บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการประเมินศักยภาพของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการจำลองการตอบสนองของถั่วลิสง 7 พันธุ์ ภายใต้สภาวะการได้รับปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ และส่วนที่สองคือการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROGRO-Peanut เพื่ออธิบายลักษณะเครียดจากการขาดน้ำของถั่วลิสงในพื้นที่ผลิตที่สำคัญ โดยมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. การประเมินศักยภาพของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการจำลองการตอบสนองของถั่วลิสง 7 พันธุ์ ภายใต้สภาวะการได้รับปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ

แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

1.1 การปลูกทดสอบการตอบสนองของถั่วลิสง 7 พันธุ์ ภายใต้ปริมาณน้ำที่ได้รับแตกต่างกัน 3 ระดับ ในสภาพแปลง

1.2 การจำลองสถานการณ์การตอบสนองของถั่วลิสง 7 พันธุ์ ภายใต้ปริมาณน้ำที่ได้รับแตกต่างกัน 3 ระดับโดยแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut

1.3 การประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อมูลที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงและข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์

1.1 การปลูกทดสอบการตอบสนองของถั่วลิสง 7 พันธุ์ ภายใต้ปริมาณน้ำที่ได้รับแตกต่างกัน 3 ระดับ ในสภาพแปลง

ทำการทดลองสองครั้ง ครั้งแรกทำการทดลองระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2546 ถึงเดือนเมษายน 2547 และครั้งที่สองทำการทดลองระหว่างเดือนตุลาคม 2547 ถึงเดือนเมษายน 2548

1.1.1 สถานที่ทดลองและสภาพอากาศ

ทำการทดลองที่แปลง A3 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งตั้งอยู่ที่เส้นรุ้งที่ 16° 26′ เหนือ และเส้นแวงที่ 102° 50′ ตะวันออก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2537) พื้นมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ประมาณ 190 เมตร พื้นที่ดินเป็นชุดดินยโสธร เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (เพิ่มพูน, 2527) ตลอดการทดลองบันทึกข้อมูลฟ้าอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประกอบด้วยปริมาณน้ำฝน (rain) น้ำระเหย (evaporation) อุณหภูมิอากาศสูงสุด-ต่ำสุด (maximum-minimum air temperature) และพลังงานรังสีอาทิตย์ (solar radiation)

1.1.2 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ split plot design จำนวน 4 ซ้ำ จัด main-plot เป็นปริมาณน้ำ มี 3 ระดับ คือที่ระดับความจุสนาม (F.C.), 2/3 ของความเป็นประโยชน์ของน้ำ (2/3 A.W.) และ 1/3 ของความเป็นประโยชน์ของน้ำ (1/3 A.W.) และจัด sub-plot เป็นพันธุ์ถั่วลิสง มี 7 พันธุ์ ได้แก่พันธุ์ Tainan 9 ซึ่งเป็นพันธุ์ถั่วลิสงเมล็ดเล็กที่นิยมปลูกโดยทั่วไปของเกษตรกร และให้ผลผลิตสูง พันธุ์ Khon Kaen 60-3 เป็นพันธุ์ถั่วลิสงเมล็ดโตให้ผลผลิตสูง พันธุ์ Tifton-8 เป็นถั่วลิสงเมล็ดโตมีความสามารถในการทนแล้ง เป็นพันธุ์แนะจาก United State Department of Agricuture (USDA) กลุ่มพันธุ์ ICGV98308, ICGV98324 และ ICGV98348 เป็นพันธุ์ถั่วลิสงเมล็ดขนาดกลางที่มีความสามารถในการทนแล้งได้ดี เป็นพันธุ์แนะจาก International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) และพันธุ์ Non-nod เป็นพันธุ์ถั่วลิสงไม่สร้างปม

1.1.3 การเตรียมแปลง การปลูก และการดูและรักษา

การเตรียมแปลง ทำการไถดะ 1 ครั้ง และไถแปร 2 ครั้ง หลังจากนั้นตรวจวัด pH ดินก่อนโรยปูนขาวเพื่อปรับสภาพกรด-ด่าง จากนั้นพรวนและคราดดินจนสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง

การปลูก ก่อนปลูกคลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงที่ทดลองทั้ง 7 พันธุ์ ด้วย ไดเทนเอ็ม-45 (แคปแทน) อัตรา 10 กรัม/เมล็ด 1 กิโลกรัม เพื่อป้องกันเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคโคนเน่า สำหรับถั่วลิสงพันธุ์ Khon Kaen 60-3 และ Tifton-8 พรมเมล็ดด้วยสารอีเทรล (48 %) อัตรา 2 ซีซี/น้ำ 1 ลิตร เพื่อทำลายการพักตัวของเมล็ด ทำการปลูกถั่วลิสงหลุมละ 3 เมล็ด โดยใช้ระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ระยะระหว่างแถว 50 เซนติเมตร

การดูแลรักษา หลังจากถั่วลิสงงอก 14 วัน ถอนแยกให้เหลือหลุมละ 2 ต้น ทำการกำจัดวัชพืช และใส่ปุ๋ย อัตรา 0-9-6 กิโลกรัม/ไร่ ($N-P_2O_5-K_2O$) เมื่อถั่วลิสงอายุ 30 วันหลังงอก ใส่แคลเซียมในรูปของยิปซัม ($CaSO_4$) อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ และถ้าพบว่ามีการเข้าทำลายของแมลงทำการฉีดพ่นสารกำจัดแมลงด้วยอะโซดริน อัตรา 20 ซีซี/น้ำ 20 ลิตร เพื่อกำจัดแมลงดังกล่าว

1.1.4 การให้น้ำชลประทาน

หลังปลูกถั่วลิสงทำการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอทุกแปลงทดลองย่อยด้วยวิธีน้ำหยด (drip irrigation) โดยใน 1 แปลงย่อยจะมีท่อน้ำ 5 ท่อ แต่ละท่อมีจุดปล่อยน้ำห่างกันทุก ๆ 20 เซนติเมตร วางแต่ละท่อให้อยู่ระหว่างกึ่งกลางแถวถั่วลิสง แถวที่ 1 และ 2, 3 และ 4, 5 และ 6, 7และ 8 และ 9 กับ 10 ตามลำดับ ยกเว้นในแปลงย่อยที่ได้รับความชื้นดินที่ระดับ 1/3 A.W. จะวางท่อน้ำ 9 ท่อในทุกกึ่งกลางแถวที่ปลูกถั่วลิสงโดยให้ท่อฝังลึกลงใต้ผิวดิน 10 เซนติเมตร หลังปลูกให้น้ำกับถั่วลิสงทุกแปลงที่ระดับ F.C. ถึงระดับความลึกดิน 0-30

เซนติเมตร เพื่อให้ถั่วลิสงสามารถงอกได้ หลังจากถอนแยก (14 วันหลังปลูก) แล้วทำการควบคุมปริมาณน้ำในแต่ละแปลงย่อยถึงระดับความลึก 0-60 เซนติเมตร ตลอดการทดลองตามทรีตเมนต์ที่กำหนด ตามแต่ละปริมาณน้ำ ได้แก่ F.C., 2/3 A.W. และ 1/3 A.W. ซึ่งดินในแต่ละระดับน้ำมีความชื้นตามตารางที่ 2 ทำการรักษาระดับความชื้นไว้หรือให้ลดลงได้ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ตลอดการทดลอง

การควบคุมน้ำในแต่ละทรีตเมนต์ ปริมาณน้ำที่ให้แต่ละครั้งได้ให้เท่ากับการใช้น้ำของถั่วลิสง และการระเหยน้ำจากผิวพื้นดินในกลุ่มถั่วลิสงของแต่ละทรีตเมนต์ โดยการให้น้ำของถั่วลิสงคำนวณได้ตามวิธีการของ Doorenbos and Pruitt (1992) ดังนี้

$$ET\ crop = ETo \times kc$$

เมื่อ ET crop คือ ปริมาณน้ำที่พืชต้องการ

ETo คือ ค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน) ซึ่งคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลฟ้าอากาศตามวิธี Pan evaporation method

kc คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช เป็นลักษณะประจำของพืชแต่ละชนิดและแต่ละช่วงการเจริญเติบโต ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ค่า kc ของถั่วลิงสง

สำหรับการระเหยน้ำจากผิวพื้นดินในกลุ่มถั่วลิสง (surface evaporation, S.E.) คำนวณได้ตามวิธีของ Singh and Russsel (1980) ดังนี้

$$S.E. = \beta\ (E_0 / T)$$

เมื่อ S.E. คือ การระเหยน้ำไปจากผิวดิน (surface evaporation) ภายในหมู่พืช

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงในหมู่พืช

E_0 คือ ค่าน้ำระเหยรายวันที่วัดได้จากถาดน้ำระเหย class A (มิลลิเมตร)

