็น 2.3 ตันต่อไร่ (เฉลี่ยระหว่างปี 2090-99) หรือร้อยละ 43 จาก linear regression analysis (ภาพที่ 21) R^2 มีค่าเท่ากับ 0.6



ภาพที่ 21. ผลผลิตจำลองเฉลี่ยรายปีของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทั้งประเทศ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจากปี 1980 ถึง ปี 2099

ความแปรปรวนระหว่างปีของผลผลิตมันสำปะหลัง $\bar{\sigma}_t$ มีค่าเท่ากับ ± 1.10 ตันต่อไร่ และมีค่า normalized เท่ากับร้อยละ 34 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับของผลผลิตที่ลดลง 1.8 ตันต่อไร่ กับค่า $\bar{\sigma}_t$ จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในระยะยาวจะมีผลกระทบที่ค่อนข้างรุนแรงต่อผลผลิตของมันสำปะหลังซึ่งทำให้ผลผลิตลดลงเหลือเพียงร้อยละ 53 ของปัจจุบันเท่านั้น โดยที่ความแปรปรวนของผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศ ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพอากาศก็ยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญ และทำให้ผลผลิตระหว่างปีมีความแปรปรวนถึง ± 25 ตันต่อไร่

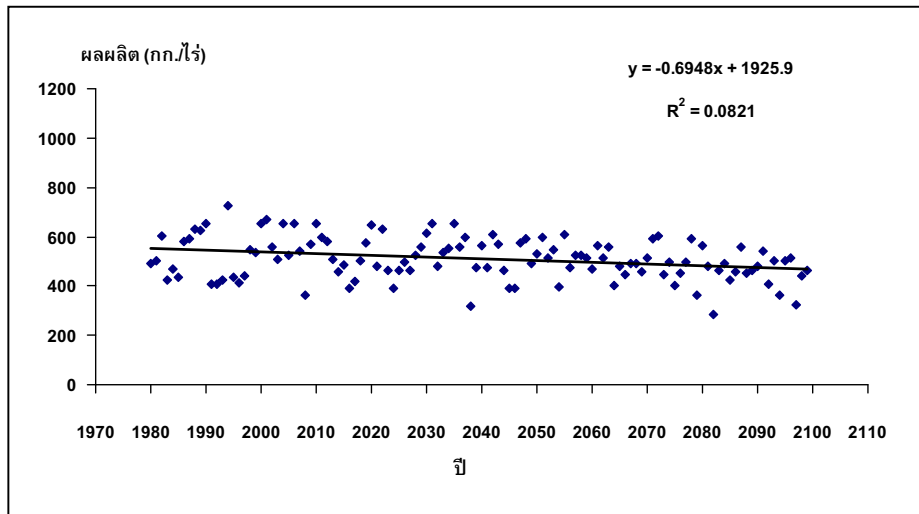
เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนของผลผลิตระหว่าง SMU พบว่าค่า $\overline{\sigma}_t$ เท่ากับ 1.04 ตันต่อไร่ (ภาพที่ 22) และมีค่า normalized เท่ากับร้อยละ 33 ใกล้เคียงกับ $\overline{\sigma}_t$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ภาวะสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี โดยมีการเพิ่มระดับ CO₂ อุณหภูมิ รวมทั้งปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นจากปี 1980 ถึง 2099 มีผลกระทบต่อผลผลิตมันสำปะหลัง ใกล้เคียงกับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมของแหล่งปลูกต่าง ๆ ในปีเดียวกัน ซึ่งเกิดจากปฏิกริยาร่วมระหว่าง คุณสมบัติของดิน เช่น เนื้อดิน ความลึกของดินชั้นบน ซึ่งมีผลต่อความชื้น ชาน้ำ รวมทั้งความลาดเอียงของพื้นที่ การจัดการในแต่ละแหล่งปลูก รวมถึงความแปรปรวนของภูมิอากาศระหว่างพื้นที่ต่างๆ เหล่านั้นด้วย



ภาพที่ 22. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของมันสำปะหลังพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 50 ทั่วประเทศ จากปี 1980 ถึงปี 2099

ผลกระทบต่อผลผลิตข้าวโพดระยะยาว และระยะสั้น

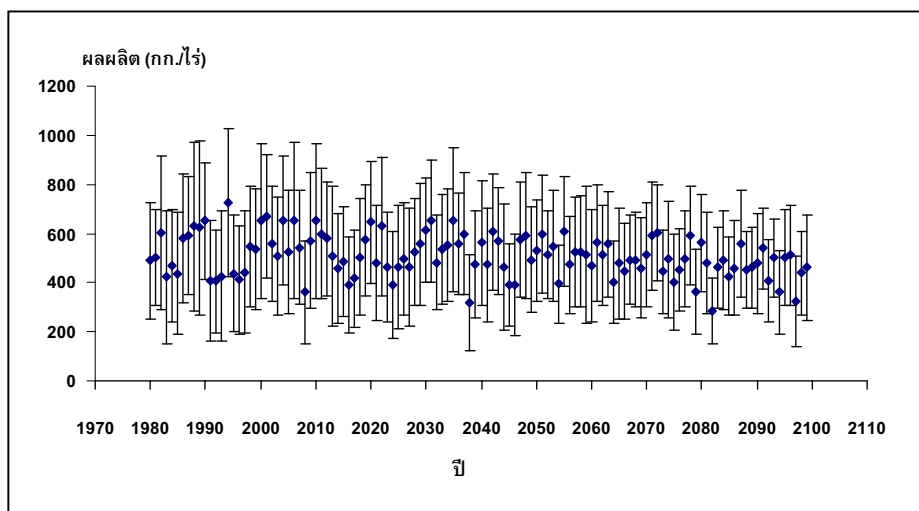
จากปี 1980 ถึง ปี 2099 ผลผลิตของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ลดลงจาก 525 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปี 1980-1989 เหลือเพียง 445 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปี 2090-2099 หรือลดลงร้อยละ 15 (ภาพที่ 23) ค่า R^2 ที่ต่ำ (0.0821) ชี้ให้เห็นว่า ความแปรปรวนของผลผลิต σ_t ที่เกิดจากความแปรปรวนของภูมิอากาศระหว่างปีมีผลต่อผลผลิตอย่างยิ่ง Zaidi (2002) พบว่า การจำลองการเจริญเติบโตของพืชโดยการเพิ่มระดับ CO₂ จาก 300 เป็น 600 ppmv ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวโพด (C₄) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 7) ในขณะที่พืช C₃ (ข้าว ข้าวสาลี) ให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25-40 ผลดังกล่าวแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ และชี้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความแปรปรวนของฝนอาจมีผลในทางลบมากกว่า และส่งผลทำให้ผลผลิตพืชโดยรวมลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Kim et al. (2007) พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง มีผลกระทบต่อการพัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวโพดมากกว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ CO₂



ภาพที่ 23. ผลผลิตจำลองเฉลี่ยรายปีของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ทั้งประเทศ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจากปี 1980 ถึง ปี 2099

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าผลผลิตของข้าวโพดมีความแปรปรวนระหว่างปี ค่อนข้างสูง โดยมีค่าของ σ_i สูงถึง ± 205.8 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 41 ของผลผลิตเฉลี่ย ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับแนวโน้มของผลผลิตที่ลดลง จากช่วงปี 1980 ถึง 2099 จะเห็นว่าความแปรปรวนของผลผลิตระหว่างปีต่อปีเป็นปัญหาที่สำคัญ

ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวโพด ระหว่าง SMU σ_t (ภาพที่ 24) มีค่าเท่ากับ ± 224.0 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งให้เห็นว่าความแปรปรวนของผลผลิตข้าวโพดระหว่างพื้นที่ปลูก (SMU) ในแต่ละปีมีความแปรปรวนมากกว่าความแปรปรวนของผลผลิตระหว่างปีเพียงเล็กน้อย และมีค่า normalized เท่ากับร้อยละ 45



ภาพที่ 24. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ทั้งประเทศ จากปี 1980 ถึง ปี 2099

สรุป

ผลกระทบในระยะยาวต่อผลผลิตพืชทั้ง 4 ชนิด จะแตกต่างกัน ในกรณีของอ้อยและข้าวขนาน้ำฝนผลผลิตมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของข้าวนาชลประทาน ข้าวโพด และมันสำปะหลังผลผลิตมีแนวโน้มจะลดลง โดยภาพรวมการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตในระยะยาวจะมีค่าค่อนข้างต่ำ น้อยกว่าร้อยละ 20 ยกเว้นมันสำปะหลัง ซึ่งผลผลิตจะลดลงถึงร้อยละ 47 นอกจากนี้ coefficient of determination (R^2) มีค่าค่อนข้างต่ำในทุกกรณี ยกเว้นมันสำปะหลัง ทำให้ความเชื่อถือต่อแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวต่ำ ดังนั้นมันสำปะหลังเป็นพืชที่อาจได้รับผลกระทบในระยะยาวมากที่สุด สาเหตุที่ผลการจำลองของผลผลิตมันสำปะหลังแตกต่างจากพืชอื่นๆ อาจเกิดจากมันสำปะหลัง มักจะปลูกในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ เมื่อได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศก็จะส่งผลกระทบที่รุนแรงต่อผลผลิต มากกว่าพืชอื่น นอกจากนี้ แบบจำลองพืชใน DSSAT จะแตกต่างกันไปในแต่ละพืช เช่นแบบจำลอง CERES สำหรับข้าวและข้าวโพด GUMCAS สำหรับมันสำปะหลัง และ CANEGRO สำหรับอ้อย เป็นต้น ดังนั้นลักษณะการประเมินผลจะแตกต่างกันไป ตามฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ของแต่ละแบบจำลอง จึงทำให้ผลของการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม แตกต่างกันได้

เมื่อเปรียบเทียบผลระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตกับความแปรปรวนรายปี พบว่าความแปรปรวนรายปีมีค่าสูง และค่า normalized ของข้าวขนาน้ำฝนและข้าวนาชลประทานมีค่าประมาณร้อยละ 14 สำหรับอ้อยมีค่าร้อยละ 18 ส่วนมันสำปะหลังและข้าวโพดมีค่าร้อยละ 34 และ 42 ตามลำดับ ดังนั้นข้าวโพดและมันสำปะหลังได้รับผลกระทบที่รุนแรงจากความแปรปรวนของภูมิอากาศรายปี ส่วนข้าวและอ้อยนั้นอาจกล่าวได้ว่าความแปรปรวนของผลผลิตเพิ่มขึ้นจากภาวะทั่วไปไม่มากนัก แต่ก็ยังสูงกว่าร้อยละ 10 ซึ่งเกินค่าของ coefficient of variance (cv) ที่ยอมรับได้สำหรับ experimental error (Gomez and Gomez, 1984)

เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนรายพื้นที่ ซึ่งนอกเหนือจากภูมิอากาศแล้ว ยังถูกกำหนดโดยความหลากหลายของของดิน พบว่าค่า normalized เชิงพื้นที่โดยเฉลี่ยของข้าวมีค่าสูงขึ้นถึงร้อยละ 33 ส่วนอ้อยมีค่าเท่ากับร้อยละ 23 สำหรับมันสำปะหลังและข้าวโพดมีค่าเท่ากับร้อยละ 33 และ 46 ตามลำดับ ความแปรปรวนของภูมิอากาศร่วมกับคุณสมบัติของดินส่งผลกระทบต่อการผลิตข้าวโพดมากที่สุด รองลงมาคือ มันสำปะหลัง และข้าว

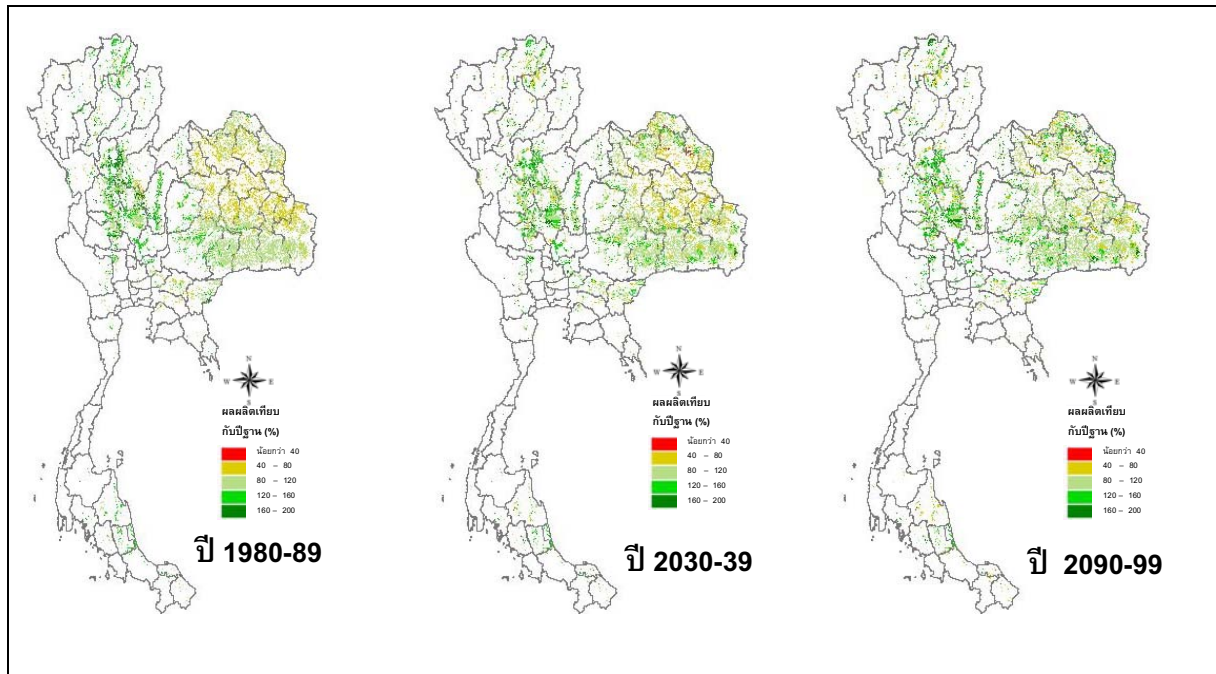
ข้อมูลดังกล่าวชี้ว่าแม้ในปีที่ผลผลิตของทั้งประเทศมีค่าค่อนข้างสูง แต่ผลผลิตในบางพื้นที่อาจจะได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนของภูมิอากาศและดิน จนทำให้ผลผลิตต่ำกว่าจนวิกฤตได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์หาพื้นที่ ๆ อาจได้รับผลกระทบที่รุนแรง

การวิเคราะห์พื้นที่และช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบรุนแรง

ความแปรปรวนของผลผลิตพืชเป็นผลกระทบที่เห็นได้ชัดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลก แม้ในปีที่ผลผลิตเฉลี่ยของประเทศสูง แต่ก็จะมีพื้นที่ๆได้รับผลกระทบที่รุนแรง และพื้นที่เหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงไปกับเวลาได้ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ในรายละเอียดทั้งในแง่พื้นที่และเวลาไปพร้อมๆกัน เพื่อให้ทราบว่าพื้นที่เหล่านั้นอยู่ที่ไหนและจะได้รับผลกระทบเมื่อไหร่ ในการวิเคราะห์ ได้ใช้ผลผลิตพืชเฉลี่ยรายทศวรรษของทุก ๆ SMU ตามเหตุผลที่ได้จากการตรวจสอบข้อมูลการใช้ระดับ CO₂ เฉลี่ยและข้อมูลสภาพอากาศรายวัน เนื่องจากได้รายงานในรายละเอียดไว้แล้วในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 รายงานฉบับนี้จึงสรุปผล โดยใช้ข้อมูลปี 1980-89, 2030-39, และ 2090-99 เป็นตัวแทนของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ ปานกลาง และค่อนข้างไกล

