การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการประเมินผลผลิตของสายพันธุ์ถั่วลิสงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

Application of the CSM-CROPGRO-Peanut Model in Evaluating Yield Performances of Peanut Lines Under Different Environments

ปรเมศ บรรเทิง อารันต์ พัฒโนทัย และสนั่น จอกลอย

Poramate Banterng, Aran Patanothai and Sanun Jogloy

Abstract

Multi-location evaluation of breeding lines is a major activity in all crop breeding programs. This process is time consuming and expensive. Furthermore, it is not possible to evaluate the promising lines for the entire range of environments that correspond to local farmers' conditions. bThe capability of crop simulation models offer an opportunity for their utilization in the above process, which would reduced the time and resources required and consequently improve breeding efficiency. The objective of this research was to evaluate the potential of the CSM-CROPGRO-Peanut model in identifying superior peanut lines across a range of environments. A group of peanut breeding line consisting of 7 advanced breeding lines and three check cultivars were tested in multi-location yield trials in northeast and northern Thailand in 2004-2005, totaling 12 environments. The CSM-CROPGRO-Peanut model was used to simulate pod and biomass yields of all peanut lines in all environments in which they were tested. Simulated results were compared with the corresponding observed results from actual testing. In most environments, the model could identify the same 3-4 lines among the 5 top lines (top 50 %) for dry weight of pod, and 4-5 lines among the 5 top lines for total dry weight as those identified by experimentation. When means across environments were compared, good agreement was obtained between ranks of the top genotypes based on observed and simulated values. More importantly, all the 5 top lines for total dry weight and 4 out of the 5 top lines for dry weight of pod were identified by both experimentation and model simulation. These results indicated that the CSM-CROPGRO-Peanut model performed quite well in simulating relative mean performances across environments of peanut lines, and thus could be used in assisting the identification of superior peanut lines based on average performances across several environments.

Key words: peanut, CSM-CROPGRO-Peanut model, multi-location evaluation

---

ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น, 40002

Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

บทคัดย่อ

การประเมินสายพันธุ์ในหลายสถานที่ เป็นกิจกรรมหลักของโครงการปรับปรุงพันธุ์พืชทุกโครงการ กระบวนการนี้สิ้นเปลืองเวลามากและเสียค่าใช้จ่ายสูง ยิ่งไปกว่านั้น ยังเป็นไปไม่ได้ที่จะประเมินสายพันธุ์ต่างๆ เหล่านั้น ให้ครอบคลุมสภาพแวดล้อมทั้งหมดของการเพาะปลูกของเกษตรกรในแต่ละท้องที่ ความสามารถในการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช เปิดโอกาสให้นำแบบจำลองมาใช้ในกระบวนการข้างต้น ซึ่งจะช่วยลดเวลาและทรัพยากรและทำให้การปรับปรุงพันธุ์มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ เพื่อประเมินศักยภาพของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการจำแนกสายพันธุ์ถั่วลิสงที่ดีเด่น ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันรวม 12 สภาพแวดล้อม โดยทำการปลูกทดสอบพันธุ์ถั่วลิสงจำนวน 7 สายพันธุ์ และ 3 พันธุ์ตรวจสอบ ในหลายสถานที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทยช่วงปี พ.ศ. 2547-2548 รวม 12 สภาพแวดล้อม และใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ประมาณค่าผลผลิตฝักแห้งและน้ำหนักแห้งรวมของพันธุ์/สายพันธุ์ถั่วลิสง ในทุกสภาพแวดล้อมที่ทำการปลูกทดสอบและเปรียบเทียบผลพบว่า ในสถานที่ส่วนใหญ่ จากพันธุ์/สายพันธุ์ที่ดี 5 สายพันธุ์ (50 % แรก) แบบจำลองสามารถจำลองได้ตรงกับการทดลองจริง 3-4 พันธุ์/สายพันธุ์สำหรับน้ำหนักฝักแห้งและ 3-5 พันธุ์/สายพันธุ์สำหรับน้ำหนักแห้งรวม เมื่อพิจารณาลำดับของพันธุ์จากค่าเฉลี่ยจากทุกสภาพแวดล้อมพบว่า แบบจำลองสามารถจำลองลำดับของพันธุ์/สายพันธุ์ได้ดี โดยจำลองพันธุ์/สายพันธุ์ถั่วลิสงที่ให้ผลผลิตฝักแห้งสูงสุดตรงกับผลการทดสอบจริง 4 พันธุ์/สายพันธุ์ และจำลองพันธุ์/สายพันธุ์ถั่วลิสงที่ให้น้ำหนักแห้งรวมสูงสุดตรงกับผลการทดสอบจริงทั้ง 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut สามารถจำลองผลผลิตเฉลี่ยเชิงเปรียบเทียบของสายพันธุ์ถั่วลิสงได้ดี จึงสามารถนำไปใช้ช่วยในการจำแนกสายพันธุ์ถั่วลิสงที่ดีเด่นโดยยึดถือค่าเฉลี่ยของผลผลิตในหลายสถานที่ได้

คำสำคัญ: ถั่วลิสง แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut และ การประเมินผลผลิตในหลายสภาพแวดล้อม

บทนำ

การปลูกทดสอบพันธุ์ในหลายๆ สภาพแวดล้อม จัดได้ว่าเป็นกิจกรรมหลักของงานปรับปรุงพันธุ์พืช เนื่องจากจะต้องปลูกทดสอบในหลายฤดู และในสถานที่ที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาการปรับตัวและเสถียรภาพการให้ผลผลิตของแต่ละสายพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ดีเพื่อแนะนำให้กับเกษตรกร กระบวนการดังกล่าวค่อนข้างที่จะใช้เวลาและแรงงานเป็นจำนวนมาก อีกทั้งพบว่า ไม่สามารถ ที่จะทำการปลูกทดสอบพันธุ์ให้ครอบคลุมสภาพแวดล้อม ที่มีการเพาะปลูกจริง

