

การทดลองที่ 1

ผลของการขาดน้ำช่วงผสมเกสรในข้าวโพดสองพันธุ์

คำนำ

พันธุ์พืชแต่ละพันธุ์มีลักษณะการเจริญเติบโต พัฒนาการและการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน รวมทั้งสภาพแวดล้อมดินฟ้าอากาศก็แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และแต่ละปี ข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 1 เป็นข้าวโพดพันธุ์ใหม่ที่ยังไม่มีข้อมูลพื้นฐานเพียงพอที่จะสามารถใช้การประเมินโดยแบบจำลอง ประเมินการเจริญเติบโตได้อย่างดีพอ ดังนั้น การนำแบบจำลองพืชเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิต จึงจำเป็นต้องมีการดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาหาข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้ในแบบจำลอง โดยทำการศึกษาในข้าวโพด 2 พันธุ์ กับสภาพการให้น้ำที่เลียนแบบมาจากสภาพจริงของจังหวัดขอนแก่น ที่อาจมีการขาดน้ำช่วงผสมเกสรและทำให้ผลผลิตลดลงมากที่สุด เปรียบเทียบกับการได้รับน้ำที่เพียงพอ ดังนั้นการทดลองจึงเน้นข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาการตอบสนองของข้าวโพดต่อภาวะขาดน้ำ หลังจากนั้นนำข้อมูลและผลที่ได้จากการทดลองภายใต้สภาพแปลงมาประยุกต์ใช้กับการจำลอง

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพด 2 พันธุ์ ภายใต้สภาพความชื้น 2 ระดับ
2. นำข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวมาปรับปรุงแบบจำลองการเจริญเติบโตพืช

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง (materials and methods)

ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การทดลองภายใต้สภาพแปลง และการจำลองการเจริญเติบโตของพืช

1. การดำเนินงานในสภาพแปลงทดลอง

1.1 สถานที่และสภาพดินที่ใช้ในการทดลอง (location and soil series)

ทำการทดลองที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งตั้งอยู่เส้นรุ้งที่ 16 องศา 24 ลิปดาเหนือ และเส้นแวงที่ 102 องศา 50 ลิปดาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเล 190 เมตร ดิน

เป็นดินชุดยโสธร (Yasothon series) ที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายร่วน (loamy sand) จัดว่าเป็นเนื้อดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อย ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินแสดงในตารางที่ 1 ทำการทดลองในระหว่างวันที่ 29 มกราคม ถึงวันที่ 19 พฤษภาคม 2536

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกของดินชุดยโสธรที่ใช้ในการทดลองที่ 1

คุณสมบัติดิน	ค่าวิเคราะห์
คุณสมบัติทางกายภาพ	
sand %	79.1
silt %	15.4
clay %	5.5
textural class	loamy sand
bulk density gm/cm ³	1.674
moisture at FC (1/10 bar) %	9.3
moisture at PWP (15 bars) %	3.02
คุณสมบัติทางเคมี	
pH (1 : 1 H ₂ O)	5.3
organic matter % - ^{1/}	0.47
total N (Kjeldahl method) %	0.035
available P (Bray II) (ppm)	5.93
exchangeable K (meq/100gm soil) - ^{2/}	0.094
exchangeable Ca (meq/100gm soil) - ^{2/}	2.06
exchangeable Mg (meq/100gm soil) - ^{2/}	0.199
cation exchange capacity (meq/100gm soil) - ^{3/}	2.66

- 1/ = ใช้วิธี wet oxidation ของ Walkley และ Black

- 2/ = สะกัดด้วย 1 N NH₄ OAc pH7 และวัดด้วย flame photometer

- 3/ = สะกัดด้วย 1 N NH₄ OAc pH7 แล้วกลั่นหาปริมาณ NH₄⁺

1.2 แผนการทดลอง (experimental design)

ใช้แผนการทดลองแบบ split plot in randomized complete block design ซึ่งมีตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance table) ดังตารางที่ 2 โดยมี 2 ปัจจัยหลักดังนี้

- ปัจจัย A 1 ให้น้ำปกติ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง จนถึงความชื้นที่จุดอิ่มตัวสนาม (FC) (W_1)
 2 ให้น้ำปกติ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง แต่งดให้น้ำ 1 ครั้ง เมื่อข้าวโพดออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ (สัปดาห์ที่ 7) (W_2)
- ปัจจัย B 1 ข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 1 (V_1)
 2 ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 (V_2)

