

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. การทดลองภายใต้สภาพไร่
2. การจำลองการเจริญเติบโตพืชโดย นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณให้เป็นข้อมูลแสดงคุณสมบัติลักษณะพืช (crop parameter input) ซึ่งใช้ในการจำลองการเจริญเติบโตของพืช (model simulation)

การทดลองภายใต้สภาพไร่

พันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการศึกษา

พันธุ์ สจ.4 เป็นพันธุ์ที่ใช้ปลูกกันแพร่หลาย เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์ อคาเดียน (Acadian) กับพันธุ์ไทนุง 4 (Tainung#4) มีลักษณะการเจริญเติบโตค่อนข้างเป็นแบบทอดยอด (indeterminate) เมื่อปลูกในสภาพวันยาว อายุเก็บเกี่ยว 90- 100 วัน น้ำหนัก 100 เมล็ด 14 กรัม มีน้ำมัน 19% โปรตีน 37.8%

พันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ใหม่ที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำ ให้ผลผลิตใกล้เคียงกับ พันธุ์ สจ.4 เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์วิลเลียมส์ (Williams) กับพันธุ์ส.จ.4 การเจริญเติบโตเป็นแบบไม่ทอดยอด (determinate) อายุเก็บเกี่ยว 97 วัน น้ำหนัก 100 เมล็ด 14.5 กรัม มีน้ำมัน 20 % โปรตีน 43.8 %

พันธุ์มช.35 เป็นพันธุ์ที่สร้างโดยมหาวิทยาลัยขอนแก่นเพื่อให้เหมาะกับสภาพของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบ กึ่งทอดยอด (semideterminate) อายุเก็บเกี่ยว 104 วัน น้ำหนัก 100 เมล็ด 16.12 กรัม มีน้ำมัน 20.12 % โปรตีน 46.6 %

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCB) จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีพันธุ์ถั่วเหลืองเป็นสิ่งที่ทดลองดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1: พันธุ์ สจ.4

สิ่งทดลองที่ 2: พันธุ์ เชียงใหม่60

สิ่งทดลองที่ 3: พันธุ์ มข.35

ขนาดแปลงย่อย 3.5-10.6 ตารางเมตร โดยเว้นช่องว่างระหว่างแปลงย่อย 1 เมตร

การปลูก และการดูแลรักษา

เตรียมพื้นที่ปลูกโดยการไถ 2 ครั้ง พรุน 1 ครั้ง ด้วยรถแทรกเตอร์ พร้อมทั้งใส่ปุ๋ยขาวในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนปลูกใส่ปุ๋ยรองพื้นโดยใช้ แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate) 21 % N ทริปปี้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (triple superphosphate) 46% P_2O_5 และโปแตสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride) 60 % K_2O จำนวน 14 20 และ 10 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

คลุกเมล็ดด้วยไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลืองในอัตราที่กรมวิชาการแนะนำ โดยใช้แ่งมันเป็นสารเหนียว จึงทำการปลูกด้วยการหยอด 4 เมล็ด/หลุม ระยะปลูก 50 - 20 เซนติเมตร ทำการถอนแยกต้น ถั่วเหลืองให้เหลือ 2 ต้น/หลุม เมื่ออายุ 7 วันหลังออก

ใช้คาร์โบฟูราน (carbofuran) หยอดหลุมพร้อมปลูกและโมนโครโตฟอส (monocrotophos) ฉีดพ่นเพื่อป้องกันแมลงวันหนอนเจาะลำต้นและแมลงอื่น ๆ เมื่อถั่วเหลืองอายุ 10 วันหลังออก และพ่น อีก 3-4 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 14 วัน รวมทั้งโดแทนเอ็ม 45 เพื่อป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อรา

