

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองสิ้นสุดปี 2560

1. แผนงานวิจัย วิจัยและพัฒนาพันธุ์และเทคโนโลยีการผลิตถั่วลิสง
2. โครงการวิจัย วิจัยและพัฒนาพันธุ์และเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตถั่วลิสง
กิจกรรม การวิจัยและพัฒนาพันธุ์
กิจกรรมย่อย -
3. ชื่อการทดลอง ศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงสายพันธุ์ดีเด่น ชุดที่ 1
ชื่อการทดลอง Study on Genetic Coefficient of Peanut Promising Lines: Group 1
4. คณะผู้ดำเนินงาน
หัวหน้าการทดลอง วรยุทธ ศิริชุมพันธ์
ผู้ร่วมงาน มณี ทาชานนท์
ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน

5. บทคัดย่อ

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของถั่วลิสงสายพันธุ์ดีเด่น ชุดที่ 1 มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพัฒนาการ การเจริญเติบโต และค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงสายพันธุ์ดีเด่น ชุดที่ 1 ประกอบด้วย 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ได้แก่ KK 4915-2 KK 4920-15 KKFCRC 49-06-7-1 ขอนแก่น 5 ขอนแก่น 84-7 และ ขอนแก่น ดำเนินการทดลองทั้งฤดูแล้ง และฤดูฝน ระหว่างปี 2558-2560 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น บันทึกข้อมูลพัฒนาการและการเจริญเติบโตของถั่วลิสง คุณสมบัติทางเคมีของดิน สภาพภูมิอากาศ และการจัดการ จากแปลงฤดูแล้งปี 2559 และฤดูฝนปี 2559 2 ฤดู แล้วนำมาประมาณค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของถั่วลิสง และปรับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมแต่ละสายพันธุ์ (Model calibration) จนได้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมที่สามารถให้ค่าทำนายลักษณะต่างๆใกล้เคียงกับค่าสังเกต จากนั้นทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรม (Model validation) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมดังกล่าวทำนายลักษณะต่างๆของถั่วลิสงทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ในวันปลูกอื่น คือ แปลงปลูกฤดูแล้งปี 2560 และฤดูฝนปี 2560 แล้วเปรียบเทียบค่าจำลองกับค่าสังเกตที่ได้จากแปลงทดลอง ผลการทดลองพบว่า ลักษณะด้านพัฒนาการ และด้านการเจริญเติบโตของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ มีค่าแตกต่างกันระหว่างพันธุ์และฤดูปลูก โดยฤดูแล้งจะมีระยะการพัฒนาต่างๆยาวกว่าในฤดูฝน แต่ฤดูฝนจะมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าฤดูแล้ง ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมที่ได้ให้ค่าจำลองของลักษณะด้านพัฒนาการ และการเจริญเติบโตถั่วลิสงใกล้เคียงกับค่าสังเกตที่ได้จากแปลงทดลอง จะมีถั่วลิสงบางสายพันธุ์และบางลักษณะที่ค่าจำลองกับค่าสังเกตแตกต่างกัน

ส่วนผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม จากแปลงทดลองฤดูแล้งปี 2560 และฤดูฝนปี 2560 2 ฤดู พบว่า สามารถทำนายลักษณะด้านพัฒนาการ และการเจริญเติบโตของถั่วลิสงได้ระดับพอใช้เมื่อเทียบกับแปลงทดสอบ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการทดสอบการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมในแบบจำลองในสภาพแวดล้อมต่างๆที่กว้างขวาง และไม่มีปัญหาเครื่องมือทางด้านอุตุนิยมนิยมนา เพื่อพัฒนาให้สามารถใช้ประเมินผลผลิตของแต่ละพันธุ์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงยิ่งขึ้น

จากการทดลองทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของพันธุ์ถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ใช้ใน
แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เบื้องต้น

คำสำคัญ : ถั่วลิสง และค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม

รหัสการทดลอง 01-17-59-01-02-00-01-59

Abstract

The objective of this research was to investigate plant development and growth characteristics and genetic coefficients of peanut promising lines : group 1. Treatments consisted six lines/varieties, KK 4915-2, KK 4920-15, KKFCRC 49-06-7-1, KhonKaen 5, KhonKaen 84-7 and KhonKaen. This experiment was conducted at Khon Kaen Field Crops Research Center in dry and rainy seasons during 2015-2017. Collected plant development and growth characteristics, soil characteristics, weather and management from two seasons, dry season 2016 and rainy season 2016 to use for model calibration to determine genetic coefficients of each promising lines. Adjusted the genetic coefficients until good agreements were obtained between simulated and observed values. Thereafter, model validation was done by using genetic coefficients of six peanut lines/varieties in different environments, dry season 2017 and rainy season 2017 for comparing simulated values with observed values.

Results of model calibration showed that six peanut lines/varieties had different plant development and growth depend on variety and season. Plant development in dry season was more than in rainy season. But in rainy season, the growth of peanut was more rapidly than in dry season. Good agreements were obtained between simulated and observed values by using those genetic coefficients. But different results was obtained with some lines and some characteristics.

Model validation by using data from dry season 2017 and rainy season 2017 showed moderately agreements between simulated and observed values by using genetic coefficients from model calibration, so those genetic coefficients will be improved before using. This research obtained genetic coefficients of six peanut lines/varieties for applications of the CSM-CROPGRO-Peanut model.

Keywords : Peanut and Genetic Coefficient

6. คำนำ

ปัญหาสำคัญในการผลิตถั่วลิสงในประเทศไทย คือ ผลผลิตและคุณภาพต่ำ ตลอดจนต้นทุนการผลิตสูง โดยเฉพาะพันธุ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิจัยหาพันธุ์ถั่วลิสงที่ให้ผลผลิตสูง และเหมาะสมกับพื้นที่ อย่างไรก็ตามเนื่องจากลักษณะที่แสดงออกของพันธุ์ถั่วลิสง โดยเฉพาะผลผลิตจะแตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อม การที่จะแนะนำพันธุ์ใหม่ว่าควรจะปลูกในพื้นที่หรือสภาพแวดล้อมใดนั้น จำเป็นต้องมีการวิจัยในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งไม่สามารถดำเนินการได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากข้อจำกัดงบประมาณและเวลาในการทำการวิจัยเป็นอันมาก

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช (Crop Growth Model) ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ในการประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตพืชแต่ละสภาพแวดล้อม เช่น ข้าว (Richie *et al.*, 1986) ถั่วเหลือง (Wilkinson *et al.*, 1983) มันสำปะหลัง (Matthew and Hunt, 1994) และ ถั่วลิสง (Boote *et al.*, 1998; Hoogenboom *et al.*, 1994) เป็นต้น โดยทั่วไปการประเมินศักยภาพในการให้ผลผลิตพืชโดยใช้แบบจำลอง ต้องอาศัยข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (Genetic coefficient ; GC) ข้อมูลดิน (Soil data) ข้อมูลภูมิอากาศ (Weather data) และข้อมูลการจัดการพืช (Plant practice) เป็นข้อมูลนำเข้าที่ทำงานภายใต้โปรแกรม DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology) ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืชเป็นค่าระหว่างพันธุกรรมพืชและสภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโต ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ค่าสัมประสิทธิ์พัฒนาการ (Phenology coefficient) ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิในแต่ละช่วงพัฒนาการของพืชตั้งแต่ปลูกจนเก็บเกี่ยว และค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของพืช (Growth coefficient) ที่แสดงอัตราการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นข้อมูลกำหนดความแตกต่างระหว่างพันธุกรรมที่สามารถนำไปใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโต และคาดคะเนผลผลิตถั่วลิสงในระบบจริงได้

แต่ในแบบจำลองถั่วลิสง (CSM-CROPGRO-Peanut) ยังไม่มีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ดีเด่น KK 4915-2 KK 4920-15 KKFCRC 49-06-7-1 ขอนแก่น 5 ขอนแก่น 84-7 และขอนแก่น ดังนั้นจึงได้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ เพื่อใช้ในแบบจำลองดังกล่าว

7. วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1. ถั่วลิสงสายพันธุ์ดีเด่น 6 สายพันธุ์/พันธุ์ คือ KK 4915-2 KK 4920-15 KKFCRC 49-06-7-1 ขอนแก่น 5 ขอนแก่น 84-7 และขอนแก่น
2. ปุ๋ยเคมีเกรด 12-24-12 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่
3. ยิบซัมอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่
4. สารเคมีกำจัดวัชพืช
5. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคถั่วลิสงตามคำแนะนำของกองโรคพืชและจุลชีววิทยา
6. สารฆ่าแมลงศัตรูถั่วลิสงตามคำแนะนำของกองกีฏและสัตววิทยา
7. ตู้อบตัวอย่างพืช
8. เครื่องคอมพิวเตอร์

วิธีการทดลอง

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของถั่วลิสงสายพันธุ์ก้าวหน้าชุดที่ 1 ประกอบด้วย

1) ศึกษาพัฒนาการ และการเจริญเติบโตของถั่วลิสง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย ถั่วลิสงสายพันธุ์/พันธุ์ KK 4915-2 KK 4920-15 KKFCRC 49-06-7-1 ขอนแก่น 5 ขอนแก่น 84-7 และ

ขอนแก่น โดยใช้ระยะปลูก 50x20 เซนติเมตร หลุมละ 2 ต้น ก่อนปลูกคลุกเมล็ดด้วยสารเคมีป้องกันเชื้อราคาร์บ็อกซิน หลังปลูกทำการพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืชเมโทลาคลอร์ อัตรา 150 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร หลังถั่วลิสงออก 1 สัปดาห์ ทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น และใช้สารเคมีฟิโพรนิลฟนป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟพาหนะโรคยอตไหม้ และเมื่ออายุ 15-20 วัน ทำการกำจัดวัชพืชแล้วใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 12-24-12 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ กำจัดวัชพืชครั้งที่ 2 ที่อายุ 35-40 วัน แล้วโรยยับยั้งบนต้นถั่วลิสงในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ การปลูกในฤดูแล้งมีการให้น้ำชลประทานทุกสัปดาห์ ส่วนการปลูกในฤดูฝนให้น้ำชลประทานในระยะที่มีฝนทิ้งช่วง

การบันทึกข้อมูล

1. ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อม

1.1 คุณสมบัติของดิน เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูก ที่ระดับความลึก 0-25 25-50 50-75 และ 75-100 เซนติเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรท ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ นำข้อมูลที่ได้ไปใส่ในแฟ้มข้อมูลการจัดการในโปรแกรม DSSAT และข้อมูลอีกส่วนหนึ่ง เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติทางฟิสิกส์ของดินแต่ละชุดดินของกรมพัฒนาที่ดินและจากการวิเคราะห์ดิน โดยมีรหัสประจำของแต่ละชุดดินอยู่ในแฟ้มข้อมูล SOIL.SOL

1.2 สภาพภูมิอากาศ ข้อมูลภูมิอากาศเกษตร ได้จากเครื่องบันทึกสภาพอากาศกึ่งอัตโนมัติของศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในรอบวัน และนำข้อมูลที่ได้ตลอดช่วงการทดลองไปสร้างแฟ้มข้อมูลภูมิอากาศ (WTH)

1.3 ข้อมูลด้านการจัดการ เป็นแฟ้มข้อมูลที่ระบุถึงการจัดการด้านต่างๆในการทดลอง ได้แก่ ชื่อพันธุ์/สายพันธุ์ วันปลูก ระยะปลูก ความหนาแน่นของประชากรต่อตารางเมตร สูตร เวลา และอัตราการใส่ปุ๋ย ปริมาณการให้น้ำ วันเก็บเกี่ยว

2. ข้อมูลด้านพืช ทำการแบ่งพื้นที่แปลงย่อยออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

2.1 บันทึกข้อมูลพัฒนาการของถั่วลิสง ได้แก่ วันปลูก วันงอก วันที่ปรากฏระยะพัฒนาการต่างๆ คือ VE และ R1-R8 (สุกัญญา, 2547)

VE = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีใบแรกโผล่พ้นดิน

R 1 = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีอย่างน้อย 1 ดอกต่อต้น

R 2 = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีอย่างน้อย 1 เข็มต่อต้น

R 3 = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีฝักแรกมีขนาดเป็น 2 เท่าของเข็ม

R 4 = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีฝักแรกเจริญเติบโตเต็มที่

R 5 = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีฝักแรกมีการเริ่มสร้างเมล็ด

R 6 = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีฝักแรกมีเมล็ดเจริญเติบโตเต็มที่

R 7 = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีฝักแรกสุกแก่เต็มที่

R 8 = วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีเมล็ดสุกแก่ 67-70 เปอร์เซ็นต์

การประเมินวันที่ถึงระยะพัฒนาการที่กำหนด สำหรับระยะ VE - R 1 ใช้นับหรือวิธีสังเกตต้นถั่วลิสง
ทั้งแปลง ส่วนระยะ R 2 - R 8 ใช้วิธีถอนต้นถั่วจากแถวริม 5 ต้นต่อแปลงย่อย ทุก 3 วัน

2.2 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของถั่วลิสง เก็บตัวอย่างถั่วลิสง 5 ต้นต่อแปลงย่อย ที่ระยะ V 4
(วันที่ร้อยละ 50 ของพืชในแต่ละแปลงย่อยที่มีใบเจริญเติบโตเต็มที่ 4 ใบ) R 4 R 6 R 7 และ R 8 และนำ
ตัวอย่างพืชเฉพาะส่วนเหนือดินแต่ละต้นมาแยกเป็นส่วนลำต้น ใบ ฝักอ่อน ฝักเต็ม และ ฝักแก่ นำเข้าตูบที่
อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจนแห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน แล้วนำฝักแห้งมากะเทาะเปลือก
ชั่งน้ำหนักเมล็ด และนับจำนวนเมล็ด ทำการสุ่มใบนำไปหาพื้นที่ใบโดยวิธี coring method คือ ใช้ที่เจาะรูที่รู้
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เจาะใบถั่วลิสงสดจำนวน 40 รู จากนั้นนำใบทั้งหมดไปอบเช่นเดียวกับส่วนต่างๆ จน
แห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักใบแห้ง และสามารถนำไปคำนวณหาพื้นที่ใบด้วย

2.3 เก็บเกี่ยวผลผลิตในพื้นที่ 3x5 ตารางเมตร แล้วบันทึกข้อมูล จำนวนต้น น้ำหนักฝัก เมล็ด และ
ข้อมูลองค์ประกอบของผลผลิต ตามโครงสร้างของโปรแกรม DSSAT

2) การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ถั่วลิสง

ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมเป็นปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช
ประกอบด้วย ค่าต่างๆหลายค่าที่แสดงถึงรูปแบบและศักยภาพการเจริญเติบโต ซึ่งค่าเหล่านี้มีผลมาจาก
พัฒนาการและการเจริญเติบโต ที่มีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมของพืช ประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมด 15 ค่า
(ตารางที่ 1)

โดยนำข้อมูลพัฒนาการและการเจริญเติบโตของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์จากแปลงทดลองในขั้นตอนที่ 1 มา
ทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของพันธุ์ถั่วลิสง ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การปรับค่า
สัมประสิทธิ์พันธุกรรมในแบบจำลอง (model calibration) และการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรม
(model validation) ก่อนการประมาณค่าต้องจัดการข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนดในแบบจำลอง ดังนี้

1. สร้างแฟ้มข้อมูล FILE X (Experiment details file) ที่ระบุถึงการจัดการต่างๆ ในงานทดลอง
รวมถึงสถานที่ เวลา ข้อมูลอากาศ ชุดดิน และพันธุ์ที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งเชื่อมโยงไปยังแฟ้มข้อมูลนำเข้าต่างๆ
ได้แก่ แฟ้มข้อมูลอากาศช่วงทำการทดลอง(*WTH) และแฟ้มข้อมูลดิน (SOIL.SOL) ซึ่งมีชุดดินที่ใช้ในการ
ทดลอง

2. สร้างแฟ้มข้อมูล FILE T (Average Time Course Data) เป็นแฟ้มข้อมูลที่ได้จากแปลงทดลอง
ตามระยะพัฒนาการ และการเจริญเติบโตของถั่วลิสง