ขนาดแปลงทดลอง พื้นที่แปลงทดลองทั้งหมดมีขนาด 32 x 46 ตารางเมตร แบ่งเป็น 16 แปลงย่อย ซึ่งประกอบด้วย ปัจจัย A 2 ระดับ, ปัจจัย B 2 ระดับ และมี 4 ซ้ำ ภายในแต่ละแปลงย่อยมีขนาด 7.5 x 6.5 ตารางเมตร จะถูกแบ่งเพื่อการเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์ จำนวน 14 จุด มีขนาดพื้นที่ 1.5 x 1.0 ตารางเมตร (2 แถว แถวละ 4 ต้น)

1.3 การเตรียมแปลง การปลูก การดูแลรักษาและการให้น้ำ (land preparation, planting, management and irrigation)

1.3.1 การเตรียมแปลง ก่อนการไถพรวนครั้งแรกทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดิน แล้วจึงทำการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงเพื่อง่ายต่อการไถพรวน จนถึงระดับอิ่มตัว หลังจากนั้นจึงไถตะ 1 ครั้ง ไถแปร 1 ครั้ง โรยด้วยปูนขาว อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ พรวนและคราดเกลี่ยปรับหน้าดินให้เรียบสม่ำเสมอ ทำการวัดและจัดแบ่งแปลงย่อยจำนวน 16 แปลงย่อย โดยเว้นระยะระหว่างแปลง 1 เมตร และระหว่างซ้ำ 2 เมตร

1.3.2 การปลูกและดูแลรักษา การปลูกจะใช้ระยะแถว 75 เซนติเมตร ใน 1 แปลงย่อยมี 10 แถว ทำการปลูกด้วยระยะต้น 25 เซนติเมตร อัตราปลูก 3-4 เมล็ดต่อหลุม ใน 1 แถว จะมี 26 หลุม (ต้น) ปลูกเสร็จแล้วทำการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง

- หลังข้าวโพดงอกได้ 1 สัปดาห์ทำการถอนแยกให้เหลือหลุมละ 1 ต้น นำต้นที่ถอนแยกไปเป็นตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์พืช สัปดาห์ที่ 1 แล้วจึงทำการกำจัดวัชพืช ใส่ปุ๋ย และพูนโคน

- การใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ย 2 ครั้งตามคำแนะนำของกองปรุพิทวิทยา โดยครั้งแรกใส่หลังถอนแยกด้วยปุ๋ยอัตรา 8-10-4 ของ $N-P_2O_5-K_2O$ กิโลกรัมต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่เมื่อข้าวโพด อายุได้ 6 สัปดาห์ ซึ่งกำลังออกดอกตัวผู้ ด้วยปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 5-0-0 กิโลกรัมต่อไร่

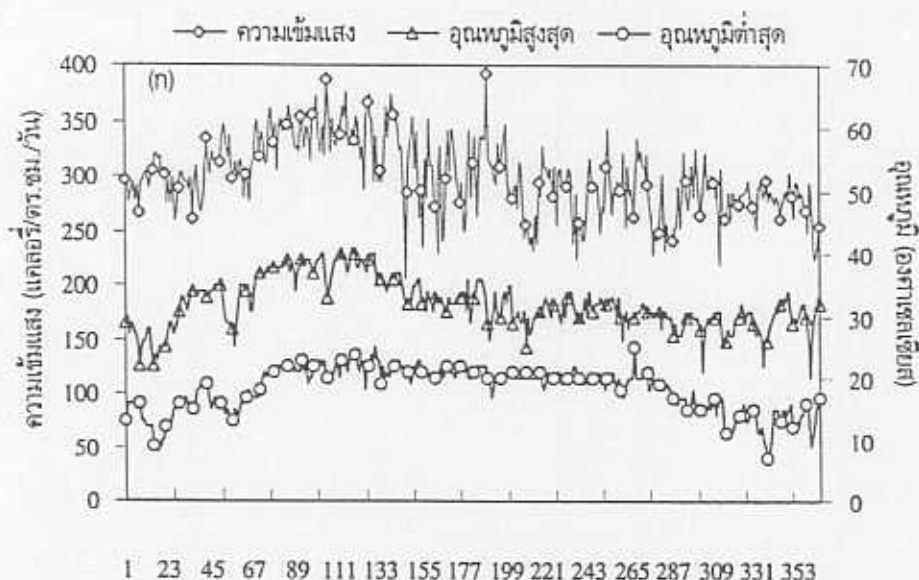
- การป้องกันกำจัดหนอน-แมลง หลังถอนแยกตรวจพบหนอนและแมลงเข้าทำลายใบ และยอดข้าวโพด จึงทำการโรยด้วยฟูราดาน (carbofuran) ตลอดแถวของข้าวโพด และสัปดาห์ที่ 6 พบมี การระบาดของหนอนเจาะยอดจำนวนมาก จึงหยอดด้วยฟูราดานที่ยอดอีกครั้งหนึ่ง