หลังปลูกให้น้ำ และให้ทุก 7 วัน ตลอดการทดลอง

กำจัดวัชพืชโดยแรงงานคนเมื่อถั่วอายุ 15 และ 30 วัน

การเก็บข้อมูล

1 การเก็บข้อมูลพืช

1.1. การพัฒนาการของพืช

- วันออกดอก 50% หลังออก
- วันสุกแก่โดยถั่วเหลืองมีฝักแก่ 95% พร้อมเก็บเกี่ยว

1.2 การเจริญเติบโตของพืช

1.2.1 เก็บตัวอย่างพืชในแต่ละแปลงย่อย สัปดาห์ละครั้ง ครั้งละ 20 ต้น ต่อ พื้นที่ 1 ตารางเมตร เริ่มตั้งแต่อายุ 7 วันหลังออกจนกระทั่งสุกแก่ รวมทั้งสิ้น 12, 13 และ 14 ครั้งในพื้นที่ เชียงใหม่ 60 ส.จ.4 และมข.35 ตามลำดับ เนื่องจากแต่ละพันธุ์มีอายุการสุกแก่ต่างกัน โดยครั้งที่เก็บ ในแต่ละแปลงย่อยได้ทำเครื่องหมายไว้ก่อนแล้ว ทั้งนี้เพื่อเก็บรวบรวมใบร่วง

ตัวอย่างพืชที่เก็บนี้จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ราก ลำต้น ฝัก ใบที่อยู่บนต้น และใบร่วง ทำการแยกส่วนต่าง ๆ เหล่านี้แล้วจะนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ จากนั้นจึงชั่งและบันทึกน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ ไว้ เพื่อทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโตและสัดส่วนการกระจายของคาร์โบไฮเดรต

1.2.2 วัดพื้นที่ใบทุกครั้งที่ทำกรเก็บตัวอย่าง โดยวิธีเจาะรู (core method) โดยสุ่มใบมาจากตัวอย่างใบที่เก็บแต่ละซ้ำ มาซ้ำละ 3 ชุด ชุดละ 40 ใบ ใช้ที่เจาะใบ ๆ ใบละ 3 แวน จากนั้นนำใบและแวนใบไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนเมื่อน้ำหนักคงที่จึงบันทึกน้ำหนักแห้ง คำนวณพื้นที่ใบ และดัชนีพื้นที่ใบ จาก

$$\text{ดัชนีพื้นที่ใบ} = \frac{\text{พื้นที่แวนใบ}}{\text{น้ำหนักแห้งของแวนใบ}} \times \frac{\text{น้ำหนักแห้งของใบทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ปลูก}}$$

Specific leaf weight (SLW) คือน้ำหนักของใบต่อ 1 หน่วยพื้นที่ใบ (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ที่อายุต่าง ๆ คำนวณได้จาก น้ำหนักของใบต่อพื้นที่ปลูก / พื้นที่ใบต่อหน่วยพื้นที่ปลูก

$$\text{SLW} = \frac{\text{น้ำหนักใบ/พื้นที่ปลูก (kg/ha)}}{\text{พื้นที่ใบ/พื้นที่ปลูก (ha/ha)}}$$

1.3 ไนโตรเจนในเนื้อเยื่อของพืช

หลังจากอบส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ฝัก เมล็ด และใบร่วงแล้ว นำไปบดให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Indolphenal method โดยใช้ Technicon Autoanalyzer II system module timepac Reagents เพื่อศึกษาการกระจายของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืชจากนั้นจึงประเมินหา

ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเยื่อ (กรัมไนโตรเจน/ตารางเมตร)

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของเนื้อเยื่อ ((กรัมไนโตรเจน/กรัม)×100)

ประเมินค่า Harvesting Nitrogen Index (HNI) ตาม Salado Navaro และคณะ (1985)

โดยคำนวณจาก

$$HNI = \frac{\text{ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ด (gN/m}^2\text{)}}{\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (gN/m}^2\text{) โดยไม่รวมใบร่วง}}$$