T คือ จำนวนวันหลังจากวันให้น้ำหรือหลังวันฝนตก

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นดินจากแปลงทดลองก่อนปลูก ที่ระดับ F.C., 2/3 A.W. และ 1/3 A.W. ซึ่งการตรวจวัดทำโดยวิธี Pressure plate and Pressure flow cell

ระดับน้ำ	% ความชื้นดิน
Filed capacity (F.C.)	10.55
2/3 ของความเป็นประโยชน์ของน้ำ (2/3 A.W.)	8.43
1/3 ของความเป็นประโยชน์ของน้ำ (1/3 A.W.)	6.40
Permanent wilting point (PWP)	4.23

1.1.5 ข้อมูลที่ทำการตรวจวัด

ก) ข้อมูลดิน

ก่อนปลูกถั่วลิสงเก็บตัวอย่างดินเพื่อวัด pH และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินชุดยโสธร มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy lome) ที่ระดับ 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร มีดินทราย (sand) 77.17 และ 75.26 % ตามลำดับ, ดินร่วน (silt) 16.42 และ 15.63 % ตามลำดับ และดินเหนียว (clay) 6.40 และ 9.12 % ตามลำดับ สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่สำคัญบางประการแสดงไว้ดังตารางที่ 3

ก่อนปลูกถั่วลิสงและวันเก็บเกี่ยว วัดความชื้นดินโดยวิธีกราวิเมตริก (gravimetric method) ที่ระดับ 25-30 และ 55-60 เซนติเมตร จากผิวดินในทุกแปลงย่อย แปลงย่อยละ 2 จุด นำดินไปชั่งน้ำหนักทันทีหลังเก็บตัวอย่าง และอบตัวอย่างดินที่อุณหภูมิ 105° C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักดินหลังอบแห้ง คำนวณหาความชื้นในดินตามวิธีของ Gradner (1985) ดังนี้

$$\text{ความชื้นในดิน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักดินก่อนอบ-น้ำหนักดินแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง}} \times 100$$

ตลอดการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นดินทุกสัปดาห์ ด้วยวิธี Nuetron จากทุกแปลงย่อย ที่ระดับความลึก 30, 60 และ 90 เซนติเมตร จากผิวดิน ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ 3

ข) ข้อมูลพืช

ข้อมูลทางด้านพัฒนาการ บันทึกอายุของถั่วลิสงเมื่อถึงระยะที่ถั่วลิสงมีใบโผล่พ้นดิน (VE), ระยะที่ถั่วลิสงมีใบในข้อที่สี่เจริญเติบโตเต็มที่ (V4), ระยะที่ถั่วลิสงมีดอกอย่างน้อย 1 ดอกต่อต้น (R1) และระยะที่ถั่วลิสงมีฝักสุกแก่ 67-70 เปอร์เซ็นต์ต่อต้น (R8) (Boote, 1982) โดยสังเกตพัฒนาการของถั่วลิสงทุกวันตั้งแต่วันปลูกจนถึงวันที่ถั่วลิสงมีการสร้างเข็ม หลังจากนั้นจะสังเกตพัฒนาการของฝักโดยสุ่มต้นถั่วลิสง 4 ต้น ทุก ๆ 3 วัน บันทึกวันที่ของระยะพัฒนาการของฝักถั่วลิสง เมื่อมีอย่างน้อย 2 ต้นใน 4 ต้นที่ผ่านเกณฑ์ระยะดังกล่าว

ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต เก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของถั่วลิสงทั้งหมด 7 ระยะ คือเมื่อถั่วลิสงอายุ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังปลูกและอายุเมื่อเก็บเกี่ยว โดยจะเก็บตัวอย่างครั้งละ 6 ต้น ต่อแปลงย่อย นำต้นถั่วลิสงมาล้างให้สะอาด ตัดรากทิ้งแล้วนำมาแยกส่วนของใบ ลำต้น ฝักและเมล็ด แล้วสุ่มใบ 50 ใบ เพื่อนำมาวัดพื้นที่ใบโดยวิธีการเจาะใบด้วย disk borrer ที่มีพื้นที่วงกลม 1.25 ตารางเซนติเมตร นำส่วนต่าง ๆ ของถั่วลิสงมาอบที่อุณหภูมิ 70 อาศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างที่อบมีน้ำหนักแห้งคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างมาชั่งโดยใช้เครื่องชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วบันทึกผล ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องบันทึกแสดงไว้ในตารางที่ 4 และแผนภาพการเก็บตัวอย่างถั่วลิสงและบริเวณตรวจวัดความชื้นดินแสดงไว้ในภาพที่ 1