- การกำจัดวัชพืช กำจัดวัชพืชด้วยมือจำนวนรวม 3 ครั้ง คือหลังถอนแยก ก่อนใส่ปุ๋ย ครั้งที่ 2 และเมื่อข้าวโพดอายุ 8 สัปดาห์

1.3.3 การให้น้ำ จะให้น้ำอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง ในการให้น้ำแต่ละครั้งจะพยายามรักษา ระดับความชื้นดินให้อยู่ที่ระดับความชื้นความจุสนาม (field capacity) โดยให้น้ำทุกสัปดาห์หลังจากเก็บ ตัวอย่าง ยกเว้นสัปดาห์ที่งดให้น้ำ (W_2) หรือมีฝนตก การให้น้ำได้ให้แบบ perforate หลังปลูกจนข้าวโพด อายุได้ 6 สัปดาห์ จึงเปลี่ยนมาเป็นให้น้ำแบบ overhead sprinkler สำหรับสัปดาห์ที่มีการงดให้น้ำ ใน ปีวิจัย A₁ คือหีรตเมนต์ที่ให้น้ำจะให้น้ำโดยใช้สายยางเพื่อป้องกันการไหลล้นของน้ำสู่แปลงอื่น

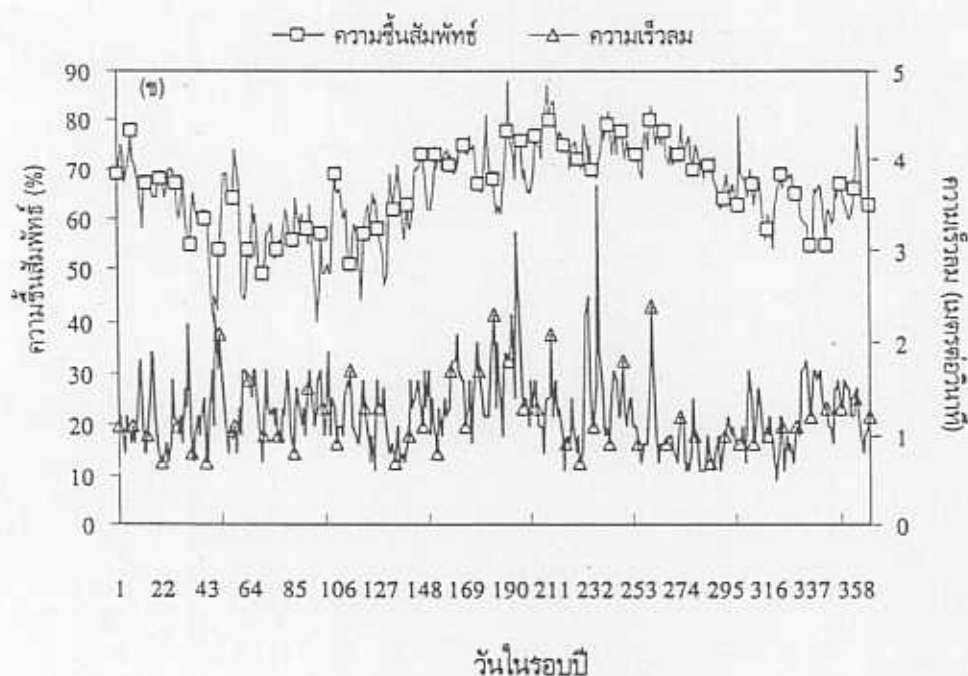
1.4 สภาพฟ้าอากาศ (climatic conditions)

ข้อมูลสภาพฟ้าอากาศ ปี 2536 ได้จากการจดบันทึกของสถานีอุตุนิยมวิทยา คณะเกษตร ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากแปลงทดลองประมาณ 500 เมตร ข้อมูลประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ (radiation) อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด (maximum and minimum temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) และความเร็วลม (wind speed) ดังภาพที่ 1ก, และ 1ข



วันในรอบปี

ภาพที่ 1 (ก) สภาพฟ้าอากาศรายวัน ปี 2536 ของหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ความเข้มแสง (แคลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน) อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด (องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 1 (ข) สภาพฟ้าอากาศรายวัน ปี 2536 ของหมวดพีซีไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) และความเร็วม (เมตรต่อวินาที)

1.5 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล (data collection and analysis)