1.4 องค์ประกอบผลผลิตข้าวเหลือง

โดยบันทึกข้อมูล - จำนวนฝักต่อต้น
 - จำนวนเมล็ดต่อฝัก
 - น้ำหนักเมล็ด

ผลผลิต/ต้น = จำนวนฝักต่อต้น x จำนวนเมล็ดต่อฝัก x น้ำหนักเมล็ด

2. การวิเคราะห์การเจริญเติบโต (Growth analysis)

วิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มพืช, อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ และอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ตามอานวยศิลป์ (2523) ดังนี้

อัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มพืช (Crop Growth Rate, CGR) เป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ปลูกต่อเวลา

$$CGR = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{p}$$

$$= \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{p}$$

อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate , RGR) เป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งพืชต่อน้ำหนักแห้งพืช ต่อเวลา

$$RGR = \frac{1}{W} \cdot \frac{dw}{dt}$$

$$= \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ใบ (Net Assimilation Rate, NAR) เป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งพืช ต่อพื้นที่ใบ ต่อเวลา

$$NAR = (dw / dt) . 1 / A$$

$$= \frac{(W_2 - W_1)(\ln A_1 - \ln A_2)}{(t_2 - t_1) (A_2 - A_1)}$$

W_i = น้ำหนักแห้งของพืชที่เก็บเกี่ยวครั้งที่ i

t_i = เวลาเก็บเกี่ยวพืชครั้งที่ i

A_i = พื้นที่ใบครั้งที่ i

P = พื้นที่ปลูก

ประสิทธิภาพการใช้แสง (Radiation Use Efficiency , RUE) เป็นความสามารถในการใช้แสงที่พืชได้รับในการสร้างน้ำหนักแห้งซึ่งประเมินจาก

$$RUE = \frac{\Delta w}{(\Delta I / I_0) \sum_{i=t_1}^{t_n} R}$$

$$\Delta I = I_0 (1 - e^{-kL})$$

โดย

Δw = น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นจาก t_1 ถึง t_n

ΔI = ปริมาณ แสงที่ intercepted

I_0 = ปริมาณแสงเหนือทรงพุ่ม

L = ดัชนีพื้นที่ใบ (เฉพาะใบบนต้น และ เฉลี่ยจาก t_1 ถึง t_n)

k = สัมประสิทธิ์การรับของแสง เท่ากับ 0.80 (ชาวไร่, 2538)

R = ปริมาณแสงในแต่ละวัน (daily radiation)

การกระจายคาร์โบไฮเดรต ส่วนต่าง ๆ ของพืช

สัดส่วนการกระจายคาร์โบไฮเดรตสู่อวัยวะต่าง ๆ ของส่วนลำต้น (carbohydrate partition)
คำนวณจาก

$$CP_{i,t} = \frac{\Delta W_{i,t} CR_i}{\sum_{i=1}^n (\Delta W_{i,t} CR_i)}$$

เมื่อ $CP_{i,t}$ = สัดส่วนคาร์โบไฮเดรตที่พืชใช้ในการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อชนิด i ที่ช่วงพัฒนาการ t เมื่อค่า t ที่วันงอกเท่ากับ 0, วันที่ออกดอก เท่ากับ 1, และวันที่สุกแก่เท่ากับ 2

$\Delta W_{i,t}$ = น้ำหนักของเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้น ต่อช่วงเวลา

CR_i = สัมประสิทธิ์ของคาร์โบไฮเดรตที่ต้องการต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อชนิด i สำหรับถั่วเหลือง CR_i มีค่าดังนี้ ลำต้นเท่ากับ 1.603 ใบเท่ากับ 1.687 และอวัยวะสะสมอาหารเท่ากับ 2.161 กรัมของคาร์โบไฮเดรตต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง (Penning de Vries *et al.*, 1989)

ส่วนกระจายคาร์โบไฮเดรตสู่รากนั้นคำนวณจาก

$$CP_{r,t} = \frac{\Delta W_{r,t} CR_r}{(\sum_{i=1}^n \Delta W_{i,t} CR_i) + (\Delta W_{r,t} CR_r)}$$