ข้อมูลฟ้าอากาศรายวัน รวบรวมได้จากสถานีตรวจอากาศหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งตั้งอยู่ห่างแปลงทดลองประมาณ 10 เมตร ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วยปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ปริมาณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (MJ/m^2/วัน) อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)

ข้อมูลการจัดการแปลง ทำการบันทึกอย่างละเอียดทุกขั้นตอน ได้แก่ ระยะปลูก วันปลูก วันที่และปริมาณการใส่ปุ๋ยและให้น้ำ เป็นต้น เพื่อนำไปเป็นข้อมูลตัวป้อนให้แก่แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในขั้นตอนต่อไป

1.2 การจำลองสถานการณ์การตอบสนองของถั่วลิสง 7 พันธุ์ เมื่อได้รับปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut

ใช้ข้อมูลตัวป้อนซึ่งประกอบด้วย

1.2.1 ข้อมูลฟ้าอากาศรายวัน รวบรวมจากหัวข้อ 1.1

1.2.2 ข้อมูลชุดดิน รวบรวมจากหัวข้อ 1.1

1.2.3 ข้อมูลการจัดการพืช รวบรวมจากหัวข้อ 1.1

1.2.4 ข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ถั่วลิสง (genetic coefficient)

สำหรับข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงพันธุ์ Khon Kean 60-3 และพันธุ์ Tainan 9 รวบรวมได้จากการศึกษาของ Banterng et al. (2004) พันธุ์ Tifton-8 ได้จาก

ฐานข้อมูลของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut นอกจากนั้นยังทำการทดลองเพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงเพิ่มเติมอีก 4 พันธุ์ คือ ICGV98308, ICGV98324, ICGV98348 และ Non-nod โดยทำการปลูกถั่วลิสงทั้ง 4 พันธุ์ ใน 2 วันปลูกคือ ฤดูฝนปี 2547 (มิถุนายน-ตุลาคมปี 2547) และฤดูแล้งปี 2547/2548 (ธันวาคมปี 2547-เมษายนปี 2548) รายละเอียดของการทำการทดลองมีดังนี้

ก) แผนการทดลอง

วางแผนแบบทดลองแบบ RCBD มี 4 ซ้ำ จัดทรีตเมนต์เป็น ถั่วลิสงมี 4 พันธุ์ได้แก่ ICGV98308, ICGV98324, ICGV98348 และ Non-nod ขนาดแปลงทดลองเท่ากับ 5x6 เมตร

ข) การปลูกและการดูแลรักษา

ก่อนปลูกคลุกเมล็ดด้วยสารกันเชื้อรา แคปแทน อัตรา 10 กรัม/เมล็ดถั่วลิสง 1 กิโลกรัม เพื่อป้องกันการติดเชื้อราในเมล็ดก่อนงอก ปลูกโดยการหยอดเมล็ดจำนวน 4 เมล็ด/หลุม ระยะปลูก 50x20 เซนติเมตร หลังปลูกเสร็จแล้วให้น้ำโดยระบบ sprinkle เมื่อถั่วลิสงมีอายุ 7 วันหลังงอกทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้น/หลุม หลังจากถั่วลิสงแทงเข็มแล้วใส่ยิปซัม อัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ การจัดการด้านโรค แมลงและวัชพืช ทำการกำจัดตามความจำเป็น

ค) ข้อมูลที่ทำการตรวจวัด

ข้อมูลดิน ก่อนปลูกเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพและทางเคมีดิน โดยทำการสุ่มเก็บดิน งานทดลองละ 2 จุด จุดละ 7 ชั้นความลึก คือที่ระดับ 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75, 75-90 และ 90-105 เซนติเมตร ในแต่ละชั้นความลึกจะแยกเก็บดินเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพและส่วนที่สองเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมี

ข้อมูลพืช ประกอบด้วยข้อมูลทางด้านพัฒนาการ ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต และข้อมูลในระยะเก็บเกี่ยว สำหรับข้อมูลทางด้านพัฒนาการ ทำการบันทึกอายุของถั่วลิสง 4 พันธุ์ เมื่อถึงระยะที่ถั่วลิสงมีใบเลี้ยงโผล่พ้นดิน (VE), ระยะที่ถั่วลิสงมีใบในข้อที่สี่เจริญเติบโตเต็มที่ (V4), ระยะที่ถั่วลิสงมีดอกอย่างน้อย 1 ดอกต่อต้น (R1), ระยะที่ถั่วลิสงมีเข็มอย่างน้อย 1 เข็มต่อต้น (R2), ระยะที่ถั่วลิสงมีฝักแรกขนาดเป็น 2 เท่าของเข็ม (R3), ระยะที่ถั่วลิสงมีฝักแรกเจริญเติบโตเต็มที่ (R4), ระยะที่ถั่วลิสงมีฝักแรกเริ่มมีการสร้างเมล็ด (R5), ระยะที่ถั่วลิสงมีฝักแรกที่เมล็ดเจริญเติบโตเต็มที่ (R6), ระยะที่ถั่วลิสงมีฝักแรกสุกแก่เต็มที่ (R7), และระยะที่ถั่วลิสงมีเมล็ดสุกแก่ 67-70 เปอร์เซ็นต์ต่อต้น (R8) รายละเอียดของการตรวจวัดได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 1.1.5 ส่วนของข้อมูลพืชที่เป็นลักษณะด้านพัฒนาการ สำหรับข้อมูลด้านการเจริญเติบโต ทำการเก็บข้อมูลเมื่อถั่วลิสงอายุ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังปลูกและวันเก็บเกี่ยว โดยจะเก็บตัวอย่างครั้งละ 6 ต้น/แปลงย่อย วิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อการตรวจวัดน้ำหนักแห้งปฏิบัติตามวิธีการในหัวข้อ 1.1.5 ที่เกี่ยวกับการเก็บข้อมูลพืช ส่วนของข้อมูลด้านการเจริญเติบโต สำหรับข้อมูลในระยะเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วลิสงในพื้นที่ 8 ตาราง

เมตร จากพื้นที่ปลูก 30 ตารางเมตร ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย อายุเก็บเกี่ยว จำนวนต้นต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งฝักและน้ำหนักแห้งเมล็ด

1.3 การประเมินความสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากการปลูกทดสอบจริงกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut

ประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจากแปลงทดลองจริง (หัวข้อ 1.1) กับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลอง (หัวข้อ 1.2) โดยใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) และ ค่า d-stat ซึ่งถ้าหากค่า d-stat ที่มีค่าใกล้เคียง 1 และค่า RMSE ที่ต่ำ (เทียบจากความต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการจำลองและข้อมูลที่ได้จากการสังเกตจริง โดยจะมีหน่วยตามลักษณะที่ทำการตรวจวัด) แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการสังเกตจากการปลูกทดสอบจริงกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่าแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut สามารถจำลองการตอบสนองของถั่วลิสงภายใต้การได้รับน้ำระดับต่างๆ ได้ดี ค่า RMSE และ D-stat สามารถคำนวณได้ดังนี้

1) $RMSE = \left[1/N \sum (Si-Oi)^2\right]^{0.5}$

เมื่อ N คือ จำนวนของค่าสังเกต
Si คือ ค่าที่ได้จากการจำลองของการวัดครั้งที่ i
Oi คือ ค่าที่ได้จากการสังเกตของการวัดครั้งที่ i

2) Agreement index (d) หรือค่า d- statistic

$$\text{d- statistic} = 1 - \left[\sum (Si - Oi)^2 / \sum \left(|Si'| + |Oi'|\right)^2\right] ; 0<d<1$$

เมื่อ Si คือ ค่าที่ได้จากการจำลองของการวัดครั้งที่ i
Oi คือ ค่าที่ได้จากการสังเกตของการวัดครั้งที่ i
Si' คือ Si ลบค่าเฉลี่ยของ S
Oi' คือ Oi ลบค่าเฉลี่ยของ O