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช โดยประมวลระบบการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความชื้นและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ภายใต้การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ (Penning de Vries et al., 1993) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวิจัยทางการเกษตร เช่น ใช้ในการประเมินความเสี่ยงในการผลิตภายใต้สภาพอากาศที่มีความแปรปรวน การประเมินผลผลิตของพืชในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันและการศึกษาหาระยะปลูกและการจัดการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร (Egli and Bruening, 1992; Meinke et al., 1993; Aggarwal and Kalra, 1994; Meinke and Hammer, 1995) นอกจากนี้แล้วยังมีแนวทางของการประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับงานปรับปรุงพันธุ์พืช เช่น การกำหนดลักษณะของพืชที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง (plant-type design) การทำความเข้าใจของการเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (G x E) และการจำลองผลผลิตของสายพันธุ์ในหลายสภาพแวดล้อมเพื่อการคัดเลือกพันธุ์ เป็นต้น (Aggarwal et al., 1995; White, 1998; White and Hoogenboom, 1996)

สำหรับการใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชเพื่อการคัดเลือกพันธุ์นั้น Palanisamy et al. (1993) ได้ทดสอบศักยภาพของแบบจำลองของข้าวชื่อ

MARCOS ในการคัดเลือกข้าวพันธุ์ดี ใน Tamil Danu ประเทศอินเดีย ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองจริงในแปลงทดลอง พบว่า แบบจำลองดังกล่าวสามารถคัดเลือกพันธุ์ข้าวได้ 2 สายพันธุ์ ใน 3 สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุด ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ Palanisamy et al. (1995) ที่ใช้แบบจำลอง ORYZA 1 จำลองผลผลิตของสายพันธุ์ข้าว ซึ่งพบว่า 3 สายพันธุ์แรกที่ให้ผลผลิตสูงสุดจากการจำลอง เป็น 3 สายพันธุ์แรกที่คัดเลือกได้จากการปลูกทดลองจริง ซึ่งการศึกษาทั้งสองนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการนำแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชมาช่วย ในการคัดเลือกพันธุ์พืช

แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการของถั่วลิสงและได้มีการนำแบบจำลองดังกล่าวไปทดสอบศักยภาพ เพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลาย (Boote et al., 1998; Hoogenboom et al., 2004) สำหรับการประเมินศักยภาพของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการจำลองการแสดงออกของถั่วลิสงภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันนั้น มีตัวอย่างงานวิจัยเพียง 2 เรื่อง โดยเรื่องแรกเป็นการศึกษาของ Banterng et al. (2003) ที่ทำการประเมินแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลจริงจากการปลูกทดสอบพันธุ์ถั่วลิสงกลุ่มเมล็ดโต (virginia type) 11 สายพันธุ์กับอีก 1 พันธุ์ตรวจสอบและกลุ่มเมล็ดเล็ก (spanish type) 11 สายพันธุ์กับอีก 3 พันธุ์ตรวจสอบ ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยและผลการประเมินพบว่าลำดับที่ของสายพันธุ์เรียงตามผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองจริงและจากการจำลองสถานการณ์ไม่เหมือนกัน อย่างไรก็ตามในถั่วลิสงกลุ่มเมล็ดโต 6 สายพันธุ์แรกที่ผลผลิตสูง ซึ่งคัดเลือกได้จากการทดลองจริง เป็น 6 สายพันธุ์แรกที่ประเมินได้ด้วยแบบจำลอง ส่วนถั่วลิสงกลุ่มเมล็ดเล็กพบว่า ทั้งผลที่ได้จากการทดลองจริงและผลที่ได้จากการจำลองสามารถคัดเลือกได้ตรงกัน 5 สายพันธุ์จาก 7 สายพันธุ์แรกที่ให้ผลผลิตสูงสุด และสำหรับเรื่องที่สอง Suriharn (2006) ได้ทำการประเมินแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลจริงจากการปลูกทดสอบพันธุ์ถั่วลิสง 17 พันธุ์/สายพันธุ์ ใน 11 สภาพแวดล้อม และผลการประเมินพบว่าใน 9 พันธุ์/สายพันธุ์แรกจากการปลูกทดสอบจริงที่ให้ผลผลิตสูงที่สุด แบบจำลองสามารถคัดเลือกได้ตรงกัน 6 พันธุ์/สายพันธุ์ ดังนั้น หลักฐานของการประเมินศักยภาพของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการจำลองการแสดงออกของถั่วลิสงภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันยังมีน้อย ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม และการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษา เพื่อยืนยันผลการทดลองของงานวิจัยทั้ง 2 เรื่องที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งหากพบว่าแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut มีศักยภาพในการจำลองผลผลิตและช่วยในการคัดเลือกพันธุ์ถั่วลิสงที่ปลูกทดสอบในสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ นักปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงอาจประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าว เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการคัดเลือกพันธุ์ ซึ่งจะช่วยลดทั้งเวลาและงบประมาณ ในการปลูกทดสอบจริงในแปลง อีกทั้งจะสามารถประเมินความสามารถในการให้ผลผลิตของสายพันธุ์เหล่านั้น ในหลายสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันมากยิ่งขึ้น ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการประเมินการแสดงออกของสายพันธุ์ถั่วลิสงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