เมื่อ $CP_{r,t}$ = สัดส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในการเจริญเติบโตของราก ที่ช่วงพัฒนาการ t

$\Delta W_{r,t}$ = น้ำหนักของรากที่เพิ่มขึ้น ต่อช่วงเวลา

CR_r = 1.534

3. ข้อมูลดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูก และหลังเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองจากทุกซ้ำ ในแต่ละแปลงย่อย โดยใช้ Augor ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร แปลงย่อยละ 4 จุด แล้วนำตัวอย่างดินในแปลงย่อยเดียวกัน คลุกรวมกัน ผึ่งให้แห้ง (air dried) ร่อนดินด้วยตะแกรงขนาด 80 mesh นำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีของดิน ดังนี้

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) (ดิน: น้ำ = 1:1)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen) โดยวิธี Indolphenol method โดย

ใช้ Technicon Autoanalyzer II system timepac reagent

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Bray II

โบแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี NH_4OAc และ atomic Absorption spectrophotometry (Cottenine, 1980)

4. ข้อมูลทางอุตุนิยมหาวิทยาลัย

ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณฝน จากสถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลต่าง ๆ ของพืชที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติตาม model ของ randomized complete block design โดยวิธี Analysis of Variance หาค่า F value ของข้อมูล ถ้าแสดงความแตกต่างทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น 95% ขึ้นไป นำไปศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้ค่า Least Significant Different (LSD)

6. สถานที่ทำการทดลอง

งานทดลองในไร่ ทำการทดลองที่แปลงทดลอง (A4) ในหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

งานทดลองในห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

7. ระยะเวลาในการทดลอง

งานทดลองในไร่ ดำเนินการทดลอง ระหว่าง 15 มกราคม 2536 สิ้นสุดการทดลอง 20 พฤษภาคม 2536

งานทดลองในห้องปฏิบัติการ เริ่มดำเนินการทดลอง 1 มิถุนายน 2536 สิ้นสุดการทดลอง 25 มกราคม 2537

วิธีการจำลองการเจริญเติบโตและการทดสอบแบบจำลอง

1. แบบจำลอง (model)

แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินคือ MACROS (Modules of Annual CROp Simulator) module LID ร่วมกับ NASYM

MACROS module LID ประเมินการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีน้ำและธาตุอาหารที่เหมาะสม ซึ่งมียอดประกอบของแบบจำลองที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

1. การสังเคราะห์แสงของกลุ่มใบ
2. การหายใจเพื่อการคงสภาพ (maintenance respiration) และเพื่อการเจริญเติบโต (growth respiration)
3. การปันส่วนคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate partitioning) ไปยังส่วนต่างๆ ของพืช
4. การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบ

MACROS module LID มีข้อกำหนดที่สำคัญคือ อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่จุดอิ่มตัวด้วยแสง (light saturation point) และประสิทธิภาพการใช้แสงเริ่มต้น (initial radiation use efficiency) คงที่ ส่วนประกอบทางชีวเคมี (Biochemical composition) ของเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ คงที่ ดังนั้นสัมประสิทธิ์ของอัตราการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อแต่ละชนิดคงที่

NASYM เป็น module ที่ใช้ในการประเมินการกระจายของไนโตรเจนสู่เนื้อเยื่อต่างๆ และประเมินการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อตามสัดส่วนของไนโตรเจน (fraction N) ในเนื้อเยื่อที่ถูกสร้างขึ้นในขณะนั้น

ข้อมูลพืช (crop parameter input) ที่ NASYM ต้องใช้คือปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่กระจายสู่ส่วนต่างๆ ของพืช และปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดซึมทั้งหมด (total N assimilate) ผลประเมินที่ได้จาก NASYM คือ ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเยื่อ สัดส่วนของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อและการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้งที่ได้จากการกระจายของคาร์โบไฮเดรต