1.5.1 น้ำหนักแห้ง เก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งแยกส่วนเพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวโพด
ทุกสัปดาห์ จำนวน 14 ครั้ง ครั้งละ 8 ต้น (พื้นที่ 1.5×1.0 ตารางเมตร) ต่อ 1 ไร่ดิน และ 1 ซ้ำ จาก
จุดที่กำหนดไว้ ทำการวัดความสูง และชั่ง-เก็บและแยกล้างราก ส่วนของลำต้นจะแยกออกเป็นส่วนของ ลำ
ต้น, ใบ และอวัยวะสะสมอาหาร (ทั้งฝักและช่อดอกตัวผู้) ซึ่งน้ำหนักสดและนำไปอบที่อุณหภูมิ $75-80^{\circ}\text{C}$
เป็นเวลา 3-5 วัน จนแห้งและน้ำหนักคงที่ ซึ่งจะใช้เวลาแตกต่างกัน (อายุมากจะใช้เวลาเพิ่มขึ้น) เพื่อนำ
น้ำหนักแห้งไปวิเคราะห์การเจริญเติบโต และคำนวณสัดส่วนน้ำหนักคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในการเจริญเติบโตของ
เนื้อเยื่อชนิดต่างๆ ของแต่ละช่วงอายุที่เก็บเกี่ยว (Pannangpeth *et al.*, 1993) โดยสัดส่วนของ ลำต้น:ใบ:
อวัยวะสะสมอาหาร คำนวณจาก

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

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

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

CR_i = สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ต้องการต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อชนิด i สำหรับข้าวโพด CR_i มีค่าดังนี้ ลำต้นเท่ากับ 1.513 ใบเท่ากับ 1.4630 และอวัยวะสะสมอาหารเท่ากับ 1.419 (Penning de Vries *et al.*, 1989)

และของรากจาก

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

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

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

CR_r = 1.444

1.5.2 ความกว้างของใบ ครอบคลุมพื้นที่ใบ (leaf area index : LAI) specific leaf weight (SLW) และ specific leaf weight constant (SLC)

1.5.2.1 ความกว้างของใบ วัดโดยการสุ่มเก็บจากตัวอย่างจำนวน 10 ใบ จากส่วนโคนต้น กลาง และปลายของลำต้น ส่วนละเท่าๆกัน วัดความกว้างบริเวณกลางใบทุกสัปดาห์แล้วนำไปใช้คำนวณหา ครอบคลุมพื้นที่ใบ

1.5.2.2 ครอบคลุมพื้นที่ใบ ขณะที่วัดความกว้างของใบ จะตัดแผ่นใบตามแนวของไม้บรรทัด เหล็กที่มีขนาดความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ที่วางทาบตามขวางของใบ นำไปชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง แล้วนำไปคำนวณพื้นที่ใบจากน้ำหนักแห้งทั้งหมด ดังนี้

$$\text{ครอบคลุมพื้นที่ใบ} = \frac{(10 \times 2.5 \times \text{ความกว้างใบ}) \times 10^{-6} \text{ (ha)} \times \frac{\text{น้ำหนักแห้ง (kg)}}{\text{น้ำหนักใบแห้งตัวอย่าง (kg)}}}{\text{พื้นที่ดิน (ha)}}$$

1.5.2.3 specific leaf weight (SLW, กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) เป็นค่าที่บอกถึงน้ำหนักของใบ ต่อ 1 หน่วยของพื้นที่ใบ ที่อายุต่างๆ คำนวณได้จาก

$$SLW = \frac{\text{น้ำหนักใบ/พื้นที่ปลูก (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{พื้นที่ใบ/พื้นที่ปลูก (ha ha}^{-1}\text{)}}$$

สำหรับ specific leaf weight constant (SLC) เป็นค่าของ specific leaf weight เมื่อข้าวโพดกำลังออกไหม

1.5.3 ความสูง ทำการวัดความสูงของต้นข้าวโพดก่อนเก็บเกี่ยวทุกสัปดาห์ โดยวัดจากผิวดินถึงฐานของใบ (ligule) ใบสุดท้าย ความสูงของลำต้นจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการรับแสง การหมุนเวียนของ CO_2 และแรงต้านทานการคายน้ำ (canopy resistance) ของพุ่มใบพืช

1.5.4 ลักษณะทางเกษตรกรรมอื่นๆ ที่บันทึกได้แก่ วันงอก 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวนต้นปลูกซ่อม จำนวนต้นที่ถูกหนอน-แมลงเจาะทำลาย ลักษณะต้น (plant aspect) โดยวิธีการให้คะแนนเปรียบเทียบ (CIMMYT, 1988) วันออกดอกตัวผู้และออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ และวันเก็บเกี่ยว