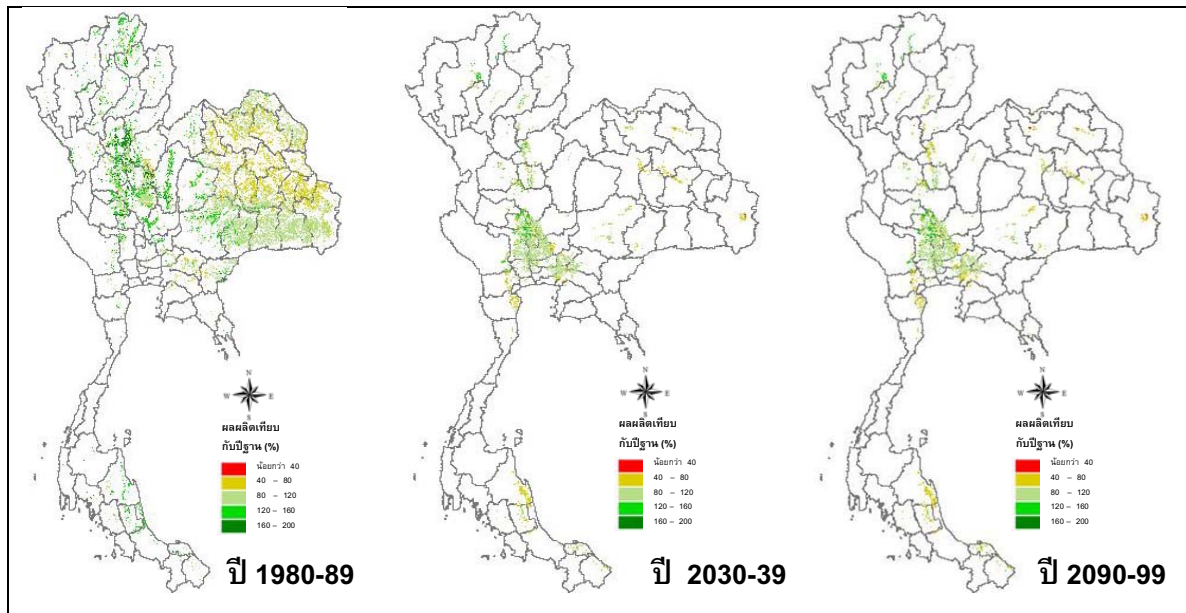
พื้นที่และช่วงเวลาที่ผลผลิตข้าวได้รับผลกระทบ

ในเขตน่าน้ำฝน ซึ่งใช้ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ105 เป็นตัวแทน มีบางพื้นที่ที่มีผลผลิตเฉลี่ยต่ำมาก ได้แก่พื้นที่ในจังหวัดเชียงราย พะเยา หนองคาย สกลนคร อุดรธานี นครพนม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ กำแพงเพชร และปราจีนบุรี เมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับค่าเฉลี่ยปี 1980-89 พบว่า ข้าวน่าน้ำฝนที่ปลูกด้วยพันธุ์ชาวดอกมะลิ105 ถึงแม้ว่าโดยภาพรวมผลผลิตมีแนวโน้มคงที่หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่จะให้ผลผลิตต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปีฐาน



ภาพที่ 25. การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวน่าน้ำฝนรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อนเมื่อเทียบกับปีฐาน ในช่วงปี 1980-89 (ซ้าย) ปี 2030-39 (กลาง) และปี 2090-99 (ขวา)

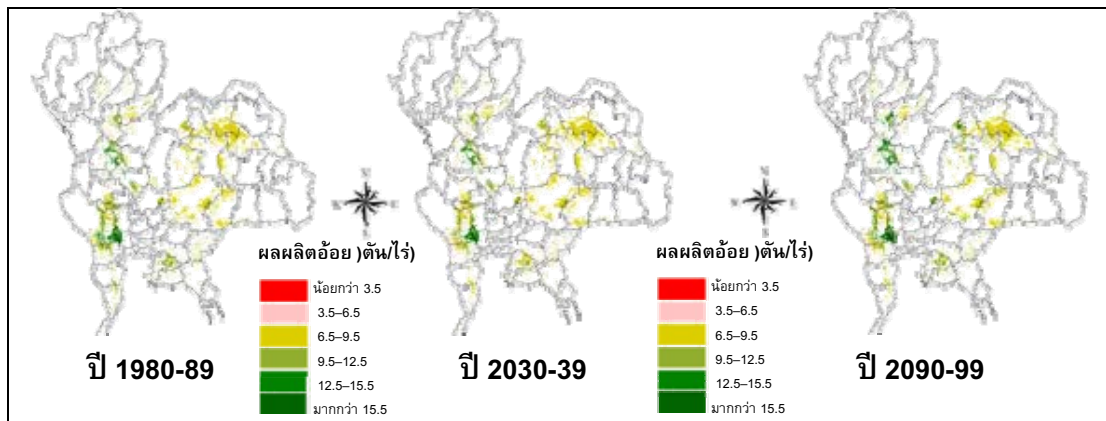
ในส่วนของนาชลประทาน ซึ่งใช้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นตัวแทน และผลผลิตมีแนวโน้มที่จะลดลง พบว่าพื้นที่จังหวัดสกลนคร อุดรธานี ขอนแก่น มหาสารคาม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด อุบลราชธานี นครราชสีมา เพชรบุรี ราชบุรี นครปฐม พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี นครนายก ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา และนครศรีธรรมราช บางส่วนในจังหวัดเหล่านี้จะมีผลผลิตต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปีฐาน ประมาณ ร้อยละ 20 – 60



ภาพที่ 26. การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาชลประทานรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อน เมื่อเทียบกับปีฐาน ในช่วงปี 1980-89 (ซ้าย) ปี 2030-39 (กลาง) และปี 2090-99 (ขวา)

พื้นที่และช่วงเวลาผลผลิตอ้อยได้รับผลกระทบ

การจำลองผลผลิตของอ้อย ได้ใช้พันธุ์ K84-200 เป็นตัวแทน และแบ่งเป็นสองช่วงวันปลูกได้แก่ การปลูกอ้อยข้ามแล้ง ที่ปลูกในช่วงเดือนตุลาคม ครอบคลุมเขตการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด และการปลูกอ้อยต้นฝน ที่ปลูกในช่วงเดือนเมษายน ได้แก่เขตการปลูกอ้อยในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก จากผลการจำลองพบว่าผลผลิตของอ้อยในช่วงปี 1990-2029 และปี 2030-2039 ผลผลิตในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความแปรปรวนกระจายไม่เป็นรูปแบบ ผลผลิตส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 40-80 เมื่อเทียบกับปีฐาน ในขณะที่เขตการปลูกในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ผลผลิตอ้อยค่อนข้างดีกว่าค่าเฉลี่ยจากปีฐาน ในช่วงปี 2090-2099 ผลผลิตในแหล่งปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในเขตการปลูกอ้อยจังหวัดเลย และจังหวัดชัยภูมิ ผลผลิตเมื่อเทียบกับปีฐานเพิ่มขึ้นจากในช่วงแรกที่เท่ากับร้อยละ 80-120 เป็น ร้อยละ 120-140 แต่ยังมีพื้นที่บางส่วนระหว่างรอยต่อจังหวัดอุดรธานี ขอนแก่น และกาฬสินธุ์ ที่ผลผลิตยังอยู่ในช่วงร้อยละ 40-80

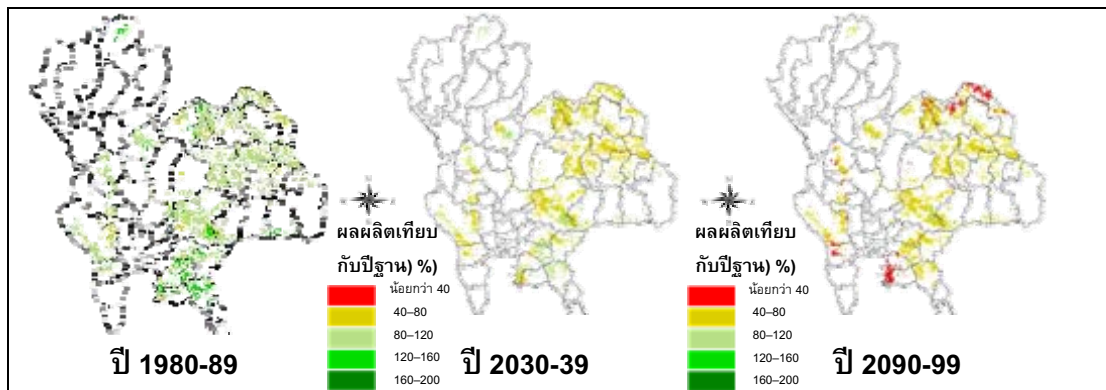


ภาพที่ 27. การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตอ้อยรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อน เมื่อเทียบกับปีฐาน ในช่วงปี 1980-89 (ซ้าย) ปี 2030-39 (กลาง) และปี 2090-99 (ขวา)

โดยรวมแล้วผลจากการจำลองพบว่าผลผลิตของอ้อยค่อนข้างดีเมื่อปลูกในเขตภาคเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศ ซึ่งเป็นการปลูกอ้อยต้นฤดูฝน ขณะที่ผลผลิตจะต่ำลงเมื่อปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ปลูกอ้อยในเดือนตุลาคม

พื้นที่และช่วงเวลาผลผลิตมันสำปะหลังได้รับผลกระทบ

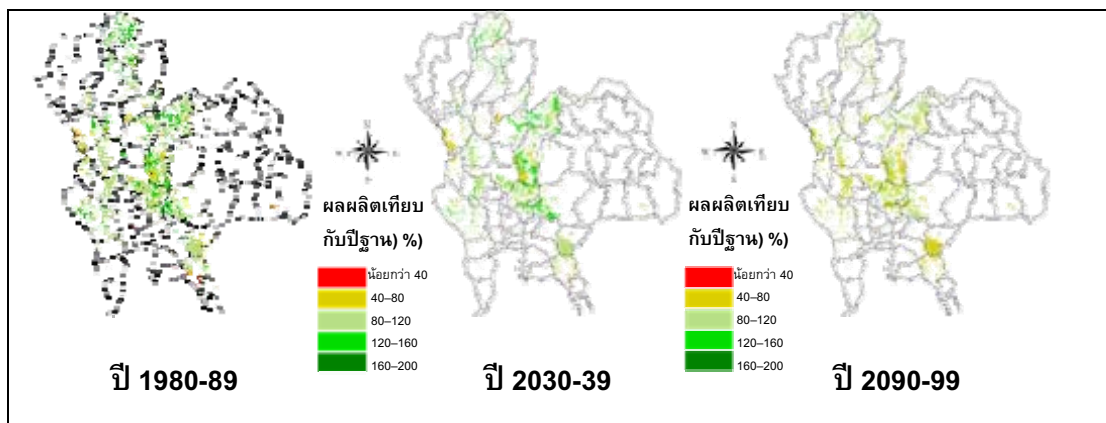
ในเขตการปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แถบจังหวัดขอนแก่น หนองบัวลำภู อุดรธานี สกลนคร มุกดาหาร กาฬสินธุ์ และมหาสารคาม และเขตปลูกทางภาคตะวันออก แถบจังหวัดปราจีนบุรี สระแก้ว ฉะเชิงเทรา และจันทบุรี จากช่วงปี 1980-1989 ถึง ปี 2030-39 ผลผลิตจะเริ่มลดลงจากเดิมอยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 เมื่อเทียบกับปีฐาน ลดลงมาอยู่ที่ร้อยละ 40-80 โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน เมื่อเข้าสู่ช่วงปี 2090-2099 ผลผลิตในแหล่งปลูกมันสำปะหลังทั่วประเทศ จะลดลงมาอยู่ที่ร้อยละ 40-80 เมื่อเทียบกับปีฐาน พื้นที่บางส่วนทางเหนือของจังหวัดอุดรธานีต่อกับหนองคาย และทางใต้ของจังหวัดหนองคายต่อกับนครพนม รวมทั้งทางใต้ของจังหวัดกาญจนบุรีต่อกับราชบุรี ให้ผลผลิตน้อยกว่าร้อยละ 40 มีเพียงบางจุดในบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดนครราชสีมาต่อกับบุรีรัมย์ที่ยังคงให้ผลผลิตร้อยละ 80-120 เมื่อเทียบกับปีฐาน



ภาพที่ 28. การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตมันสำปะหลังรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อน เมื่อเทียบกับปีฐาน ในช่วงปี 1980-89 (ซ้าย) ปี 2030-39 (กลาง) และปี 2090-99 (ขวา)

พื้นที่และช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบ

ในช่วงแรกๆ จากปี 1980-1989 ถึง ปี 2030-2039 ผลผลิตข้าวโพดในพื้นที่ปลูกเขตภาคกลาง ได้แก่ จังหวัด นครสวรรค์ ลพบุรี เพชรบูรณ์ และอุทัยธานี ผลผลิตข้าวโพดลดลงจากปีฐานเหลือเพียงร้อยละ 40-80 แต่เมื่อเข้าสู่ช่วง ปี 2070-2099 พื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมดให้ผลผลิตร้อยละ 40-80 เมื่อเทียบกับปีฐาน ยกเว้นในบางพื้นที่ที่ยังคงรักษาระดับผลผลิตในระดับเดียวกับปีฐาน ได้แก่ จังหวัดพิษณุโลก นครราชสีมา เพชรบูรณ์ กำแพงเพชร เลย และเชียงราย



ภาพที่ 29. การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตมันสำปะหลังรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อน เมื่อเทียบกับปีฐาน ในช่วงปี 1980-89 (ซ้าย) ปี 2030-39 (กลาง) และปี 2090-99 (ขวา)

ดัชนีชี้วัดผลกระทบ (Impact Index)

ผลกระทบต่อการผลิตพืชจากการเปลี่ยนแปลงภาวะภูมิอากาศโลก นอกจากจะพิจารณาจากระดับความรุนแรง ซึ่งวัดได้จากการลดลงของผลผลิตพืชแล้ว ยังต้องคำนึงถึงขนาดของพื้นที่ๆ ได้รับผลกระทบ ความยาวนานของผลกระทบ และเวลาที่ผลดังกล่าวจะเกิดขึ้น หากจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ก็มีความเร่งด่วนที่ต้องแก้ปัญหาและความแน่นอน (certainty) สูง เนื่องจากโอกาสที่สถานการณ์ต่างๆ โดยรอบ เช่นระบบเศรษฐกิจสังคมและเทคโนโลยี จะเปลี่ยนแปลงไปมีน้อย ดังนั้นจึงสร้างดัชนีที่รวมปัจจัยเหล่านี้ไว้ด้วยกันเพื่อช่วยตัดสินใจในการกำหนดเป้าหมาย วิธีการและเวลา ในการวางแผนแก้ปัญหา ขั้นตอนการสร้าง Impact Index มีดังนี้