3. สร้างแฟ้มข้อมูล FILE A (Average Summary Data) เป็นแฟ้มข้อมูลที่ได้จากแปลงทดลอง เมื่อ
เก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย

4. นำข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของการพัฒนาการ และการเจริญเติบโต ทั้ง 15 ค่าที่ได้จากแปลงทดลอง
ยกเว้นค่า CSDL ที่กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 11.84 ชั่วโมง และค่า PPSEN มีค่า 0.00 เนื่องจากพันธุ์ถั่วลิสงที่
ศึกษาไม่มีการตอบสนองต่อช่วงแสง รวมทั้งค่า LFMAX และXFRT ใช้ค่าของพันธุ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับทั้ง
3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ไทนาน 9 ใส่ลงในแฟ้มข้อมูลสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของถั่วลิสง (PNGR0045.CUL) ใน
โปรแกรม DSSAT

นำข้อมูลทั้ง 4 ส่วน ป้อนให้แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสง CROPGRO-Peanut แล้วสั่งให้โปรแกรมจำลองค่าพัฒนาการ และการเจริญเติบโตของพันธุ์ถั่วลิสงออกมา ผลที่ได้จากแบบจำลองจะแสดงในรูปของแฟ้มข้อมูล(file.out) เช่น ค่าพัฒนาการ และการเจริญเติบโตตามระยะที่กำหนด(growth.out) ผลสรุปของการจำลองทั้งระบบ (overview.out)

3) การปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมในแบบจำลอง (model calibration)

ค่าประมาณสัมประสิทธิ์พันธุกรรมที่จะนำไปใช้ต่อไป ต้องเป็นค่าที่ผ่านการปรับค่าแล้ว การปรับค่ามีขั้นตอนดังนี้

1. นำข้อมูลจากการทดลองที่ได้เตรียมไว้ในแฟ้มข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ใช้เป็นข้อมูลตัวป้อนเริ่มต้นของการจำลองในแบบจำลอง แล้วให้แบบจำลอง CROPGRO-Peanut ประมวลผล

2. นำค่าที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบกับค่าสังเกตที่ได้จากแปลงทดลองของแต่ละพันธุ์ จากนั้นทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมแต่ละตัว แล้วสั่งให้แบบจำลองประมวลผลใหม่ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าสังเกต ทำซ้ำเช่นนี้จนกว่าค่าที่ได้จากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกตที่ได้จากแปลงทดลองมากที่สุด ซึ่งการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของลักษณะพัฒนาการ และการเจริญเติบโตแต่ละตัวมีขั้นตอนตาม Boote (1999) และ Bhalang(2006) ดังนี้

2.1 ปรับค่าอายุถึงวันออกดอก และอายุถึงวันสุกแก่ ให้ปรับจากค่า EMFL และ SDPM จนกว่าค่าจำลองใกล้เคียงกับค่าสังเกตมากที่สุด

2.2 ปรับค่าอัตราการสะสมน้ำหนักแห้ง จากค่า LFMAX ส่วนค่าพื้นที่ใบเฉพาะ และดัชนีพื้นที่ใบ ปรับจากค่า SLAVR และ FLLF ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับค่า LFMAX อีกครั้ง จนกระทั่งค่าจากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าสังเกต

2.3 ปรับค่าขนาดเมล็ด จำนวนเมล็ดต่อฝัก และเปอร์เซ็นต์กะเทาะ จากค่า WTPSD SDPDV และ SFDUR จนกว่าค่าจากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าสังเกต

2.4 ปรับค่าระยะเวลาการสร้างฝักและเมล็ด โดยปรับจากค่า FLSH FLSD และ PODUR จนกว่าค่าจากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าสังเกต หลังจากนั้นทำการปรับค่า SDPM ใหม่อีกครั้งเพื่อให้อายุการสุกแก่ใกล้เคียงกับค่าสังเกต เช่นเดียวกับการปรับค่า WTPSD และ SFDUR อีกครั้ง เนื่องจากค่าขนาดเมล็ดและเปอร์เซ็นต์กะเทาะอาจมีการเปลี่ยนแปลง

2.5 สุดท้ายทำการปรับค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของน้ำหนักฝักหรือเมล็ด จากค่า XFRT เพื่อให้ได้ค่าจากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าสังเกตมากที่สุด

การประเมินว่าค่าจำลองจะใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงมากน้อยเพียงใดของลักษณะด้านพัฒนาการ ใช้ค่า Coefficient of determination (r^2) และลักษณะด้านการเจริญเติบโต ใช้ค่า The root mean square error (RMSE) (Wallach and Goffinet, 1987) และ The index of agreement (d) (Wilmott, 1982) ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (S_i - O_i)^2 / n}$$

เมื่อ S = ค่าจากแบบจำลอง

O = ค่าสังเกตจากแปลงทดลอง n = จำนวนข้อมูล

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i'| + |O_i'|)^2} \right] ; 0 < d < 1$$

เมื่อ P_i = ค่าทำนาย(ค่าจากแบบจำลอง) O_i = ค่าสังเกตจากแปลงทดลอง

$$P_i' = P_i - \text{mean } O \quad \text{และ} \quad O_i' = O_i - \text{mean } O$$

4) การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (model validation)

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ในการประเมินว่าค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงดังกล่าว จะสามารถทำนายลักษณะต่างๆของพันธุ์ถั่วลิสงได้ดีเพียงใด ต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากวันปลูกอื่นๆ ที่ไม่ได้ใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมเป็นข้อมูลอิสระสำหรับทดสอบ โดยดำเนินการปลูกถั่วลิสงวันปลูกอื่น มีวิธีดำเนินการการทดลอง และการบันทึกข้อมูล เช่นเดียวกับงานทดลองที่ใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม นำข้อมูลที่ได้ไปจำลองสถานการณ์ เปรียบเทียบค่าจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ได้กับค่าสังเกตจริงจากแปลงทดลอง โดยการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองและค่าที่วัดได้จริง โดยดูจากค่า Coefficient of determination (r^2) ค่า RMSE สำหรับลักษณะด้านพัฒนาการ และ d-statistic สำหรับลักษณะด้านการเจริญเติบโต เช่นเดียวกับการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

เวลาและสถานที่

ฤดูแล้งปี 2559 ปลูกวันที่ 16 พฤศจิกายน 2558 เก็บเกี่ยววันที่ 15 มีนาคม 2559

ฤดูฝน ปี 2559 ปลูกวันที่ 22 มิถุนายน 2559 เก็บเกี่ยววันที่ 22-27 กันยายน และ

7 ตุลาคม 2559

ฤดูแล้งปี 2560 ปลูกวันที่ 9 มกราคม 2560 เก็บเกี่ยววันที่ 19 เมษายน 2560

ฤดูฝน ปี 2560 ปลูกวันที่ 7 มิถุนายน 2560 เก็บเกี่ยววันที่ 31 สิงหาคม- 18 กันยายน 2560

ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาพัฒนาการและการเจริญเติบโตของถั่วลิสง

คุณสมบัติของดิน

ดินบริเวณแปลงทดลองในศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น เป็นดินชุดยโสธร คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกถั่วลิสงที่ระดับความลึก 4 ระดับ ทั้งฤดูแล้ง และฤดูฝนปี 2559 พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของดิน ไนโตรเจนในรูปของไนเตรท ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ดินชั้นบนจะมีค่าสูงกว่าดินชั้นล่าง (ตารางที่ 2) แปลงทดลองฤดูฝนจะมีค่าปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเตรท แอมโมเนีย และโพแทสเซียมที่สกัดได้สูงกว่าแปลงฤดูแล้ง

สำหรับแปลงทดลองในฤดูแล้ง 2560 พบว่า ดินชั้นบน มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ไนโตรเจนในรูปของไนเตรท และแอมโมเนีย ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สูงกว่าดินชั้นล่าง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า ในดินชั้นที่สอง (25-50 ซม.) มีค่ามากที่สุด ส่วนแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้พบว่ามีค่าในดินชั้นล่าง (75-100 ซม.) มีค่ามากกว่าชั้นอื่น ส่วนฤดูฝนปี 2560 ดินชั้นบน มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน สูงกว่าดินชั้นล่าง ส่วนค่าไนโตรเจนในรูปของไนเตรท และแอมโมเนีย ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าแปรปรวนในแต่ละระดับชั้นของดิน

สภาพภูมิอากาศ

สภาพฟ้าอากาศในช่วงปลูกฤดูแล้งปี 2559 ทุก 10 วัน (ภาพที่ 1) พบว่า มีปริมาณฝนตกตลอดช่วงปลูกทั้งสิ้นรวม 20.5 มิลลิเมตร แต่มีการให้น้ำชลประทานทุกสัปดาห์รวม 253.9 มิลลิเมตร ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของพืช ส่วนอุณหภูมิ เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว จึงมีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสในช่วงเดือนกลางธันวาคมถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ โดยมีค่าต่ำสุดต้นเดือนกุมภาพันธ์ 14.0 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจึงสูงขึ้น สำหรับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีความแปรปรวนระหว่าง 14.6-22.0 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนช่วงปลูกฤดูฝนปี 2559 (ภาพที่ 2) พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดช่วงปลูกตั้งแต่ปลายเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนตุลาคม 2559 มีค่าเท่ากับ 881.4 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณน้ำฝนตกสูงสุดในปลายเดือนมิถุนายน 178.7 มิลลิเมตร ต่ำสุดในช่วงกลางเดือนสิงหาคม 4.9 มิลลิเมตร อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 24.0-35.1 องศาเซลเซียส และมีเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงต้นเดือนตุลาคม 24.0 องศาเซลเซียส เฉลี่ยสูงสุดในช่วงกลางเดือนกรกฎาคม 35.1 องศาเซลเซียส ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีความแปรปรวนสูงระหว่าง 14.7-21.7 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เฉลี่ยสูงสุดในช่วงกลางเดือนกรกฎาคม เฉลี่ยต่ำสุดในช่วงกลางเดือนสิงหาคม เนื่องจากมีเมฆมาก

สภาพฟ้าอากาศในช่วงปลูกฤดูแล้งปี 2560 ทุก 10 วัน (ภาพที่ 3) พบว่า ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน 2560 ปริมาณน้ำฝนตลอดช่วงปลูกน้อยมาก โดยปริมาณน้ำฝนสูงสุดอยู่ในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ 5.2 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงมีการให้น้ำชลประทานทุกสัปดาห์รวม 171.7 มิลลิเมตร ส่วนช่วงปลายเดือนมกราคมถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ มีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส โดยมีค่าต่ำสุดกลางเดือนกุมภาพันธ์ 15.2 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิสูงขึ้น และเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงกลางเดือนเมษายน 36.8 องศาเซลเซียส สำหรับปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์มีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ปลายเดือนเมษายนที่ 20.9 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน

ส่วนสภาพฟ้าอากาศในช่วงปลูกฤดูฝนปี 2560 ทุก 10 วัน (ภาพที่ 4) พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดช่วงปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึง ต้นเดือนกันยายน 2560 มีค่าเท่ากับ 795.8 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณน้ำฝนตกสูงสุดในช่วงปลายเดือนกรกฎาคม 236.4 มิลลิเมตร ต่ำสุดในช่วงต้นเดือนกรกฎาคม 5.8 มิลลิเมตร อุณหภูมิช่วงปลูกอยู่ในช่วง 23.8-34.1 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงกลางเดือนสิงหาคม 23.8 องศาเซลเซียส เฉลี่ยสูงสุดในช่วงต้นเดือนมิถุนายน 34.1 องศาเซลเซียส ปริมาณรังสีดวง

อาทิตย์มีค่าระหว่าง 15-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เฉลี่ยสูงสุดในช่วงต้นเดือนมิถุนายนและกลางเดือนสิงหาคม เฉลี่ยต่ำสุดในช่วงปลายเดือนกรกฎาคม

ลักษณะด้านพัฒนาการของถั่วลิสง

ลักษณะด้านพัฒนาการของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ได้แก่ อายุถึงวันออกดอก อายุถึงวันสร้างฝักแรก อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก และอายุถึงวันสุกแก่ ของวันปลูกต่างๆ จะมีค่าแตกต่างกันระหว่างพันธุ์และฤดูปลูก (ตารางที่ 3) โดยในฤดูแล้งปี 2559 จะมีการพัฒนาถึงระยะต่างๆยาวกว่าในฤดูฝน เนื่องจากระยะพัฒนาการตรงกับช่วงฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้ถั่วลิสงงอกและเจริญเติบโตช้ากว่าในฤดูฝน โดยฤดูแล้งปี 2559 ถั่วลิสงทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ มีอายุถึงวันออกดอก 28-31 วัน อายุถึงวันสร้างฝักแรก 40-48 วัน อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก 49-54 วัน และอายุถึงวันสุกแก่ 107-117 วัน โดยพันธุ์ขอนแก่น มีอายุถึงวันต่างๆสั้นกว่าพันธุ์อื่นๆ ส่วนสายพันธุ์ KKFCRC 49-06-7-1 มีอายุถึงวันสุกแก่ยาวที่สุดในฤดูฝนปี 2559 มีความแตกต่างของลักษณะพัฒนาการระหว่างพันธุ์น้อยกว่าในฤดูแล้ง กล่าวคือ มีอายุถึงวันออกดอก 23-28 วัน อายุถึงวันสร้างฝักแรก 35-41 วัน อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก 43-47 วัน และอายุถึงวันสุกแก่ 86-98 วัน โดยพันธุ์ขอนแก่น มีอายุถึงวันต่างๆสั้นที่สุด และพันธุ์ขอนแก่น 84-7 มีอายุถึงวันต่างๆยาวที่สุด

สำหรับในฤดูแล้งปี 2560 พบว่า มีการพัฒนาถึงระยะต่างๆยาวกว่าในฤดูฝน (ตารางที่ 3) โดยถั่วลิสงทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ มีอายุถึงวันออกดอก 30-38 วัน อายุถึงวันสร้างฝักแรก 43-49 วัน อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก 51-56 วัน และอายุถึงวันสุกแก่ 91-101 วัน พันธุ์ขอนแก่น 84-7 มีอายุถึงวันต่างๆยาวที่สุด ส่วนในฤดูฝนปี 2560 มีอายุถึงวันออกดอก 21-28 วัน อายุถึงวันสร้างฝักแรก 31-38 วัน อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก 40-44 วัน และอายุถึงวันสุกแก่ 82-98 วัน พันธุ์ขอนแก่น มีอายุถึงวันต่างๆสั้นที่สุดในภาพรวม พบว่าพันธุ์ขอนแก่น 84-7 มีอายุถึงวันต่างๆยาวที่สุด ส่วนพันธุ์ขอนแก่น มีอายุถึงระยะพัฒนาการต่างๆเร็วกว่าทุกพันธุ์

ลักษณะด้านการเจริญเติบโตของถั่วลิสง

ลักษณะด้านการเจริญเติบโตของถั่วลิสง ได้แก่ น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ มีค่าแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์และฤดูปลูก ระยะการเจริญเติบโตในฤดูแล้งปี 2559 ประกอบด้วย V4 (22 วันหลังปลูก) R4 (44-51 วันหลังปลูก) R6 (70-85 วันหลังปลูก) R7 (85-91 วันหลังปลูก) และ R8 (100-117 วันหลังปลูก) จากกราฟลักษณะน้ำหนักใบแห้ง มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะ R7 หลังจากนั้นมีการลดลง ยกเว้นสายพันธุ์ KK 4915-2 ที่ให้ค่าสูงสุดที่ระยะ R6 โดยสายพันธุ์ KKFCRC 49-06-7-1 ให้น้ำหนักใบแห้งสูงกว่าอีก 5 พันธุ์ ในระยะ R7 และ R8 (ภาพที่ 5A) ค่าดัชนีพื้นที่ใบของทุกพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะ R6 ยกเว้นสายพันธุ์ KKFCRC 49-06-7-1 และขอนแก่น 5 ที่ให้ค่าสูงสุดที่ระยะ R7 (ภาพที่ 5B) พันธุ์ขอนแก่น 84-7 ให้น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักมวลรวมแห้ง และน้ำหนักฝักแห้งสูงกว่าทุกพันธุ์เกือบทุกระยะการเจริญเติบโต (ภาพที่ 5C 5D และ 5E)