1.5.5 การให้น้ำ ปริมาณน้ำที่ให้แต่ละครั้ง วัดโดยการวางเครื่องตวงทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร ไว้ตามจุดต่างๆ 8 จุด เพื่อรองรับน้ำ วัดปริมาตรของน้ำที่รองรับได้ แล้วนำไปคำนวณเป็นปริมาณน้ำที่วัดเป็นความสูง ดังนี้

$$h = \frac{V}{\pi r^2}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของน้ำที่วัดได้ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

h = ความสูงของน้ำ (มิลลิเมตร)

r = รัศมีของเครื่องตวงทรงกลม

1.5.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเมื่อได้รับน้ำแตกต่างกัน ทำการวัดด้วยเครื่องมือนิวตรอนโพรบ (Neutron probe soil moisture meter : The Didcot Instrument Limited) ที่ระดับความลึก 0-30, 30-60, และ 60-100 เซนติเมตร จากผิวดิน ทำการวัดก่อนให้น้ำ 1 วัน แล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาสัดส่วนความชื้นดิน (soil moisture volume fraction) (นิมิตร และคณะ, 2532) ดังนี้

$$\theta = 0.633 R / R_w - 0.0173$$

เมื่อ θ = สัดส่วนความชื้นดิน ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)

R = ค่าที่อ่านได้จากนิวตรอนโพรบในดิน

R_w = ค่าที่อ่านได้จากนิวตรอนโพรบในน้ำ

1.5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลองด้วยวิธี split plot in RCB โดยมีรูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนและ degree of freedom ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และ degree of freedom

source	degree of freedom
Replication	3
Factor A (water)	1
Error A	3
Factor B (varieties)	1
A x B	1
Error	6

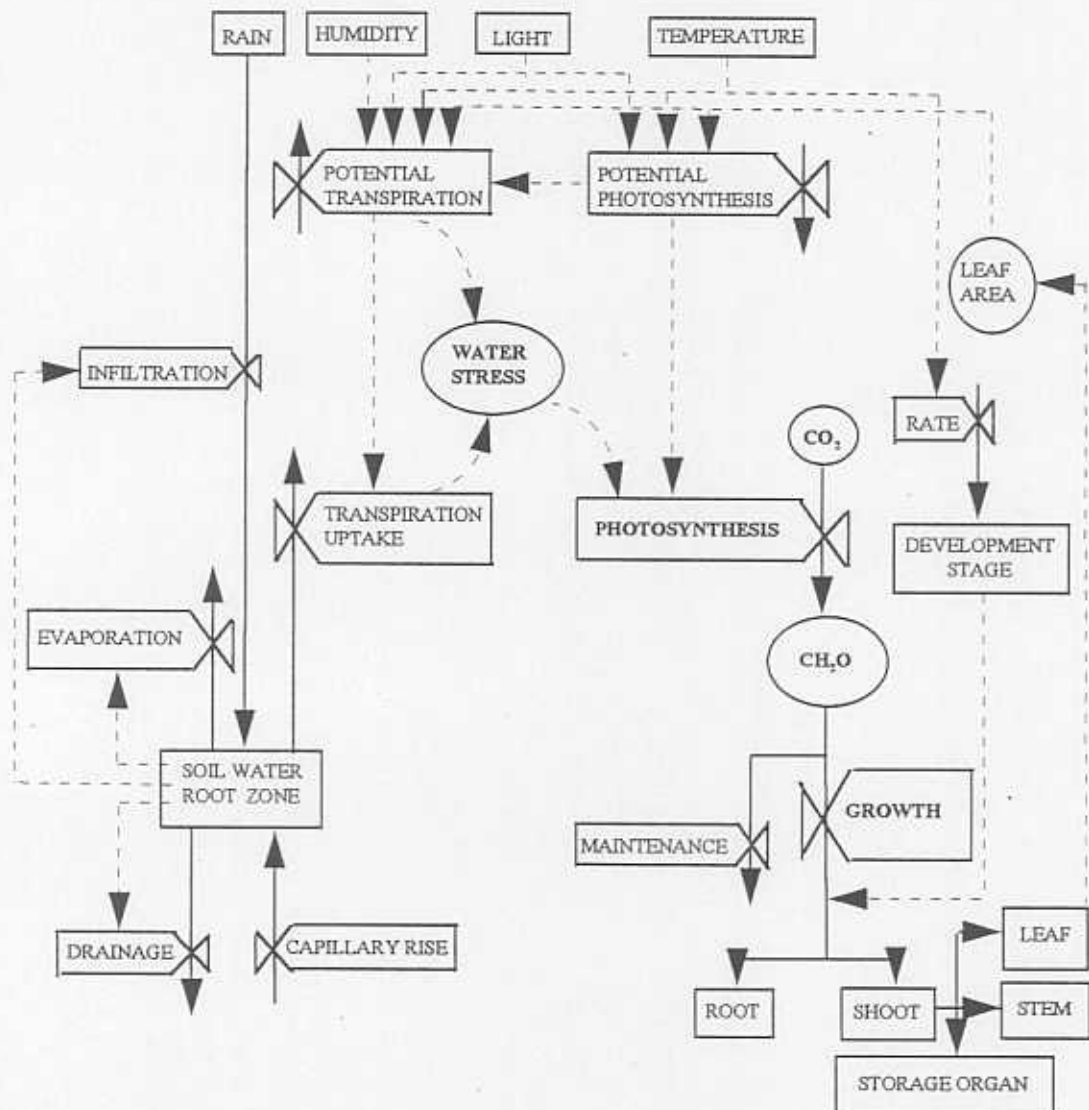
2 การจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพด

2.1 แบบจำลองพืชที่ใช้

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ MACROS CSMP; version module L1D, L2C และ L2SS มีรายละเอียดดังแสดงในตารางผนวกที่ 18 และภาพที่ 2 ดังนี้

- การสังเคราะห์แสง เริ่มต้นจากการตรึง CO_2 จากอากาศ โดยที่อัตราการสังเคราะห์แสงจะขึ้นอยู่กับแสง อุณหภูมิ และพื้นที่ใบ
- คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงส่วนแรกจะถูกนำไปใช้ในการหายใจเพื่อการคงสภาพ ส่วนที่เหลือเป็นส่วนที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโต
- การเจริญเติบโตของพืชจะแสดงในลักษณะของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คาร์โบไฮเดรตจะกระจายสู่รากและส่วนลำต้นทั้งหมด ซึ่งส่วนของลำต้นจะแยกไปสู่ ลำต้น ใบ และอวัยวะสะสมอาหาร โดยที่สัดส่วนของการกระจายคาร์โบไฮเดรตจะขึ้นอยู่กับช่วงอายุของข้าวโพด
- การเจริญเติบโต ได้แก่ การเพิ่มน้ำหนัก จะเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อเยื่อต่างๆ ส่วนการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบจะสัมพันธ์กับความหนาของใบ (specific leaf weight)
- ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำจำกัด อัตราการสังเคราะห์แสงจะถูกกำหนดโดยภาวะความเครียดจากการขาดน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่าง และปริมาณการคายน้ำของพืช (actual transpiration) ต่อศักยภาพการคายน้ำของพืช (potential transpiration)

- ศักยภาพการคายน้ำของพืช จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณความชื้นในบรรยากาศ แสง อุณหภูมิ และพื้นที่ใบ
- อัตราการคายน้ำ จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในดินบริเวณรากพืช และปริมาณน้ำในดินจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน การแทรกซึมของน้ำ อัตราการระเหย การไหลบ่า และท่อลำเลียงน้ำ



ภาพที่ 2 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่าง แสง อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณฝน และความเร็วลม ที่มีต่อ อัตราการใช้น้ำและอัตราการเจริญเติบโตของข้าวโพด เส้นประคือการควบคุมอัตราการผลิตโดยสภาพแวดล้อม หรือสภาวะพืช และเส้นทึบคือผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำหรือน้ำหนักของพืช (Penning de Vries et al., 1989)

การจำลองแบบ *deterministic model* ที่บรรยายรายละเอียดของกลไกพืชต่างๆนั้น จะจำลองสถานการณ์แบบ *dynamic* คือวันต่อวัน ซึ่งการจำลองแบบ *dynamic* มีลักษณะสำคัญดังนี้

1. อัตราการเปลี่ยนแปลงของระบบ จะขึ้นอยู่กับสถานะภาพ (state) คุณสมบัติของระบบ และปัจจัยภายนอก (external forces) ได้แก่ อุณหภูมิและความยาววัน (degree-day and photoperiod) ซึ่งความสัมพันธ์ของระบบดังกล่าวได้บรรยายไว้ในลักษณะของสมการคณิตศาสตร์ (mathematics description)
2. การคำนวณ (integrate) จะใช้วิธี *rectangular* โดยมีช่วงเวลาการคำนวณ (time interval) เท่ากับ 1 วัน
3. คุณสมบัติของระบบ กำหนดโดยพารามิเตอร์ และฟังก์ชันต่างๆ (parameters and artificial functions) ได้แก่ ข้อมูลลักษณะพืชและคุณสมบัติดินที่ได้จากการทดลอง และการตรวจเอกสาร และจาก Penning de Vries และคณะ (1989) เช่น การสังเคราะห์แสง ในสมการ *asymptotic exponential* ที่ให้ข้อมูล 2 ลักษณะคือ อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (PLMXP) และประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงเริ่มแรก (PLEA)
4. ข้อมูลฟ้าอากาศรายวัน ได้จากการจดบันทึกของสถานีอุตุนิยมวิทยา หมวดยะโยคี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การจำลองการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้แบบจำลอง *MACROS* ได้ดำเนินการโดยใช้เครื่อง *PC microcomputer* ภายใต้ระบบปฏิบัติการ *DOS* โดยอาศัย *CSMP translator* (IBM, 1975; Jansen, et al., 1988; and Pannangpeth, 1991) ร่วมกับ *IBM Fortran compiler, version 2* (IBM / Microsoft, 1984) ซึ่งข้อมูลที่แบบจำลองต้องการ (input data) นั้นประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของพืช ข้อมูลดิน และข้อมูลฟ้าอากาศรายวัน