วิธีการศึกษา

แบบจำลอง CSM- CROPGRO-Peanut เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มของนักวิจัยจากหลายสาขาวิชาในมหาวิทยาลัยฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา แบบจำลองดังกล่าวและแบบจำลองพืชอีกหลายชนิด เช่น แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น ได้ถูกบรรจุอยู่ในโปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT) (Hoogen boom et al., 1992,1994) โปรแกรม ดังกล่าว ประกอบไปด้วย ระบบการจัดการข้อมูล การวิเคราะห์ประมวล

ผลและส่วนของการแสดงผล ซึ่งการวิเคราะห์และประมวลผลของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ดำเนินการโดยอาศัยแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ (modeling and simulation) (IBSNAT, 1988)

แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ถูกพัฒนาขึ้นมาจากสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายการเจริญเติบโตของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์ที่ตอบสนองต่อ สภาพแวดล้อม เช่น สภาพฟ้าอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาพการจัดการที่แตกต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบหลักของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ประกอบด้วย สมการอธิบายพัฒนาการทางด้านการเจริญเติบโต (vegetative development) และพัฒนาการด้านการสืบพันธุ์ (reproductive development) สมการอธิบายสมดุลของคาร์บอน (carbon balance) สมดุลของไนโตรเจน (nitrogen balance) และสมการอธิบายสมดุลของน้ำ (water balance) (Hoogenboom et al., 1992)

แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ต้องการข้อมูลตัวป้อน เพื่อใช้ในการจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการของถั่วลิสงซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลแสดงคุณสมบัติของดิน ข้อมูลการจัดการและข้อมูลแสดงลักษณะจำเพาะของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์หรือสัมประสิทธิ์พันธุกรรม (Hoogenboom et al., 1992) และวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการประเมินการแสดงออกของถั่วลิสงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน โดยที่ส่วนแรก คือ การประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมสำหรับถั่วลิสง เพื่อใช้เป็นข้อมูลตัวป้อนในการจำลองสถานการณ์ ส่วนที่สองคือ การปลูกทดสอบพันธุ์ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลตัวป้อนที่นำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์และข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ของการนำแบบจำลองมาช่วยในงานคัดเลือกพันธุ์และส่วนที่สาม คือ การจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วลิสงด้วยแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดของการดำเนินการในแต่ละส่วน ดังนี้

1. การปลูกและการรวบรวมข้อมูล เพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรม

ปลูกถั่วลิสง 7 สายพันธุ์ และ 3 สายพันธุ์ตรวจสอบ ซึ่งได้มาจากโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Table 1) ที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นใน 2 วันปลูก คือวันที่ 25 มิ.ย. 2547 และ 3 ธ.ค. 2547 วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ โดยมีระยะปลูกเท่ากับ 50 x 20 เซนติเมตร และมีขนาดของแปลงย่อยเท่ากับ 5 x 3 ตารางเมตร

สำหรับการปลูก และการดูแลจัดการนั้น ทำการไถเตรียมแปลงก่อนปลูก 2-3 ครั้ง ซึ่งประกอบด้วยไถพลิกหน้าดิน 1 ครั้งและไถพรวน 1-2 ครั้ง ก่อนการไถครั้งสุดท้าย จะหว่านปูนขาวในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อปรับความเป็นกรด-ด่างของดิน ก่อนปลูกใช้สารป้องกันเชื้อรา (metalaxyl) คลุกเมล็ดอัตรา 5 กรัมต่อเมล็ดถั่วลิสง 1 กิโลกรัม หยอดเมล็ดจำนวน 3 เมล็ดต่อหลุมและพ่น alachlor อัตราส่วน 500 ซีซีต่อไร่ คลุมดินก่อนถั่วลิสงและวัชพืชจะงอกหลังจากถั่วลิสงงอกได้ประมาณ 10 วัน ถอนแยกให้เหลือเพียง 1 ต้นต่อหลุม ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อถั่วลิสงอายุได้ 15 วัน และใส่ยิบซัมอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนการสร้างฝักแรก กำจัดวัชพืชด้วยจอบก่อนการใส่ปุ๋ยและยิบซัม ใช้สารป้องกันและกำจัดโรคและแมลงสัปดาห์ละครั้ง ป้องกันกำจัดแมลงโดยใช้สารเคมี trizophos หรือ metomyl อัตรา 40-60 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร ป้องกันและควบคุมโรคใบจุดโดยใช้ benomyl อัตรา 6-12 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร และโรย carbofuran เพื่อป้องกันกำจัดแมลงในดิน อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ในช่วงที่ถั่วลิสงกำลังสร้างฝัก ให้น้ำด้วยระบบ sprinker ทุกสัปดาห์ เว้นแต่ในสัปดาห์ที่มีความชื้นเพียงพอ

รวบรวมข้อมูลสำหรับใช้ในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลดินก่อนการปลูก ข้อมูลการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ข้อมูลอากาศและข้อมูลการจัดการ สำหรับข้อมูลดินก่อนการปลูก บันทึกโดยเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูก ที่ระดับความลึก 0-15 15-30 30-45 45-60 60-75

75-90 และ 90-105 เซนติเมตร 2 จุด และนำไปหาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดิน ซึ่งประกอบด้วยสีของดิน ความสามารถในการระบายน้ำ ความหนาแน่น ของดิน (bulk density) คุณลักษณะของเนื้อดิน (เปอร์เซ็นต์ sand, silt และ clay) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ความเป็นกรดและด่างของดินและ CEC (cations exchange capacity) ของดิน นอกจากนี้ยังรวมถึงความชันของพื้นที่

Table 1 Peanut cultivars and lines used in this study.

