การประเมินผลกระทบและการปรับตัวสำหรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อระบบการผลิตข้าวไทย

อรรถชัย จินตะเวช
รองศาสตราจารย์ ๙ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ และศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

เอกสารประกอบการบรรยายการประชุมทางวิชาการ 5th THAICID NATIONAL SYMPOSIUM และ 1st INWEPF NATIONAL SYMPOSIUMวันที่ 17 มิถุนายน 2553 ณ โรงแรมริชมอนด์ ถนนรัตนาธิเบศร์ นนทบุรี จัดโดย คณะกรรมการด้านการชลประทานและการระบายน้ำแห่งประเทศไทย (THAICID) และคณะอนุกรรมการด้านน้ำและระบบนิเวศของนาข้าว (INWEPF Thailand) กรมชลประทาน

บทคัดย่อ

ระบบเกษตรและโดยเฉพาะระบบการผลิตข้าวของประเทศไทยมีความสำคัญต่อวิถีชีวิตของสังคมไทย และเป็นระบบที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก การศึกษาเพื่อทำความเข้าใจผลกระทบที่ระบบการผลิตข้าวไทยจะได้รับจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้การวางแผนเพื่อการปรับตัวของระบบการผลิตให้มีความยั่งยืนจึงมีความจำเป็นและสำคัญต่อหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนของไทยที่ต้องร่วมมือและบูรณาการทรัพยากร การศึกษานี้ใช้โปรแกรมระบบสนับสนุนการศึกษาผลกระทบต่อระบบการผลิตพืชบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลซึ่งเชื่อมโยงกับแบบจำลองข้าว การศึกษาพบว่าในช่วงอนาคตโดยเฉพาะหลังจากที่ พ.ศ. 2573 เป็นต้นไปการผลิตข้าวทุกระดับมีผลผลิตข้าวลดลงเมื่อเทียบกับผลผลิตในปีฐาน การปรับตัวควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการบูรณการข้อมูลและองค์ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกตามภาพฉายอนาคตอีกจำนวนมากที่จะเกิดในอนาคต โดยร่วมมือกับหน่วยงานในและนอกประเทศไทยเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงและเตรียมการเพื่อปรับตัวตามสภาพทรัพยากรของระบบการผลิตข้าว

คำสำคัญ ระบบการผลิตข้าว การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ผลกระทบ การปรับตัว, CropDSS, DSSAT

บทนำ

ประชาชนไทยมากกว่าครึ่งมีวิถีชีวิตและเกี่ยวข้องโดยตรงกับระบบการผลิตข้าวในพื้นที่นาเขตชลประทานและนาเขตอาศัยน้ำฝน พื้นที่นาปีทั้งประเทศครอบคลุมพื้นที่ในช่วง 54-57 ล้านไร่ต่อปี ได้ผลผลิตเฉลี่ย 370 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2553) จัดว่าอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับประเทศเพื่อนบ้านในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (รูปที่ 1) และในระดับโลก (Little, Surintaraseree et al. 1996)

ระบบเกษตรและโดยเฉพาะระบบการผลิตข้าวของประเทศไทยเป็นระบบที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและระดับภูมิภาคเป็นอย่างมาก (Jearakongman, Rajatasereekul et al. 1995; Wade, Fukai et al. 1999) พื้นที่ชลประทานทั้งประเทศมีประมาณ 23 ล้านไร่ (กรมชลประทาน, 2552) สามารถสนับสนุนพื้นที่การผลิตข้าวของประเทศไทยได้ร้อยละ 41 ที่เหลือเป็นพื้นที่ผลิตข้าวที่ใช้น้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญ ฤดูการปลูกข้าวถูกกำหนดโดยการเริ่มต้นของฤดูฝน พื้นที่การ

ผลิตข้าวในลุ่มน้ำภาคกลางสามารถผลิตข้าวได้ในฤดูแล้งเนื่องจากมีระบบและโครงการชลประทานที่ช่วยสนับสนุนการส่งน้ำให้แก่พื้นที่การผลิต