ดังนั้นในการใช้ NASYM ร่วมกับ MACROS นั้น ผลประเมินที่ได้ (out put) จาก MACROS คือ การกระจายของคาร์โบไฮเดรตที่สร้างจากการประเมินอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ และจะเป็นข้อมูลเข้าสู่ (input) NASYM จากนั้น NASYM จะประเมินการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตตามสัดส่วนของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อที่สังเคราะห์ขึ้นใหม่แทนการประเมินแบบคงที่ของ MACROS ซึ่งรายละเอียดดังแสดงในตารางผนวกที่ 15, 16 และ 18 ส่วนความหมายของตัวแปรแสดงในตารางที่ 21 และ 22

2. การจำลองสถานการณ์ (simulation)

การจำลองการเจริญเติบโตของพืชมีลักษณะสำคัญคือ

อัตราการเปลี่ยนแปลงของระบบ จะขึ้นกับสถานภาพ (State) คุณสมบัติของระบบ (parameters) และปัจจัยภายนอก (external forces) โดยความสัมพันธ์ของระบบ แสดงไว้ในลักษณะสมการคณิตศาสตร์ (mathematic description) ของแบบจำลอง

การคำนวณ (intergrate) ใช้วิธี Rectangular โดยมีช่วงเวลากการคำนวณ (time interval) เท่ากับ 1 วัน

คุณสมบัติของระบบกำหนดโดย parameter input และ artificial functions (IBM, 1975)

ข้อมูลอากาศ ประกอบด้วยปริมาณแสง (TABLE RDTMT) อุณหภูมิสูงสุด (TABLE TPHT) อุณหภูมิต่ำสุด (TABLE TPLT) ที่บันทึกเป็นรายวัน

การจำลองสถานการณ์ (simulation) โดยแบบจำลองดังกล่าวได้ทำการจำลองโดยใช้เครื่อง PC ภายใต้ระบบปฏิบัติการ DOS และ Fortran compiler (IBM ver 2.1) ร่วมกับ CSMP Translator (Jansen et al., 1988)

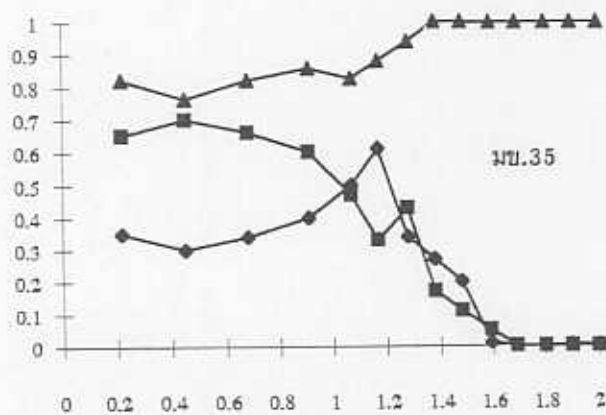
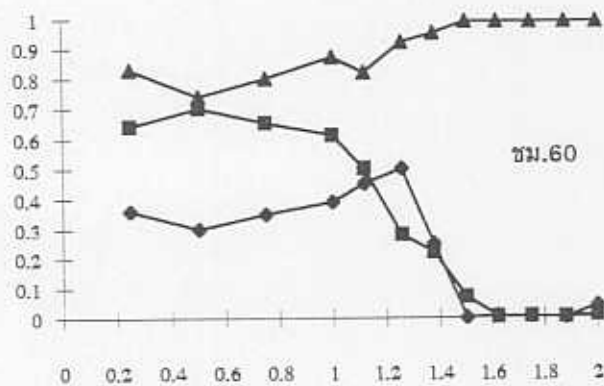
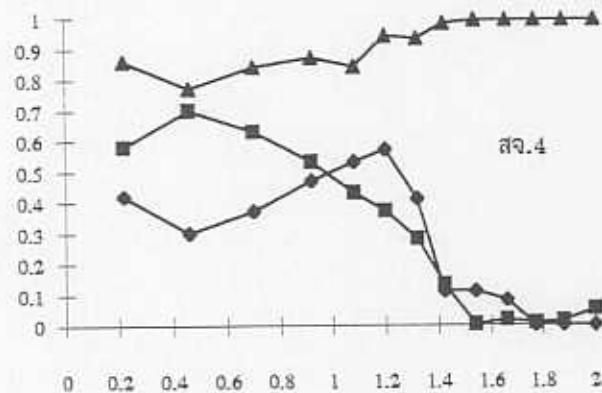
ข้อมูล (input) ที่ให้กับ model ดังกล่าวในการจำลองสถานการณ์ประกอบด้วย