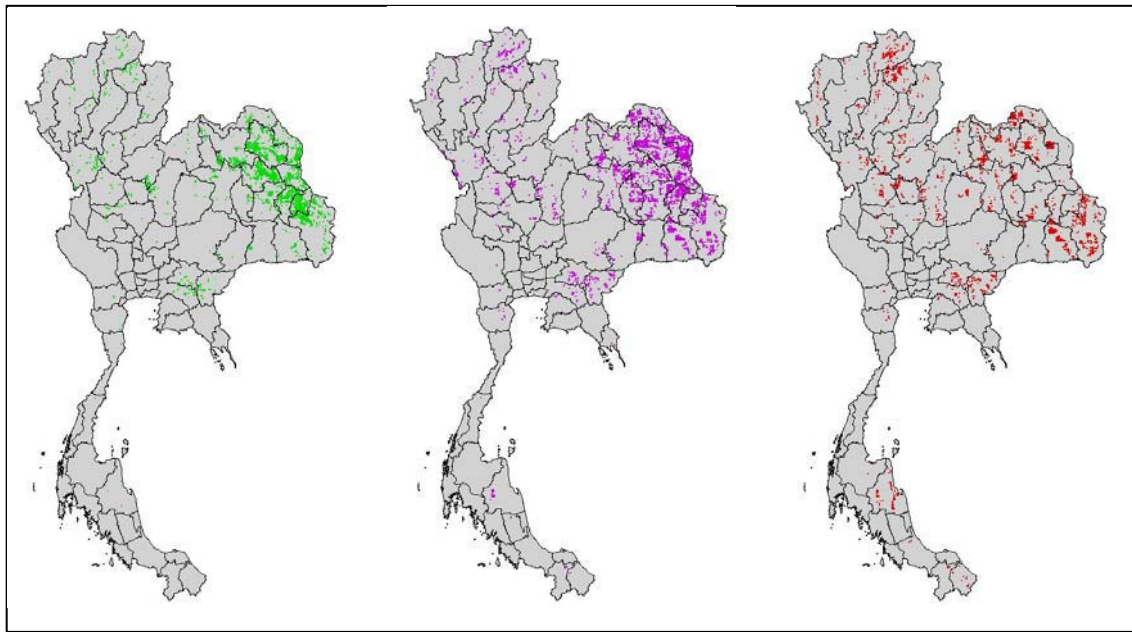
- กำหนดค่าผลผลิตวิกฤต ที่ถือว่าผลผลิตพืชได้รับผลกระทบรุนแรง และหาพื้นที่วิกฤตในช่วงเวลาต่างๆ
- นำแผนที่พื้นที่วิกฤตในช่วงเวลาต่างๆ มาทำการซ้อนทับและจัดประเภท (class) พื้นที่วิกฤต ตามขนาดของพื้นที่ ความยาวนาน และเวลาที่ผลกระทบเกิดขึ้น แล้วคำนวณหา impact index

พื้นที่วิกฤตของการผลิตพืช

การผลิตพืชมีช่วง (margin) ที่ให้ผลตอบแทนเป็นรายได้สุทธิต่ำ มีความเสี่ยงสูง แต่เกษตรกรผู้ผลิตมีทางเลือกในการประกอบอาชีพอื่นน้อย และมีทุนจำกัดไม่สามารถรองรับความแปรปรวนของผลผลิตที่รุนแรงได้จากประสบการณ์ของกลุ่มผู้ทำวิจัยที่ได้ทำงานร่วมกับเกษตรกรและผู้เชี่ยวชาญในหลายๆ สาขาที่เกี่ยวข้อง ได้กำหนด ในภาพรวม ให้ระดับผลผลิตที่วิกฤตมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าร้อยละ 70 ของผลผลิตของปีฐาน เมื่อนำแผนที่ผลผลิตพืชเฉลี่ยรายทศวรรษของทุกๆ SMU ในช่วงปี 1980-89, 2030-39, และ 2090-99 (ซึ่งเป็นตัวแทนของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ ปานกลาง ก่อนช่วงไกล ดังที่ได้เสนอไว้ในหัวข้อ การวิเคราะห์พื้นที่และช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบรุนแรง) มาทำการคัดเลือกให้เหลือเฉพาะพื้นที่ๆ มีผลผลิตต่ำกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 70 ของปีฐาน จะได้พื้นที่ๆ มีผลผลิตในระดับที่วิกฤต

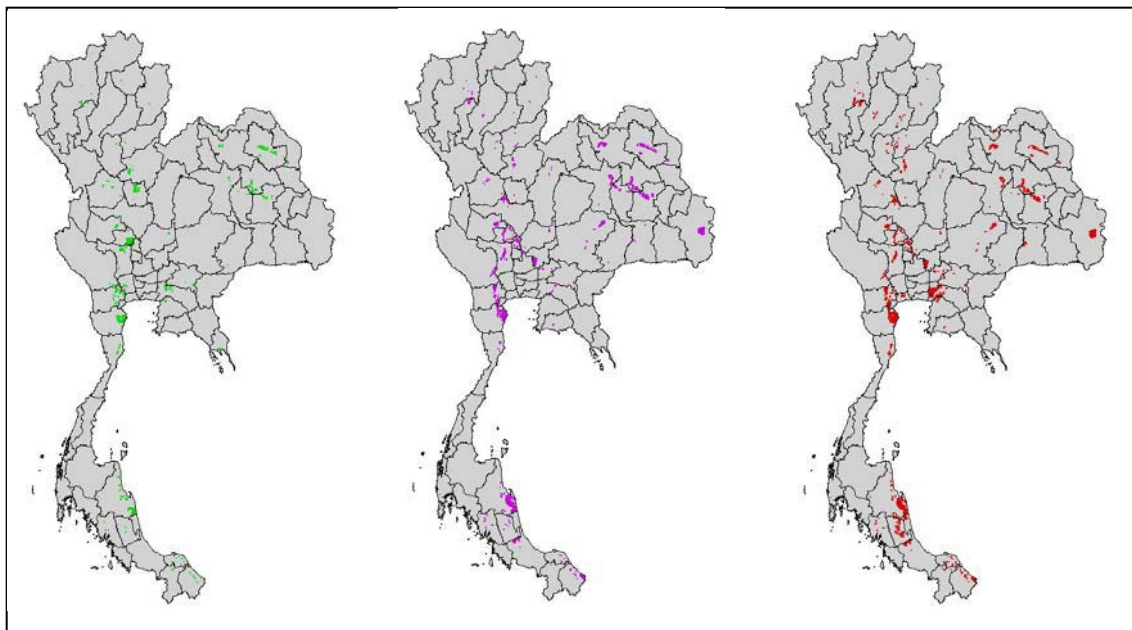
ข้าว

ในกรณีของข้าวหน้าน้ำฝน พื้นที่วิกฤต (ภาพที่ 30) ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดหนองบัวลำภู อุดรธานี สกลนคร นครพนม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด นครพนม มุกดาหาร ยโสธร อำนาจเจริญ สุรินทร์ ศรีสะเกษ พื้นที่ดังกล่าวการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้น แต่มีความหนาแน่นลดลง



ภาพที่ 30. แผนที่แสดงพื้นที่วิกฤตของการปลูกข้าวหน้าฝน ในช่วงปี 1980-1989 (ซ้าย) ปี 2030-2039 (กลาง) และปี 2090-2099 (ขวา)

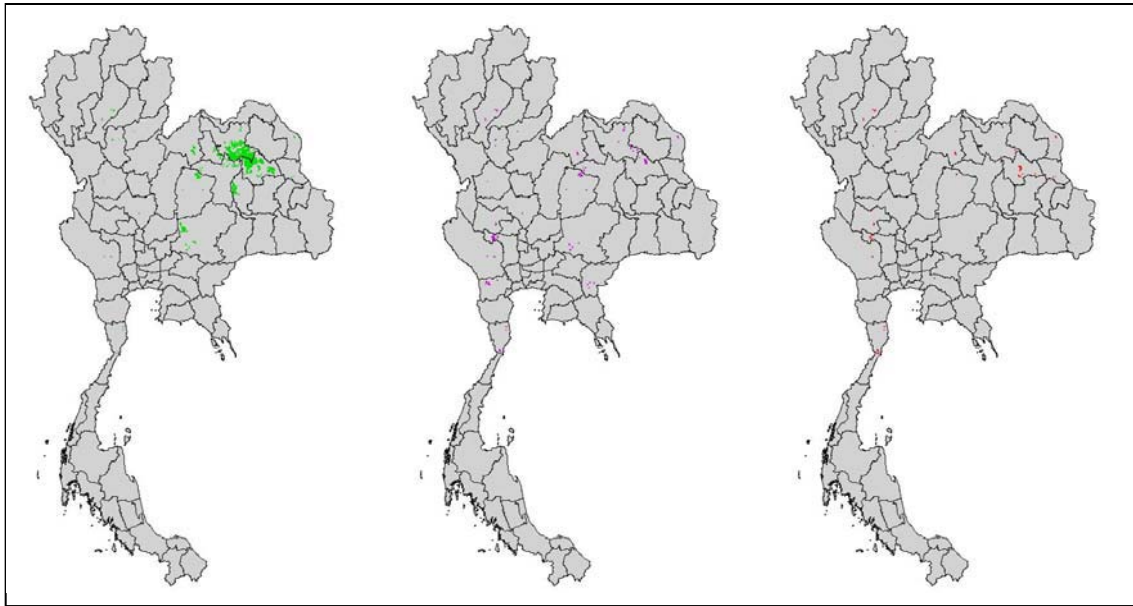
ในส่วนของนาชลประทาน ซึ่งผลผลิตเฉลี่ยของทั้งประเทศลดลง พื้นที่ๆ ได้รับผลกระทบรุนแรงจะกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ (ภาพที่ 31) เช่น เชียงใหม่ พิษณุโลก นครสวรรค์ ชัยนาท สิงห์บุรี สุพรรณบุรี สระบุรี เพชรบุรี ราชบุรี นครปฐม พระนครศรีอยุธยา นครนายก ฉะเชิงเทรา สกลนคร ขอนแก่น มหาสารคาม กาฬสินธุ์ สงขลา ปัตตานี ยะลา และ นราธิวาส



ภาพที่ 31. แผนที่แสดงพื้นที่วิกฤตของการปลูกข้าวนาชลประทาน ในช่วงปี 1980-1989 (ซ้าย) ปี 2030-2039 (กลาง) และปี 2090-2099 (ขวา)

อ้อย

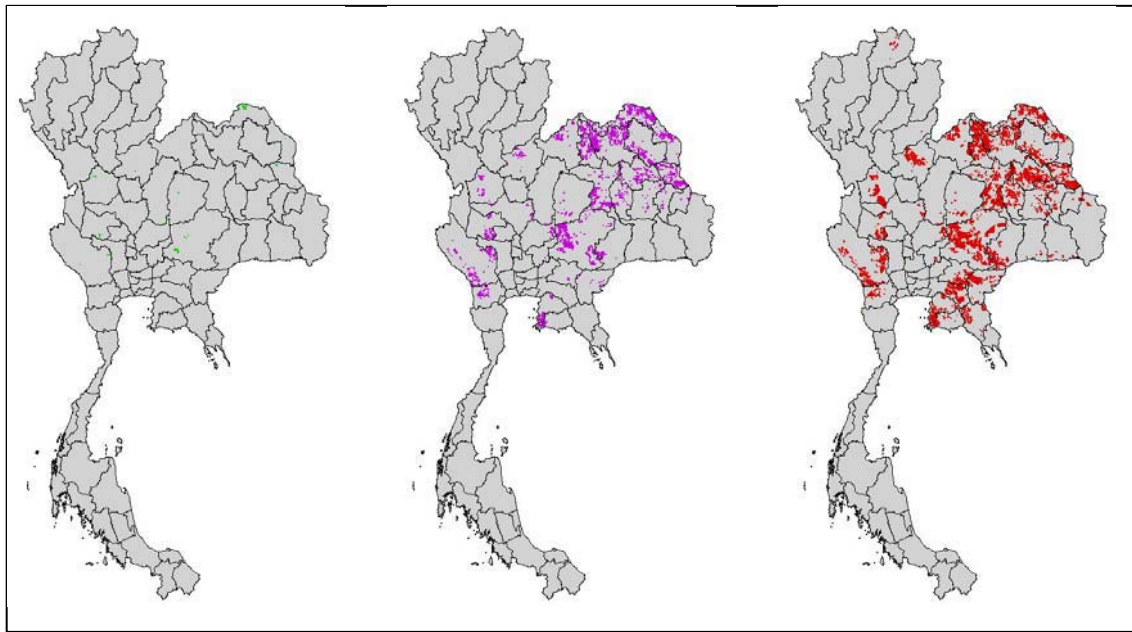
พื้นที่วิกฤตของการผลิตอ้อย ส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ระหว่างรอยต่อจังหวัดกาฬสินธุ์และอุดรธานี บางส่วนของจังหวัดมหาสารคาม ขอนแก่น นครราชสีมา เลย และชัยภูมิ ขณะที่ในภาคอื่นๆ มีบ้างเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 32) เมื่อเวลาผ่านไปพื้นที่ดังกล่าวจะลดลง อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกอ้อยในเขตจังหวัดขอนแก่นและมหาสารคาม ส่วนพื้นที่ปลูกอ้อยจังหวัดอุดรธานี และกาฬสินธุ์ ยังเหลือเพียงเล็กน้อยที่ให้ผลผลิตต่ำ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือผลผลิตสูงขึ้น แต่กลับมีพื้นที่ปลูกในบางจังหวัดลดลง ที่เห็นได้ชัดคือในจังหวัดเพชรบุรี และสุพรรณบุรี



ภาพที่ 32. แผนที่แสดงพื้นที่วิกฤตของการปลูกอ้อย ในช่วงปี 1980-1989 (ซ้าย) ปี 2030-2039 (กลาง) และปี 2090-2099 (ขวา)

มันสำปะหลัง

ในช่วงปี 1980-1989 พื้นที่ๆ ผลผลิตของมันสำปะหลังต่ำกว่า ร้อยละ 70 ของผลผลิตเฉลี่ยทั่วประเทศ พบเพียงเล็กน้อยในจังหวัดหนองคาย ชัยภูมิ และ นครราชสีมา แต่พื้นที่ดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างมากอย่างต่อเนื่อง จนถึงปี 2090-2099 โดยเฉพาะ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 33) ได้แก่ จังหวัดหนองคาย อุดรธานี หนองบัวลำภู ขอนแก่น กาฬสินธุ์ สกลนคร นครราชสีมา สำหรับภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดราชบุรี กาญจนบุรี และ อุทัยธานี ส่วนภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง

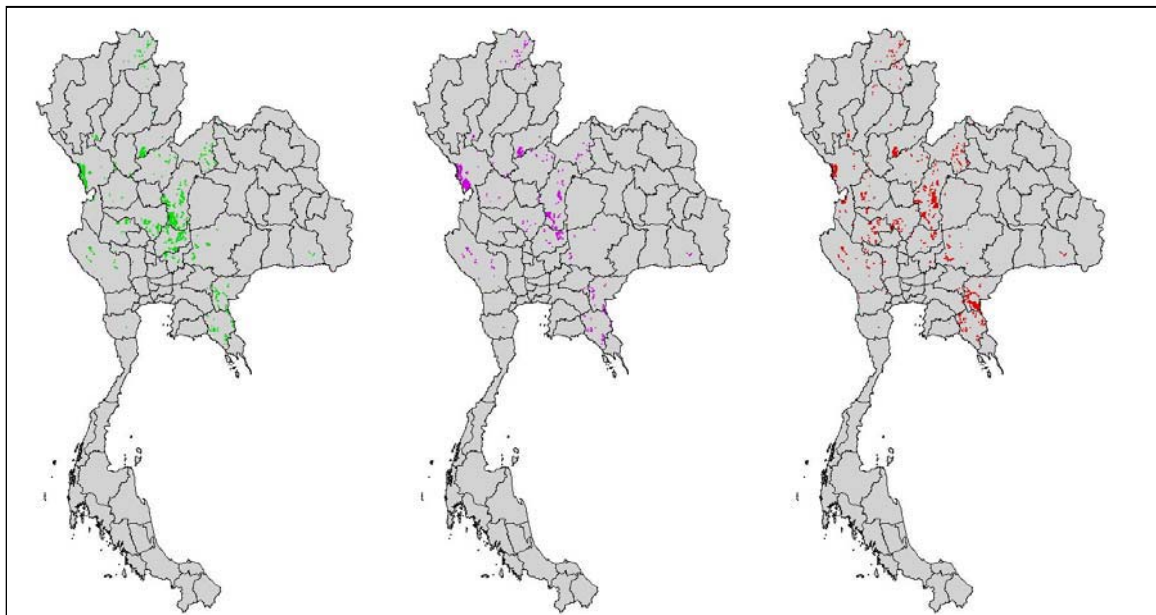


ภาพที่ 33. แผนที่แสดงพื้นที่วิกฤตของการปลูกมันสำปะหลัง ในช่วงปี 1980-1989 (ซ้าย) ปี 2030-2039 (กลาง) และปี 2090-2099 (ขวา)

ข้าวโพด

ในปี 2030 มีพื้นที่วิกฤตของข้าวโพดลดลงร้อยละ 21.24 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยปีฐาน ในขณะที่ปี 2090 มีพื้นที่ดังกล่าวกลับเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 50.34 จากช่วงปี 2030 (ภาพที่ 34)

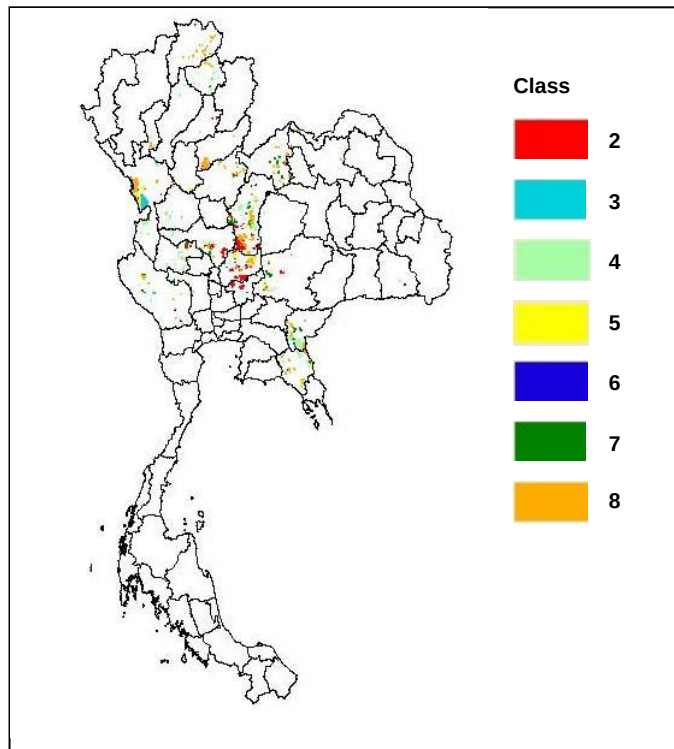
พื้นที่ที่มีผลผลิตต่ำดังกล่าว สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ พื้นที่จังหวัดเลย เพชรบูรณ์ และนครราชสีมา กลุ่มที่ 2 คือ พื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ อุทัยธานี กาญจนบุรี กำแพงเพชร ตาก และลำพูน กลุ่มที่ 3 คือ พื้นที่จังหวัดสระแก้วและจันทบุรี กลุ่มที่ 4 คือ พื้นที่จังหวัดเชียงราย พะเยา ลำปาง และแพร่



ภาพที่ 34. แผนที่แสดงพื้นที่วิกฤตของการปลูกข้าวโพด ในช่วงปี 1980-1989 (ซ้าย) ปี 2030-2039 (กลาง) และปี 2090-2099 (ขวา)

การแบ่งชั้นการกำหนดค่าดัชนีของผลกระทบ

เมื่อนำแผนที่ของพื้นที่วิกฤต ในช่วงปี 1980-89, 2030-39, และ 2090-99 (เช่นภาพที่ 34 ของข้าวโพด) มาทำการซ้อนทับ (overlay) จะได้ข้อมูลของพื้นที่ 8 ประเภท ที่แสดงระดับความรุนแรงที่วิกฤต ขนาดของพื้นที่ ความยาวนาน และเวลาที่เกิดแตกต่างกัน ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 35 ที่แสดงตำแหน่งและขนาดของพื้นที่ของพื้นที่ทั้ง 8 ประเภท และตารางที่ 9 ที่แสดงคุณสมบัติในแง่ของความยาวนาน และเวลาที่เกิดของพื้นที่แต่ละประเภท



ภาพที่ 35. แผนที่แสดงตำแหน่งและขนาด ของพื้นที่วิกฤตทั้ง 8 ประเภทของข้าวโพด

ตารางที่ 9. แสดงประเภทของพื้นที่วิกฤตที่เกิดจากภาวะโลกร้อน ที่ผลผลิต $\leq$ ร้อยละ 70 ที่เวลาและความยาวนานแตกต่างกัน

class	Period		
	1980-89	2030-39	2090-99
1	-	-	-
2	$\leq 70\%$	-	-
3	-	$\leq 70\%$	-
4	-	-	$\leq 70\%$
5	$\leq 70\%$	$\leq 70\%$	-
6	0	$\leq 70\%$	$\leq 70\%$
7	$\leq 70\%$	0	$\leq 70\%$
8	$\leq 70\%$	$\leq 70\%$	$\leq 70\%$

จำนวนของประเภทจะขึ้นกับจำนวนของแผนที่นำมาซ้อนทับ (x) และจำนวนของประเภทของพื้นที่ในแผนที่ (i) ดังนี้

$$\text{Number of classes} = i^x$$

ในกรณีนี้ $x = 3$ ช่วงเวลา และ $i = 2$ ประเภทคือ $\leq 70\%$ และ $> 70\%$ จากฟังก์ชันดังกล่าวหากใช้แผนที่รายทศวรรษ 10 ช่วงเวลา จาก 2000-2099 จะได้จำนวนประเภทของพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ $2^{10} = 1024$ ประเภท หรือหากใช้จำนวน class ในแต่ละช่วงเวลาเท่ากับ 4 ก็จะได้ผลลัพธ์ $4^3 = 64$ ประเภท ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ซับซ้อนมองเห็น information และรูปแบบได้ยากขึ้น ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องลดทอนจำนวนของแผนที่และจำนวนของประเภทของข้อมูลในแผนที่ ที่ใช้ให้เหลือเท่าที่จำเป็นเท่านั้น โดยเฉพาะจำนวนของแผนที่

จากวิธีการและข้อกำหนดดังกล่าว ได้หาข้อมูลคุณสมบัติของพื้นที่ทั้ง 8 ประเภท และทำการกำหนดค่า impact index จาก

$$\text{Impact Index} = \text{magnitude} \times \text{Area} \times \text{duration} \times \text{timing}$$

เมื่อ

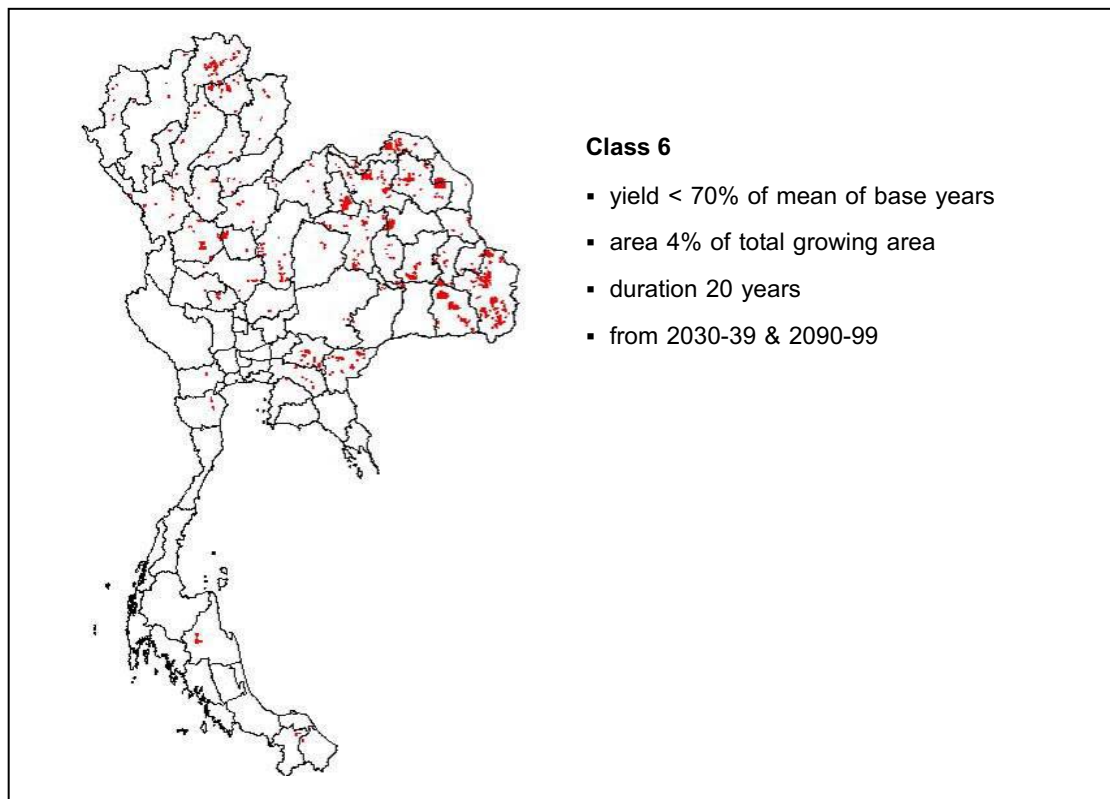
- Magnitude คือระดับความรุนแรงของผลกระทบ คิดจากสัดส่วนของผลผลิตที่ลดลงจากปีฐาน ซึ่งในพื้นที่ของประเภท 2-8 กำหนดให้เท่ากันคือ $> 30\%$
- Area (fraction) คือ สัดส่วนของพื้นที่ของ class ต่อพื้นที่ทั้งหมดของระบบปลูกพืชชนิดนั้น
- Duration คือสัดส่วนของช่วงเวลาต่อช่วงเวลาทั้งหมด (30 ปี)
- Timing เป็นส่วนกลับของลำดับการเกิด (order) ปี 1980-89 order = 1 ปี 2030-39 order = 2 และปี 2090-99 order = 3 เพื่อแสดงถึง ระดับความไม่แน่นอน (degree of certainty) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของ เทคโนโลยีการผลิต พันธุ์พืช การใช้ที่ดิน รวมถึง error สะสมของ climate prediction ที่อาจเพิ่มขึ้นในระยะยาว

ตัวอย่างของผลที่ได้จากการประเมินโดยวิธีการดังกล่าว ซึ่งเป็นของข้าวหน้าน้ำฝน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 10 :ซึ่งพื้นที่ประเภทที่ 6 มีค่า Impact Index สูงสุด

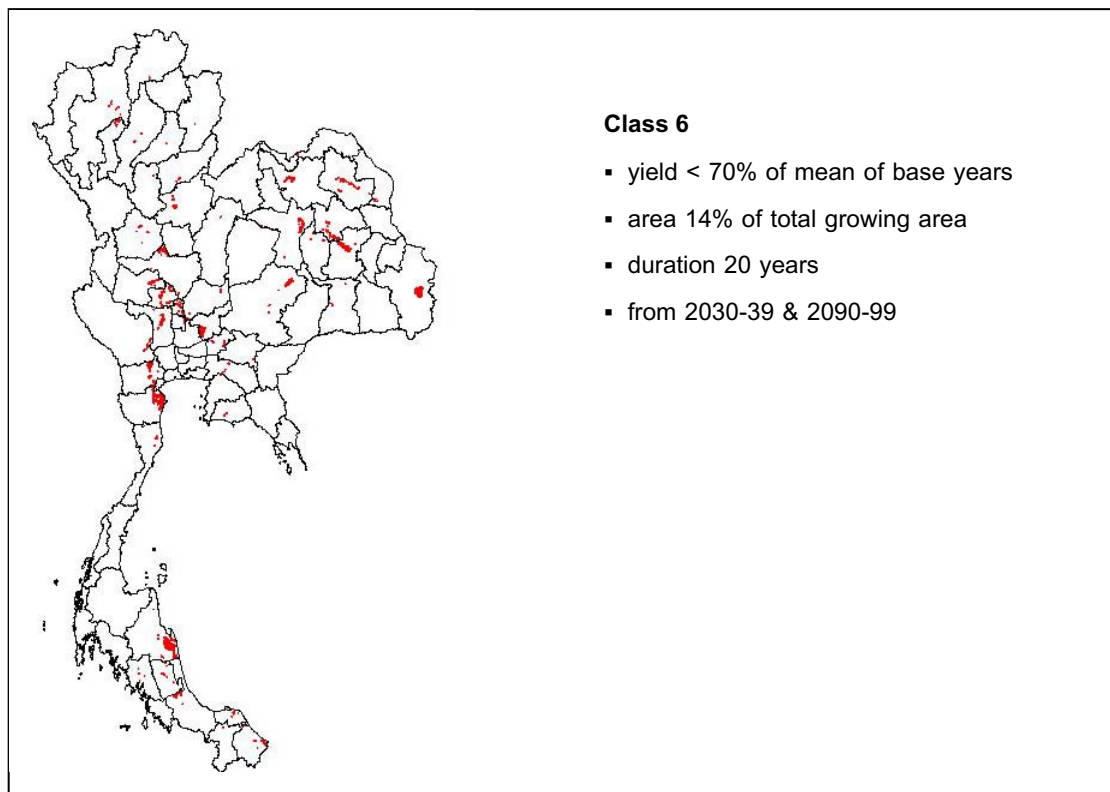
ตารางที่ 10. คุณสมบัติและ Impact Index ของพื้นที่ปลูกข้าวหน้าน้ำฝนทั้ง 8 ประเภท

Class	Magnitude	Area (fraction)	Duration	Timing (1/order)	Impact Index
1	0	0.85	0.00	0.0	0.00000
2	0.30	0.043	0.33	1.00	0.00428
3	0.30	0.030	0.33	0.50	0.00151
4	0.30	0.013	0.33	0.33	0.00042
5	0.30	0.014	0.67	1.00	0.00282
6	0.30	0.044	0.67	0.50	0.00437
7	0.30	0.001	0.67	1.00	0.00013
8	0.30	0.005	1.00	1.00	0.00160