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนปลูก

คุณสมบัติของดิน	ความลึกดิน	
	0-15 ซม.	15-30 ซม.
คุณสมบัติทางกายภาพ [1/]		
อนุภาคดินทราย (sand; %)	77.17	75.26
อนุภาคดินร่วน (silt; %)	16.42	15.63
อนุภาคดินเหนียว (clay; %)	6.40	9.12
คุณสมบัติทางเคมี		
pH (1:1 H2O)	6.23	6.05
อินทรียวัตถุ (%) [2/]	0.85	0.71
ไนโตรเจนทั้งหมด (%) [3/]	0.04	0.03
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm.) [4/]	62.03	46.23
โพแทสเซียม (ppm.) [5/]	61.41	57.27
แคลเซียม (ppm.) [6/]	543.45	557.45
แมกนีเซียม (ppm.) [7/]	31.68	28.53
ค่าการนำไฟฟ้า (EC., mS/cm) (1:5 H_2O)	0.11	0.08

หมายเหตุ

[1/] โดยวิธี Hydrometer

[2/] โดยวิธี Wet oxidation

[3/] โดยวิธี Micro-kjeldahl

[4/] โดยวิธี Bray II

[5/] โดยวิธี Amonium acetate

[6] โดยวิธี Amonium acetate

[7] โดยวิธี Amonium acetate

ตารางที่ 4 ลักษณะของถั่วลิสงที่ทำการบันทึกข้อมูล ในการปลูกทดสอบถั่วลิสงในสภาพไร่

ข้อมูลที่ทำการตรวจวัด	อายุถั่วลิสงหลังงอก (วัน)						
	15	30	45	60	75	90	วันเก็บเกี่ยว
1.น้ำหนักแห้งใบ (g/m^2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2. น้ำหนักแห้งต้น (g/m^2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.น้ำหนักแห้งฝัก (g/m^2)			✓	✓	✓	✓	✓
4.น้ำหนักแห้งเมล็ด (g/m^2)			✓	✓	✓	✓	✓
5.พื้นที่ใบ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6.ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7.พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8.อายุเก็บเกี่ยว							✓
9.จำนวนต้นต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว							✓

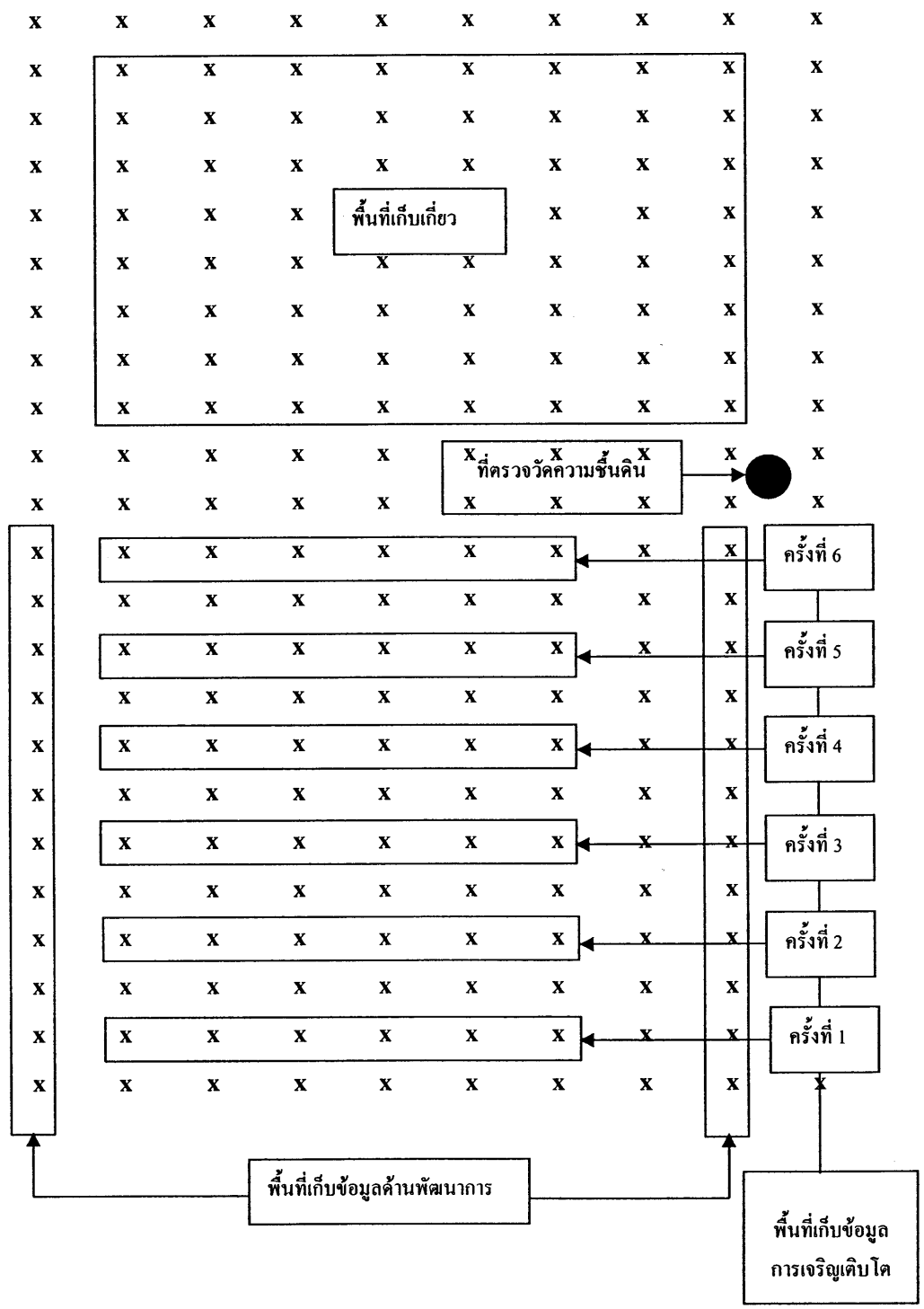
หมายเหตุ ✓ เป็นวันที่ทำการตรวจวัด และข้อมูลที่ทำการตรวจวัด มีรายละเอียดดังนี้