การศึกษาเพื่อทำความเข้าใจผลกระทบที่ระบบการผลิตข้าวที่จะได้รับจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีตั้งแต่ระดับสากล (Bachelet, Brown et al. 1992; Matthews, Kropff et al. 1997) ถึงระดับต้นข้าวในตู้ทดลอง (Baker and Allen 1993) และในประเทศไทยในระดับลุ่มน้ำ ทำให้เกิดความเข้าใจและมีผลดีต่อการวางแผนเพื่อการปรับตัวของระบบการผลิตให้มีความยั่งยืนจึงมีความจำเป็นและสำคัญต่อหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนของไทยเนื่องจากต้องมีความร่วมมือและบูรณาการทรัพยากรอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอผลการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อระบบการผลิตข้าวของไทย และเสนอแนวทางในการปรับตัวเพื่อรองรับสภาพที่อาจจะเกิดในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจระบบผลิตพืชเชิงพื้นที่

CropDSS หรือ Crop Production Systems Decision Support System เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องส่วนบุคคล ระบบปฏิบัติการแบบ Windows XP หรือ Vista มีรายการและหน้าจอเป็นภาษาไทยและอังกฤษ (อรรถชัย 2552) ออกแบบให้เป็นโปรแกรมเชื่อมโยงฐานข้อมูลภูมิอากาศระดับสากลและภูมิภาคตามภาพอนาคตของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ SRES (IPCC, 2000) ปัจจุบันสามารถเชื่อมได้กับฐานข้อมูลภูมิอากาศจากแบบจำลอง ECHAM4 SRES scenarios A2, B2, และ A1B และมีกลไกในการเชื่อมโยงกับแบบจำลองพืชของโปรแกรม DSSATรุ่น 4.5 ซึ่งต้องการข้อมูลขั้นต่ำหรือ Minimum Data Set (MDS) ที่ต้องใช้งานเพื่อการคำนวณของแบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูลกาลอากาศ (Weather data) ข้อมูลพันธุกรรมพืช (Genetic characteristics) ข้อมูลดิน (Soil data) และข้อมูลการจัดการผลิตพืช

แผนที่กาลอากาศใช้ตารางของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4 (Roeckner, Arpe et al. 1996) ข้อมูลพันธุกรรมข้าวใช้ข้าว กข 7 ใช้แผนที่กลุ่มชุดดินและแผนที่แปลงปลูกข้าวของกรมพัฒนาที่ดิน

โปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีเกษตร

DSSATรุ่น 4.5 เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องส่วนบุคคล ทำงานบนระบบปฏิบัติการแบบ Windows XP หรือ Vista หรือ Windows 7 ออกแบบให้เป็นโปรแกรมเชื่อมโยงแบบจำลองพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืช เข้ากับฐานข้อมูลดิน ฐานข้อมูลกาลอากาศ ฐานข้อมูลพันธุกรรมพืช และฐานข้อมูลการจัดการผลิตพืช โปรแกรมรุ่น 4.5 มีแบบจำลองพืช 25 แบบจำลอง (Hoogenboom, Jones et al. 2003) แบบจำลองข้าว CERES-Rice เป็นหนึ่งในแบบจำลองกลุ่มธัญพืช เป็นแบบจำลองในกลุ่มที่เรียกว่าจำลองการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหลักในระบบการผลิตบนพื้นที่ฐานของกระบวนการทางกายภาพ-ชีวภาพ (Process-oriented model)