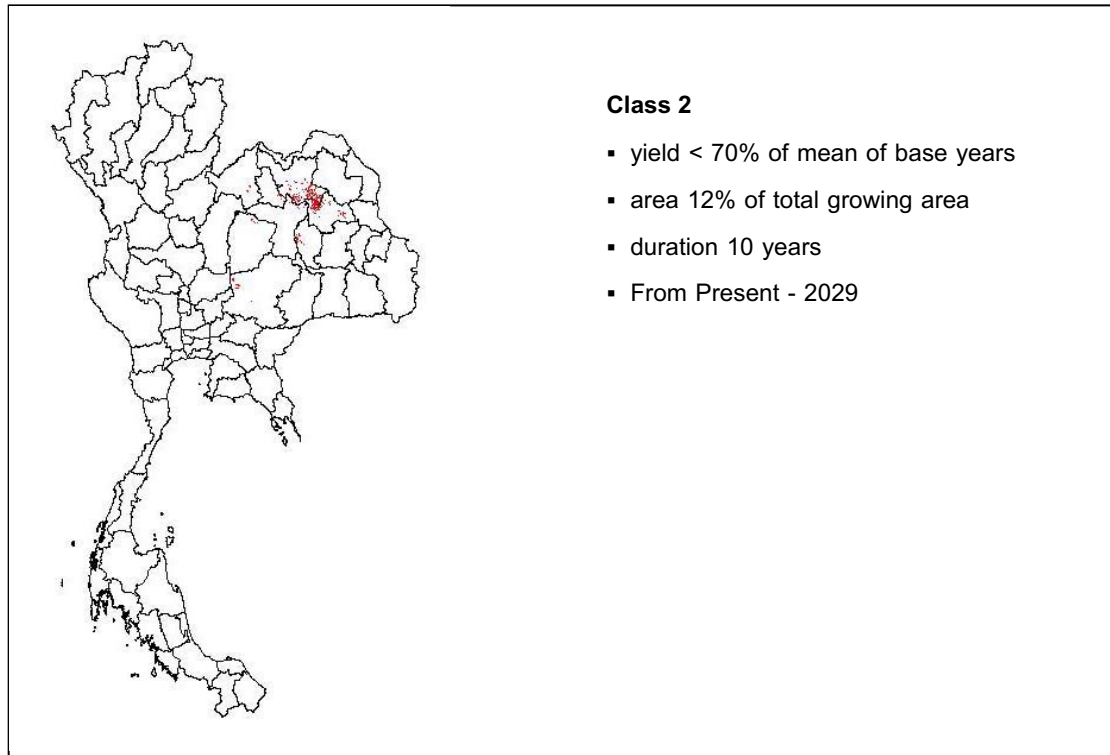
จากข้อมูลในตารางดังกล่าวของพืชแต่ละชนิด จะสามารถเลือกและแสดงตำแหน่งของพื้นที่ๆ มีค่า impact สูงสุดของพืชแต่ละชนิดในรูปของแผนที่พร้อมกับข้อมูลคุณสมบัติได้ ดังภาพที่ 36 สำหรับข้าวหน้าน้ำฝน ภาพที่ 37 สำหรับข้าวนาชลประทาน ภาพที่ 38 สำหรับอ้อย ภาพที่ 39 สำหรับมันสำปะหลัง และภาพที่ 40 สำหรับข้าวโพด



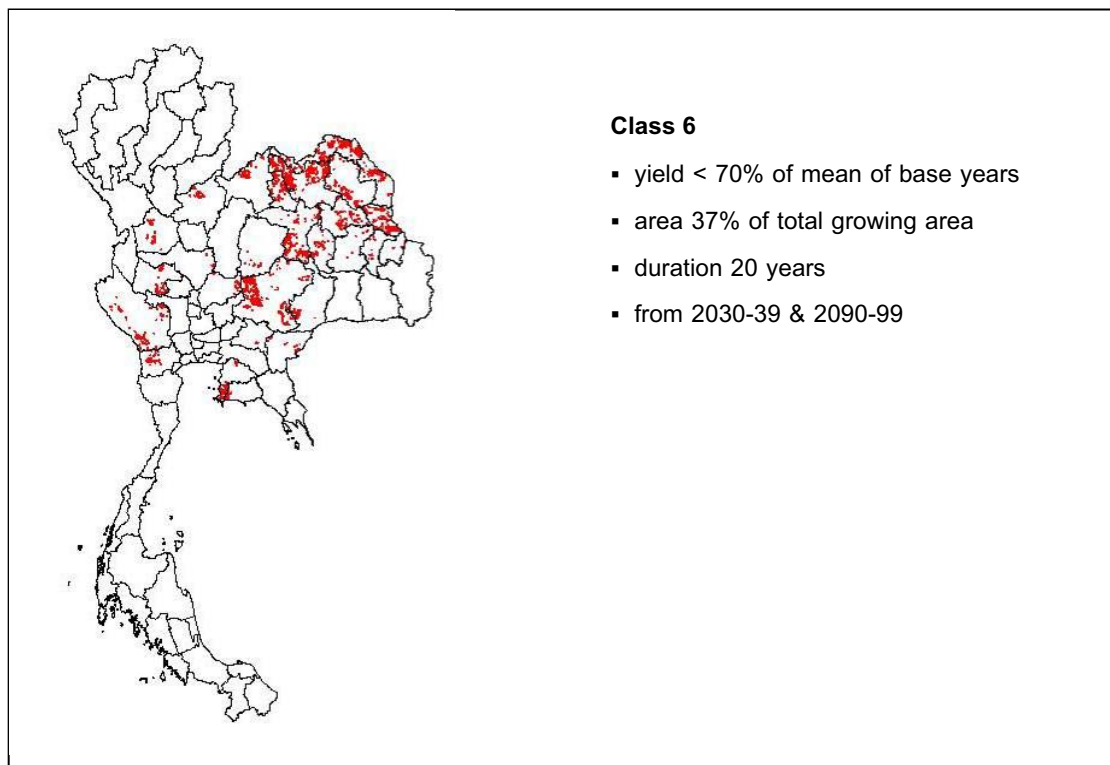
ภาพที่ 36. พื้นที่ปลูกข้าวนาฉ่ำฝน ที่มีค่า Impact Index สูงสุด



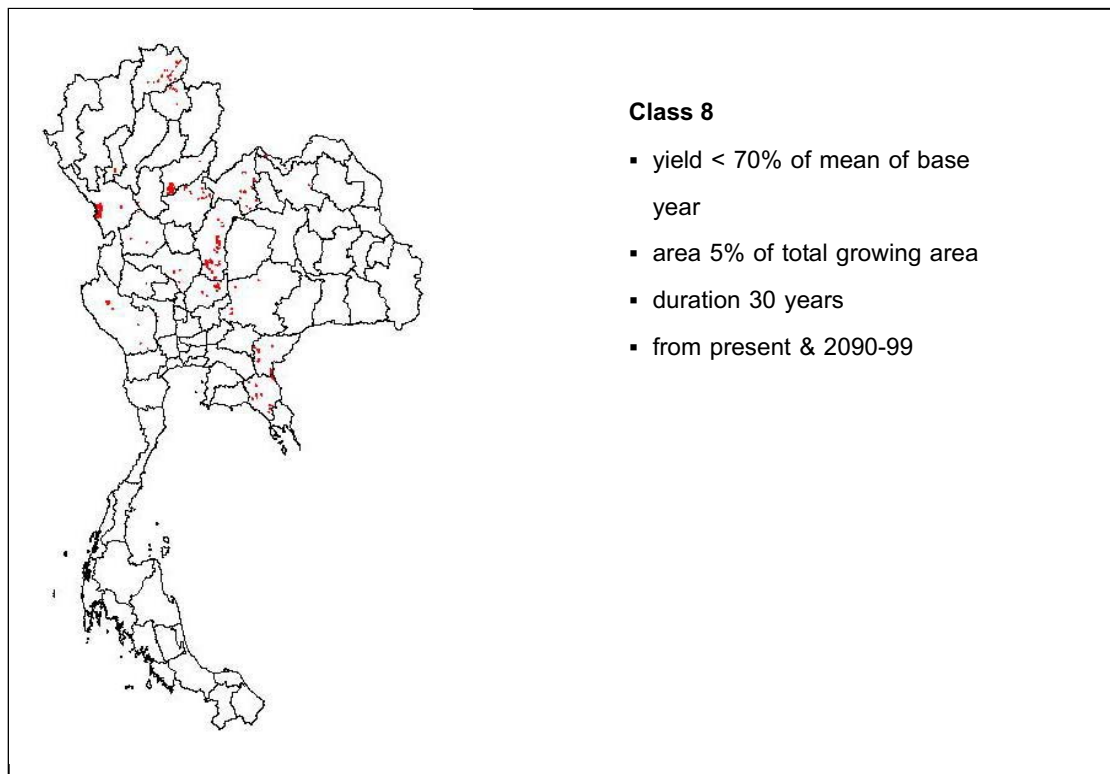
ภาพที่ 37. พื้นที่ปลูกข้าวนาชลประทาน ที่มีค่า Impact Index สูงสุด



ภาพที่ 38. พื้นที่ปลูกอ้อย ที่มีค่า Impact Index สูงสุด



ภาพที่ 39. พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ที่มีค่า Impact Index สูงสุด



ภาพที่ 40. พื้นที่ปลูกข้าวโพด ที่มีค่า Impact Index สูงสุด

จากแผนที่ impact index ที่ให้ข้อมูลของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด ได้ทำการเลือกจุดและทำการวิเคราะห์หาสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตลดลง และหาทางเลือกสำหรับการปรับระบบการผลิต (adaptation) เพื่อรองรับผลจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก

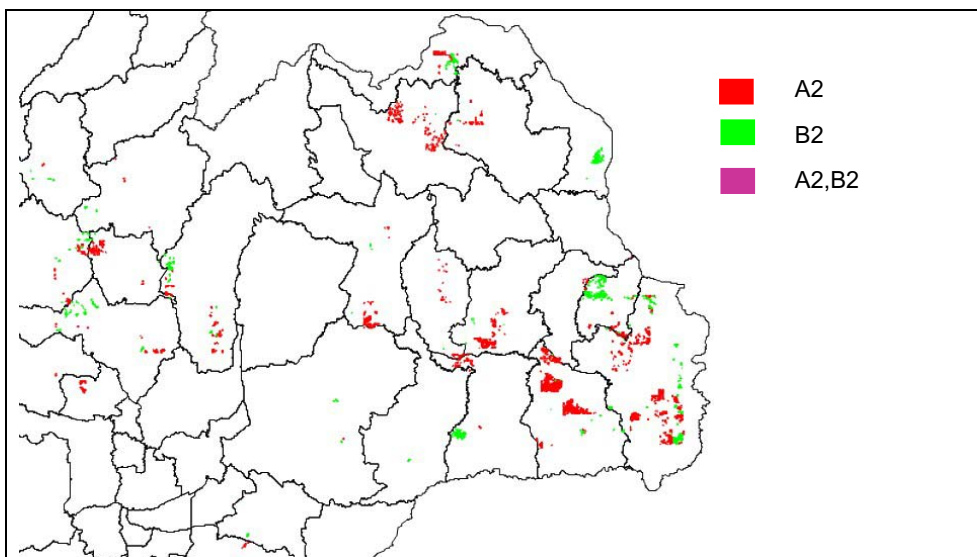
การเปรียบเทียบผลกระทบภายใต้ SRES A2 และ B2

การประเมินผลกระทบจากภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืช ภายใต้ SRES B2 ได้ใช้สภาพอากาศจากการจำลองของ ECHAM4-PRECIS และระดับของ CO₂ ภายใต้ SRES B2 โดยมีขั้นตอนของการดำเนินการและวิธีการเช่นเดียวกันกับการประเมินผลกระทบภายใต้ SRES A2 ดังที่ได้บรรยายในรายละเอียดไว้แล้ว

ผลกระทบต่อการผลิตข้าวนาหว่าน

จากการดำเนินการและวิเคราะห์ผลพบว่าภายใต้ SRES B2 พื้นที่วิกฤตประเภทที่ 6 เป็นพื้นที่ๆที่มีค่า impact index สูงสุด มีพื้นที่ทั้งหมด 0.9 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.9 ของพื้นที่ปลูกข้าวนาหว่านทั้งหมด (45.7 ล้านไร่)

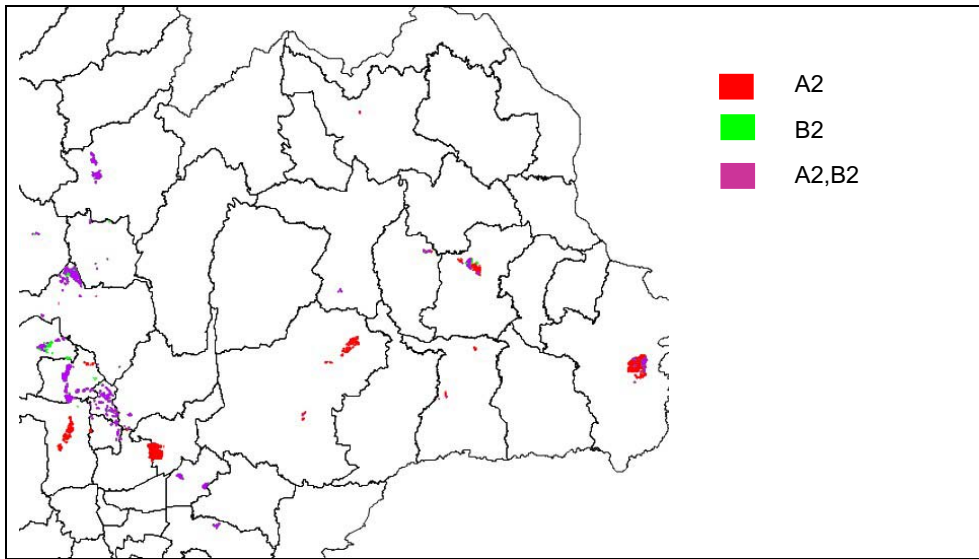
เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบภายใต้ SRES A2 พบว่าเป็นพื้นที่วิกฤตประเภทเดียวกัน แต่พื้นที่ลดลงเท่าตัวจาก 2.0 ล้านไร่ ภายใต้ SRES A2 มีลักษณะการกระจายตัวเช่นเดียวกัน แต่ไม่มีพื้นที่ทับซ้อนกัน ดังแสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 41. พื้นที่วิกฤตประเภทที่ 6 ของข้าวนาหว่าน ภายใต้ SRES B2 และ A2

ผลกระทบต่อการผลิตข้าวนาชลประทาน

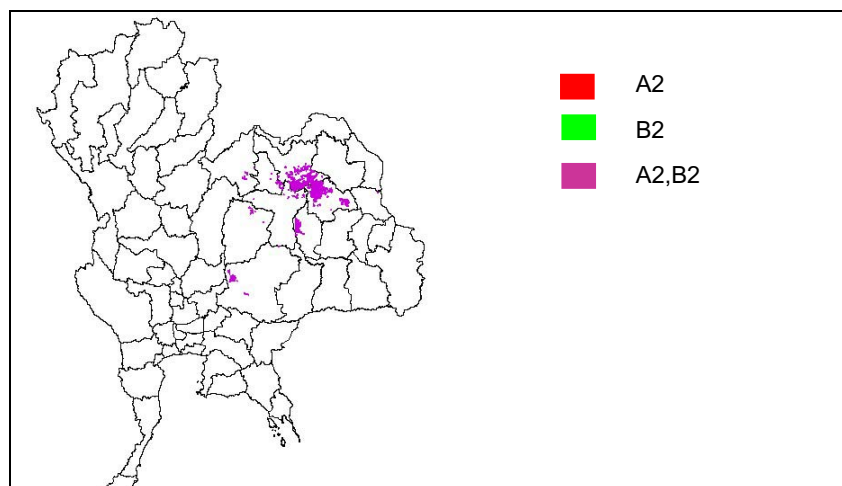
พื้นที่วิกฤตที่มีค่า impact index สูงสุด ภายใต้ SRES B2 คือพื้นที่ประเภทที่ 6 เช่นเดียวกับกับ SRES A2 และข้าวนาหว่าน มีพื้นที่ 1.3 ล้านไร่ ใกล้เคียงกับกับ SRES A2 (1.4 ล้านไร่) และคิดเป็นร้อยละ 11.8 ของพื้นที่ปลูกข้าวชลประทานทั้งหมด (11.0 ล้านไร่) พื้นที่ส่วนใหญ่จะทับซ้อนกับ SRES A2 และมีพื้นที่เพียง 0.24 ล้านไร่ เท่านั้นที่ไม่ทับซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 42