No.	Cultivar/line
1.	(Luhua 11 x China 97-2) F6-11-4
2.	[(NC 17090 x B1) -25 x KK 60-3] F6-11-4
3.	(China 97-2 x KK 60-3) F6-7-1
4.	(China 97-2 x KK 60-3) F6-8-1
5.	(China 97-2 x KK 60-3) F6-9-1
6.	[(NC 17090 x B1) -9-1 x KK 60-3] F6-9-1
7.	(Luhua 11 x Singburi) F6-9-2
8.	KKU 72-1
9.	KK 60-3
10.	KKFC 4008-5

บันทึกข้อมูลด้านพัฒนาการของถั่วลิสง ซึ่งประกอบด้วย วันที่ถั่วลิสงงอก (VE) วันที่มีใบในข้อที่สี่เจริญเติบโตเต็มที่ (V4) วันที่มีดอกอย่างน้อย 1 ดอกต่อต้น (R1) วันที่มีเข็มอย่างน้อย 1 เข็มต่อต้น (R2) และวันที่ถั่วลิสงมีเมล็ดสุกแก่ 67-75 เปอร์เซ็นต์ต่อต้น (R8) โดยสังเกตพัฒนาการของถั่วลิสงทุกวันตั้งแต่วันปลูกจนถึงวันที่ถั่วลิสงมีการสร้างเข็มหลังจากนั้นจะสังเกตพัฒนาการของฝักโดยสุ่มต้นถั่วลิสง 4 ต้น ทุกๆ 3 วัน บันทึกวันที่ของแต่ละระยะพัฒนาการของฝักถั่วลิสงเมื่อมีอย่างน้อย 2 ต้นใน 4 ต้นที่ปรากฏในระยะดังกล่าว

สำหรับข้อมูลด้านการเจริญเติบโต เก็บตัวอย่างถั่วลิสง เพื่อวัดการสะสมน้ำหนักแห้ง โดยเก็บทุกๆ 10-12 วัน สุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ 0.5 ตารางเมตร หรือ 5 ต้น จากนั้นนำต้นถั่วลิสงทั้ง 5 ต้นมาแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยต้น ใบ และฝัก และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักแห้งคงที่ เพื่อชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

รวบรวมข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วยข้อมูลอากาศรายวันของพลังงานแสงอาทิตย์ (เมกาจูล/ตารางเมตร) อุณภูมิอากาศต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส) และปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ข้อมูลเหล่านี้ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ส่วนข้อมูลการดูแลจัดการประกอบด้วย วันปลูก ระยะปลูก ความลึกของการปลูก วันงอก ความหนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร วันที่และปริมาณการให้น้ำและปุ๋ยไนโตรเจนและวันเก็บเกี่ยว

ประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม โดยนำข้อมูลดินที่รวบรวมได้ทั้งหมดมาคำนวณค่าตัวแปรดินสำหรับแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม DSSAT ตามวิธีการที่อธิบายไว้โดย Tsuji et al. (1994) แบบจำลองจะใช้ค่าตัวแปรดินเหล่านี้เพื่ออธิบายคุณสมบัติของดินในแต่ละระดับความลึก ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่อิ่มตัว (saturated water content, SAT) ปริมาณน้ำสูงสุดที่มีการระบาย (drained upper limit of soil water

content, DUL) หรือความชื้นระดับสนาม (field capacity) และ ปริมาณน้ำต่ำสุดที่พืชนำไปใช้ (lower limit of plant extractable water, LL) หรือจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point) สำหรับคุณสมบัติดินที่ระดับผิวหน้าดิน ประกอบด้วย การระเหยและอัตราการระบายน้ำ การชะล้างและการใช้ธาตุอาหาร นอกจากนั้นแบบจำลองยังใช้ค่าความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility factor) เพื่ออธิบายความอุดมสมบูรณ์สำหรับทุกๆระดับความลึกดิน

แบบจำลอง CSM-CROPCRO-Peanut ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมเพื่ออธิบายการเจริญเติบโตและพัฒนาการของถั่วลิสงรวมทั้งหมด 15 ลักษณะ ดังแสดงไว้ใน Table 2 ทำการประเมินค่าดังกล่าวสำหรับถั่วลิสงทั้ง 7 สายพันธุ์ และ 3 พันธุ์ตรวจสอบตามวิธีการของ Hoogenboom et al. (1999) โดยเริ่มจากเตรียมข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมดจากทุกวันปลูก ให้อยู่ในฐานข้อมูลตัวป้อนตามข้อกำหนดมาตรฐานของแบบจำลอง จากนั้น กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมเริ่มต้นสำหรับถั่วลิสงทั้ง 7 สายพันธุ์ และ 3 พันธุ์ตรวจสอบ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของพันธุ์ NC 7 ซึ่งมีอยู่แล้วในแบบจำลอง เพราะเป็นพันธุ์ที่มีพันธุกรรมใกล้เคียงหรือคล้ายคลึงกับพันธุ์/สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจาก สายพันธุ์ถั่วลิสงที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ไม่ไวต่อช่วงแสง ดังนั้น จึงกำหนดให้ทุกสายพันธุ์มีค่า CSDL และ PPSEN เท่ากับ 11.84 และ 0.00 ตามลำดับ สำหรับการประเมินค่าตัวแปรอื่นๆ นั้น ทำการจำลองสถานการณ์ด้วยค่าสัมประสิทธ์ทางพันธุกรรมเริ่มต้นภายใต้เงื่อนไขของทั้ง 2 วันปลูก พร้อมทั้งปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมหลายๆครั้ง จนกระทั่งการเจริญเติบโตและพัฒนาการของถั่วลิสงที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ และจากการสังเกตจริงใน 2 วันปลูกมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด การปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมจะเริ่มปรับตัวแปรที่ใช้อธิบายพัฒนาการของถั่วลิสงก่อน จากนั้นจึงปรับค่าของตัวแปรที่ใช้อธิบายการเจริญเติบโตซึ่งค่าที่สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินสำหรับถั่วลิสง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แสดงไว้ใน Table 3