1. ข้อมูลสภาพอากาศ (weather data) ที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี พ.ศ. 2536 ดังตารางผนวกที่ 20 และภาพที่ 22

2. ข้อมูลคุณสมบัติพืช (crop parameter input) ที่ได้จากการทดลองในสภาพไร่ และจาก Penning de Vries และคณะ (1989)

ข้อมูลคุณสมบัติของพืชที่ได้จากงานทดลองคือ การกระจายของคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate fraction) ซึ่งแสดงในรูปของกราฟในภาพที่ 2 และในรูปของ Artificial functions (IBM, 1975) ในตารางที่ 1 ร่วมกับความหนาของใบ

สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรต



ระยะพัฒนาการของพืช

—◆— ลำต้น —■— ใบ —▲— ส่วนที่อยู่เหนือดิน

ภาพที่ 2 การปันส่วนของคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate partition)
 ในส่วนต่างๆ ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต

ตารางที่ 1 ข้อมูลคุณสมบัติของพืชในรูป Artificial function (แสดงเฉพาะพันธุ์ สจ.4 ส่วนพันธุ์ เชียงใหม่ 60 และ มข.35 แสดงในตารางผนวกที่ 19 สำหรับความหมายของชื่อตัวแปร และค่าคงที่แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 21)

สัดส่วนการกระจายคาร์โบไฮเดรตสู่ส่วนเหนือดิน ใบ และลำต้น

$$\text{FUNCTION CASST} = 0.22, 0.86, 0.70, 0.83, 0.92, 0.87, 1.32, 0.92, \dots$$

$$2.0, 0.99$$

สัดส่วนการกระจายคาร์โบไฮเดรตสู่ส่วนใบ

$$\text{FUNCTION CALVT} = 0.22, 0.58, 0.70, 0.62, 0.92, 0.52, 1.32, 0.27, \dots$$

$$2.0, 0.05$$

สัดส่วนการกระจายคาร์โบไฮเดรตสู่ส่วนลำต้น

$$\text{FUNCTION CASTT} = 0.22, 0.41, 0.70, 0.37, 0.92, 0.47, 1.32, 0.41, \dots$$

$$2.0, 0.001$$

ความหนาของใบ

$$\text{FUNCTION SLT} = 0.22, 0.67, 0.70, 1.04, 0.92, 1.02, 1.32, \dots$$

$$1.07, 2.0, 1.29$$

$$\text{PARAMETER SLC} = 270.0$$

การร่วงของใบ

$$\text{FUNCTION LLVT} = 0.0, 0.0, 0.7, 0.0, 1.08, 0.011, 1.37, 0.37, \dots$$

$$1.54, 0.11, 1.88, 0.92, 2.0, 0.99$$

การพัฒนาการ

$$\text{PARAM DRCV} = 0.032, \text{DRCR} = 0.016$$

ข้อมูลส่วนที่เหลือที่ใช้ในการจำลองได้ใช้ค่าข้อมูลจาก Penning de Vries. และคณะ (1989) ดัง
ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Crop parameter inputs ที่ใช้ใน MACROS module LID ที่นำมาใช้ในแบบจำลอง