ดังนั้นเพื่อเป็นการทดสอบเบื้องต้นถึงความสามารถของแบบจำลองในการประเมินผลผลิตของข้าวโพด ภายใต้สภาพแวดล้อมของจังหวัดขอนแก่น จึงได้ทำการเปรียบเทียบผลการประเมินโดยแบบจำลอง (model simulation) กับผลการทดลอง (observation) การวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างผลที่ได้จากการจำลองกับผลจากการทดลอง ใช้วิธีของ Graf, และคณะ (1991) ซึ่งวัดในรูปของ *standardized bias (R)* และ *standardized mean square error (V)* และ ค่า *correlation coefficient (r)* ดังนี้

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

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

เมื่อ x_i = ค่าที่ได้จากการวัดครั้งที่ i ของการทดลองในสภาพไร่
 y_i = ค่าที่ได้จากการประเมินครั้งที่ i
 n = จำนวนครั้งของการวัด

ในการประเมินผลผลิตครั้งนี้ใช้ข้อมูลลักษณะพืช (crop parameters) ที่ได้จากผลของการทดลอง โดยที่พันธุ์นครสวรรค์ 1 ใช้พารามิเตอร์ที่ต่างจากพันธุ์สุวรรณ 1 คือ อัตราการพัฒนาทางสรีรวิทยาและสัดส่วนการกระจายคาร์โบไฮเดรตของข้าวโพด (DRCV, DRCR, SLC และ CA (SHT, STT, LVT)) และพารามิเตอร์จาก Penning de Vries และคณะ (1989) โดยที่ variable names ของพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นเช่นเดียวกับ Penning de Vries และคณะ (1989) ดังนี้

2.2 ข้อมูลลักษณะพืช พารามิเตอร์และฟังก์ชันต่างๆ

2.2.1 ผลของการทดลองและตรวจเอกสาร

ข้อมูลที่จุดเริ่มต้นของการประเมิน (initialization of simulation)

PARAMETER DSI = 0.013, DATEB = 29.0

PARAMETER TWTI = 18.0, WSHI = TWTI*0.7, WRTI = TWTI*0.3 ,...

WSTI = WSHI*0.4, WLVI = TWTI*0.6,...

WSO = WSHI - WSTI - WLVI

ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการกระจายอาหาร (biomass partitioning) ที่ช่วงพัฒนาการต่างๆ

1. พันธุ์นครสวรรค์ 1

FUNCTION CASHT = 0.26,0.895, 0.38,0.912, 0.51,0.913, 0.64,0.923, 0.76,0.878,...

0.89,0.881, 1.02,0.893, 1.27,0.896, 1.33,0.906, 1.48,0.911,...

1.63,0.942, 1.78,0.935, 1.94,0.964, 2.1,1.000

FUNCTION CASTT = 0.26,0.331, 0.38,0.479, 0.51,0.473, 0.64,0.515, 0.76,0.616,...

0.89,0.684, 1.02,0.689, 1.27,0.564, 1.33,0.340, 1.48,0.124,...

1.63,0.023, 1.78,0.005, 1.94, 0.00, 2.1,0.000

FUNCTION CALVT = 0.26,0.669, 0.38,0.621, 0.51,0.527, 0.64,0.485, 0.76,0.384,...
 0.89,0.236, 1.02,0.124, 1.27,0.064, 1.33,0.012, 1.48,0.060,...
 1.63,0.001, 1.78,0.000, 1.94,0.00, 2.10,0.000,

อัตราการพัฒนาทางรูปร่าง (phenological developmental rate)