2. การปลูกทดสอบพันธุ์ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ปลูกทดสอบพันธุ์ถั่วลิสง 7 สายพันธุ์ และ 3 พันธุ์ตรวจสอบ ใน 12 สภาพแวดล้อม (Table 4) โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD 4 ซ้ำ กำหนดให้มีระยะห่างระหว่างแถวปลูกเท่ากับ 50 เซนติเมตร และมีระยะห่างระหว่างต้นเท่ากับ 20 เซนติเมตร และขนาดของแปลงปลูกจะแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ปลูก (Table 4) การดูแลรักษาสำหรับแปลงทดลองในคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 1 ส่วนงานทดลองในแปลงเกษตรกรจะแตกต่างกันการดูแลรักษาขึ้นอยู่กับการปฏิบัติของเกษตรกรแต่ละราย ทำการรวบรวมข้อมูลสำหรับใช้ในการจำลองสถานการณ์ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลดินก่อนการปลูก ข้อมูลอากาศ และข้อมูลการจัดการ โดยรายละเอียดของการเก็บข้อมูลเหล่านี้ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 1 นอกจากนั้นแล้วยังบันทึกข้อมูลผลผลิตฝักแห้งและน้ำแห้งรวมยกเว้นรากในระยะสุกแก่เก็บเกี่ยว โดยเก็บเกี่ยวถั่วลิสงเฉพาะแถวกลางของแต่ละแปลงย่อยไม่รวมหลุมแรกและสุดท้ายของแต่ละแถว

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) สำหรับข้อมูลผลผลิตฝักแห้งและน้ำหนักแห้งรวมของแต่ละสภาพแวดล้อม โดยใช้ model ของแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combine analysis of variance) สำหรับทั้ง 12 สภาพแวดล้อม นอกจากนั้นยังทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพันธุ์ โดยใช้ Duncan's New Multiple Range test (DMRT)

3. การจำลองการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วลิสงด้วยแบบจำลอง CSM-CROPGRO Peanut

จำลองการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วลิสงในทุกสภาพแวดล้อมที่มีการปลูกทดสอบพันธุ์ ด้วยแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลตัวป้อนในการจำลองสถานการณ์ ประกอบด้วยข้อมูลแสดงคุณสมบัติของพืชหรือค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์ นอกจากนั้นยังมีข้อมูลดิน ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลภูมิอากาศ ของแต่ละสภาพแวดล้อม

Table 2 Definition, symbol and unit for the genetics coefficients.

Definition	Symbol	Unit
1. Critical short day length below which reproductive development progresses with no daylength effect	CSDL	Hour
2. Slope of the relative response of development to photoperiod with time	PPSEN	1 per hour
3. Time between plant emergence and flower appearance (R1)	EMFL	Photothermal day
4. Time between first flower and first peg (R2)	FLSH	Photothermal day
5. Time between first flower and first seed (R5)	FLSD	Photothermal day
6. Time between first seed (R5) and physiological maturity (R7)	SDPM	Photothermal day
7. Time between first flower (R1) and end of leaf expansion	FLLF	Photothermal day
8. Seed filling duration for pod cohort at standard growth conditions	SFDUR	Photothermal day
9. Time required for cultivar to reach final pod load under optimal	PODUR	Photothermal day
10. Maximum leaf photosynthesis rate at 30 ^{o}C, 350 vpm CO_2, and high light	LFMAX	mg CO_2 /m^2/s
11. Specific leaf area of cultivar under standard growth conditions	SLAVR	cm^2 / g
12. Maximum size of full leaf (three leaflets)	SIZIF	cm^2
13. Maximum fraction of daily growth that is partitioned to seed + shell	WTPSD	g
14. Maximum weight per seed	SDPDV	no.
15. Average seed per pod under standard growing conditions	XERT	-

Table 3 Genetic coefficients of individual peanut cultivar and lines (see Tables 1 and 2 for entry and genetic coefficient descriptions, respectively).

Entry	EMFL	FLSH	FLSD	SDPM	FLLF	DFDUR	PODUR	LFMAX	SLAVR	SIZLF	XFRT	WTPS	SDPDV
	(Phototermal day)							(mg CO_2 /m^2/s)	(cm^2/g)	(cm^2)		(g)	(no. per pod)
1	20.5	7.9	17.7	52.7	70	37	21	1.37	265	20	0.93	0.89	1.66
2	21.0	7.9	17.6	57.5	76	32	20	1.36	269	20	0.93	0.94	1.53
3	21.5	8.1	21.0	53.0	70	33	32	1.25	258	20	0.85	0.805	1.68
4	20.5	8.1	21.0	53.6	77	35	32	1.29	270	20	0.90	0.805	1.74
5	21.5	8.1	20.9	54.0	73	34	31	1.26	256	20	0.93	0.81	1.75
6	21.5	8.2	22.0	54.5	83	26	33	1.37	269	20	0.92	0.79	1.78
7	21.5	8.1	24.0	53.0	78	31	30	1.27	265	20	0.90	0.82	1.77
8	21.8	7.7	22.0	56.0	84	33	33	1.34	268	20	0.91	0.82	1.73
9	21.0	8.0	20.3	58.5	85	38	30	1.36	270	20	0.94	1.00	1.65
10	21.5	8.1	20.4	54.5	80	34	28	1.39	260	20	0.92	1.10	1.80

Table 4 Location, plot size and planting date for each experiment.