ส่วนในฤดูฝนปี 2559 น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆของต้นถั่วลิสงแต่ละระยะของการเจริญเติบโต คือ V4 (22 วันหลังปลูก) R4 (41-42 วันหลังปลูก) R6 (57-61 วันหลังปลูก) R7 (72-82 วันหลังปลูก) และ R8

(85-96 วันหลังปลูก) พบว่า น้ำหนักใบแห้ง และค่าดัชนีพื้นที่ใบของทุกพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะ R7 หลังจากนั้นมีการลดลง โดยเฉพาะพันธุ์ KK 84-7 ที่ระยะ R7 และ R8 วันหลังปลูก ให้ค่าสูงกว่าทุกพันธุ์ (ภาพที่ 6A และ 6B) ส่วนน้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักมวลรวมแห้ง และน้ำหนักฝักแห้ง ของทุกพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุเช่นเดียวกัน โดยพันธุ์ KK 84-7 ให้ค่าทั้ง 3 ลักษณะดังกล่าวสูงกว่าทุกพันธุ์เกือบทุกอายุ โดยเฉพาะที่ระยะ R7 และ R8 วันหลังปลูก (ภาพที่ 6C 6D และ 6E)

ฤดูแล้งปี 2560 น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆของต้นถั่วลิสงแต่ละระยะของการเจริญเติบโต ประกอบด้วย ระยะ V4 (20-23 วันหลังปลูก) R4 (48-53 วันหลังปลูก) R6 (67-72 วันหลังปลูก) R7 (80-91 วันหลังปลูก) และ R8 (91-101วันหลังปลูก) ลักษณะน้ำหนักใบแห้ง มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุทุกพันธุ์ และสูงสุดที่ระยะ R7 (ภาพที่ 7A) สำหรับน้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักมวลรวมแห้ง และน้ำหนักฝักแห้งให้ค่าเพิ่มขึ้นตามอายุทุกพันธุ์ และมีค่าสูงสุดที่ระยะ R8 (ภาพที่ 7B 7C และ 7D) ยกเว้นพันธุ์ขอนแก่น ที่ให้น้ำหนักมวลรวมแห้งสูงสุดที่ระยะ R7 โดยพันธุ์ขอนแก่น 5 ให้ค่าทั้ง 3 ลักษณะดังกล่าวสูงกว่าทุกพันธุ์ที่ระยะ R8

ส่วนฤดูฝนปี 2560 น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆของต้นถั่วลิสงแต่ละระยะของการเจริญเติบโต คือ ระยะ V4 (16 วันหลังปลูก) R4 (37-42 วันหลังปลูก) R6 (60-61 วันหลังปลูก) R7 (72-84 วันหลังปลูก) และ R8 (82-98 วันหลังปลูก) พบว่า น้ำหนักใบแห้งของ 4 พันธุ์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุและให้ค่าสูงสุดที่ระยะ R6 ยกเว้นสายพันธุ์ KKFCRC 49-06-7-1 และพันธุ์ขอนแก่น ที่ให้ค่าสูงสุดที่ระยะ R7 (ภาพที่ 8A) ส่วนน้ำหนักต้นแห้ง มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุใน 5 พันธุ์ โดยให้ค่าสูงสุดที่ระยะ R7 (ภาพที่ 8B) ยกเว้นพันธุ์ขอนแก่น 84-7 ที่ให้ค่าสูงสุดที่ระยะ R8 น้ำหนักมวลรวมแห้งของสายพันธุ์ KK 4915-2 KK 4920-15 และขอนแก่น ให้ค่าสูงสุดที่ระยะ R7 ส่วนสายพันธุ์ KKFCRC 49-06-7-1 ขอนแก่น 5 และขอนแก่น 84-7 ให้ค่าสูงสุดที่ระยะ R8 (ภาพที่ 8C) และน้ำหนักฝักแห้ง ให้ค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยพันธุ์ขอนแก่น 84-7 ให้น้ำหนักฝักแห้งสูงกว่าทุกพันธุ์ที่ระยะ R7 และ R8 (ภาพที่ 8D)

การประมาณและปรับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมในแบบจำลอง (model calibration)

ทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากแปลงทดลองที่ดำเนินการต่างฤดูปลูกกัน คือ ฤดูแล้ง ปี2559 และฤดูฝน ปี 2559 จากนั้นทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์จนได้ผลการจำลองลักษณะทางด้านพัฒนาการ และการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับค่าสังเกตจากทั้ง 2 แปลงทดลองมากที่สุด

การเปรียบเทียบค่าจำลองกับค่าสังเกตของลักษณะด้านพัฒนาการ ได้แก่ อายุถึงวันออกดอก อายุถึงวันสร้างฝักแรก อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก และอายุถึงเก็บเกี่ยวของ 6 สายพันธุ์/พันธุ์ พบว่า ค่าจำลองและค่าสังเกตจะให้ค่าแตกต่างกันไป โดยค่าจำลองอายุถึงวันออกดอกของทั้ง 2 ฤดูให้ค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกต สำหรับความแตกต่างระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกต แสดงโดยค่า Root Mean Square Error (RMSE) กล่าวคือ ถ้า RMSE มีค่าต่ำ แสดงว่า ค่าจำลองและค่าสังเกตมีค่าใกล้เคียงกัน อายุถึงวันออกดอกมีค่า RMSE เท่ากับ 1 วัน และมีค่า Coefficient of determination (r^2) เท่ากับ 0.93** (ภาพที่ 9A) อายุถึงวันสร้างฝักแรก และอายุถึงวันสร้างเมล็ดแรกก็ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกต โดยให้ค่า RMSE เท่ากับ 1 และ 1 วัน และ

ค่า r^2 เท่ากับ 0.90** และ 0.94** ตามลำดับ (ภาพที่ 9B และ 9C) สำหรับอายุถึงเก็บเกี่ยวของค่าจำลองและค่าสังเกต ให้ค่า RMSE เท่ากับ 3 วัน และ r^2 เท่ากับ 0.90** (ภาพที่ 9D) จากผลการทดลองพบว่า ฤดูแล้งจะมีอายุถึงวันออกดอก อายุถึงวันสร้างฝักแรก อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก และอายุถึงเก็บเกี่ยวยาวกว่าฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงปลูกมีอุณหภูมิต่ำ การเจริญเติบโตในช่วงแรกเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ต้องใช้เวลาในการพัฒนาการจนถึงระยะต่างๆเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างของค่าจำลองกับค่าสังเกตของลักษณะของอายุถึงเก็บเกี่ยวสูงกว่าอายุถึงวันต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากในการประเมินลักษณะดังกล่าว ต้องถอนต้นถั่วขึ้นมาดู และไม่ได้ถอนทุกวัน ประกอบกับมีความแปรปรวนระหว่างต้น เป็นผลทำให้ค่าสังเกตมีความแปรปรวนสูงมากกว่า

สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลลักษณะด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรวมเหนือดิน น้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ด แสดงความแตกต่างโดยค่า Index of agreement (d) ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของพันธุ์ (ตารางที่ 4) กล่าวคือ ค่า d จะมีค่าระหว่าง 0-1 ถ้าค่า d มีค่าใกล้กับ 1 แสดงว่า ค่าจำลองและค่าสังเกตมีค่าใกล้เคียงกัน จากการทดลองพบว่า ฤดูแล้งปี 2559 ลักษณะดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของพันธุ์ ระหว่าง 0.80-0.93 และ 0.77-0.93 เฉลี่ยเท่ากับ 0.88 และ 0.85 ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรวมเหนือดิน ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของพันธุ์ ระหว่าง 0.89-0.97 และ 0.71-0.87 เฉลี่ยเท่ากับ 0.93 และ 0.81 ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักฝักแห้ง น้ำหนักเมล็ด ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของพันธุ์ ระหว่าง 0.84-0.98 และ 0.76-0.99 เฉลี่ยเท่ากับ 0.94 และ 0.93 ตามลำดับ แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ปรับค่าแล้ว ให้ค่าจำลองน้ำหนักฝักแห้ง น้ำหนักเมล็ดใกล้เคียงกับค่าสังเกตจากแปลงทดลองสูงมาก ทำให้สามารถใช้ทำนายลักษณะทั้งสองได้ดีมาก ในขณะที่ค่าจำลองของน้ำหนักรวมเหนือดิน น้ำหนักใบแห้ง และดัชนีพื้นที่ใบมีค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกตสูง แสดงว่าสามารถใช้ทำนายลักษณะดังกล่าวได้ดี

ส่วนในฤดูฝนปี 2559 ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของลักษณะดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรวมเหนือดิน น้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยเป็น 0.91 0.94 0.96 0.87 0.94 และ 0.97 ตามลำดับ แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ปรับค่าแล้ว ให้ค่าจำลองของลักษณะต่างๆใกล้เคียงกับค่าสังเกตจากแปลงทดลองสูงกว่าฤดูแล้ง

สำหรับพันธุ์แต่ละพันธุ์ พบว่า มีบางพันธุ์ในบางฤดูปลูกที่ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมทำนายบางลักษณะได้ต่ำกว่าบางพันธุ์ ได้แก่ ในฤดูแล้งปี 2559 สายพันธุ์ KK 4920-15 ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของลักษณะน้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักรวมเหนือดิน 0.77 และ 0.71 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ส่วนพันธุ์ขอนแก่น 5 ให้ค่าน้ำหนักรวมเหนือดิน และพันธุ์ขอนแก่น ให้ค่าน้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 0.76 และ 0.76 ตามลำดับ ส่วนในฤดูฝนปี 2559 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของทุกพันธุ์ที่ใช้ในแบบจำลอง สามารถทำนายทุกลักษณะได้ดีมาก คือ ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกต 0.80-0.99 เมื่อดูค่า r^2 ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของลักษณะน้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ด จะพบมีค่า r^2 เท่ากับ 0.69** และ 0.51** ตามลำดับ (ภาพที่ 9E และ 9F) และจากการจำลองสถานการณ์ ของลักษณะน้ำหนักรวมเหนือดิน น้ำหนัก

ต้น น้ำหนักใบ และน้ำหนักฝักแห้ง ทำให้ได้กราฟแสดงค่าจำลองเปรียบเทียบกับค่าสังเกตจากแปลงทดลองดังภาพที่ 10 สำหรับฤดูแล้งปี 2559 และภาพที่ 11 สำหรับฤดูฝน ปี 2559

จากการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ต่างๆ โดยใช้ข้อมูล 2 ฤดูที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมที่สามารถใช้กับแบบจำลองในการทำนายลักษณะต่างๆ ทั้งด้านพัฒนาการและการเจริญเติบโตของถั่วลันเตาทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจากแปลงทดลอง

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (model validation)

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลันเตาทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ผ่านการปรับค่าตามขั้นตอนที่กล่าวข้างต้น ในการประเมินว่าค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลันเตาดังกล่าว จะสามารถทำนายลักษณะต่างๆ ของพันธุ์ถั่วลันเตาได้ดีเพียงใด จะต้องมีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากวันปลูกอื่นๆ ที่ไม่ได้ใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลอิสระ ในที่นี้ใช้ข้อมูลฤดูแล้งปี 2560 และฤดูฝน 2560 เป็นข้อมูลอิสระสำหรับทดสอบ โดยนำข้อมูลที่ไปจำลองสถานการณ์ แล้วเปรียบเทียบค่าจำลองที่ได้กับค่าสังเกตจริงจากแปลงทดลองดังกล่าว ผลการประเมินลักษณะด้านพัฒนาการพบว่า อายุถึงวันออกดอก อายุถึงวันสร้างฝักแรก อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก และอายุถึงเก็บเกี่ยว พบว่า ค่าจำลองอายุถึงวันออกดอกเทียบกับค่าสังเกต ให้ค่า RMSE เท่ากับ 3 วัน และ r^2 เท่ากับ 0.83** ในฤดูแล้งปี 2560 (ภาพที่ 12A) และฤดูฝนปี 2560 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 3 วัน และ r^2 เท่ากับ 0.49 (ภาพที่ 13A) ส่วนค่าจำลองอายุถึงวันสร้างฝักแรก และอายุถึงวันสร้างเมล็ดแรกก็ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกต โดยให้ค่า RMSE เท่ากับ 2 และ 2 วัน และค่า r^2 เท่ากับ 0.59 และ 0.41 ในฤดูแล้งปี 2560 ตามลำดับ (ภาพที่ 12B และ 12C) ให้ค่า RMSE เท่ากับ 3 วัน และ 3 วัน และค่า r^2 เท่ากับ 0.75* และ 0.18 ในฤดูฝนปี 2560 ตามลำดับ (ภาพที่ 13B และ 13C) สำหรับอายุถึงเก็บเกี่ยวของค่าจำลองและค่าสังเกต มีค่า RMSE เท่ากับ 8 วัน และ r^2 เท่ากับ 0.69* ในฤดูแล้งปี 2560 (ภาพที่ 12D) ให้ค่า RMSE เท่ากับ 5 วัน และ r^2 เท่ากับ 0.77* ในฤดูฝนปี 2560 (ภาพที่ 13D) ยังพบความแตกต่างของค่าจำลองกับค่าสังเกตของลักษณะของอายุถึงเก็บเกี่ยวสูงกว่าอายุถึงวันต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากการประเมินลักษณะดังกล่าว ต้องถอนต้นถั่วขึ้นมาดู และไม่ได้ถอนทุกวัน ประกอบกับมีความแปรปรวนระหว่างต้น เป็นผลทำให้ค่าสังเกตมีความแปรปรวนสูงมากกว่า

สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลลักษณะด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักใบ น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรวมเหนือดิน น้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ด ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตจากแปลงทดลองของทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ พบว่า ฤดูแล้งปี 2560 ค่าจำลองและค่าสังเกตของลักษณะน้ำหนักใบแห้ง มีค่า d ระหว่าง 0.83-0.94 เฉลี่ยเท่ากับ 0.91 (ตารางที่ 6) น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรวมเหนือดิน น้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ด ให้ค่า d ระหว่าง 0.95-0.99 0.63-0.95 0.75-0.94 และ 0.68-0.99 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 0.88 0.84 และ 0.82 ตามลำดับ ส่วนฤดูฝนปี 2560 ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของลักษณะน้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักรวมเหนือดิน น้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ดเฉลี่ยเป็น 0.71 0.93 0.77 0.80 และ 0.75 ตามลำดับ

สำหรับสายพันธุ์แต่ละพันธุ์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ สามารถให้ค่าจำลองและค่าสังเกตของเกือบทุกลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ให้ค่า d สูงใกล้เคียง 1 ทั้งแปลงทดสอบในฤดูแล้งปี 2560 และฤดูฝนปี 2560 แต่อาจจะมีลักษณะน้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ดของฤดูแล้งปี 2560 ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกต 0.84 และ 0.82 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) เมื่อดูค่า r^2 ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของลักษณะน้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ด จะพบมีค่า r^2 เท่ากับ 0.43 และ 0.30 ตามลำดับ (ภาพที่ 12E และ 12F) ส่วนฤดูฝนปี 2560 ให้ค่า d ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของลักษณะน้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 0.80 และ 0.75 ตามลำดับ เมื่อดูค่า r^2 ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกตของลักษณะน้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ด จะพบมีค่า r^2 เท่ากับ 0.21 และ 0.04 ตามลำดับ (ภาพที่ 13E และ 13F) สาเหตุที่ให้ค่า r^2 ต่ำ อาจจะเป็นเนื่องจากเครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในรอบวันมีปัญหา จึงต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณแทน ทำให้ค่าจำลองที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่าสังเกตค่อนข้างต่ำ และจากการจำลองสถานการณ์ ของลักษณะน้ำหนักรวมเหนือดิน น้ำหนักใบ น้ำหนักต้น และน้ำหนักฝักแห้ง ทำให้ได้กราฟแสดงค่าจำลองเปรียบเทียบกับค่าสังเกตจากแปลงทดลองดังภาพที่ 14 สำหรับฤดูแล้งปี 2560 และภาพที่ 15 สำหรับฤดูฝน ปี 2560

ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ได้จากการประมาณและปรับค่าในแบบจำลองของทั้ง 2 แปลง ในฤดูแล้งปี 2559 และฤดูฝนปี 2559 ให้ค่าจำลองของทุกลักษณะใกล้เคียงกับค่าสังเกตจากแปลงทดลอง เมื่อทดสอบกับแปลงทดลองในฤดูแล้งปี 2560 และฤดูฝนปี 2560 ก็ยังให้ผลสอดคล้องในระดับพอใช้ แต่เนื่องจากมีปัญหาในข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในรอบวัน ดังนั้นควรมีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมเพิ่มเติม เพื่อยืนยันผล

จากผลการทดลองแสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงทั้ง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ผ่านการปรับค่าตามขั้นตอนที่กล่าวข้างต้น สามารถใช้ทำนายลักษณะต่างๆของพันธุ์ถั่วลิสงได้ระดับพอใช้ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการทดสอบการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมในแบบจำลองในสภาพแวดล้อมต่างๆที่กว้างขวาง และไม่มีปัญหาเครื่องมือทางด้านอุตุนิยมิวิทยา เพื่อพัฒนาให้สามารถใช้ประเมินผลผลิตของแต่ละพันธุ์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงยิ่งขึ้น

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงสายพันธุ์ดีเด่น ชุดที่ 1 พบว่า ลักษณะด้านพัฒนาการ ได้แก่ อายุถึงวันออกดอก อายุถึงวันสร้างฝักแรก อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก และอายุถึงวันเก็บเกี่ยว และด้านการเจริญเติบโตของถั่วลิสง ได้แก่ น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ของฤดูปลูกต่างๆ มีค่าแตกต่างกันระหว่างพันธุ์และฤดูปลูก โดยในฤดูแล้ง มีระยะการพัฒนาด้านต่างๆยาวกว่าในฤดูฝน แต่ฤดูฝนจะมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าฤดูแล้ง ผลการประมาณและปรับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมในแบบจำลอง (Model calibration) จากข้อมูล 2 ฤดู คือ ฤดูแล้งปี 2559 และฤดูฝนปี 2559 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมที่ปรับค่าแล้วให้ค่าจำลองลักษณะด้านพัฒนาการ และการเจริญเติบโตของถั่วลิสงใกล้เคียงกับค่าสังเกตที่ได้จากแปลงทดลอง จะมีลักษณะทางพัฒนาการและการเจริญเติบโตของถั่วลิสงบาง

สายพันธุ์ที่ค่าจำลองกับค่าสังเกตแตกต่างกันบ้าง ส่วนผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม(Model validation) โดยใช้ข้อมูลแปลงทดลองในฤดูแล้งปี 2560และฤดูฝนปี 2560 เป็นข้อมูลอิสระสำหรับทดสอบพบว่า การใช้ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมที่ได้จากปรับค่าแล้วจาก 2 ฤดู สามารถทำนายลักษณะด้านพัฒนาการและการเจริญเติบโตของถั่วลิสงได้ระดับพอใช้ เมื่อเทียบกับแปลงทดสอบ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการทดสอบการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมในแบบจำลองในสภาพแวดล้อมต่างๆที่กว้างขวาง และไม่มีปัญหาเครื่องมือทางด้านอนุกรมวิธาน เพื่อพัฒนาให้สามารถใช้ประเมินผลผลิตของแต่ละพันธุ์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงยิ่งขึ้น

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ KK 4915-2 KK 4920-15 KKFCRC 49-06-7-1 ขอนแก่น 5 ขอนแก่น 84-7 และขอนแก่น ในแบบจำลองถั่วลิสง CSM-CROPGRO-Peanut เมื่อผ่านการปรับปรุงให้ดีขึ้นแล้ว เพื่อประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตของพันธุ์ถั่วลิสงดังกล่าวในสภาพแวดล้อมต่างๆเบื้องต้น

11. คำขอบคุณ

-

12. เอกสารอ้างอิง

สุกัญญา สุจริยา. 2547. วันปลูกที่เหมาะสมในการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของสายพันธุ์ถั่วลิสงสำหรับการใช้แบบจำลอง CROPGRO-Peanut ในงานปรับปรุงพันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 80 หน้า.

Bhalang Suriharn. 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. Doctor of Philosophy Thesis in Agronomy, Graduate School, Khon Kaen University.

Boote ,K.J .1999. Concepts for Calibrating Crop Growth Models. Pages180-199. In: G.Hoogenboom , P.W. Wilkens, and G.Y. Tsuji (eds) DSSAT v3. Vol.4-6. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Hoogenboom, G., Jones, J.W., Wilkens, P.W., Batchelor, W.D., Bowen, W.T., Hunt, L.A., Peckering, N.B., Singh, U., Godwin, D.C., Baer, B., Boote, K.J., Ritchie, J.T., White, J.W., 1994. Crop models. In : Tsuji, G.Y., Uehara, G., Balas. S., (Ed) DSSAT Version 3, Volume 2. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, pp. 95-244.

Ritchie, J.T., E.C. Alocilja, and G. Uehara. 1986. IBSNAT/CERES Rice Model. Agrotechnology Transfer. 3:1-5.

Wallach, D., and B. Goffinet. 1987. Mean squared error of prediction in models for studying ecological and agronomic systems. Biometrics 43:561-573.

Wilkerson, G.G., J.W. Jones, K.J. Boots, K.T. Ingram, and J.W. Mishoe. 1983. Modeling Soybean Growth for Management. Trans. ASAE 26:63-73.

Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Amer. Meteor. Soc. 63: 1309-1313.

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสง และลักษณะที่ใช้ปรับค่า

สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสง	ลักษณะที่ใช้ปรับค่า
CSDL	ค่าวันวิกฤตวันสั้น	ค่าคงที่
PPSEN	ลักษณะความชื้นของพัฒนาการที่ตอบสนองต่อช่วงวันสั้น	ค่าคงที่
EMFL	ระยะเวลาออกถึงออกดอกแรก	วันออกดอกแรก
FLSH	ระยะเวลาออกดอกแรกถึงเกิดฝักแรก	วันสร้างฝักแรก
FLSD	ระยะเวลาออกดอกแรกถึงเริ่มสร้างเมล็ด	วันสร้างเมล็ดแรก
SDPM	ระยะเวลาจากเริ่มสร้างเมล็ดถึงระยะสุกแก่ทางสีเขียว	ค่า SLA และ LAI
FLLF	ระยะเวลาออกดอกแรกถึงระยะที่ใบขยายเต็มที่	วันเก็บเกี่ยว
LFMAX	อัตราสังเคราะห์แสงสูงสุดของใบ	มวลชีวภาพ
SLAVR	พื้นที่ใบเฉพาะ(Specific leaf area: SLA)	ค่า SLA และ LAI
SIZLF	ขนาดของใบสูงสุด	ค่า LAI และ SLA
XFRT	สัดส่วนของอาหารสูงสุดที่ส่งไปยังฝักและเมล็ด	ผลผลิตฝักและเมล็ด
WTPSD	น้ำหนักสูงสุดต่อเมล็ด	น้ำหนักเมล็ดสูงสุด และผลผลิตเมล็ด
SDPDV	จำนวนเมล็ดต่อฝัก	จำนวนเมล็ดต่อฝัก และผลผลิตเมล็ด
SFDUR	ระยะเวลาในการสร้างเมล็ด	%กะเทาะ และระยะเวลาการสร้างเมล็ด
PODUR	ระยะเวลาในการสร้างฝัก	ระยะเวลาการสร้างเมล็ด

ที่มา : ดัดแปลงจากสุภัญญา (2547)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของดิน ก่อนปลูกถั่วลิสงที่ระดับความลึก 4 ระดับ แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ปี 2559-2560

ระดับ (ซม.)	pH	N-NO3 (ppm)	N-NH4 (ppm)	Avail.P (ppm)	Exch.K (ppm)	Exch.Ca (ppm)
ฤดูแล้ง 59						
0-25	5.1	8.2	4.8	21.9	47.0	141.0
25-50	5.0	7.8	10.8	25.7	67.0	144.0
50-75	4.9	2.7	4.6	19.4	37.5	164.5
75-100	4.6	3.0	4.4	15.3	41.5	165.5
ฤดูฝน 59						
0-25	4.8	28.0	36.1	17.5	45.0	135.0
25-50	4.6	16.3	31.8	15.5	66.0	135.0
50-75	4.6	10.1	25.6	11.5	67.0	161.0
75-100	4.5	7.5	40.2	10.5	71.5	164.0
ฤดูแล้ง 60						
0-25	5.1	13.0	36.5	46.0	106.5	163.5
25-50	5.1	13.0	32.0	43.0	115.5	149.5
50-75	4.8	11.5	31.0	36.5	68.5	168.5
75-100	4.6	7.5	17.0	25.0	108.0	180.0
ฤดูฝน 60						
0-25	5.4	9.0	8.5	19.0	39.5	145.0
25-50	5.0	6.5	4.0	17.5	80.5	130.5
50-75	4.7	9.0	9.0	21.5	93.0	161.5
75-100	4.5	13.5	11.0	19.5	61.5	176.5

ตารางที่ 3 ลักษณะด้านพัฒนาการของพันธุ์ถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น
ปี 2559-2560

ลักษณะ	พันธุ์ถั่วลิสง					
	KK 4915-2	KK 4920-15	KKFCRC 49-06-7-1	ขอนแก่น 5	ขอนแก่น 84-7	ขอนแก่น
ฤดูแล้ง 59						
อายุถึงวันออกดอก(วัน)	30	29	28	30	31	28
อายุถึงวันสร้างฝักแรก(วัน)	45	44	43	43	48	40
อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก(วัน)	51	51	53	51	54	49
อายุถึงวันสุกแก่(วัน)	107	107	117	107	115	107
ฤดูฝน 59						
อายุถึงวันออกดอก(วัน)	26	25	23	27	28	23
อายุถึงวันสร้างฝักแรก(วัน)	39	39	38	39	41	35
อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก(วัน)	45	44	44	45	47	43
อายุถึงวันสุกแก่(วัน)	86	89	92	88	98	86
ฤดูแล้ง 60						
อายุถึงวันออกดอก(วัน)	33	33	30	36	38	31
อายุถึงวันสร้างฝักแรก(วัน)	47	46	43	46	49	44
อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก(วัน)	55	54	52	54	56	51
อายุถึงวันสุกแก่(วัน)	94	94	96	93	101	91
ฤดูฝน 60						
อายุถึงวันออกดอก(วัน)	23	23	21	23	28	21
อายุถึงวันสร้างฝักแรก(วัน)	36	36	34	36	38	31
อายุถึงวันสร้างเมล็ดแรก(วัน)	43	43	40	44	43	40
อายุถึงวันสุกแก่(วัน)	84	84	89	82	98	82

ตารางที่ 4 ค่า Index of agreement (d) ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกต ของลักษณะถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ปรับแล้ว แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ฤดูแล้งปี 2559 และ ฤดูฝนปี 2559

ลักษณะ	ฤดูแล้ง 59		ฤดูฝน 59	
	ระหว่าง	ค่าเฉลี่ย	ระหว่าง	ค่าเฉลี่ย
ดัชนีพื้นที่ใบ	0.80-0.93	0.88	0.84-0.98	0.91
น้ำหนักใบแห้ง	0.77-0.93	0.85	0.88-0.99	0.94
น้ำหนักต้นแห้ง	0.89-0.97	0.93	0.93-0.99	0.96
น้ำหนักรวมเหนือดิน	0.71-0.87	0.81	0.82-0.99	0.87
น้ำหนักฝักแห้ง	0.84-0.98	0.94	0.85-0.98	0.94
น้ำหนักเมล็ด	0.76-0.99	0.93	0.91-0.99	0.97

ตารางที่ 5 ค่า Index of agreement (d) ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกต ของลักษณะถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ปรับแล้ว แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ฤดูแล้งปี 2559 และ ฤดูฝนปี 2559

ลักษณะ	พันธุ์ถั่วลิสง											
	KK 4915-2		KK 4920-15		KKFCRC 49-06-7-1		ขอนแก่น 5		ขอนแก่น 84-7		ขอนแก่น	
	แล้ง 59	ฝน 59	แล้ง 59	ฝน 59	แล้ง 59	ฝน 59	แล้ง 59	ฝน 59	แล้ง 59	ฝน 59	แล้ง 59	ฝน 59
ดัชนีพื้นที่ใบ	0.87	0.86	0.80	0.84	0.92	0.87	0.86	0.94	0.88	0.98	0.93	0.98
น้ำหนักใบแห้ง	0.82	0.88	0.77	0.89	0.91	0.95	0.82	0.95	0.86	0.99	0.93	0.96
น้ำหนักต้นแห้ง	0.95	0.94	0.89	0.98	0.97	0.95	0.92	0.99	0.95	0.97	0.93	0.93
น้ำหนักรวมเหนือดิน	0.83	0.82	0.71	0.83	0.86	0.84	0.76	0.90	0.84	0.99	0.87	0.86
น้ำหนักฝักแห้ง	0.93	0.95	0.95	0.98	0.97	0.97	0.98	0.96	0.96	0.90	0.84	0.85

น้ำหนักเมล็ด	0.93	0.97	0.98	0.99	0.96	0.99	0.99	0.98	0.96	0.99	0.76	0.91
--------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

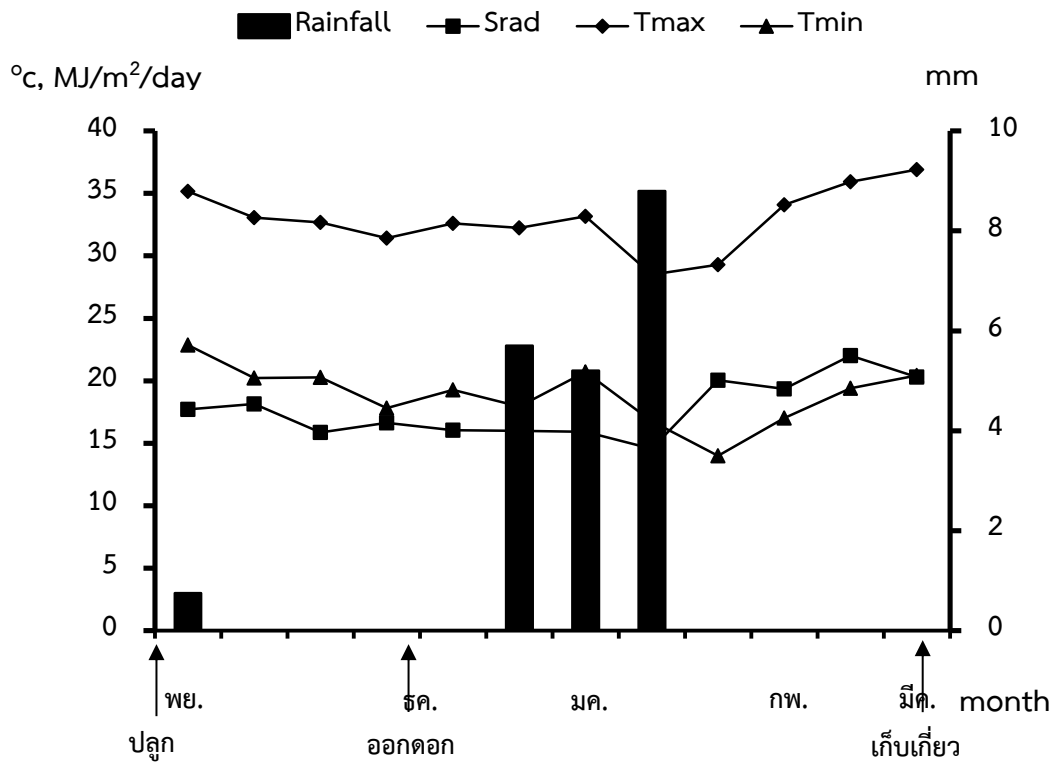
ตารางที่ 6 ค่า Index of agreement (d) ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกต ของลักษณะถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ปรับแล้ว แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ฤดูแล้งปี 2560 และ ฤดูฝนปี 2560