การสังเคราะห์แสง

PARAM PLMXP	= 40.0, PLEI = 0.48
FUNCTION PLMTT	= 0.0, 0.001, 10.0, 0.3, 20.0, 0.6, 25.0, 0.8, 30.0, 1.0, 35.0, 1.0, 40.0, 0.8, 45.0, 0.4, 50.0, 0.001
FUNCTION PLETT	= 10.0, 1.0, 20.0, 1.0, 30.0, 0.8, 40.0, 0.4, 50.0, 0.2

การพัฒนาการ

FUNCTION DRVTT	= 27.0, 1.0, 35.0, 1.0
FUNCTION DRDT	= 12.0, 1.0, 13.0, 0.85, 13.5, 0.75, 13.6, 0.5

การหายใจ

PARAM CRGLV	= 1.687 , CRGST = 1.603 , GRGSO = 2.161 CRGRT = 1.534
PARAM FSTR	= 0.18, RMCLV = 0.018, Q_{10} = 2.0, TPR=30.0

พื้นที่ผิวของลำต้นซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์แสง

PARAM SSC	=2100.0
-----------	---------

ข้อมูล(crop parameters inputs)ที่ใช้กับ NASYM คือ

MXFNSO, MXFNST, MXFNRT, MXFNLV ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนของไนโตรเจนสูงสุดในเนื้อเยื่อที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในขณะนั้นในส่วน ของ ฝัก ต้น ราก และใบ ประเมินจากความเข้มข้นของไนโตรเจน (%) ในส่วนเนื้อเยื่อต่าง ๆ Smith และคณะ (1988) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน (0-200 kg N/ha) ความเข้มข้นของไนโตรเจน (%) ในเมล็ดจะมีค่าประมาณ 7 โดยไม่เปลี่ยนไปตามปริมาณปุ๋ยที่ให้เช่นเดียวกับ สุริพร (2529) และสอดคล้องกับผลการทดลอง ในสภาพไร่จึงประเมินค่าสูงสุดนี้จาก ความเข้มข้นของไนโตรเจน (%) ในส่วนต่าง ๆ ได้ตามลำดับดังนี้ เมล็ด ต้น ใบ ราก = 0.07 0.035 0.065 และ 0.03

RFNRT, RFNST, RFNLV เป็นค่าสัดส่วนของไนโตรเจนที่ตกค้างในซากของพืช และเป็นส่วนที่คาดว่าจะไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ โดยประเมินจากความเข้มข้นของไนโตรเจน (%) ในราก ลำต้น ใบร่วง ที่ระยะการเก็บเกี่ยวมีค่าตามลำดับคือ 0.007 0.005 0.01

ข้อมูลไนโตรเจนทั้งหมดที่พืชดูดเข้าไปใช้ (total N assimilate) ที่ได้จากการทดลองในสภาพไร่ ดังแสดงในรูปของ Artificial functions ในตารางที่ 3. และในภาพที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลไนโตรเจนทั้งหมดที่พืชดูดเข้าไปใช้ตามระยะการเจริญเติบโตในรูปของ Artificial functions แสดงเฉพาะพันธุ์ สจ.4 ส่วนพันธุ์เชียงใหม่ 60, มข.35 แสดงในตารางผนวกที่ 17 โดยคำอธิบายตัวแปรแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 22