ภาพที่ 42. พื้นที่วิกฤตประเภทที่ 6 ของข้าวนาชลประทาน ภายใต้ SRES B2 และ A2

ผลกระทบต่อการผลิตอ้อย

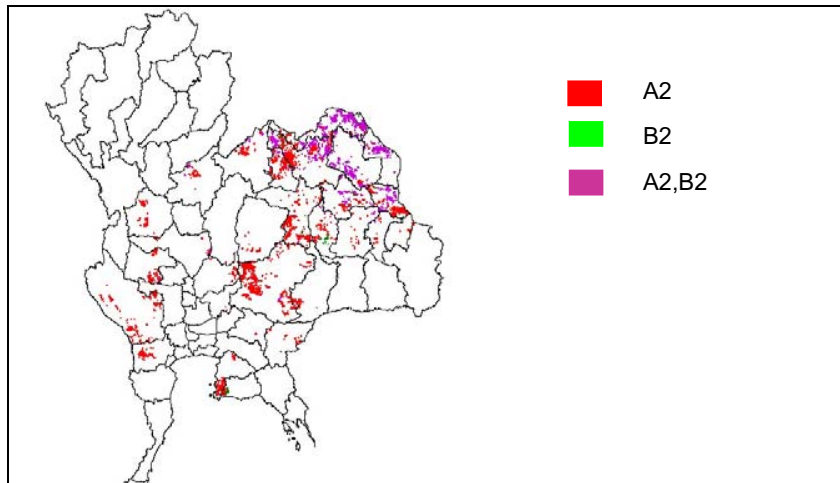
พื้นที่วิกฤตที่มีค่า impact index สูงสุด สำหรับการผลิตอ้อย คือพื้นที่เดียวกันกับพื้นที่ ภายใต้ SRES A2 ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงปัจจุบันถึงปี 2029 เป็นพื้นที่วิกฤตประเภทที่ 2 มีพื้นที่ทั้งหมด 12.1 ล้านไร่ (ภาพที่ 43) ในการประเมินทั้ง 2 กรณีได้ใช้ช่วงเวลา 1980-1989 เป็นตัวแทนของอนาคตอันใกล้ ดังนั้นข้อมูลสภาพอากาศและ ระดับความเข้มข้นของ CO₂ จะเหมือนกัน และใกล้เคียงกับความเป็นจริง นั่นคือหากการใช้พลังงานของโลกเปลี่ยนทันทีจาก SRES A2 เป็น SRES B2 ณ ปัจจุบัน อาจทำให้สภาพอากาศ และระดับ CO₂ ของอนาคตอันใกล้ (ถึงปี 2029) เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากนัก การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดจะต้องใช้เวลาที่นานมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโลกเป็น system ขนาดใหญ่ และมีสมบัติของ response time และ relaxation time ที่ช้า



ภาพที่ 43. พื้นที่วิกฤตประเภทที่ 2 ของอ้อย ภายใต้ SRES B2 และ A2

ผลกระทบต่อการผลิตมันสำปะหลัง

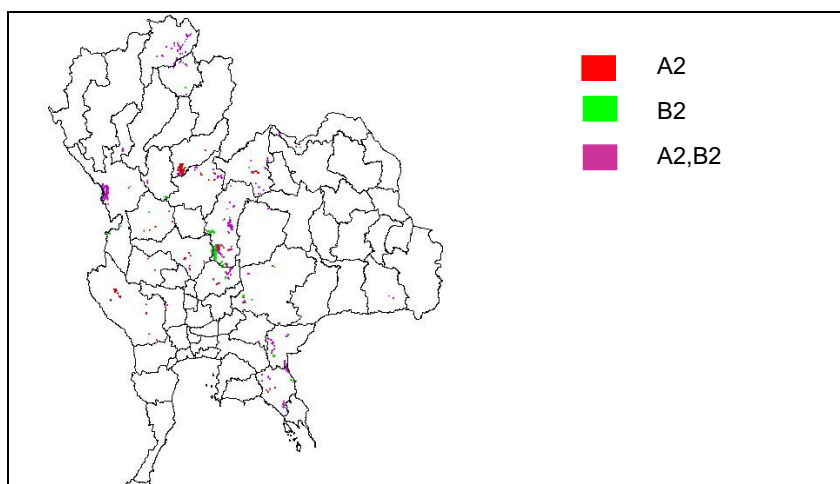
พื้นที่วิกฤตของการปลูกมันสำปะหลังที่มีค่า impact index สูงสุดคือพื้นที่ประเภทที่ 6 พื้นที่ดังกล่าวลดลงจาก 4.2 ล้านไร่ ภายใต้ SRES A2 เป็น 1.2 ล้านไร่ (ร้อยละ 10.5 ของพื้นที่ปลูกมันทั้งหมด) ซึ่ง 1.1 ล้านไร่ จะทับซ้อนอยู่ในพื้นที่ ภายใต้ SRES A2 ดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 44. พื้นที่วิกฤตประเภทที่ 6 ของมันสำปะหลัง ภายใต้ SRES B2 และ A2

ผลกระทบต่อการผลิตข้าวโพด

พื้นที่วิกฤต ภายใต้ SRES B2 ที่มี impact index สูงสุดเป็นพื้นที่ประเภทที่ 8 เช่นเดียวกับ ภายใต้ SRES A2 มีพื้นที่ ทั้งหมดเท่ากับ 4.9 แสนไร่ (ร้อยละ 4.31 ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมด) ซึ่งใกล้เคียงกับ SRES A2 (4.9 แสนไร่) และทับซ้อนกันถึง 3.4 แสนไร่ ดังแสดงในภาพที่ 45



ภาพที่ 45. พื้นที่วิกฤตประเภทที่ 8 ของข้าวโพด ภายใต้ SRES B2 และ A2

การปรับระบบการผลิตพืชเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลก

การดำเนินการวิเคราะห์หาทางเลือก สำหรับการปรับตัวของระบบการผลิตพืชทั้ง 4 ชนิด เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

- กำหนดพื้นที่ตัวแทน เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตลดลงและทางเลือกสำหรับการปรับตัว
- วิเคราะห์สาเหตุการลดลงของผลผลิตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในพื้นที่ตัวแทน
- วิเคราะห์ทางเลือกในการแก้ปัญหาและการปรับระบบการผลิตพืชสำหรับสภาพอากาศโลกในอนาคต

การกำหนดพื้นที่ตัวแทน

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตระดับประเทศ (ในหัวข้อ การจำลองผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชทั้ง 4 ชนิด) พบว่ามีความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูงคือ ข้าวโพดมีความแปรปรวนสูงสุดร้อยละ 46 รองลงมาได้แก่ ข้าวและมันสำปะหลัง ร้อยละ 33 และอ้อยต่ำสุด ร้อยละ 23 ในการวิเคราะห์หาแนวทางของการปรับตัวและปัจจัยจำกัด ควรวิเคราะห์จากพื้นที่ตัวแทนที่หลากหลายและครอบคลุมทั่วประเทศ แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดจากเวลา จึงใช้แนวทางของการ zonation (พื้นที่ใกล้เคียงจะมีลักษณะที่คล้ายกัน และหากความแปรปรวนภายในเขตแหล่งผลิตต่ำ จะสามารถใช้พื้นที่เพียงบางส่วนเป็นพื้นที่ตัวแทนของทั้งเขตได้) แบ่งพื้นที่ปลูกพืชออกเป็นเขตแหล่งผลิตก่อน โดยที่แต่ละเขตแหล่งผลิตนั้นควรมีความแปรปรวนของผลผลิตภายในขอบเขตที่ต่ำ แต่ครอบคลุมพื้นที่กว้างและมีความหนาแน่นของการปลูกพืชสูง จากนั้นจึงเลือกพื้นที่ (SMU) ตัวแทน จากแต่ละเขตแหล่งผลิตเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตในเขตแหล่งผลิตนั้น ๆ จากนั้นตอน การรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูล ได้แบ่งเขตระบบการผลิตพืชทั้ง 4 ชนิดออกเป็น 4-6 เขต เพื่อนำข้อมูลนี้มาใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการเลือกพื้นที่ตัวแทนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาทางเลือกสำหรับการปรับตัว

การวิเคราะห์สาเหตุการลดลงของผลผลิตจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้ผลผลิตพืชลดลง ได้ใช้แนวทางการเปรียบเทียบผลผลิตของพื้นที่ตัวแทนที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงกับผลผลิตในพื้นที่ ๆ ไม่ได้รับผลกระทบ ที่มีความแตกต่างกันเฉพาะอากาศและดินเท่านั้น การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบดังกล่าวทำให้สามารถประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบจากแต่ละปัจจัย เช่น ผลจากความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความลึกราก ผลจากแสง ฝน หรืออุณหภูมิได้

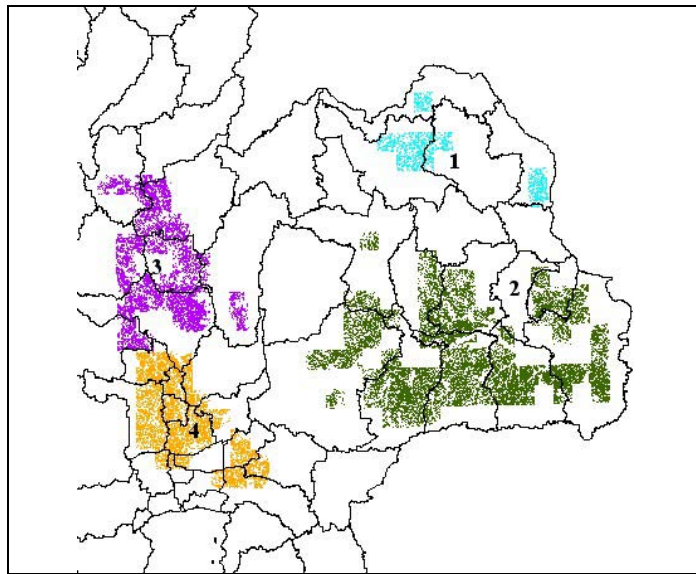
การวิเคราะห์ทางเลือกของการปรับระบบการผลิตพืช adaptation

การวิเคราะห์หาทางเลือกของการปรับตัวใช้ sensitivity analysis หาคุนสมบัติของพืช และการจัดการ ที่สามารถลดผลกระทบจากปัญหาที่พบ และทำให้ผลผลิตมีค่าสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายใต้ constraints ของดิน และสภาพภูมิอากาศของพื้นที่นั้นๆ

การปรับระบบการผลิตข้าว

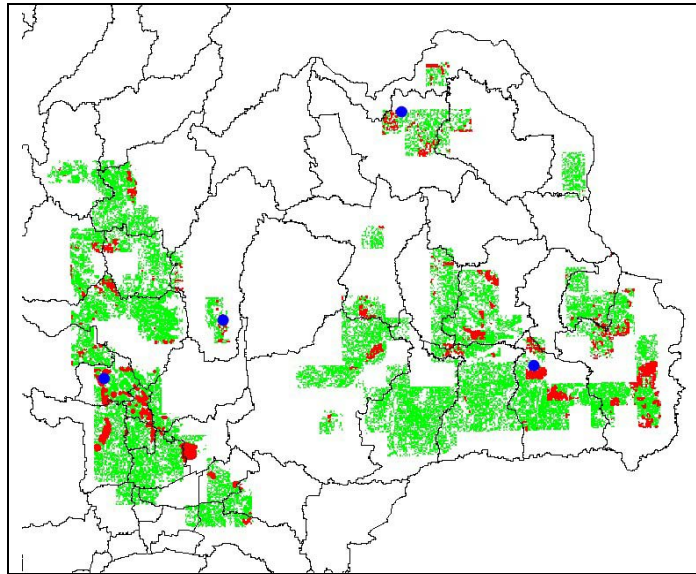
พื้นที่ตัวแทนเขตวิฤตระบบการผลิตข้าวนาห้ฝนและนาชลประทาน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลผลิตเชิงพื้นที่ภายในเขตแหล่งผลิตข้าวนาห้ฝน ทั้ง 4 เขต ที่ได้จัดทำขึ้นในขั้นตอน การรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูล (ภาพที่ 46.1) พบว่า ความแปรปรวน ที่วัดในรูปของ normalized σ_t มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของทั้งประเทศ (ร้อยละ 33) แสดงว่าเขตแหล่งผลิตในแต่ละภูมิภาคนั้น ไม่ได้มีลักษณะที่แตกต่างไปจากภูมิภาคอื่น ๆ มาก และมีความแปรปรวนภายในภูมิภาคใกล้เคียงกับความแปรปรวนระหว่างภูมิภาค



ภาพที่ 46.1 เขตแหล่งผลิตข้าวนาห้ฝนและชลประทาน ทั้ง 4 เขต

เมื่อลดขอบเขตของแต่ละเขตแหล่งผลิตลงอีกเพื่อลดความแปรปรวน โดยตัดพื้นที่ปลูกข้าวที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าร้อยละ 40 ในพื้นที่วิฤตประเภทที่ 6 ออก พบว่า เขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ค่า normalized σ_t ลดลงเหลือร้อยละ 23 เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างลดลงเหลือร้อยละ 22 เขตภาคเหนือตอนล่างและกลางตอนบนและเขตภาคกลางและตะวันออกลดลงเหลือร้อยละ 32 และมีพื้นที่รวมทั้งหมดเท่ากับ ร้อยละ 40 ของพื้นที่วิฤตประเภทที่ 6 (780,221 ไร่ จาก 1,997,497 ไร่) แม้ว่าค่าความแปรปรวนยังค่อนข้างสูง แต่หากลดพื้นที่ลงอีก จะทำให้การประยุกต์ใช้ผลจากการวิเคราะห์ครอบคลุมพื้นที่ ได้ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงกำหนดขอบเขตแหล่งผลิตไว้ที่ระดับนี้ (ภาพที่ 46.2) และเลือกพื้นที่ (SMU) ตัวแทนสำหรับพื้นที่วิฤตประเภท 6 ในแต่ละเขตแหล่งผลิต จากกลุ่มดินที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ดังสรุปในตารางที่ 11 สำหรับข้าวนาห้ฝน