1. พื้นที่ใบ (leaf area) หาได้จากการคำนวณจากน้ำหนักแห้งใบสุ่ม 50 ใบ ที่ทราบพื้นที่ใบจากการเจาะใบด้วย disk borrer ซึ่งมีพื้นที่วงกลม 1.25 ตารางเซนติเมตร แล้วคำนวณกลับหาพื้นที่ใบทั้งหมด
2. ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) คำนวณได้จากสูตร

$$LAI = \frac{\text{พื้นที่ใบ}}{\text{พื้นที่เก็บตัวอย่าง}}$$

3. พื้นที่ใบจำเพาะ (SLA)

$$SLA = \frac{\text{น้ำหนักแห้งใบที่เป็นกรัม}}{\text{พื้นที่ใบ}}$$



ภาพที่ 1 แผนผังการเก็บตัวอย่างในแปลงทดสอบการตอบสนองของถั่วลิสงต่อน้ำที่ได้รับปริมาณที่แตกต่างกัน

2. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROGRO-Peanut เพื่ออธิบายลักษณะเครียดจากการขาดน้ำของถั่วลิสงในพื้นที่ผลิตที่สำคัญ

2.1 พันธุ์ถั่วลิสงที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ถั่วลิสงพันธุ์ Tainan 9 ซึ่งเป็นพันธุ์ถั่วลิสงเมล็ดเล็ก และพันธุ์ Khon Kaen 60-3 ซึ่งเป็นพันธุ์ถั่วลิสงเมล็ดโต ทั้งสองพันธุ์เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกโดยทั่วไปในพื้นที่การผลิตที่อยู่ในเขตการเกษตรอาศัยน้ำฝน

2.2 วิธีการศึกษา

ทำการศึกษาโดยกำหนดพื้นที่ผลิตถั่วลิสงที่สำคัญเป็น 4 พื้นที่ โดยแต่ละพื้นที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลตัวป้อนที่จำเป็นต้องใช้สำหรับแบบจำลอง ประกอบด้วย

2.2.1 ข้อมูลดินบริเวณปลูกถั่วลิสงรวบรวมได้จากกรมพัฒนาที่ดิน

2.2.2 ข้อมูลฟ้าอากาศรายวัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วยอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ โดยข้อมูลฟ้าอากาศรายวันดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลฟ้าอากาศ 30 ปี ย้อนหลัง (ปี 2515-ปี 2545)

2.2.3 ข้อมูลการจัดการถั่วลิสงแต่ละพื้นที่ เพื่อกำหนดวันปลูก ระยะปลูก การจัดการน้ำ และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งรายละเอียดของพื้นที่การผลิตถั่วลิสงที่สำคัญ ชื่อชุดดิน และการกำหนดข้อมูลการจัดการสำหรับแบบจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