ลักษณะ	ฤดูแล้ง 60		ฤดูฝน 60	
	ระหว่าง	ค่าเฉลี่ย	ระหว่าง	ค่าเฉลี่ย
น้ำหนักใบแห้ง	0.83-0.94	0.91	0.50-0.92	0.71
น้ำหนักต้นแห้ง	0.95-0.99	0.97	0.89-0.96	0.93
น้ำหนักรวมเหนือดิน	0.63-0.95	0.88	0.62-0.88	0.77
น้ำหนักฝักแห้ง	0.75-0.94	0.84	0.66-0.93	0.80
น้ำหนักเมล็ด	0.68-0.99	0.82	0.59-0.95	0.75

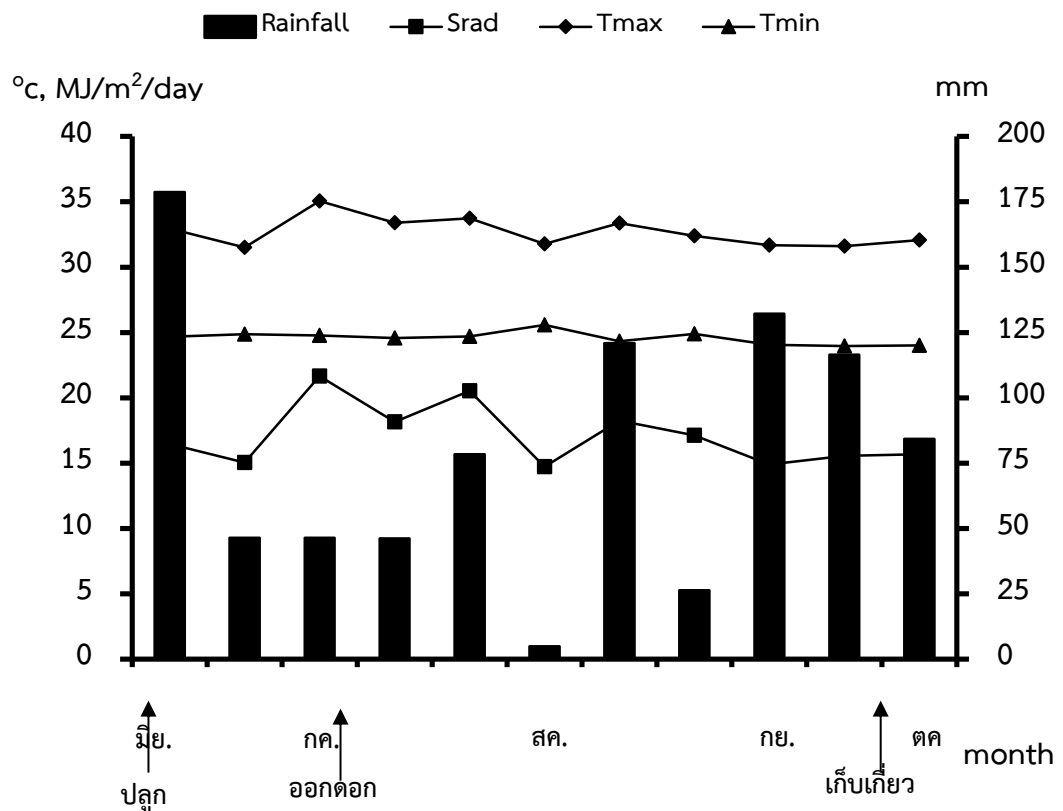
ตารางที่ 7 ค่า Index of agreement (d) ระหว่างค่าจำลองและค่าสังเกต ของลักษณะถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ปรับแล้ว แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ฤดูแล้งปี 2560 และ ฤดูฝนปี 2560

ลักษณะ	พันธุ์ถั่วลิสง											
	KK 4915-2		KK 4920-15		KKFCRC 49-06-7-1		ขอนแก่น 5		ขอนแก่น 84-7		ขอนแก่น	
	แล้ง 60	ฝน 60	แล้ง 60	ฝน 60	แล้ง 60	ฝน 60	แล้ง 60	ฝน 60	แล้ง 60	ฝน 60	แล้ง 60	ฝน 60
น้ำหนักใบแห้ง	0.83	0.71	0.93	0.58	0.92	0.92	0.91	0.70	0.94	0.50	0.94	0.86
น้ำหนักต้นแห้ง	0.98	0.91	0.95	0.93	0.99	0.93	0.96	0.96	0.98	0.89	0.95	0.94
น้ำหนักรวมเหนือดิน	0.90	0.77	0.94	0.71	0.91	0.84	0.95	0.81	0.92	0.62	0.63	0.88

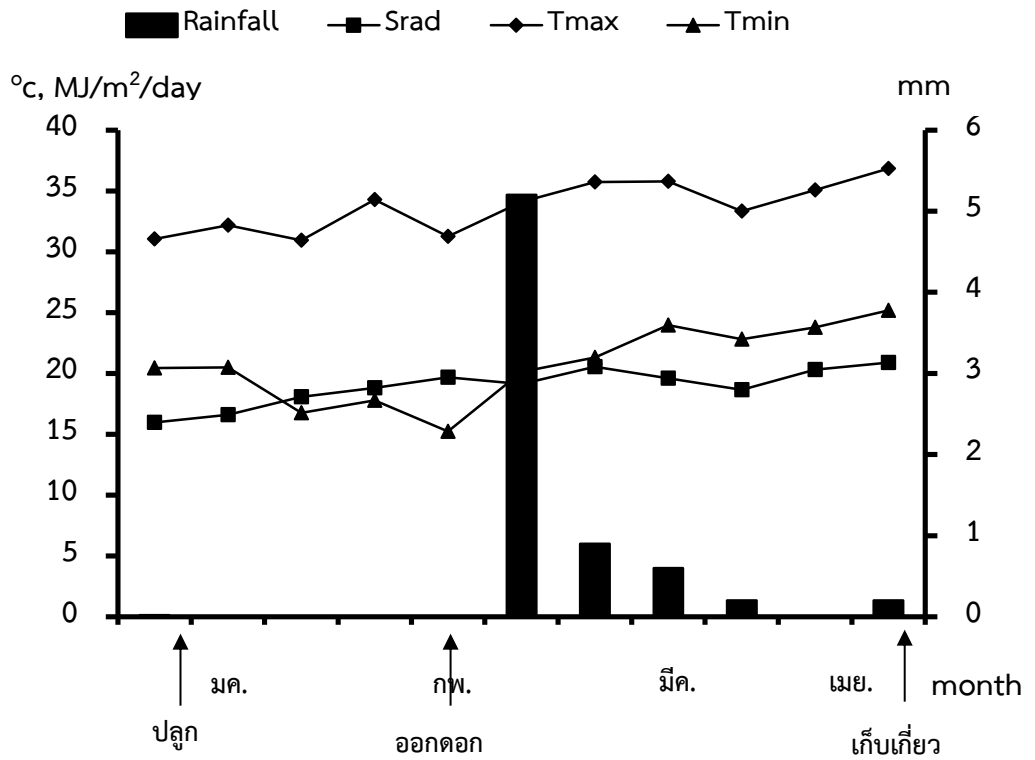
น้ำหนักฝักแห้ง	0.75	0.75	0.75	0.79	0.91	0.86	0.80	0.80	0.94	0.93	0.90	0.66
น้ำหนักเมล็ด	0.72	0.66	0.76	0.74	0.97	0.83	0.77	0.72	0.99	0.95	0.68	0.59



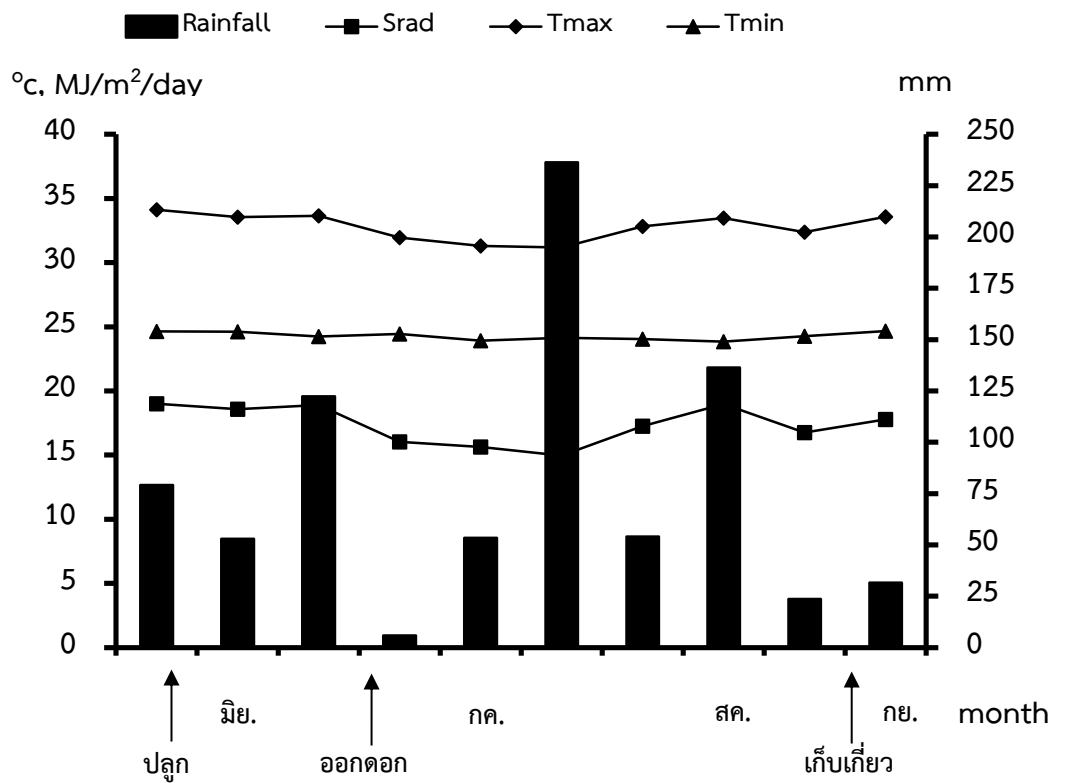
ภาพที่ 1 สภาพภูมิอากาศราย 10 วัน ตลอดช่วงการทดลองในฤดูแล้งปี 2559 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น



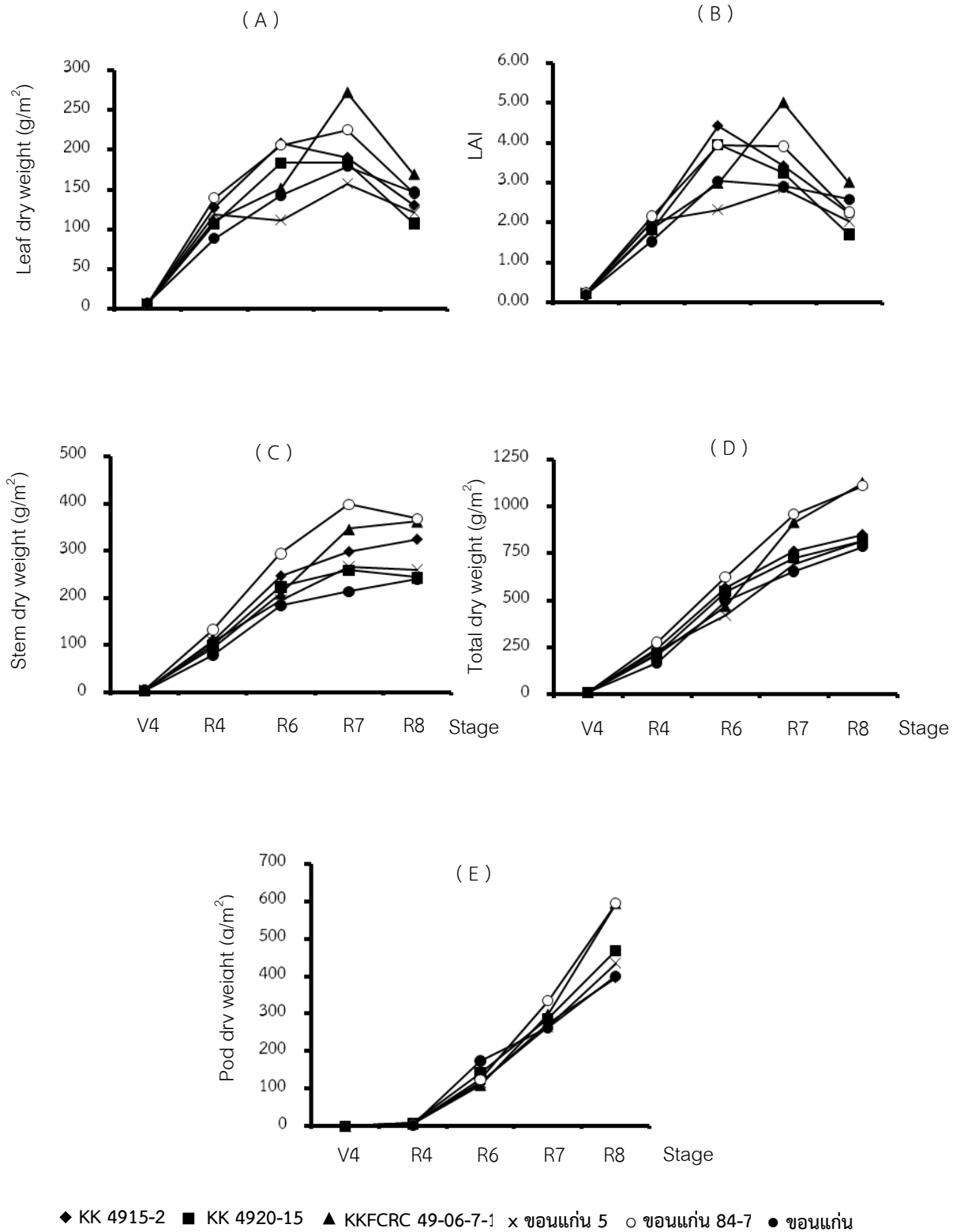
ภาพที่ 2 สภาพภูมิอากาศราย 10 วัน ตลอดช่วงการทดลองในฤดูฝนปี 2559 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น



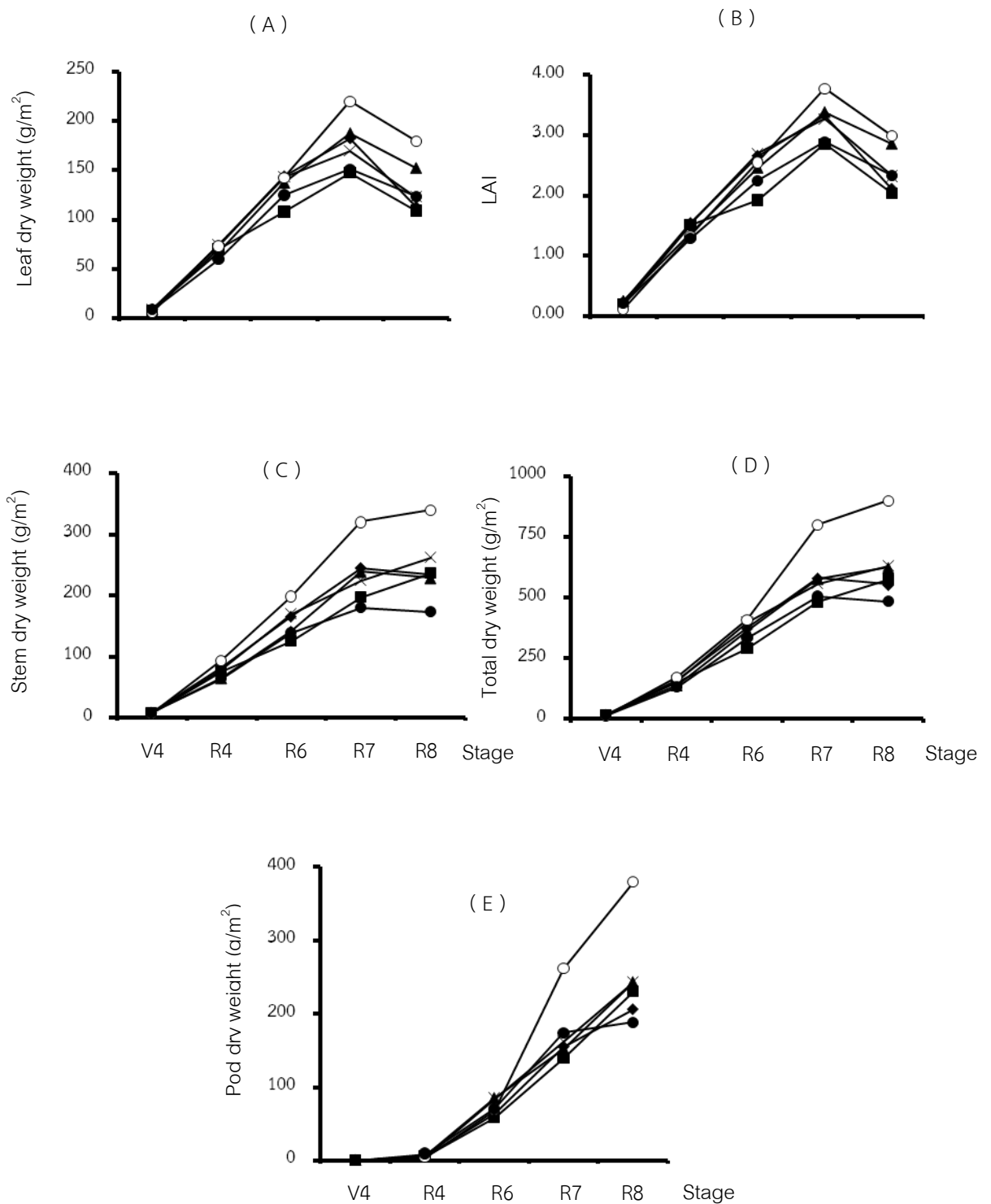
ภาพที่ 3 สภาพภูมิอากาศราย 10 วัน ตลอดช่วงการทดลองในฤดูแล้งปี 2560 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น