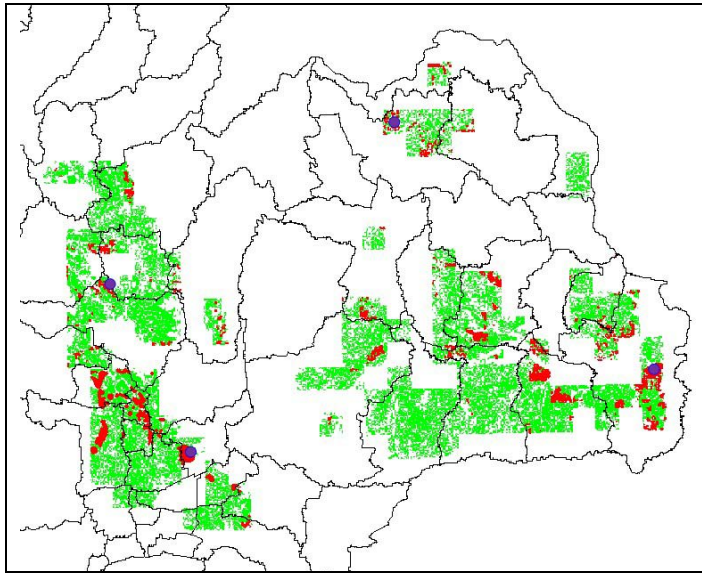


ภาพที่ 46.2 เขตพื้นที่วิกฤตประเภทที่ 6 ที่ใช้กำหนดพื้นที่ตัวแทนสำหรับวิเคราะห์สาเหตุและทางเลือกในการปรับตัว

ตารางที่ 11. เขตภูมิอากาศและกลุ่มดินของพื้นที่ตัวแทนของเขตแหล่งผลิตข้าวนาขั้นบันได 4 ที่ใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุและทางเลือกสำหรับการปรับตัว

เขตแหล่งผลิต	พื้นที่ SMU ตัวแทนกริดอากาศ-กลุ่มชุดดิน
1. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	29BE-เพ็ญ (Pn)
2. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	2E68-สีทัน (St)
3. ภาคเหนือตอนล่างและกลางตอนบน	2D94—เพ็ญ (Pn)
4. ภาคกลางและตะวันออก	2E53-ปากท่อ (Pth_C)

สำหรับนาชลประทานความแปรปรวนเฉลี่ยของทั้งประเทศที่วัดในรูปของ normalized σ_t มีค่าร้อยละ 33 แต่ค่าภายในแต่ละเขตแหล่งผลิตจะมีค่าที่ต่ำกว่า เขตแหล่งผลิตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน มีค่าร้อยละ 24 เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ร้อยละ 26 เขตภาคเหนือตอนล่างและกลางตอนบน ร้อยละ 16 และเขตภาคกลางและตะวันออก ร้อยละ 18 แสดงว่าแต่ละเขตนั้นอาจมีลักษณะสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เมื่อตัดพื้นที่ ๆ มีความหนาแน่นต่ำกว่าร้อยละ 40 ออก พบว่าค่า normalized σ_t ของแต่ละเขตที่อยู่ในพื้นที่วิกฤตประเภทที่ 6 ลดลง โดยมีค่าร้อยละ 11 24 23 และ 18 ตามลำดับ และมีพื้นที่รวมกันร้อยละ 42 ของพื้นที่วิกฤตประเภท 6 (583,241 ไร่ จาก 1,357,261 ไร่) ดังนั้นจึงกำหนดขอบเขตแหล่งผลิตไว้ที่ระดับนี้ (ภาพที่ 46.3) และเลือกพื้นที่ (SMU) ตัวแทนสำหรับพื้นที่วิกฤตประเภท 6 ในแต่ละเขตแหล่งผลิต จากกลุ่มดินที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เช่นเดียวกันกับนาขั้นบันไดในตารางที่ 12



ภาพที่ 46.3 พื้นที่นาชลประทานที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนในช่วงปี 2030-39 และช่วงปี 2090-99 และกริดอากาศตัวแทนในการวิเคราะห์

ตารางที่ 12. เขตภูมิอากาศและกลุ่มดินของพื้นที่ตัวแทนของเขตแหล่งผลิตข้าวนาชลประทานทั้ง 4 ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุและทางเลือกสำหรับการปรับตัว

เขตแหล่งผลิต	พื้นที่ SMU ตัวแทน กริดอากาศ-กลุ่มชุดดิน
1. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	2A21-เขาย้อย (Kyo)
2. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	2E6D-จักราช (Ckr)
3. ภาคเหนือตอนล่างและกลางตอนบน	2CC8-สรรพยา (Sa)
4. ภาคกลางและตะวันออก	2FDC-ปากท่อ (Pth_C)

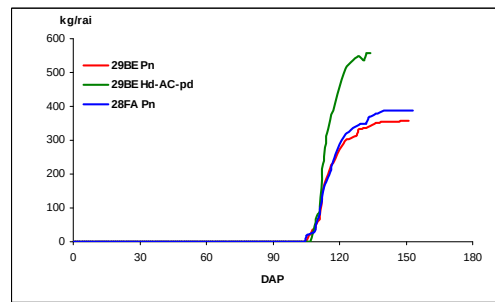
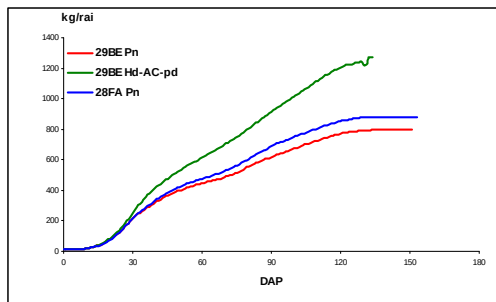
การวิเคราะห์หาสาเหตุของการลดลงของผลผลิตข้าว

ผลผลิตข้าวที่ลดลงในพื้นที่วิกฤตนั้นเป็นผลมาจาก ภูมิอากาศ ดิน และปฏิกริยาร่วมของทั้ง 2 ปัจจัย จึงดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบจาก 2 ปัจจัย ดังนี้

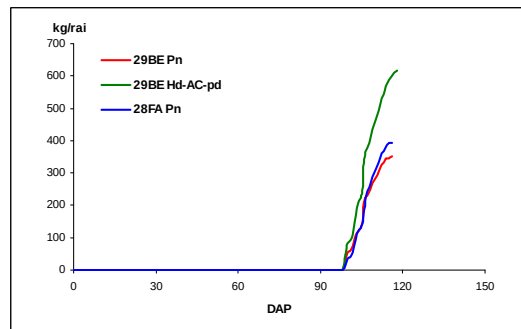
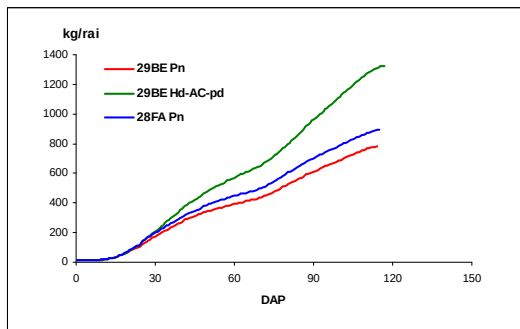
1. **ผลกระทบจากสภาพอากาศ** โดยจำลองด้วยชุดดินเดียวกัน ภายใต้กริดอากาศของเขตวิกฤตที่ 6 ที่ผลผลิตลดลง เปรียบเทียบกับกริดอากาศนอกเขตวิกฤตที่ไม่ได้รับผลกระทบ เพื่อประเมินผลกระทบของสภาพอากาศต่อผลผลิตข้าว โดยแบ่งการจำลองเป็นผลกระทบของ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ผลกระทบของอุณหภูมิ และผลกระทบของปริมาณน้ำฝน
2. **ผลกระทบจากชุดดิน** โดยการจำลองภายใต้กริดอากาศเดียวกัน ในชุดดินของเขตวิกฤตที่ 6 (ชุดดินเดียวกันกับข้อที่ 1) เปรียบเทียบกับชุดดินนอกเขตวิกฤตที่ไม่ได้รับผลกระทบและให้ผลผลิตสูงกว่าในกริดอากาศเดียวกัน เพื่อประเมินผลกระทบจากชุดดิน และคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และความลึกของรากข้าวที่มีต่อผลผลิตข้าวด้วย

ข้าวหน้าน้ำฝน

เมื่อปลูกในดินชนิดเดียวกัน พื้นที่ตัวแทนเขตวิฤตที่ 6 ในเขตแหล่งผลิตที่ 1 กริดอากาศ 29BE ให้ผลผลิตต่ำกว่าผลผลิตข้าวจากกริดอากาศ 28FA ที่อยู่นอกเขตวิฤต คิดเป็นร้อยละ 8.2 และ 12.4 ในช่วงปี 2030-39 และ ช่วงปี 2090-99 ตามลำดับ เช่นเดียวกับพื้นที่ตัวแทนในเขตวิฤตเขตแหล่งผลิตที่ 2 3 และ 4 จะให้ผลผลิตข้าวลดลงเฉลี่ย 41 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปี 2030-39 และ 2090-99 (ภาพที่ 47 และ 48) หรือคิดเป็นร้อยละ 10.2 และ 11.5 ตามลำดับ เมื่อเฉลี่ยโดยรวมผลกระทบของสภาวะอากาศทำให้ผลผลิตข้าวหน้าน้ำฝนลดลงร้อยละ 10.8 (ตารางที่ 13)



ภาพที่ 47. ผลกระทบของสภาพอากาศและดินต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ช้ำย) และผลผลิต (ข้าว) ของข้าวหน้าน้ำฝนในพื้นที่ตัวแทนเขตวิฤตที่ 6 ในเขตแหล่งผลิตที่ 1 ในช่วงปี 2030-39 เส้นสีแดง ในเขตวิฤต เส้นสีน้ำเงิน จากพื้นที่ ที่แตกต่างเฉพาะสภาพอากาศ เส้นสีเขียว จากพื้นที่ที่แตกต่างเฉพาะดิน



ภาพที่ 48. ผลกระทบของสภาพอากาศและดินต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ช้ำย) และผลผลิต (ข้าว) ของข้าวหน้าน้ำฝนในพื้นที่ตัวแทนเขตวิฤตที่ 6 เขตแหล่งผลิตที่ 1 ในช่วงปี 2090-99 เส้นสีแดง ในเขตวิฤต เส้นสีน้ำเงิน จากพื้นที่ ที่แตกต่างเฉพาะสภาพอากาศ เส้นสีเขียว จากพื้นที่ที่แตกต่างเฉพาะดิน

ตารางที่ 13. ผลกระทบของสภาวะอากาศต่อผลผลิตข้าวนาขั้นนํ้าในพื้นที่ตัวแทนพื้นที่ตัวแทนเขตวิฤต ช่วงปี 2030-39 และช่วงปี 2090-99

กริตอากาศ (ในเขตวิฤต /นอกเขตวิฤต)	ผลผลิต(กก./ไร่)		ความแตกต่าง	
	ในเขตวิฤต	นอกเขตวิฤต	กก./ไร่	ร้อยละ
2030-39				
29BE / 28FA	356	388	32	8.2
2E68 / 2FE6	349	436	87	20.0
2D94 / 2DFO	350	367	17	4.6
2E53 / 2F77	395	423	28	6.6
เฉลี่ย			41	10.2
2090-99				
29BE / 28FA	369	421	52	12.4
2E68 / 2FE6	337	420	83	19.8
2D94 / 2DFO	383	419	36	8.6
2E53 / 2F77	443	471	28	5.9
เฉลี่ย			50	11.5
เฉลี่ยรวม			45	10.8

เมื่อพิจารณาผลกระทบจากชุดดินพบว่า พื้นที่ตัวแทนเขตวิฤตที่ 6 ในเขตแหล่งผลิตที่ 1 กลุ่มชุดดินเพ็ญ(Pn) ให้ผลผลิตต่ำกว่า ชุดดินหางดง (Hd_AC_pd) ที่อยู่นอกเขตวิฤต ร้อยละ 36.2 ในช่วงปี 2030-39 และ ร้อยละ 41.3 ในช่วงปี 2090-99 เช่นเดียวกับพื้นที่ตัวแทน ในเขตแหล่งผลิตที่ 2 3 และ 4 ที่ความแตกต่างของดินทำให้ผลผลิตข้าวลดลงเฉลี่ย 208 และ 237 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปี 2030-39 และ ช่วงปี 2090-99 ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 34.6 และ 37.6 ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14. ผลกระทบของชุดดินต่อผลผลิตข้าวหน้าน้ำฝนในพื้นที่ตัวแทนเขตวิฤต ช่วงปี 2030-39 และช่วงปี 2090-99

ชุดดิน (ในเขตวิฤต /นอกเขตวิฤต)	ผลผลิต (กก./ไร่)		ความแตกต่าง	
	ในเขตวิฤต	นอกเขตวิฤต	กก./ไร่	ร้อยละ
2030-39				
29BE Pn/Hd_AC_pd	356	558	202	36.2
2E68 St/Rb	349	423	74	17.5
2D94 Pn/Hd	350	568	218	38.4
2E53 Pth_C/Np	395	734	339	46.2
เฉลี่ย			208	34.6
2090-99				
29BE Pn/Hd_AC_pd	369	629	260	41.3
2E68 St/Rb	337	475	138	29.1
2D94 Pn/Hd	383	635	252	39.7
2E53 Pth_C/Np	443	741	298	40.2
เฉลี่ย			237	37.6
เฉลี่ยรวม			222.6	36.1

จากการจำลองผลกระทบของสภาวะโลกร้อนต่อการผลิตข้าวหน้าน้ำฝนของประเทศไทย ในช่วงปี 2030-39 และ 2090-99 พบว่า โดยรวมผลกระทบของชุดดินทำให้ผลผลิตข้าวหน้าน้ำฝนลดลงร้อยละ 36.1 สูงกว่าผลกระทบจากสภาวะอากาศดังได้กล่าวมาแล้ว

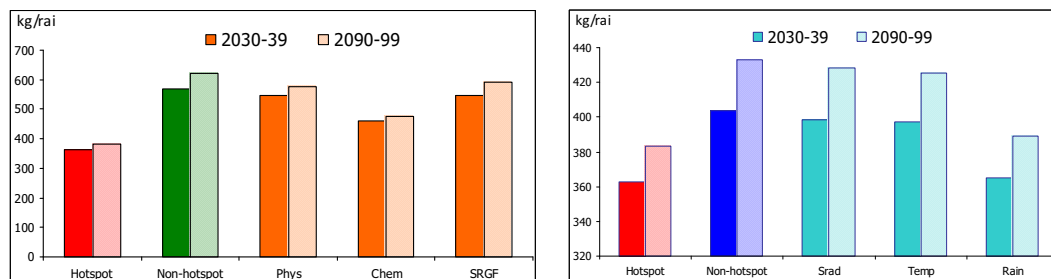
การวิเคราะห์ผลจากแสง อุณหภูมิ และน้ำฝน

ในการวิเคราะห์รายละเอียดถึงผลกระทบจากแต่ละองค์ประกอบของสภาพอากาศต่อผลผลิตข้าวหน้าน้ำฝน ได้เปรียบเทียบผลผลิตข้าวภายใต้กริดอากาศของเขตวิฤตที่ กับกริดอากาศนอกเขต ในเขตแหล่งผลิตที่ 1 เปรียบเทียบ ผลผลิตภายใต้กริดอากาศ 29BE กับ 28FA ในชุดดินเพ็ญ (Pn) ในเขตแหล่งผลิตที่ 2 เปรียบเทียบ กริดอากาศ 2E68 กับ 2FE6 ในชุดดินสีทน (St) เขตแหล่งผลิตที่ 3 กริดอากาศ 2D94 กับ 2DFO ชุดดินเพ็ญ (Pn) และเขตแหล่งผลิตที่ 4 ชุดดินปากท้อ (Pth_C) กริดอากาศ 2E53 กับ 2F77 ทำการจำลองในช่วงปี 2030-39 และ ช่วงปี 2090-99 ดังแสดงผลในตารางที่ 15