ช่วงเวลาศึกษาผลกระทบและการปรับตัว

ใช้ข้อมูลอากาศรายวันของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ECHAM4 (Roeckner, Arpe et al. 1996) ภายใต้ภาพอนาคตแบบ A2 ระหว่างปี ค.ศ. 1980-1989 เป็นปีฐาน และจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อการผลิตข้าวในช่วงปี ค.ศ. 1990-2099 โดยจำลองตามกรอบการผลิตพืช 3 ระดับการผลิต ได้แก่ 1) การผลิตข้าวขั้นสูงสุดซึ่งมีปัจจัยรังสีดวงอาทิตย์ ระดับอุณหภูมิอากาศและพันธุ์กรรมพืชเป็นตัวแปรกำหนดผลผลิตข้าว 2) การผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัดซึ่งมีปัจจัยน้ำในดินและในพืชเป็นตัวแปรกำหนดผลผลิตข้าวเพิ่มเติมจากการผลิตข้าวขั้นสูงสุด และ 3) การผลิตพืชที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดซึ่งมีปัจจัยไนโตรเจนในดินและในพืชเป็นตัวแปรกำหนดผลผลิตข้าวเพิ่มเติมจากการผลิตสองระดับแรก

ผล

ใช้แผนที่กลุ่มชุดดินและแผนที่ตารางภูมิอากาศของแบบจำลอง ECHAM ซ้อนทับกับแผนที่ปลูกข้าว ได้หน่วยแผนที่การจำลอง (Simulation Mapping Unit: SMU) ของพื้นที่การปลูกข้าวนาปีของประเทศไทยมีทั้งสิ้น 9,681 หน่วย

การเปรียบเทียบผลผลิตของระบบการผลิตข้าวและผลผลิตจากแบบจำลอง

ทำการเปรียบเทียบค่าผลผลิตข้าวในช่วงปี พ.ศ. 2523-2532 (ค.ศ. 1980-1989) เป็นข้อมูลจากการรายงานประจำปีของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ซึ่งมีระบบจัดเก็บจากระบบการผลิตข้าวจริง (Observed: OBS) และค่าที่แบบจำลองข้าวคำนวณได้ (Simulated: SIM) พบว่ามีค่าผลผลิตข้าวสูงสุด 3,422 และ 4,577 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ค่าผลผลิตข้าวต่ำสุด 1,179 และ 1,700 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าว 2,089 และ 2,885 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แบบจำลองคำนวณผลผลิตข้าวได้มากกว่าผลผลิตข้าวที่มีในรายงานซึ่งเป็นไปตามความคาดหมายและเป็นที่ยอมรับของผู้พัฒนาแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองข้าวไม่มี module เกี่ยวกับพลวัตของธาตุอาหารอื่นนอกเหนือจากไนโตรเจนและไม่มีพลวัตของโรคแมลงประกอบในการคำนวณ ผลผลิตข้าวมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 543 และ 533 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แสดงว่าค่าทั้งสองมีความเบี่ยงเบนใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามค่าทั้งสองมีค่าร้อยละความแปรปรวนของผลผลิตในช่วงเวลาดังกล่าวค่อนข้างแตกต่างกันเป็น 26 และ 19 ตามลำดับ แสดงว่าระบบการผลิตข้าวในฤดูนาปีของไทยมีความแตกต่างกันมาก พร้อมทั้งต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาแบบจำลองข้าวและแบบจำลองภูมิอากาศ ECHAM4 เพื่อเพิ่มความสามารถในการคำนวณผลผลิตที่แตกต่างได้

นอกจากนี้ โปรแกรม CropDSS สามารถคำนวณและแสดงผลค่าสถิติสามตัว (รูปที่ 2) เพื่อช่วยการเปรียบเทียบระหว่างค่า OBS และ SIM พบว่าค่า MAE เท่ากับ 796.5 และ ค่า RMSE เท่ากับ 808.0 แสดงว่าค่าความแตกต่างมีขนาดใกล้เคียงกัน และค่า D-stat ติดลบเท่ากับ -0.78 หมายความว่าแบบจำลอง overestimate ผลผลิตข้าว

สรุป แบบจำลองข้าว CERES-Rice ของโปรแกรม DSSAT สามารถใช้ประกอบการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวในประเทศไทยได้ และควรแบ่งการศึกษาให้ละเอียดเป็นเฉพาะระบบนิเวศน์ของแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย

การจำลองผลกระทบต่อผลผลิตข้าวในสามระดับการผลิต

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตข้าวในระดับขั้นสูงสุดโดยใช้แบบจำลองซึ่งสามารถนำมีปัจจัยรังสีดวงอาทิตย์ ระดับอุณหภูมิอากาศและพันธุ์กรรมพืชเป็นตัวแปรกำหนดผลผลิตข้าวในระหว่างปี ค.ศ. 1980-2029 พบว่าผลผลิตข้าวที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 1,000 กิโลกรัมต่อไร่เป็น 900 กิโลกรัมต่อไร่ (รูปที่ 3) และมีแนวโน้นมลดลงอย่างต่อเนื่องในอัตราที่มากกว่าหลังจากปี ค.ศ. 2030-2099 อาจจะมีผลกระทบจากระดับอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้นในช่วงดังกล่าว ควรทำการศึกษาเพิ่มเติม

การผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัดซึ่งมีปัจจัยน้ำในดินและในพืชเป็นตัวแปรกำหนดผลผลิตข้าวเพิ่มเติมจากการผลิตข้าวขั้นสูงสุด ผลผลิตข้าวได้รับผลกระทบในลักษณะเดียวกันกับผลิตข้าวในระดับขั้นสูงสุด แต่มีระดับผลผลิตน้อยกว่าประมาณร้อยละ 10 ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการจำลอง การผลิตพืชในระดับนี้ในสภาพจริงมีสภาพใกล้เคียงกับการผลิตในพื้นที่เขตชลประทานที่มีการให้น้ำตามความต้องการของพืชตลอดฤดูเพาะปลูกและมีการจัดการธาตุอาหารและโรคแมลงศัตรูข้าวอย่างดีเยี่ยม ข้าวมีพัฒนาการและการเติบโตตามศักยภาพของพันธุ์ข้าวที่ใช้เพาะปลูก อย่างไรก็ตาม พื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยอยู่ในเขตชลประทานร้อยละ 41 ควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาและการลงทุนระบบชลประทานสำหรับการยกระดับผลผลิตในพื้นที่นอกเขตชลประทาน

การจำลองผลกระทบการผลิตข้าวที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดซึ่งมีปัจจัยไนโตรเจนในดินและในพืชเป็นตัวแปรกำหนดผลผลิตข้าวเพิ่มเติมจากการผลิตสองระดับแรก และมีระดับผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองในระดับต่ำใกล้เคียงกับผลผลิตเฉลี่ยของประเทศ ตลอดระยะเวลาการจำลองพบว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ย 354 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่ (ไม่มีความชื้น) หากเติมน้ำหนักความชื้นเข้าไปร้อยละ 14 จะได้ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 404 กิโลกรัมน้ำหนักต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าผลผลิตที่มีการรายงานไว้เฉลี่ย 370 กิโลกรัมน้ำหนักต่อไร่ แบบจำลองคาดการณ์ผลผลิตมากกว่าจากรายงานร้อยละ 9 ซึ่งเป็นไปตามที่ได้คาดหมายไว้ว่าแบบจำลองต้องคำนวณผลผลิตได้มากกว่าผลผลิตที่ได้จากสภาพจริง เนื่องจากแบบจำลองไม่ได้นำปัจจัยการผลิตและการตัดสินใจเพื่อผลิตเข้าประกอบในแบบจำลองดังกล่าวทั้งหมด