ภาพที่ 4 สภาพภูมิอากาศราย 10 วัน ตลอดช่วงการทดลองในฤดูฝนปี 2560 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น

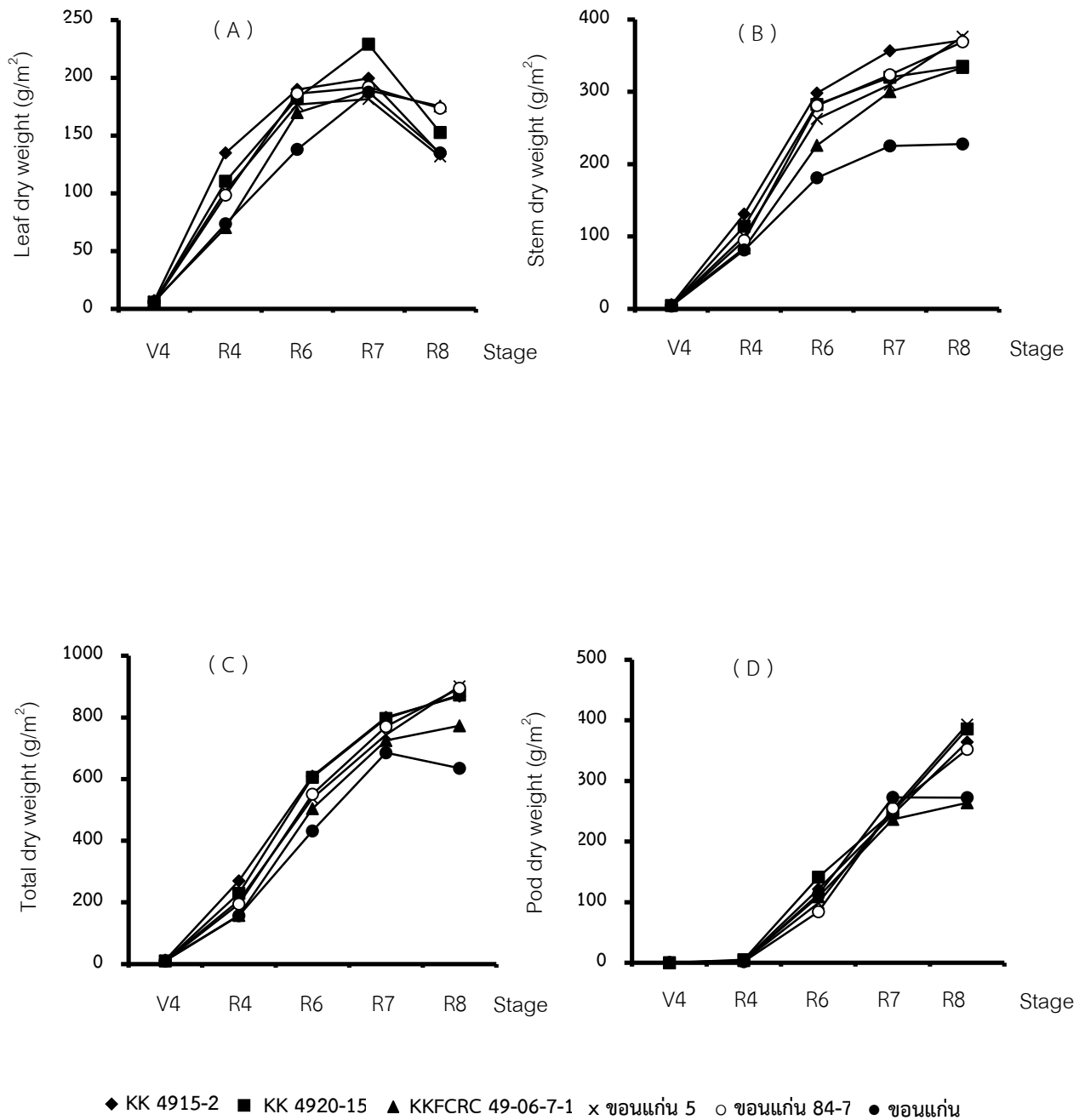


ภาพที่ 5 น้ำหนักใบแห้ง ดัชนีพื้นที่ใบ(LAI) น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักมวลรวมแห้ง และน้ำหนักฝักแห้ง ของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ปลูกในฤดูแล้งปี 2559

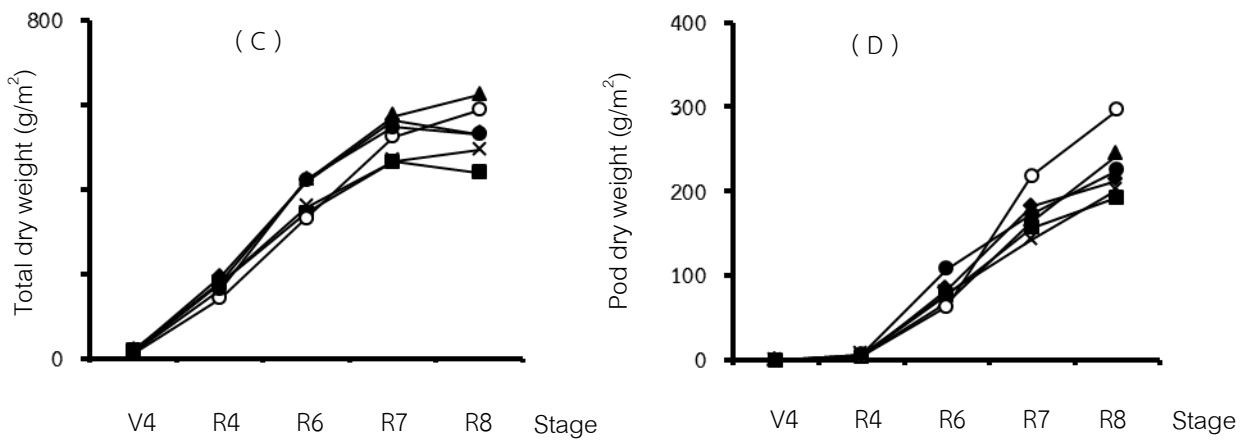
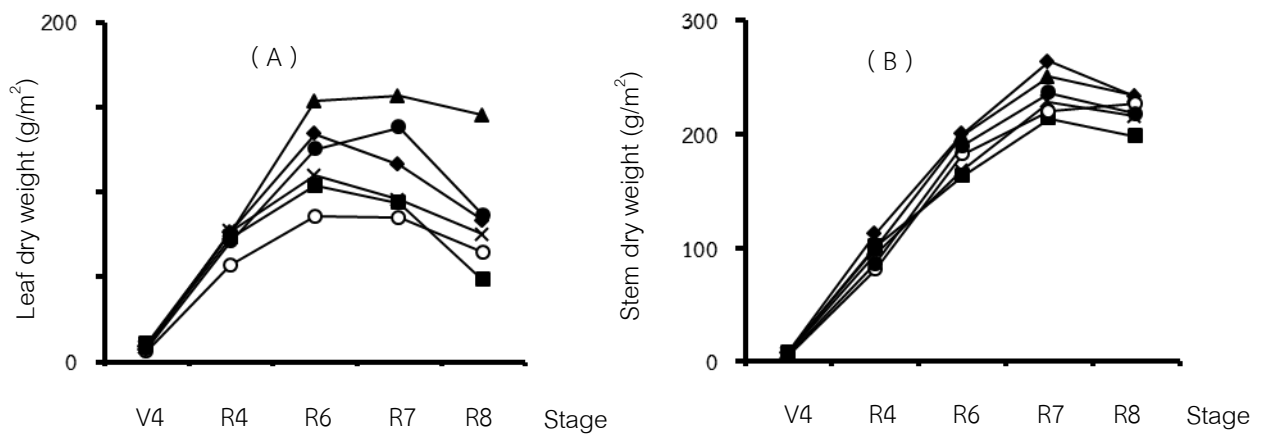


◆ KK 4915-2 ■ KK 4920-15 ▲ KKFCRC 49-06-7-1 × ขอนแก่น 5 ○ ขอนแก่น 84-7 ● ขอนแก่น

ภาพที่ 6 น้ำหนักใบแห้ง ดัชนีพื้นที่ใบ(LAI) น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักมวลรวมแห้ง และน้ำหนักฝักแห้ง ของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ที่ปลูกในฤดูฝนปี 2559

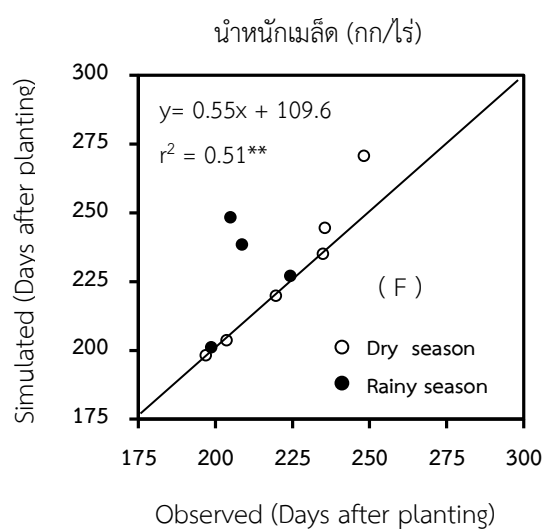
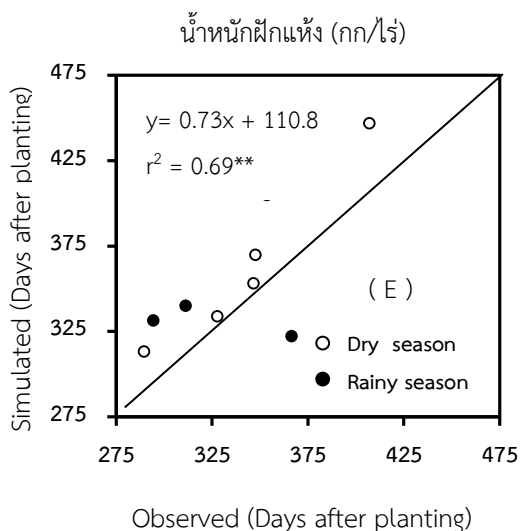
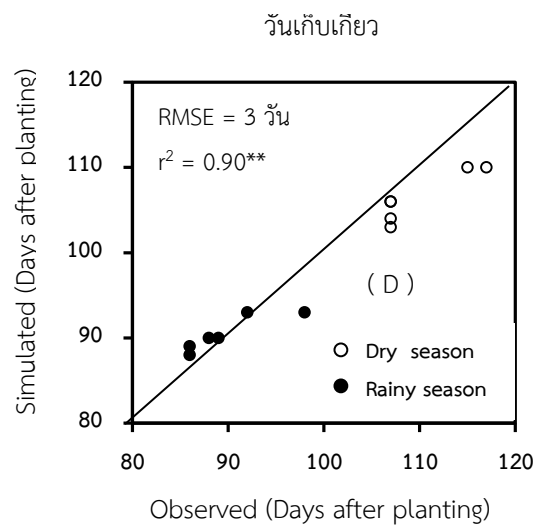
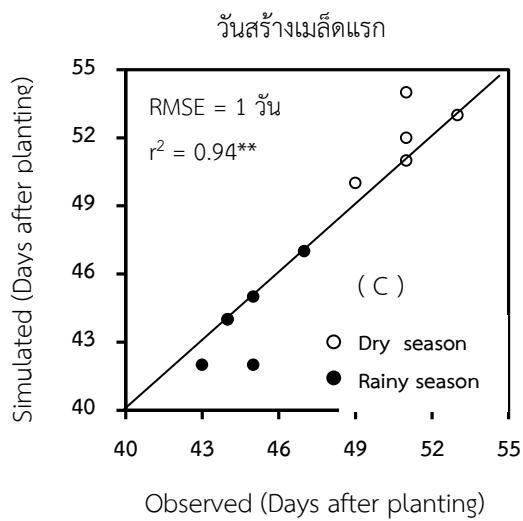
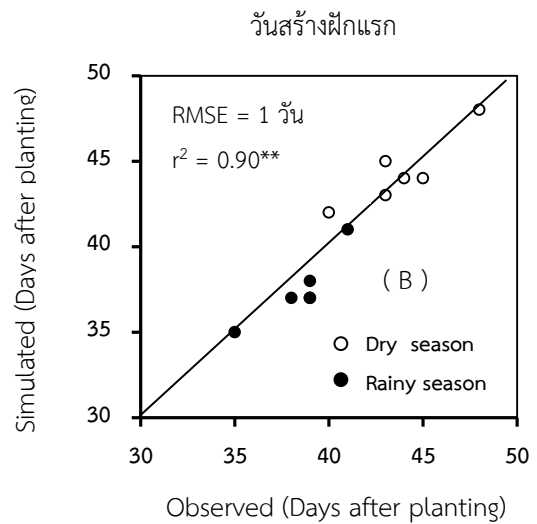
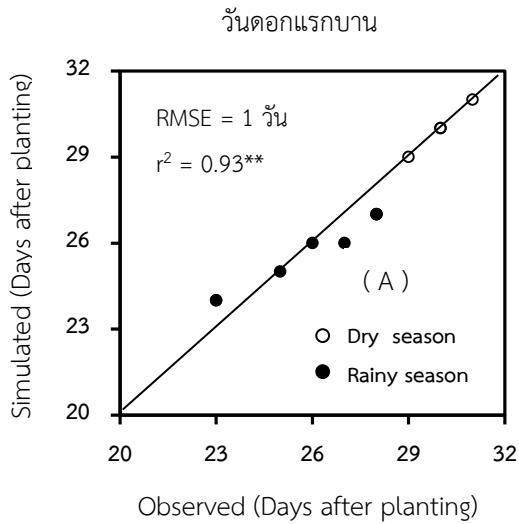


ภาพที่ 7 น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักมวลรวมแห้ง และน้ำหนักฝักแห้งของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์
ที่ปลูกในฤดูแล้งปี 2560



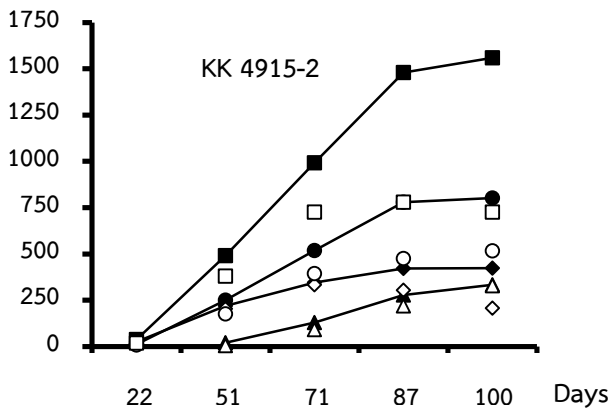
◆ KK 4915-2 ■ KK 4920-15 ▲ KKFCRC 49-06-7-1 × ขอนแก่น 5 ○ ขอนแก่น 84-7 ● ขอนแก่น