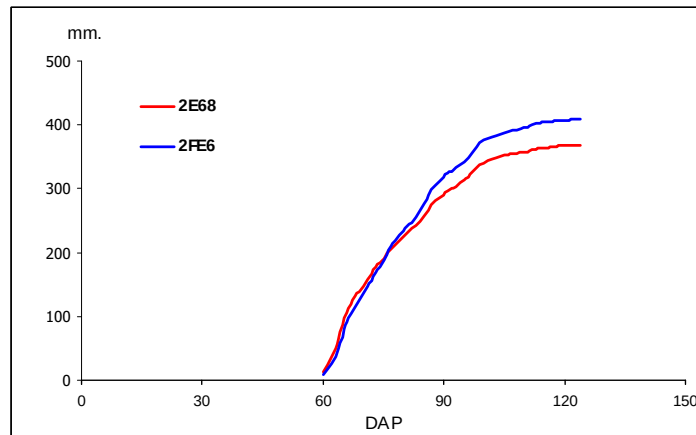
ตารางที่ 15. ผลกระทบจากแสง อุณหภูมิและน้ำฝนที่มีต่อผลผลิตข้าวหน้าน้ำฝนของประเทศไทย ในช่วงปี 2030-39 และช่วงปี 2090-99 (ผลกระทบเป็นลบหมายถึงทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น)

กริดอากาศ (ในเขตวิฤต / นอกเขตวิฤต)	ผลผลิต(กก./ไร่)		ผลกระทบ(ร้อยละ)		
	ในเขตวิฤต	นอกเขตวิฤต	จากแสง	จากอุณหภูมิ	จากน้ำฝน
2030-39					
29BE / 28FA	356	388	-0.8	-0.3	8.0
2E68 / 2FE6	349	436	4.4	5.1	16.7
2D94 / 2DFO	350	367	0.5	1.6	6.3
2E53 / 2F77	395	423	0.5	-1.2	6.4
เฉลี่ย			1.2	1.5	9.3
2090-99					
29BE / 28FA	369	421	2.6	0.7	10.0
2E68 / 2FE6	337	420	2.4	1.9	17.9
2D94 / 2DFO	383	419	-1.4	3.8	8.6
2E53 / 2F77	443	471	0.6	0.4	4.7
เฉลี่ย			1.0	1.7	10.3
เฉลี่ยรวม			1.1	1.6	9.8

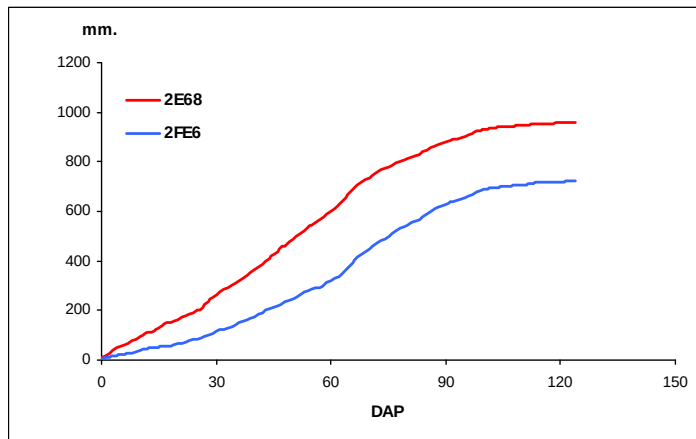
จากผลการจำลองในช่วงปี 2030-39 พบว่าผลกระทบจากพลังงานแสง อุณหภูมิ และจากปริมาณน้ำฝน ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.2 1.5 และ 9.3 ตามลำดับ ในขณะที่ ช่วงปี 2090-99 ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 1.0 1.7 และ 10.3 ตามลำดับ จากรายละเอียดของผลกระทบในแต่ละเขตแหล่งผลิต (ภาพที่ 49) แสดงให้เห็นว่าปริมาณและการกระจายของน้ำฝนในช่วงฤดูปลูกมีผลต่อผลผลิตข้าวหน้าน้ำฝนลดลงมากกว่าปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปริมาณฝนตั้งแต่ช่วงข้าวเริ่มสร้างรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยวข้าว อย่างเช่นในกริดอากาศ 2E68 ที่เป็นพื้นที่วิฤต มีปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูกมากกว่ากริดอากาศ 2FE6 ซึ่งไม่ใช่พื้นที่วิฤต แต่ในช่วงปลายฤดูตั้งแต่ข้าวเริ่มสร้างรวงจนถึงเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝนสะสมของในกริด 2FE6 จะสูงกว่ากริดอากาศ 2E68 ดังแสดงในภาพที่ 50 และ 51



ภาพที่ 49. ผลกระทบต่อผลผลิตข้าวหน้าน้ำฝนที่ลดลงในเขตพื้นที่วิฤตที่ 6 เฉลี่ยจาก 4 เขตแหล่งผลิตเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพ (Phys) เคมี (Chem) และสัมประสิทธิ์การเติบโตของรากข้าว (SRGF) (ซ้าย) พลังงานแสงอาทิตย์ (Srad) อุณหภูมิ (Temp) และปริมาณน้ำฝน (Rain) (ขวา) ในช่วงปี 2030-39 และ 2090-99



ภาพที่ 50. ปริมาณน้ำฝนสะสมที่ระยะข้าวเริ่มสร้างรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยวข้าวหน้าน้ำฝนในกริดอากาศ 2E68 ที่เป็นพื้นที่วิกฤต กริดอากาศ 2E68 และ 2FE6 ที่อยู่นอกเขตวิกฤต ช่วงปี 2030-39



ภาพที่ 51. ปริมาณน้ำฝนสะสมที่ระยะข้าวเริ่มสร้างรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยวข้าวหน้าน้ำฝนในกริดอากาศ 2E68 ที่เป็นพื้นที่วิกฤต กริดอากาศ 2E68 และ 2FE6 ที่อยู่นอกเขตวิกฤต ช่วงปี 2090-99

การวิเคราะห์ผลกระทบจากคุณสมบัติของดิน

วิเคราะห์ผลกระทบจากคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ความลึกและสัมประสิทธิ์การเติบโตของรากข้าว ของดิน ต่อผลผลิตข้าว โดยเปรียบเทียบผลผลิตจากชุดดินในเขตวิกฤตที่ 6 กับชุดดินอื่นนอกเขต ที่ให้ผลผลิตสูงกว่า ภายใต้กริดอากาศเดียวกัน ในเขตแหล่งผลิตที่ 1 เปรียบเทียบผลของ ชุดดินเพ็ญ (Pn) กับชุดดินหางดง (Hd_AC_pd) ภายใต้ กริดอากาศ 29BE ในเขตแหล่งผลิตที่ 2 ชุดดินสีทน (St) กับ ชุดดินราชบุรี (Rb) ในกริดอากาศ 2E68 ในเขตแหล่งผลิตที่ 3 ชุดดินเพ็ญ (Pn) กับ ชุดดินหางดง (Hd) ในกริดอากาศ 2D94 และในเขตแหล่งผลิตที่ 4 ชุดดินปากท่อ (Pth_C) กับ ชุดดินนครปฐม (Np) ในกริดอากาศ 2E53 ผลจากการจำลองในช่วงปี 2030-39 และ ช่วงปี 2090-99 ได้แสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16. ผลกระทบของชุดดินต่อผลผลิตข้าวนาห้ำฝนของประเทศไทย ในช่วงปี 2030-39 และช่วงปี 2090-99 (ผลกระทบเป็นลบหมายถึงทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น)

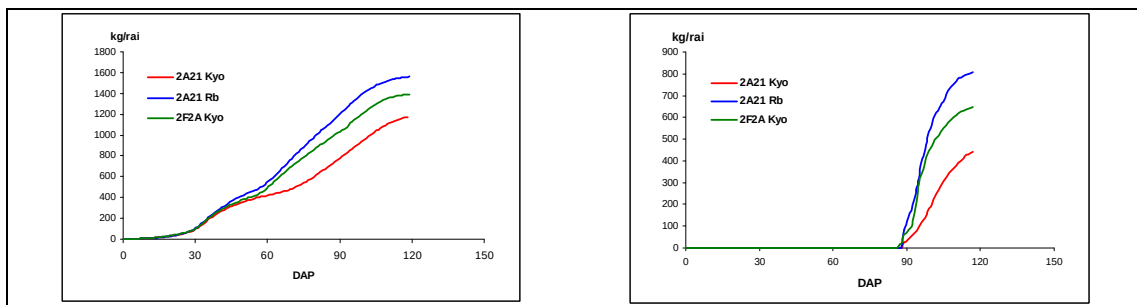
ชุดดิน (ในเขตวิฤต /นอกเขตวิฤต)	ผลผลิต(กก./ไร่)		ผลกระทบ(ร้อยละ)		
	ในเขต วิฤต	นอกเขต วิฤต	จาก กายภาพ	จากทาง เคมี	จากราก ข้าว
2030-39					
29BE Pn/Hd_AC_pd	356	558	-0.7	16.3	0.0
2E68 St/Rb	349	423	-12.5	22.5	6.4
2D94 Pn/Hd	350	568	11.1	2.6	-0.2
2E53 Pth_C/Np	395	734	12.1	33.0	9.5
เฉลี่ย			2.5	18.6	3.9
2090-99					
29BE Pn/Hd_AC_pd	369	629	13.4	19.6	-0.2
2E68 St/Rb	337	475	-4.8	23.2	8.8
2D94 Pn/Hd	383	635	12.9	18.7	0.2
2E53 Pth_C/Np	443	741	4.7	30.5	10.7
เฉลี่ย			6.5	23.0	4.9
เฉลี่ยรวม			4.5	20.8	4.4

จากผลการจำลองในช่วงปี 2030-39 พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ความลึกและสัมประสิทธิ์การเติบโตของรากข้าว ของชุดดินในเขตวิฤตที่ 6 ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 2.5 18.6 และ 3.9 ตามลำดับ และในปี 2090-99 มีส่วนทำให้ผลผลิตข้าวลดลงร้อยละ 6.5 23.0 และ 4.9 ตามลำดับ และให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 4.5 20.8 และ 4.4 ตามลำดับ ดังตารางที่ 16 และ ภาพที่ 49 (ซ้าย)

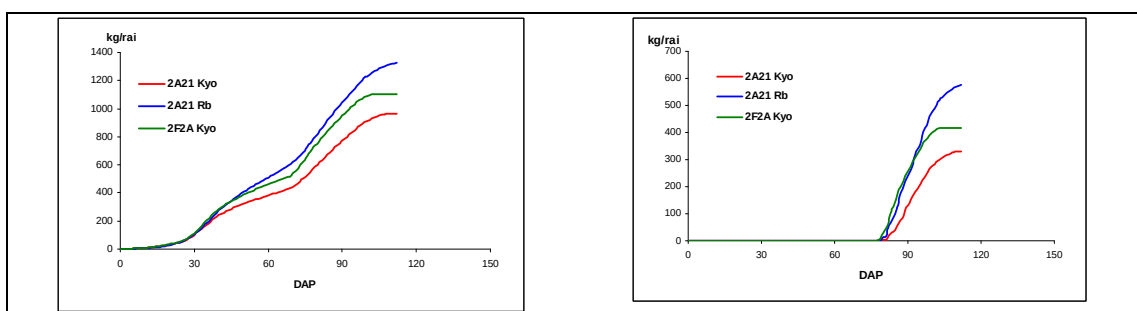
ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตข้าวนาห้ำฝนลดลงในเขตพื้นที่วิฤตคือ ปริมาณน้ำฝนโดยเฉพาะช่วงออกทรงถึงเก็บเกี่ยว และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ข้าวนาชลประทาน

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างสภาพภูมิอากาศกับความแตกต่างของชุดดิน ต่อผลผลิตของข้าวนาชลประทาน ในช่วงปี 2030-39 และ 2090-99 พบว่าสภาพอากาศส่งผลกระทบต่อผลผลิตต่ำกว่าดินเช่นเดียวกับนาห้ำฝน ดังในภาพที่ 52 และ 53 ภายใต้ดินชุดเดียวกัน พื้นที่ตัวแทนเขตวิฤตที่ 6 ในเขตแหล่งผลิตที่ 1 กริดอากาศ 2A21 ให้ผลผลิตต่ำกว่าพื้นที่นอกเขตในกริดอากาศ 2F2A ร้อยละ 31.1 ในช่วงปี 2030-39 และร้อยละ 20.7 ในช่วงปี 2090-99 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน ผลผลิตจากพื้นที่ตัวแทนเขตวิฤต ในเขตแหล่งผลิตที่ 2 3 และ 4 ลดลงโดยเฉลี่ย 126 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปี 2030-39 และ 146 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงปี 2090-99 หรือคิดเป็นร้อยละ 19.2 และ 24.2 ตามลำดับ โดยรวมผลกระทบของสภาพอากาศทำให้ผลผลิตข้าวนาชลประทานลดลงร้อยละ 21.7 (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 52. ผลกระทบของสภาพอากาศและดินต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ช้ำย) และผลผลิต (ขว) ของข้าวนาชลประทานในพื้นที่ตัวแทนเขตวิกฤตที่ 6 เขตแหล่งผลิตที่ 1 ในช่วงปี 2030-39 เส้นสีแดง ในเขตวิกฤต เส้นน้ำเงิน จากพื้นที่ที่แตกต่างเฉพาะสภาพอากาศ เส้นสีเขียว จากพื้นที่ที่แตกต่างเฉพาะดิน



ภาพที่ 53. ผลกระทบของสภาพอากาศและดินต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ช้ำย) และผลผลิต (ขว) ของข้าวนาชลประทานในพื้นที่ตัวแทนเขตวิกฤตที่ 6 เขตแหล่งผลิตที่ 1 ในช่วงปี 2090-99 เส้นสีแดง ในเขตวิกฤต เส้นน้ำเงิน จากพื้นที่ที่แตกต่างเฉพาะสภาพอากาศ เส้นสีเขียว จากพื้นที่ที่แตกต่างเฉพาะดิน

ตารางที่ 17. ผลกระทบของสภาวะอากาศที่มีต่อผลผลิตข้าวนาชลประทาน ปี 2030-39 และปี 2090-99

กริดอากาศ (ในเขตวิกฤต /นอกเขตวิกฤต)	ผลผลิต(กก./ไร่)		ความแตกต่าง	
	ในเขตวิกฤต	นอกเขตวิกฤต	ในเขตวิกฤต	นอกเขตวิกฤต
2030-39				
2A21 / 2F2A	435	633	198	31.3
2E6D / 2FE6	561	760	199	26.2
2CC8 / 2DFO	485	543	58	10.7
2FDC / 2F7C	539	589	50	8.5
เฉลี่ย			126	19.2
2090-99				
2A21 / 2F2A	337	425	88	20.7
2E6D / 2FE6	452	751	299	39.8
2CC8 / 2DFO	375	514	139	27.0
2FDC / 2F7C	542	598	56	9.4
เฉลี่ย			146	24.2
เฉลี่ยรวม			136	21.7