No.	Location	Plot size (m^2)	Planting date
	Year 2003		
1.	Khon Kaen University	4x6.4	21 December
2.	Farmer's field in Khon Kaen	4x6.4	14 December
3.	Farmer's field in Udornthani	4x6.4	24 December
	Year 2004		
4.	Khon Kaen University	3x5	25 June
5.	Farmer's field in Khon Kaen	3x5	6 June
6.	Farmer's field in Chiang Mai	4x6.4	3 June
7.	Khon Kaen University	3x5	3 December
	Year 2005		
8.	Khon Kaen University (1)	3x5	20 May
9.	Khon Kaen University (2)	3x5	20 May
10.	Farmer's field in Khon Kaen	4x5	22 May
11.	Farmer's field in Lampang	3x5	25 May
12.	Farmer's field in Udornthani	3x5	12 June

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการทดสอบศักยภาพของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการจำลองการแสดงออกของถั่วลิสง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 12 สภาพแวดล้อม โดยนำผลที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงมาเปรียบเทียบพบว่า น้ำหนักแห้งรวม และน้ำหนักแห้งฝักของถั่วลิสง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงและที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ มีความแตกต่างกัน (Fig. 1) และพบความสัมพันธ์ (correlation, r) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างผลที่ได้จากการ จำลองสถานการณ์และผลที่ได้จากการปลูกทดสอบจริง โดยที่ค่าระดับความสัมพันธ์เท่ากับ 0.74 และ 0.72 สำหรับน้ำหนักแห้งรวมและน้ำหนักแห้งฝักตามลำดับ

น้ำหนักแห้งรวมที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงและที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีค่าตั้งแต่ 1,151-11,055 กก./เฮกตาร์ และ 2,720-9,785 กก./เฮกตาร์ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งฝักนั้นพบว่า ผลที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงมีค่าตั้งแต่ 434-4,312 กก./เฮกตาร์ และผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีค่าตั้งแต่ 1,108-3,812 กก./เฮกตาร์ สาเหตุของความแตกต่าง คือ ในสภาพการทดลองจริงมีการระบาดของโรคและแมลงในระหว่างฤดูปลูกและมีปัญหาเรื่องวัชพืชในบางพื้นที่ ในขณะที่แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ยังไม่สามารถที่จะจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการของถั่วลิสงที่ตอบสนองต่อโรคและแมลงและการแข่งขันกับวัชพืชได้ (Hoogenboom et al., 2004)

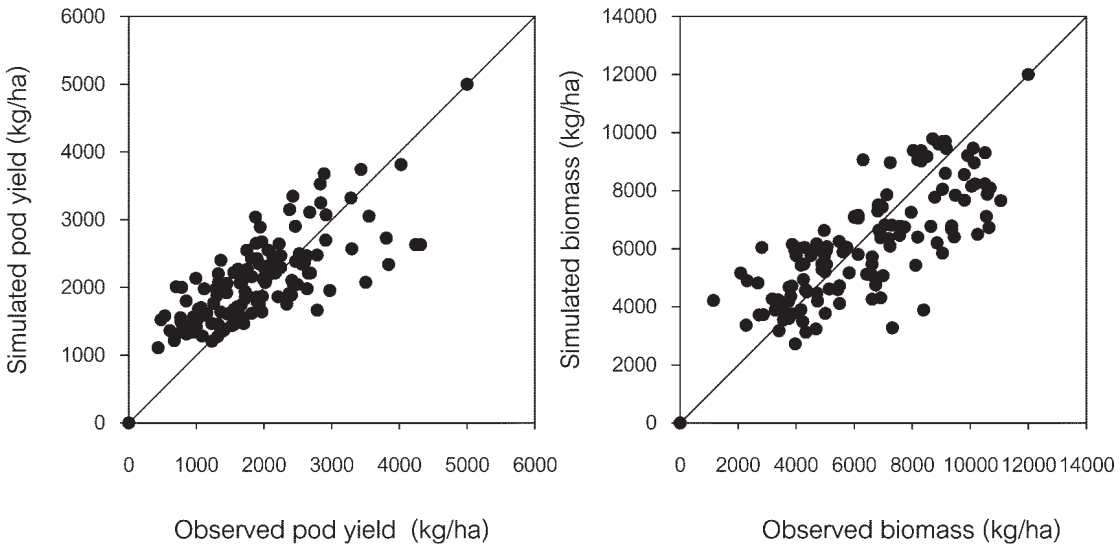

Fig. 1 Comparison between observed and simulated data for all peanut cultivars and lines and for all environments.