การจำลองรูปแบบการปรับตัวของระบบการผลิตข้าว

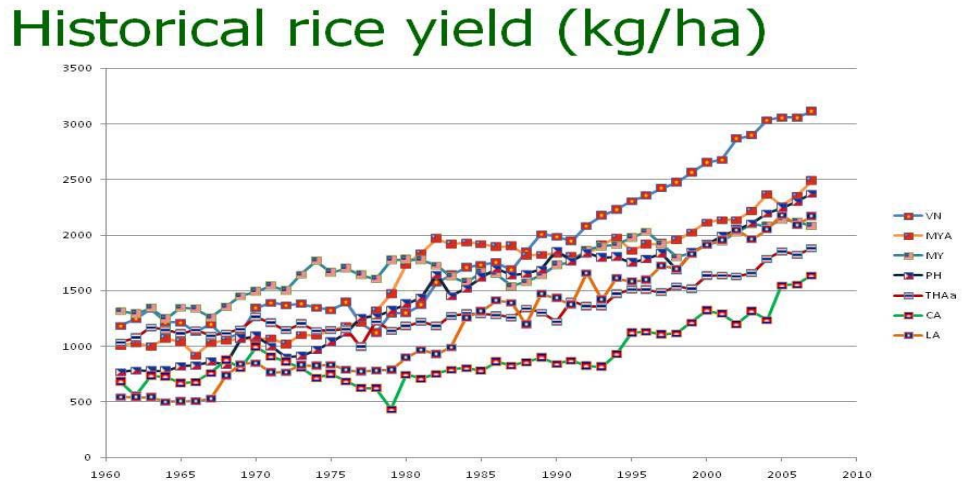
การปรับตัวต้องพิจารณาการจัดการอย่างเป็นระบบเพื่อการจัดการในระดับไร่นาได้ ในกรณีนี้ได้ใช้แบบจำลองศึกษาผลผลิตข้าวที่จะได้รับจากรูปแบบการปรับตัวการผลิตข้าว 5 รูปแบบ ในสภาพการผลิตที่มีน้ำและไนโตรเจนเป็นปัจจัยกำหนดผลผลิต และได้เปรียบเทียบกับระบบการผลิตข้าวตามระดับการผลิตสองระดับ (รูปที่ 4)

รูปแบบการผลิตข้าวโดยใช้ปุ๋ยยูเรียในอัตรา 10 หรือ 20 กิโลกรัมยูเรียต่อไร่ พบว่าตลอดระยะเวลาการจำลองผลผลิตข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 535.6 และ 694.0 กิโลกรัมข้าวแห้งต่อไร่ เพิ่มขึ้นร้อยละ 51 และ 96 ตามลำดับเมื่อเทียบการผลผลิตที่ได้รับจากการผลิตที่มีทั้งน้ำและไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดซึ่งเป็นไปตามที่คาดหวังไว้ อย่างไรก็ตามในระดับไร่นาต้องปฏิบัติการใส่ปุ๋ยยูเรียให้ได้ประสิทธิภาพมีการสูญเสียในรูปแบบต่าง ๆ ให้น้อยที่สุด การปรับตัวในรูปแบบการผลิตนี้ต้องมีการร่วมมือและการให้ความเข้าใจการจัดการปุ๋ยยูเรียในแปลงนาข้าวอย่างต่อเนื่องและเฉพาะพื้นที่ซึ่งมีตัวอย่างในพืชอื่นหลายพืช

รูปแบบการผลิตข้าวโดยใช้ซากพืชในอัตรา 200 หรือ 1,000 กรัมซากพืชแห้งต่อตารางเมตร พบว่าตลอดระยะเวลาการจำลองผลผลิตข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 464.9 และ 744.2 กิโลกรัมข้าวแห้งต่อไร่ เพิ่มขึ้นร้อยละ 31 และ 110 ตามลำดับเมื่อเทียบการ