2.2.4 ข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงทั้งสองพันธุ์ รวบรวมได้จากการศึกษาของ Banterng et al. (2004)

นำข้อมูลตัวป้อน ซึ่งได้แก่ ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลการจัดการพืช ข้อมูลฟ้าอากาศรายวันและข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ได้รวบรวมไว้แล้ว ไปเป็นข้อมูลตัวป้อนให้แก่แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เพื่อทำการจำลองสถานการณ์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ได้แก่ ดัชนีขาดน้ำ (Ma et al., 2006) ไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดวันปลูกถั่วลิสงในระบบปลูกพืชของเกษตรกร และนอกจากนี้ยังมีข้อมูลอื่น ๆ ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาการคัดพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้ง การเลือกใช้พันธุ์ที่เหมาะต่อสภาพพื้นที่ปลูก และการจัดการน้ำในแต่ละพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้อีกด้วย

ดัชนีขาดน้ำ (Ma et al., 2006) คำนวณได้ดังนี้

$$\text{Daily water stress factor} = \frac{\sum \text{RWU(L)} \times \text{RLV (L)} \times \Delta \text{L}}{\text{1.5 Potential transpiration}} \longrightarrow (1)$$

สำหรับศักย์ของการดูดน้ำของพืชต่อหน่วยความยาวราก สำหรับดินชั้นที่ L (RWU (L)) คำนวณตามวิธีของ Ritchie (1998) ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{RWU (L)} = \frac{\text{K1} \times e^{\text{K2} \times (\text{SW(L)}) - \text{LL (L)})}}{\text{K3} - \ln (\text{RLV(L)})} \longrightarrow (2)$$

เมื่อ RWU (L) คือ ศักย์ของการดูดน้ำของพืชต่อหน่วยความยาวราก สำหรับดินชั้นที่ L (cm^3 water/cm root)

RLV (L) คือ ความหนาแน่นของความยาวราก (root length) ของดินชั้นนั้น ๆ (cm root/cm^3 soil)

SW (L) คือ น้ำในดินของชั้นที่ L ณ เวลานั้น (cm^3/cm^3)

LL (L) คือ ระดับน้ำต่ำสุด ของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินชั้นที่ L (cm^3/cm^3)

K1 คือ ค่าคงที่ เท่ากับ 1.32×10^{-3}

K2 คือ ค่าคงที่ เท่ากับ 120-250 LL(L)

K3 คือ ค่าคงที่ เท่ากับ 7.01

Δ L คือ จำนวนชั้นดินที่เพิ่มขึ้นจากชั้นดินที่ศึกษาก่อนหน้า

Potential transpiration คือ ศักย์การคายน้ำของพืช คำนวณตามวิธีการของ Shuttleworth-Wallace eqtions (Shuttleworth and Wallace,1985)

e คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 2.718282

ln คือ ค่า natural log

ตารางที่ 5 พื้นที่การผลิต ชุดดินและวันปลูก ที่ใช้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เพื่อจำแนกช่วงเวลา ระดับความรุนแรงและความยาวนานที่เกิดจากการกระทบแล้งของถั่วลิสงพันธุ์ Tainan 9 และพันธุ์ Khon Kaen 60-3

สถานที่	ชุดดิน	เนื้อดิน	วันปลูก
1. จ.ขอนแก่น	ยโสธร	sandy loam	ฤดูฝน*
2. จ.ร้อยเอ็ด	ยโสธร	sandy loam	ฤดูฝน
3. จ.เชียงใหม่	โคราช	sandy loam	ฤดูฝน
4. จ.น่าน	ลาดหญ้า	loam	ฤดูฝน

หมายเหตุ ฤดูฝน* แบ่งเป็น ต้นฝน กลางฝนและปลายฝน

ฤดูต้นฝน ประกอบด้วย 5 วันปลูก ได้แก่วันที่
20 เม.ย., 30 เม.ย., 10 พ.ค., 20 พ.ค. และ 30 พ.ค.

ฤดูกลางฝน ประกอบด้วย 3 วันปลูก ได้แก่วันที่
10 มิ.ย., 20 มิ.ย., และ 30 มิ.ย.

ฤดูปลายฝน ประกอบด้วย 6 วันปลูก ได้แก่วันที่
10 ก.ค., 20 ก.ค., 30 ก.ค.,10 ส.ค., 20 ส.ค. และ 30 ส.ค.