อย่างไรก็ตามในระบบของการปลูกเพื่อทดสอบพันธุ์ถั่วลิสง โดยทั่วไปนักปรับปรุงพันธุ์จะพิจารณาความดีเด่นของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์ โดยอาศัยการแสดงออกในเชิงเปรียบเทียบร่วมด้วย กล่าวคือ นักปรับปรุงพันธุ์จะทำการจัดลำดับการแสดงออกของพันธุ์และคัดเลือกกลุ่มพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีไว้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการประเมินศักยภาพของแบบจำลองในการจำลองการแสดงออกของถั่วลิสงทั้ง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ด้วย กล่าวคือ ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง กลุ่มพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีที่คัดเลือกได้จากการปลูกทดสอบจริงและที่คัดเลือกได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง ซึ่งผลของการศึกษาพบว่า ในสถานที่ส่วนใหญ่ จากพันธุ์/สายพันธุ์ที่ดี 5 สายพันธุ์ (50 % แรก) แบบจำลองสามารถจำลองได้ตรงกับการทดลองจริง 3-4 พันธุ์/สายพันธุ์สำหรับน้ำหนักแห้งฝักและ 3-5 พันธุ์/สายพันธุ์สำหรับน้ำหนักแห้งรวม (Table 5)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรวม ที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงสำหรับทั้ง 12 สภาพแวดล้อมพบว่า ถั่วลิสงแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์ให้น้ำหนักแห้งรวมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ (Table 6) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรวมที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และที่ได้จากการทดลองจริง พบว่า น้ำหนักแห้งรวมของถั่วลิงสง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงมีค่าตั้งแต่ 4,663-7,582 กก./เฮกตาร์ ในขณะที่น้ำหนักแห้งรวมที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีค่าตั้งแต่ 5,171-6,809 กก./เฮกตาร์ ผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและจากการจำลองสถานการณ์คิดเป็นร้อยละ 3.7-27.7 ของค่าที่ได้จากการทดลองจริง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาลำดับที่ของพันธุ์พบว่า 5 พันธุ์/สายพันธุ์แรกที่ให้น้ำหนักแห้งสูง ซึ่งคัดเลือกได้จากการทดลองจริง เป็น 5 พันธุ์/สายพันธุ์แรกที่ประเมินได้ด้วยแบบจำลอง (Table 6) ซึ่งประกอบด้วย [(NC 17090 x B1) -9-1 x KK 60-3] F6-9-1, KKU 72-1, KK 60-3, (Luhua 11 x Singburi) F6-9-2 และ KKFC 4008-5

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งฝัก ที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงสำหรับทั้ง 12 สภาพแวดล้อมพบว่า ถั่วลิสงแต่ละพันธุ์/

สายพันธุ์ให้น้ำหนักแห้งฝักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมัน 99 เปอร์เซ็นต์ (Table 6) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งฝักที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และที่ได้จากการทดลองจริงพบว่า น้ำหนักแห้งฝักของถั่วลิงสง 10 พันธุ์/สายพันธุ์ที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงมีค่าตั้งแต่ 1,578-2,222 กก./เฮกตาร์ ในขณะที่หนักแห้งฝักที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีค่าตั้งแต่ 1,648-2,641 กก./เฮกตาร์ ผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและจากการจำลองสถานการณ์คิดเป็นร้อยละ 2.1-34.0 ของค่าที่ได้จากการทดลองจริง หากพิจารณาลำดับที่ของพันธุ์ พบว่าแบบจำลองสามารถคัดเลือกพันธุ์/สายพันธุ์ถั่วลิสงได้ตรงกับการทดลองจริง 4 พันธุ์/สายพันธุ์ จาก 5 พันธุ์/สายพันธุ์แรกที่ให้น้ำหนักแห้งฝักสูง (Table 6) ซึ่งประกอบด้วย [(NC 17090 x B1) -25 x KK 60-3] F6-11-4, (Luhua 11 x China 97-2) F6-11-4, KK 60-3 และ KKFC 4008-5

ผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut สามารถจำลองผลผลิตเฉลี่ยเชิงเปรียบเทียบ และจำแนกพันธุ์/สายพันธุ์ถั่วลิสงที่มีการเจริญเติบดีและให้ผลผลิตสูงได้คล้ายคลึงกับผลที่ได้จากการทดลองจริง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Banterng et al. (2003) และ Suriharn (2006) ที่ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้ ดังนั้น แบบจำลองดังกล่าวจึงน่าจะเป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของนักปรับปรุงพันธุ์ในการจำแนกสายพันธุ์ถั่วลิสงที่ดี โดยอาศัยค่าเฉลี่ยของผลผลิตในหลายสถานที่ได้ อย่างไรก็ตาม ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เพื่อช่วยในการคัดเลือกพันธุ์ยังมีข้อจำกัดคือ ผู้ใช้จะต้องทำการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุ์กรรมของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์ เพื่อเป็นข้อมูลตัวป้อนให้กับแบบจำลอง ซึ่งในปัจจุบันวิธีการที่นิยมใช้ในการประเมินค่าดังกล่าวเป็นวิธีการที่ค่อนข้างยากและต้องอาศัยความชำนาญ ทั้งนี้ เนื่องจากต้องทำการทดลองปลูกพืชภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและเก็บรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชที่ค่อนข้างละเอียด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษา เพื่อหาวิธีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงที่ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ยังไม่สามารถจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสงภายใต้สภาพที่โรคและแมลงและวัชพืชเป็นปัจจัยจำกัด ซึ่งจำเป็นต้องมีการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อเพิ่มศักยภาพในการจำลองสถานการณ์ให้มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยประเภทอุดหนุนทั่วไป ปีงบประมาณ พ.ศ. 2548 มหาวิทยาลัยขอนแก่นและศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นและขอขอบคุณ คุณวิลาวรรณ ตุลา คุณประกอบกิจ ดังไธสง และคุณจักรัตน์ อโณทัย ที่ช่วยรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

Table 5 Number of cultivars and lines in the top 50 % that were identified by both observed and simulated pod and biomass yields at each location.

No.	Location	Number of lines out of 5 cultivars/lines	
		Pod yield	Biomass
	Year 2003		
1.	Khon Kaen University	3	5
2.	Farmer's field in Khon Kaen	4	5
3.	Farmer's field in Udornthani	4	4
	Year 2004		
4.	Khon Kaen University	2	4
5.	Farmer's field in Khon Kaen	4	5
6.	Farmer's field in Chiang Mai	3	4
7.	Khon Kaen University	3	3
	Year 2005		
8.	Khon Kaen University (1)	3	3
9.	Khon Kaen University (2)	3	4
10.	Farmer's field in Khon Kaen	2	4
11.	Farmer's field in Lampang	4	4
12.	Farmer's field in Udornthani	3	3

Table 6 Means and Ranks for pod yield and biomass based on observed (O) and simulated (S) data (see Table 1 for entry description).