ภาพที่ 8 น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักมวลรวมแห้ง และน้ำหนักฝักแห้งของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ที่ปลูกในฤดูฝนปี 2560

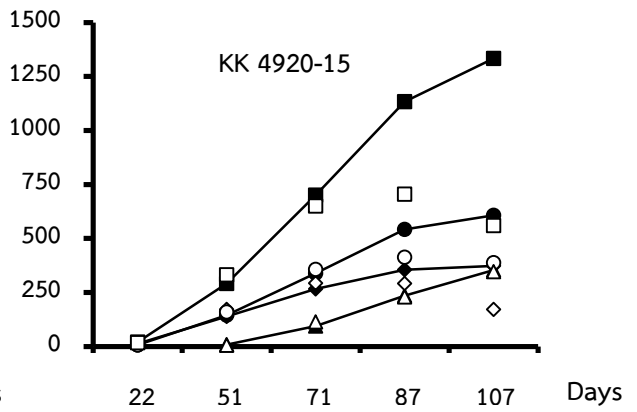


ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจำลองกับค่าสังเกตของลักษณะวันดอกแรกบาน วันสร้างฝักแรก วันสร้างเมล็ดแรก วันเก็บเกี่ยวของถั่วลิสง น้ำหนักฝักแห้ง (กก/ไร่) และน้ำหนักเมล็ด (กก/ไร่) 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ปลูกในฤดูแล้งปี 2559 และฤดูฝนปี 2559

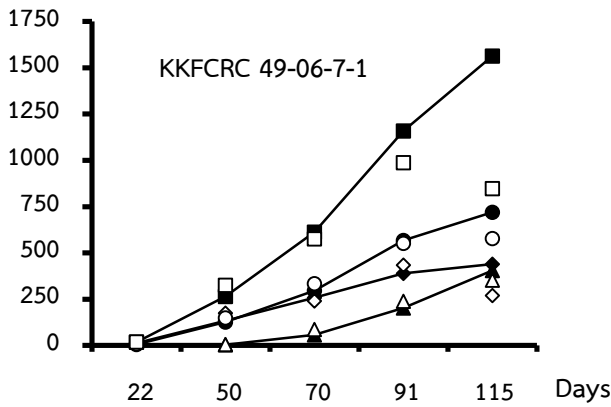
Dry weight (kg/rai)



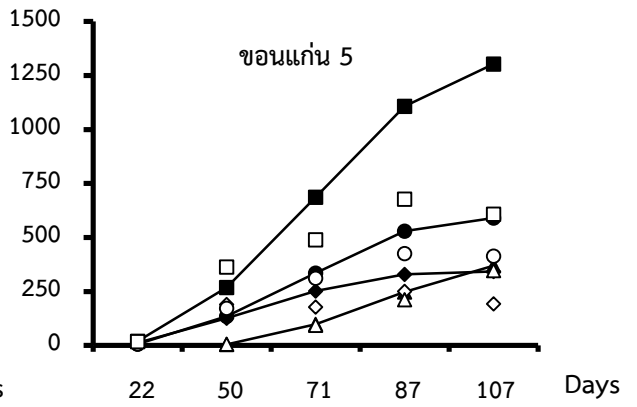
Dry weight (kg/rai)



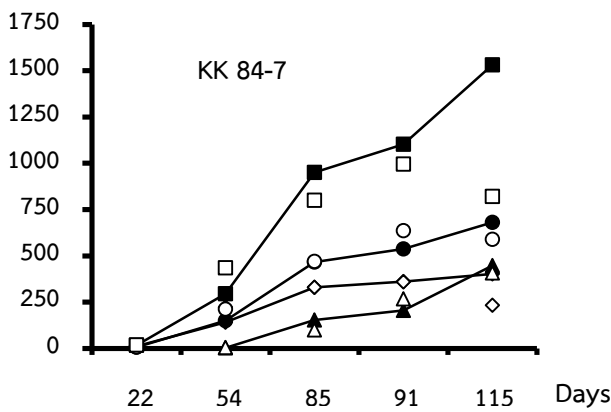
Dry weight (kg/rai)



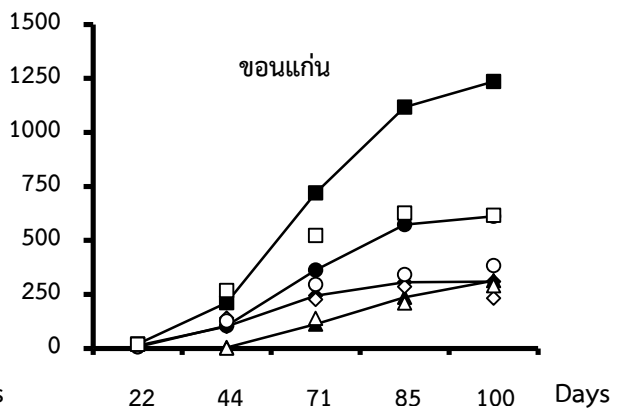
Dry weight (kg/rai)



Dry weight (kg/rai)

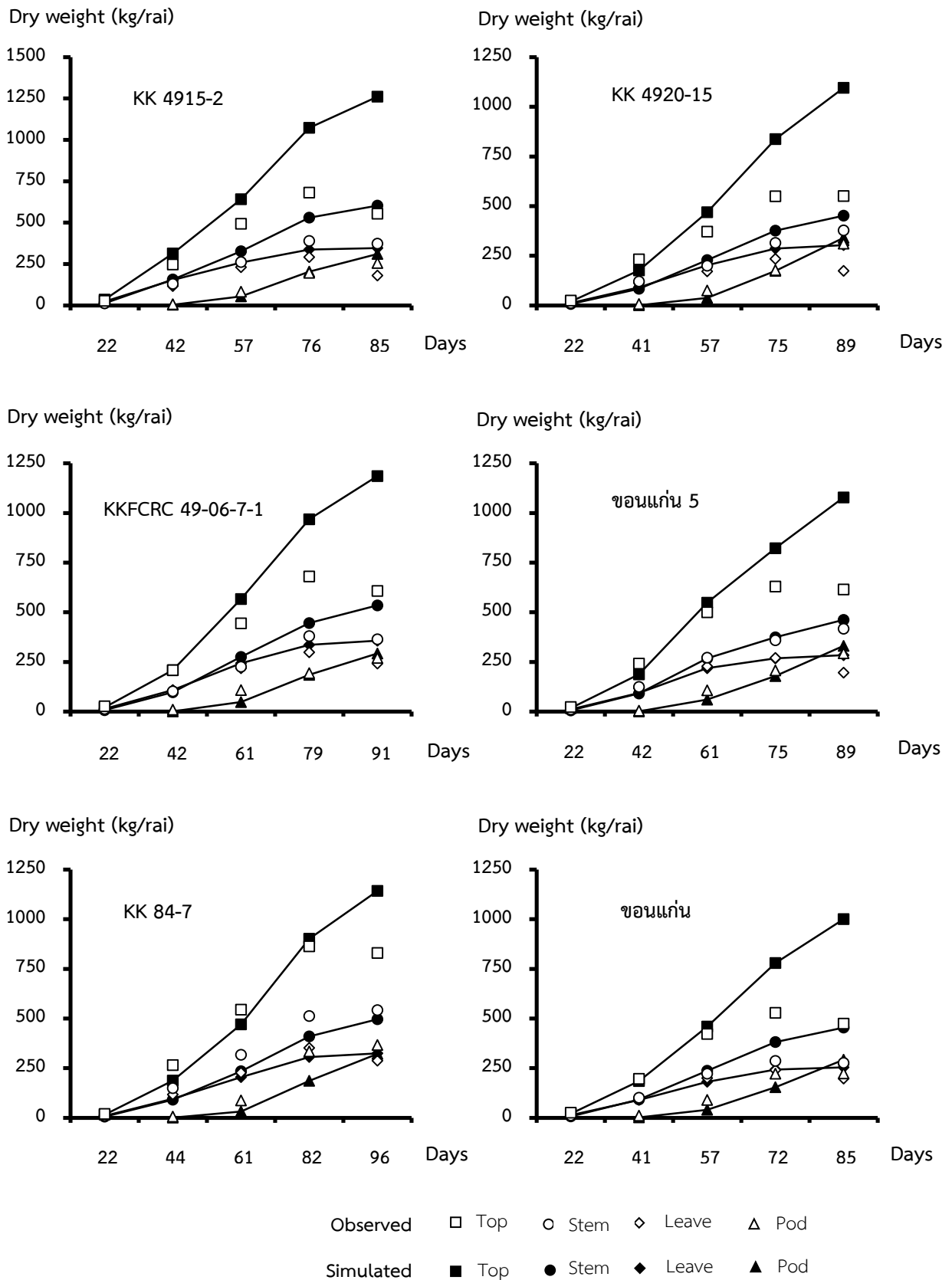


Dry weight (kg/rai)

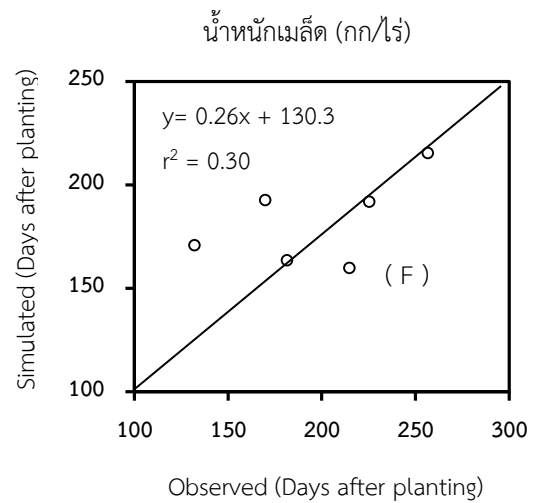
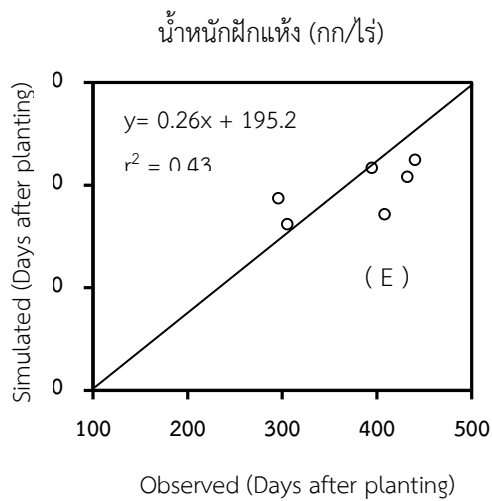
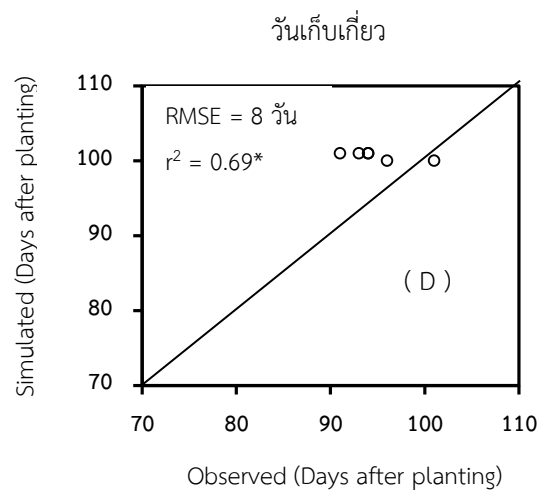
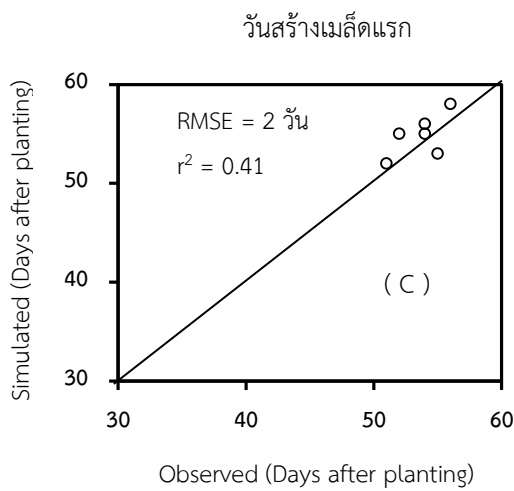
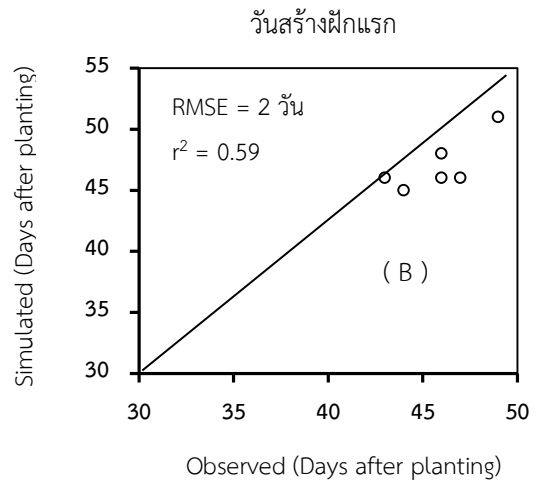
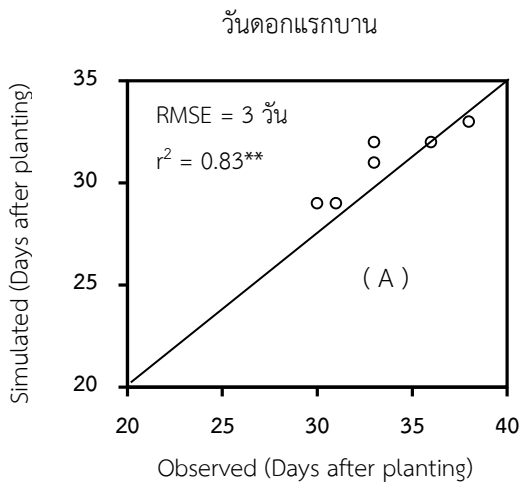