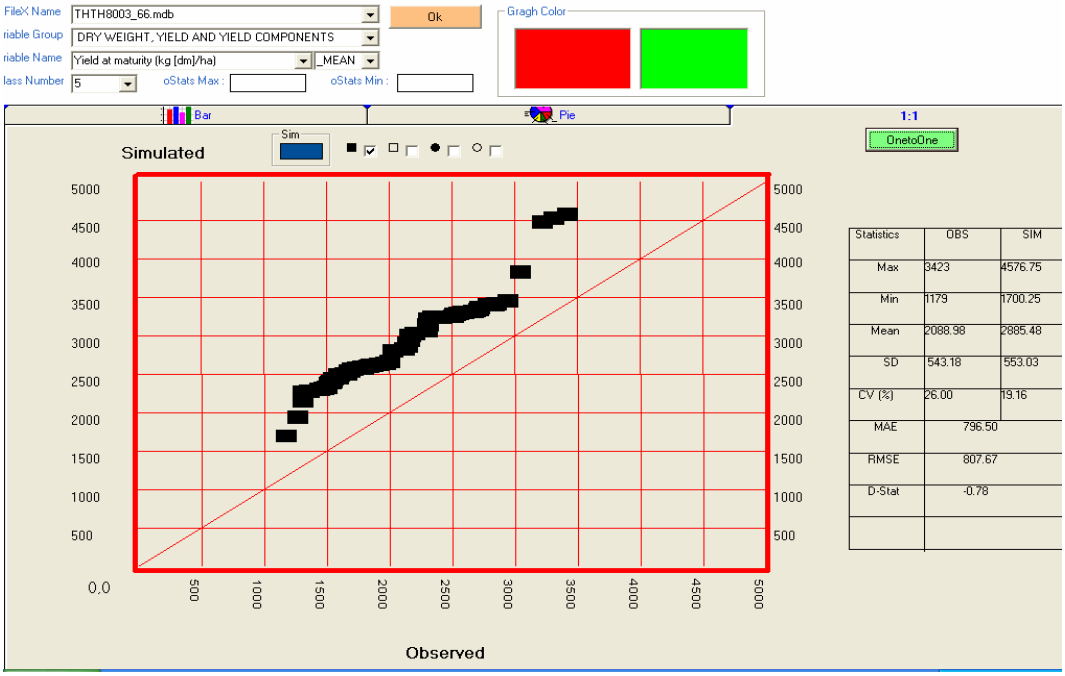
ผลผลิตที่ได้รับจากการผลิตที่มีทั้งน้ำและไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดซึ่งเป็นไปตามที่คาดหวังไว้ ในระดับไร่นาต้องมีการเตรียมการผลิตซากพืชให้ได้ตามที่ต้องการอย่างต่อเนื่องหลายสิบปีและมีการใส่ในแปลงนาตลอดจนมีการคลุกเคล้าให้เข้ากับดินอย่างสม่ำเสมอเพื่อการย่อยสะลายและการปลดปล่อยธาตุอาหารและสารอาหารที่จำเป็นต่อพืชและระบบนิเวศน์ในดิน การปรับตัวในรูปแบบการผลิตนี้ต้องมีการร่วมมือและการให้ความเข้าใจการจัดการผลิตซากพืชอย่างต่อเนื่องและการเลือกชนิดของพืชสดที่จะปลูกและผลิตเฉพาะพื้นที่ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

รูปแบบผสมผสานของการใช้ปุ๋ยยูเรียอัตรา 10 กิโลกรัมยูเรียต่อไร่ร่วมกับการใช้ซากพืชในอัตรา 100 กรัมแห้งต่อตารางเมตร พบว่าตลอดระยะเวลาการจำลองผลผลิตข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 713.4 กิโลกรัมข้าวแห้งต่อไร่ เพิ่มขึ้นร้อยละ 101 เมื่อเทียบการผลผลิตที่ได้รับจากการผลิตที่มีทั้งน้ำและไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด เป็นรูปแบบที่น่าสนใจสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่มีความสามารถในการผลิตพืชสดเพื่อให้ซากในอัตราที่เป็นไปได้และมีทุนเพียงพอที่จะสามรรถจัดหาปุ๋ยยูเรีย