Biomass (kg/ha)						Pod yield (kg/ha)					
Entry no.	**S**	**Rank, S**	**O**	**Rank, O**	**(S-O)x100/O**	**Entry no.**	**S**	**Rank, S**	**O**	**Rank, O**	**(S-O)x100/O**
6	6,809	1	7,301 ab	2	-6.74	2	2,641	1	2,222 a	1	18.85
8	6,771	2	7,582 a	1	-10.70	1	2,463	2	2,130 ab	3	15.58
9	6,622	3	6,879 b	5	-3.74	9	2,427	3	1,811a-d	5	34.00
7	6,350	4	7,182 ab	4	-11.60	10	2,212	4	2,166 a	2	2.10
10	6,083	5	7,236 ab	3	-15.93	8	1,938	5	1,719 bcd	8	12.68
4	6,067	6	5,062 d	9	19.85	5	1,887	6	1,747 cd	6	7.97
3	5,955	7	4,663 d	10	27.71	7	1,866	7	1,974 abc	4	-5.52
5	5,890	8	5,618 c	8	4.83	4	1,852	8	1,723 cde	7	7.47
2	5,713	9	6,623 b	6	-13.74	6	1,669	9	1,578 de	10	5.76
1	5,171	10	5,827 c	7	-11.26	3	1,648	10	1,588 e	9	3.75
Mean	6,143.23		6,397.72		-3.98		2,060.30		1,866.32		10.39
F-test			**						**		
C.V. (%)			18.17						27.94		

** significant at the P<0.01 level

Value in column followed by the same letter are not significantly different at p<0.01

เอกสารอ้างอิง

Aggarwal, P.K. and N. Kalra. 1994. Analyzing the limitation set by climatic factors, genotype, and water and nitrogen availability on productivity of wheat : II. Climatically potential yields and management strategies. Field Crops Res. 36 :161-166.

Aggarwal, P.K., R.B. Matthews and M.J. Kropff. 1995. Opportunities for the application of systems approaches in plant breeding. *In* P.K. Aggarwal, R.B. Matthews, M.J. Kropff and H.H. van Laar (Eds). SARP Research Proceeding, pp. 135-144. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Banterng, P., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy and G. Hoogenboom. 2003. Applicability of the CROPGRO-Peanut model in assisting multi-location evaluation of peanut breeding lines. Thai J. Agric. Sci. 37(7): 407-418.

Boote, K.J. , J.W. Jones and G. Hoogenboom. 1998. Simulation of crop growth : CROPGRO MODEL. *In* R.M. Peart and R.B. Curry (Eds). Agricultural Systems Modeling and Simulation, pp. 651-692. Marcel Dekker, Inc., New York.

Egli, D.B. and W. Bruening. 1992. Planting date and soybean yield : evaluation of environmental effect with a crop simulation model : SOYGRO. Agric. For . Meteorol. 62:19-29.

Hoogenboom, G., J.W. Jones and K. J. Boote. 1992. Modelling growth development and yield of grian legumes using SOYGRO PNUTGRO and BEANGRO : a review. Transaction of the ASEA. 35 :2043-2056.

Hoogenboom, G., P.W. Wilkens and G.Y. Tsuji (Eds). 1999. DSSAT version 3, volume 4. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Hoogenboom, G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, K.J. Boote, U. Singh, O. Uryasev, W.T. Bowen, A.J. Gijsman, A.S. Du Toit, J.W. White and G.Y. Tsuji. 2004. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Internation Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer Project. 1988. Decision Support System for Agrotechnology Transfer version 2.1 (DSSAT V2.1). Dept. Agronomy and soil Sci.; College of Trop. Agr. And Human Resource, University of Hawaii, Honolulu.

Meinke,H., G.L. Hammer and S.C. Chapman. 1993. A sunflower simulation model. II. Simulating production risks in a variable subtropical environment. Agron. J. 85: 735-742.

Meinke, H. and G.L. Hammer. 1995. A Peanut simulation model : II. Assessing regional production potential. Agron. J. 87: 1093-1099.

Palanisamy, S., F.W.T. Penning de Vries, S. Mohandass, T.M. Thiyagarajan and A.A. Kareem. 1993. Simulation in pre-testing of rice genotypes in Tamil Danu. In F.T.W. Penning de Vries, P.S. Teng and K. Metselaar (Eds). Systems Approaches for Agricultural Development, pp. 63-75.

Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherland.

Palanisamy, S., P.K. Aggarwal, T.M. Thiyagarajan and T.B. Ranganathan. 1995. Simulating yields and ranking of rice genotype in multi-location trials. In P.K. Aggarwal, R.B. Matthews, M.J. Kropff and H.H. van Laar (Eds). SARP Research Proceeding, pp. 91-95. International Rice Research Institue, Los Banos, Philipines.

Penning de Vries, F., P. Teng and K. Metselaar (Eds) 1993. Systems Approaches for Agricultural Development. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Suriharn B. 2006. Application of the CSM-CROPGRO-Peanut Model in Assisting Multi-location Evaluation of Peanut Breeding Lines and Designing Peanut Ideotype for a target Environment. Ph.D. thesis Khon Kaen University, Thailand.

Tsuji, G.Y., G. Uehara and S. Balas (Eds). 1994. DSSAT Version 3, Volumes 1, 2 and 3. University of Hawaii, G., Honolulu, Hawaii.

White, J.W. 1998. Modeling and crop improvement. In: G.Y Tsuji, G. Hoogenboom, P.K. Thornton, (Eds). Understanding Options for Agricultural Production. pp. 179-188. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

White, J.W. and G. Hoogenboom. 1996. Simulating effects of genes for physiological traits in a process-oriented crop model. Agron. J. 88:416-422.