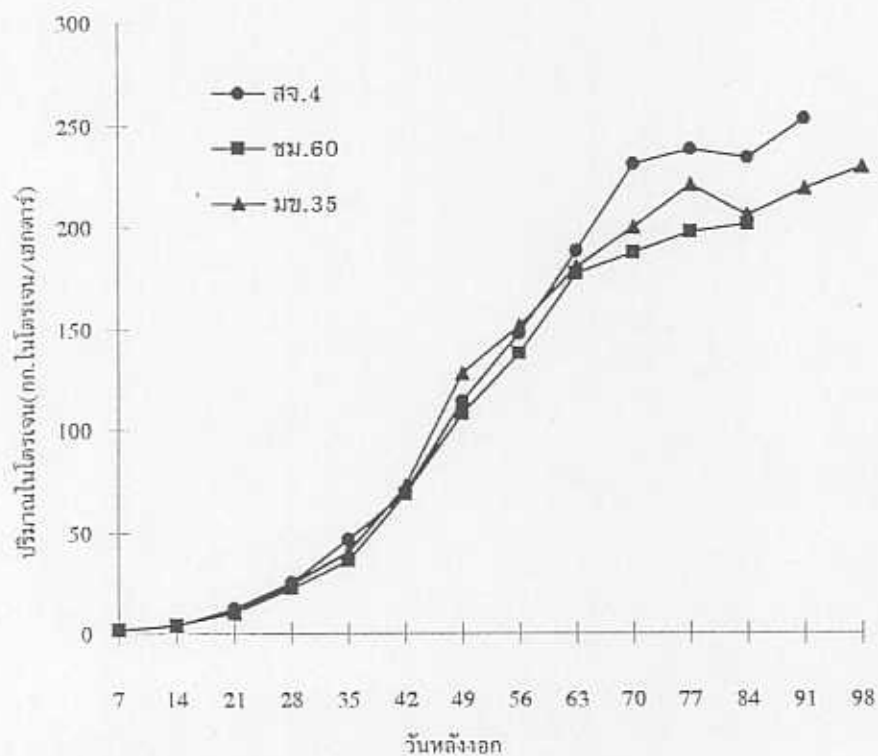
FUNCTION XANCRB = 7.0, 1.26, 14.0, 3.35, 21.0, 11.99, 28.0, 25.01,...
 35.0, 46.49, 42.0, 69.28, 49.0, 113.49, 56.0, 147.58,...
 63.0, 188.37, 70.0, 230.69,...
 77.0, 237.96, 84.0, 234.08, 91.0, 253.211

ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เข้าสู่เนื้อเยื่อแต่ละชนิด (CH_2O inputs) ขึ้นกับระยะของการทดสอบแบบจำลองในระยะที่ 1 นั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่กระจายสู่เนื้อเยื่อต่าง ๆ นั้นเป็นค่าจากการทดลอง ส่วนในระยะที่ 2 เป็นค่าที่ได้จากการประเมินของ MACROS

3. การทดสอบแบบจำลอง (model validation) ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ระยะ

ระยะที่ 1 ทำการทดสอบการประเมินการกระจายของไนโตรเจนของ NASYM โดยใช้การดูดซึมไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่กระจายสู่เนื้อเยื่อต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองเป็นข้อมูล (input) รายละเอียดในตารางผนวกที่ 15 และ 16 ความหมายของตัวแปรในตารางผนวกที่ 22

ระยะที่ 2 โดยใช้ปริมาณการดูดซึมไนโตรเจนทั้งหมดจากการทดลองเป็นข้อมูล แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่กระจายสู่เนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้จากการคำนวณ MACROS module L1D รายละเอียดแสดงในตารางผนวกที่ 18



ภาพที่ 3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์) ที่พืชดูดไปใช้
ตามระยะการเจริญเติบโต ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์

การที่แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ระยะ ที่เพื่อช่วยในการจำแนก และแยกแยะความคลาดเคลื่อนของ module ที่ใส่

การประเมินความคลาดเคลื่อนของค่าจากการประเมินและค่าที่ได้จากการทดลองทั้งระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ใช้ค่า correlation coefficient(r) และตามวิธีการของ Graf และคณะ(1991) ที่ประเมินในรูปแบบของ standardized bias(R) และ standardized mean square error(V)ซึ่งคำนวณจาก

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

เมื่อ n : จำนวนครั้งของการวัด

x_i : ค่าจากการวัดครั้งที่ i จากการทดลองภายใต้สภาพไร

y_i : ค่าจากการประเมินครั้งที่ i