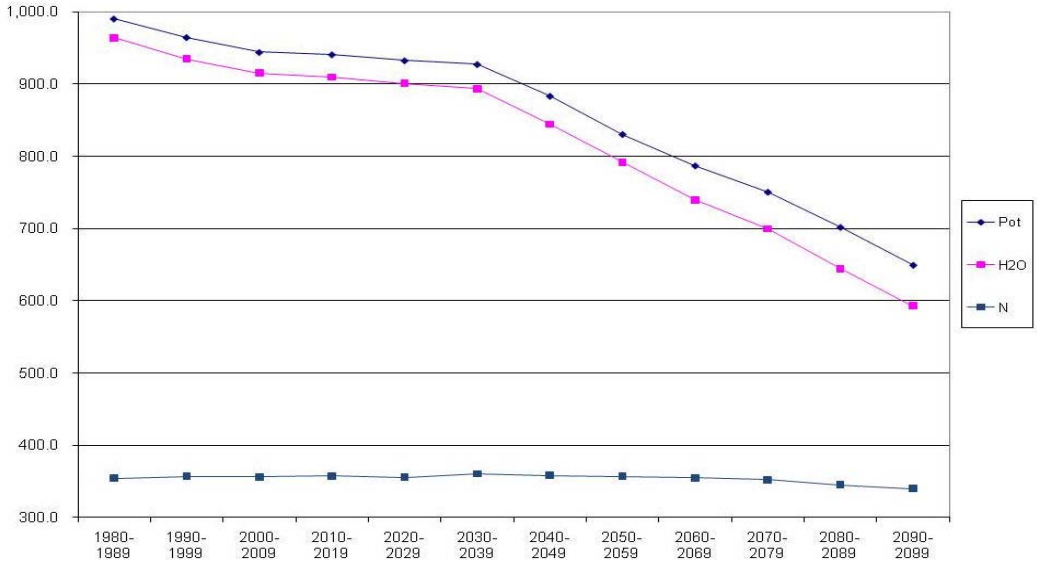
http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor

รูปที่ 1: การเปลี่ยนแปลงผลผลิตข้าวเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อเฮกแตร์) ของ ๗ ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

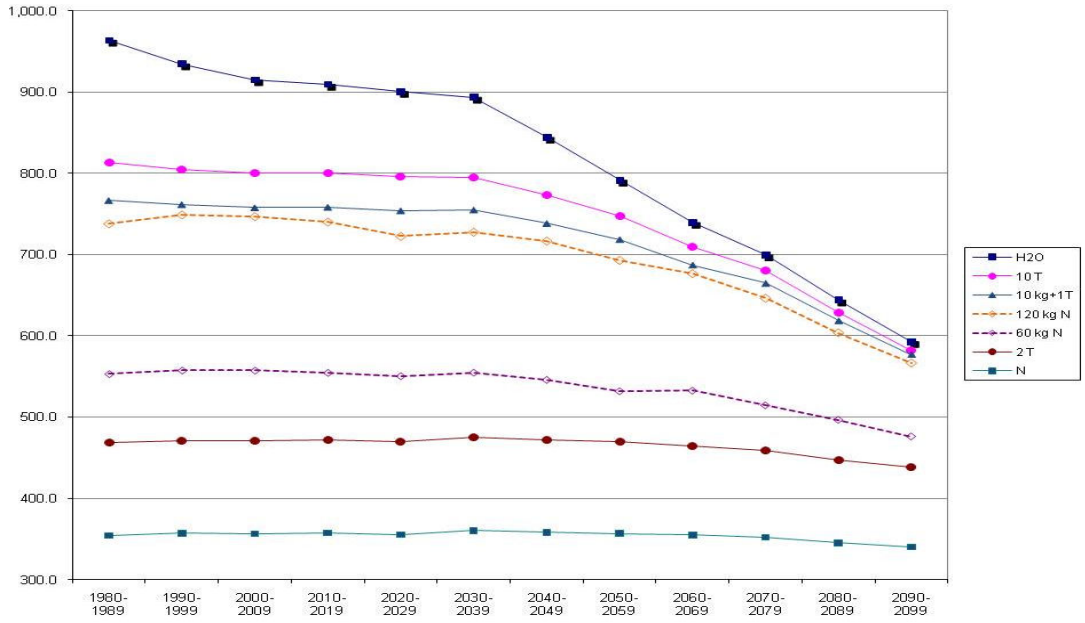


รูปที่ 2: เส้น 1:1 เปรียบเทียบผลผลิตข้าวเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อเฮกแตร์) ของ ๗๖ จังหวัดที่มีการรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและผลการคำนวณของแบบจำลองข้าว CERES-Rice ในระหว่างปี พ.ศ. 2523-2532 (ค.ศ. 1980-1989)