Observed □ Top ○ Stem ◇ Leaf ▲ Pod
 Simulated ■ Top ● Stem ◆ Leaf ▲ Pod

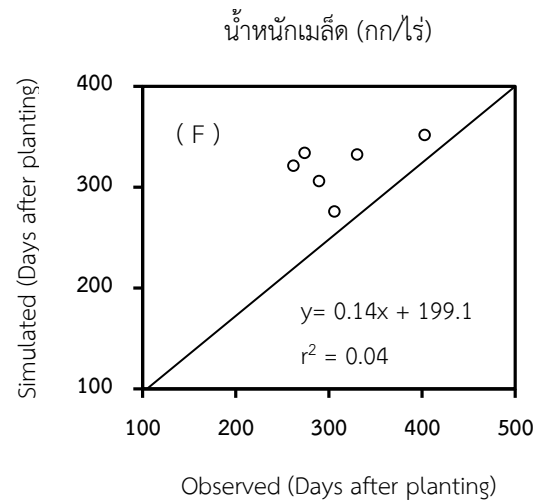
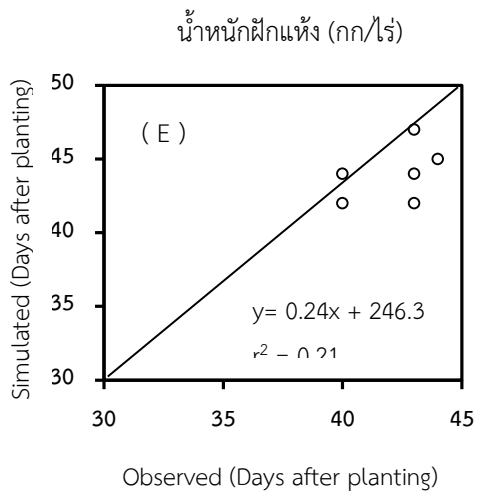
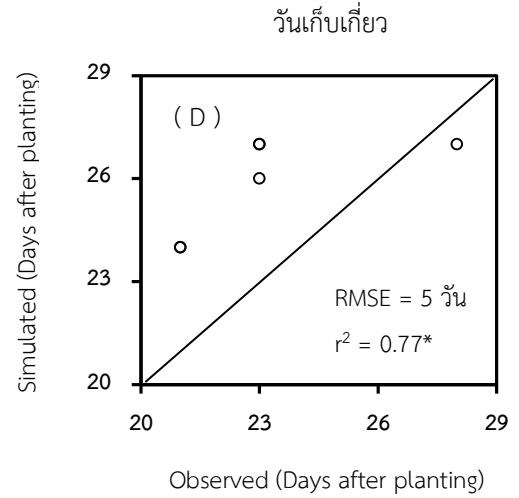
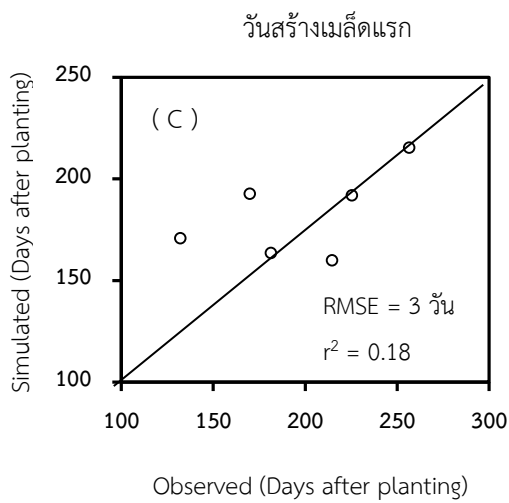
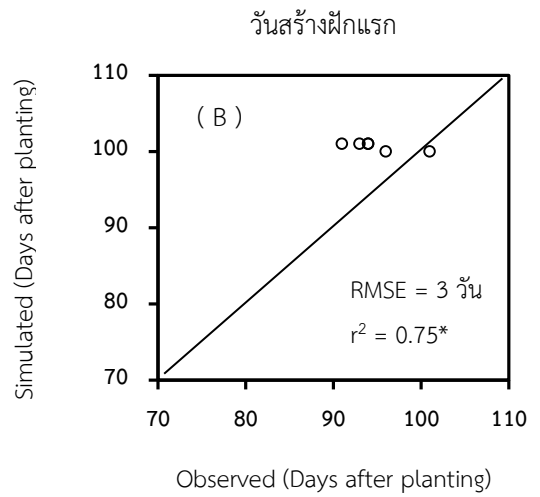
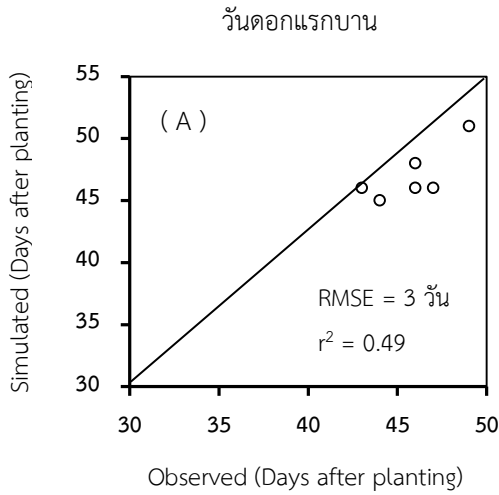
ภาพที่ 10 ค่าจำลอง(เส้น) และค่าสังเกต(สัญลักษณ์)ของลักษณะน้ำหนักมวลเหนือดิน น้ำหนักต้น น้ำหนักใบ และน้ำหนักฝักของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ปลูกในฤดูแล้งปี 2559



ภาพที่ 11 ค่าจำลอง(เส้น) และค่าสังเกต(สัญลักษณ์)ของลักษณะน้ำหนักมวลเหนือดิน น้ำหนักต้น น้ำหนักใบ และน้ำหนักฝักของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ปลูกในฤดูฝนปี 2559

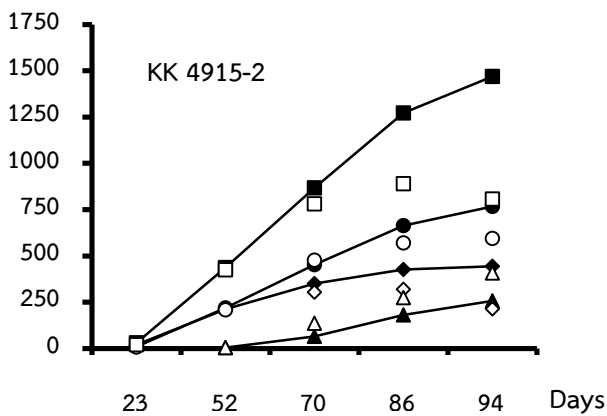


ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจำลองกับค่าสังเกตของลักษณะวันดอกแรกบาน วันสร้างฝักแรก วันสร้างเมล็ดแรก วันเก็บเกี่ยวของถั่วลิสง น้ำหนักฝักแห้ง (กก/ไร่) และน้ำหนักเมล็ด (กก/ไร่) 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ปลูกในฤดูแล้งปี 2560

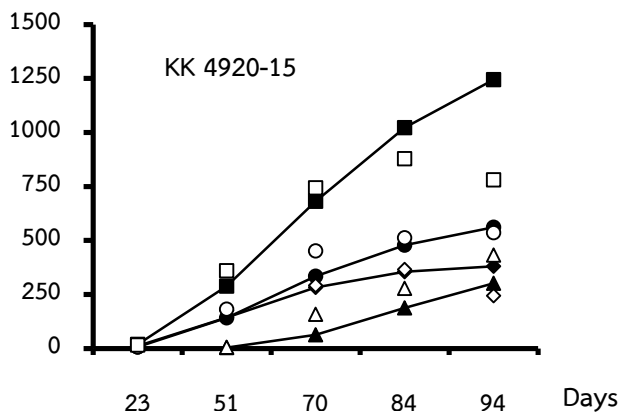


ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจำลองกับค่าสังเกตของลักษณะวันดอกแรกบาน วันสร้างฝักแรก วันสร้างเมล็ดแรก วันเก็บเกี่ยวของถั่วลิสง น้ำหนักฝักแห้ง (กก/ไร่) และน้ำหนักเมล็ด (กก/ไร่) 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ปลูกในฤดูฝนปี 2560

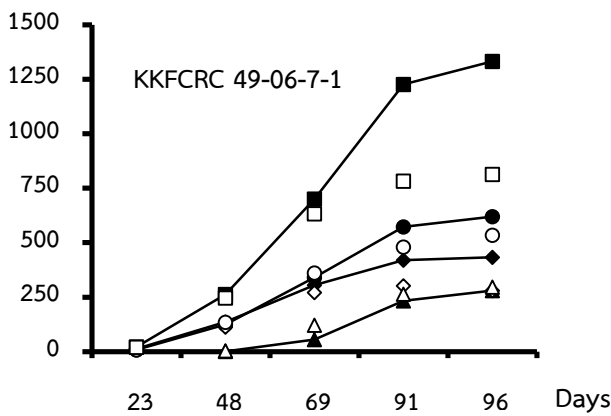
Dry weight (kg/rai)



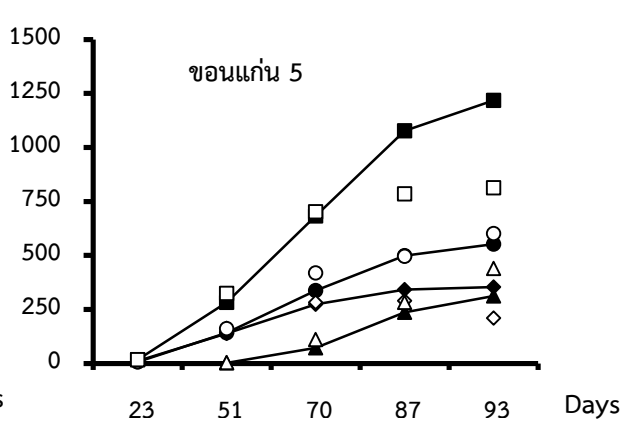
Dry weight (kg/rai)



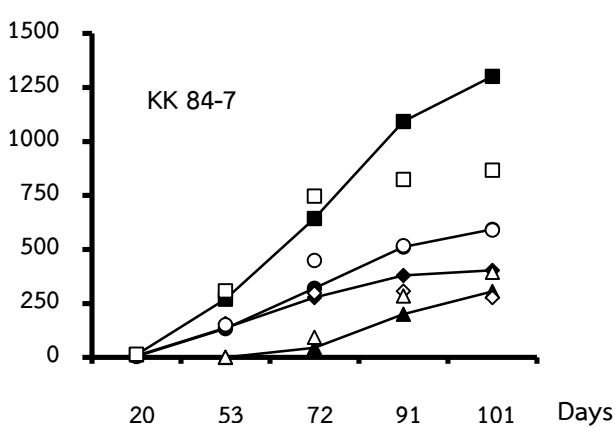
Dry weight (kg/rai)



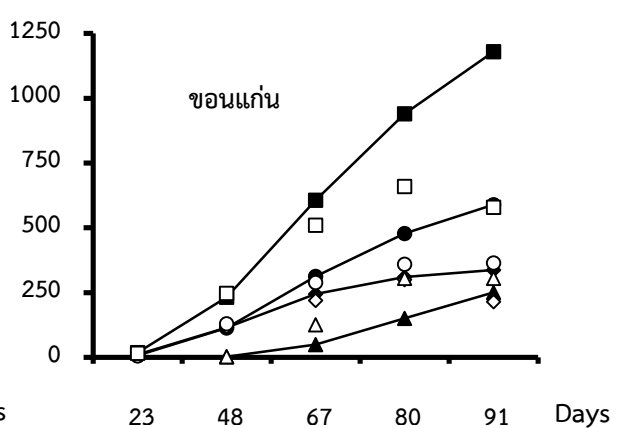
Dry weight (kg/rai)



Dry weight (kg/rai)



Dry weight (kg/rai)

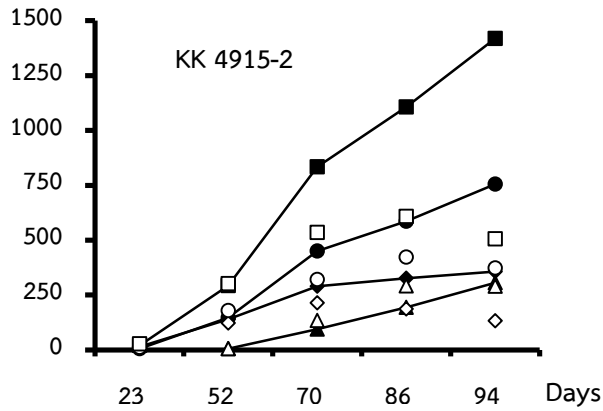


Observed □ Top ○ Stem ◇ Leaf △ Pod

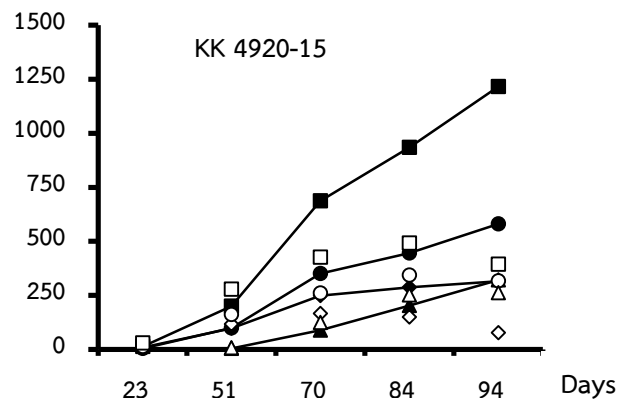
Simulated ■ Top ● Stem ◆ Leaf ▲ Pod

ภาพที่ 14 ค่าจำลอง(เส้น) และค่าสังเกต(สัญลักษณ์)ของลักษณะน้ำหนักมวลเหนือดิน น้ำหนักต้น น้ำหนักใบ และน้ำหนักฝักของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ปลูกในฤดูแล้งปี 2560

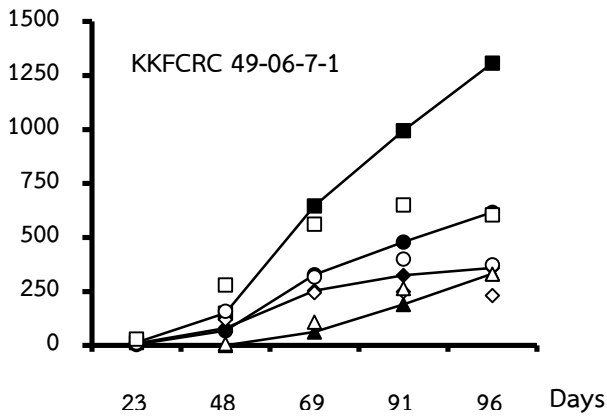
Dry weight (kg/rai)



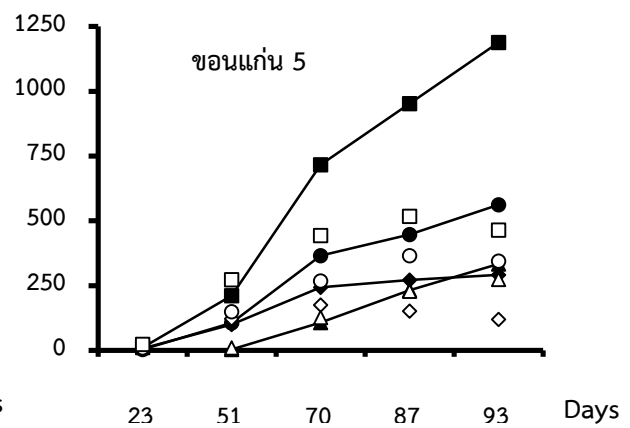
Dry weight (kg/rai)



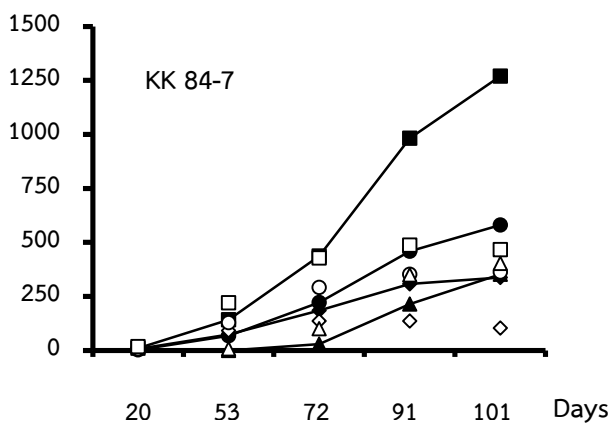
Dry weight (kg/rai)



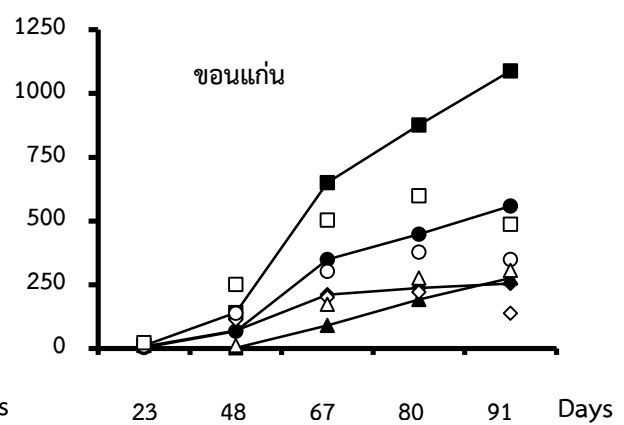
Dry weight (kg/rai)



Dry weight (kg/rai)



Dry weight (kg/rai)



Observed □ Top ○ Stem ◇ Leaf △ Pod

Simulated ■ Top ● Stem ◆ Leaf ▲ Pod

ภาพที่ 15 ค่าจำลอง(เส้น) และค่าสังเกต(สัญลักษณ์)ของลักษณะน้ำหนักมวลเหนือดิน น้ำหนักต้น น้ำหนักใบ และน้ำหนักฝักของถั่วลิสง 6 สายพันธุ์/พันธุ์ ปลูกในฤดูฝนปี 2560