ที่มา: อรรถชัย 2552



รูปที่ 3: ผลกระทบต่อผลผลิตข้าวเฉลี่ย (น้ำหนักแห้งกิโลกรัมต่อไร่) ของระบบการผลิตทั้งสามในช่วง ค.ศ. 1980-2099 เฉลี่ยรายสิบปี



รูปที่ 4: ผลผลิตข้าวเฉลี่ย (น้ำหนักแห้งกิโลกรัมต่อไร่) ของระบบการผลิตข้าวตามรูปแบบการเพื่อการปรับตัว 5 รูปแบบ ในช่วง ค.ศ. 1980-2099 ผลผลิตเฉลี่ยรายสิบปี

สรุป

การใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและแบบจำลองข้าวในโปรแกรม CropDSS สามารถศึกษาผลกระทบที่อาจจะเกิดต่อระบบการผลิตข้าวไทยในช่วงเวลาระหว่างปี ค.ศ. 1980-2099 ได้ทั้งประเทศ ในรูปแบบการผลิตที่หลกาหลายและสามารถสะท้อนระบบการผลิตจริงได้ในระดับที่น่าพอใจ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกมีผลกระทบให้ผลผลิตข้าวลดลงโดยเฉพาะหลังปี ค.ศ. 2030 เป็นต้นไป การปรับตัวในระดับไร่นาทั้ง 5 รูปแบบเป็นการนำเสนอทางเลือกในการปรับตัว

ประเทศ ระบบการผลิตข้าวของไทยมีทางเลือกในการปรับตัวและมีเวลาเพียงพอในการเตรียมตัวเพื่อวางแผนและจัดสรรทรัพยากรให้พร้อมเพื่อรองรับสภาพภูมิอากาศโลกที่กำลังจะเปลี่ยนแปลงไป

คำนิยม

ขอขอบคุณผู้รู้ของกรมการข้าวซึ่งให้ความเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ข้อมูลดินได้รับการสนับสนุนจาก สำนักสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน และขอขอบคุณคณะผู้วิจัยจาก SEA START RC ที่ให้การสนับสนุนข้อมูล SRES A2 & B2 scenarios จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4

เอกสารอ้างอิง

Bachelet, D., D. Brown, et al. (1992). "Climate Change in Thailand and its Potential Impact on Rice Yield." Climatic Change **21**: 19.

Baker, J. T. and L. H. Allen, Jr. (1993). "Contrasting crop species response to CO2 and temperature: rice, soybean, and citrus." Vegetatio **104/105**: 239-260.

Hoogenboom, G., J. W. Jones, et al. (2003). Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0.Volume 1: Overview. Honolulu, HI., University of Hawaii.

Jearakongman, S., S. Rajatasereekul, et al. (1995). "Growth and grain yield of contrasting rice cultivars grown under different conditions of water availability." Field Crops Research **44**(2-3): 139-150.

Little, D. C., P. Surintaraseree, et al. (1996). "Fish culture in rainfed rice fields of northeast Thailand." Aquaculture **140**(4): 295-321.

Matthews, R. B., M. J. Kropff, et al. (1997). "Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation." Agricultural Systems **54**(3): 399-425.

Roeckner, E., K. Arpe, et al. (1996). The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. Hamburg, Germany, MPI-Report 218.

Wade, L. J., S. Fukai, et al. (1999). "Rainfed lowland rice: physical environment and cultivar requirements." Field Crops Research **64**(1-2): 3-12.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2553). "สถิติการเกษตร: การใช้ที่ดิน." from http://www.oae.go.th/download/article/article_20090417180213.html.

อรรถชัย, จินตะเวช. (2552). "ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อระบบการผลิตอาหาร." วารสารวิจัย มข. **14**(7): 589-600.