PARAMETER DRCV = 0.01724, DRCR = 0.02298

PARAMETER SLC = 499.18, SSC = 3014.78, WDLV = 0.0367

2. พันธุ์สุวรรณ 1

FUNCTION CASHT = 0.26,0.864, 0.38,0.935, 0.51,0.918, 0.64,0.905, 0.76,0.883,...
 0.89,0.873, 1.02,0.886, 1.27,0.902, 1.33,0.906, 1.48,0.930,...
 1.63,0.907, 1.78,0.934, 1.94,0.945, 2.1,1.000

FUNCTION CASTT = 0.26,0.358, 0.38,0.436, 0.51,0.503, 0.64,0.541, 0.76,0.642,...
 0.89,0.746, 1.02,0.543, 1.27,0.425, 1.33,0.187, 1.48,0.105,...
 1.63,0.020, 1.78,0.004, 1.94, 0.00, 2.1,0.000

FUNCTION CALVT = 0.26,0.643, 0.38,0.564, 0.51,0.497, 0.64,0.460, 0.76,0.358,...
 0.89,0.245, 1.02,0.136, 1.27,0.070, 1.33,0.018, 1.48,0.005,...
 1.63,0.001, 1.78,0.001, 1.94,0.00, 2.10,0.000,

อัตราการพัฒนาทางรูปร่าง (phenological developmental rate)

PARAMETER DRCV = 0.01687, DRCR = 0.02368

PARAMETER SLC = 507.27, SSC = 3014.78, WDLV = 0.036

ค่าเฉลี่ยอัตราการพัฒนา ความสูงของลำต้น ความหนาของใบและความยาวของราก

FUNCTION PLHTT = 0.13,0.06, 0.26,0.08, 0.38,0.16, 0.51,0.22, 0.64,0.45, ...
 0.76,0.60, 0.89,0.83,1.02,1.29, 1.27,1.35, 1.33,1.47, ...
 1.48,1.53, 1.63,1.43, 1.78,1.45, 1.94,1.49, 2.1,1.48

FUNCTION SLT = 0.13,0.46, 0.26,0.59, 0.38,0.74, 0.51,0.79, 0.64,0.97, ...
 0.76,0.96, 0.89,1.06, 1.02,1.00, 1.27,1.01, 1.33,1.21, ...
 1.48,1.09, 1.63,1.11, 1.78,1.13, 1.94,1.14, 2.1,1.13

PARAMETER GZRTC = 0.02, ZRTMC = 1.0

ข้อมูลดิน (จากผลการทดลอง และหนังสือ และคณะ, 2533)

PARAMETER ZRTMS = 1.0

PARAMETER TKL1 = 0.25, TKL2 = 0.35, TKL3 = 0.40

PARAMETER WCFC1 = 0.18, WCWP1 = 0.054, WCAD1 = 0.005, WCST1 = 0.26

PARAMETER WCFC2 = 0.18, WCWP2 = 0.054, WCAD2 = 0.005, WCST2 = 0.26

PARAMETER WCFC3 = 0.18, WCWP3 = 0.054, WCAD3 = 0.005, WCST3 = 0.26

INCON WCLI1 = 0.18, WCLI2 = 0.18, WCLI3 = 0.18

2.2.2 จาก Penning de Vries และคณะ (1989)

การสังเคราะห์แสงและหายใจ (photosynthesis and respiration)

PARAMETER PLMXP=45.0, PLEA = 0.32

FUNCTION PLMTT = 0.0,0.1, 20.0,0.8, 25.0,1.0, 35.0,1.0, 40.0,0.65, 50.0,0.05

FUNCTION PLETT = 0.0,0.95, 15.0,1.0, 25.0,0.85, 35.0,0.6, 50.0,0.05

PARAMETER CRGST= 1.513, CRGLV=1.463, CRGSO=1.491, CRGRT=1.444

PARAMETER CPGLV= 0.461, CPGST =0.408, CPGRT=0.406, CPGSO=0.384

PARAMETER FCLV = 0.459, FCST = 0.494, FCRT = 0.467, FCSO = 0.491

PARAMETER RMCLV = 0.032, Q10 = 2.0, TPR = 28.0

Maintenance respiration of stem is limited to 1,000 kg/ha

RMST = AMIN(1,000.0, WST)*0.01*TPEM+WIR*0.0

พัฒนาการทางรูปร่าง และอิทธิพลของช่วงแสงและอุณหภูมิที่มีต่อพัฒนาการของข้าวโพด

(phenological developmental rate and the effect of photoperiod and temperature on maize developmental rate)

FUNCTION DRVTT = 10.0,0.35, 18.0,0.75, 25.0,1.0, 35.0,1.1

FUNCTION DRRTT = 10.0,0.45, 18.0,0.65, 28.0,0.9, 35.0,1.0

FUNCTION DRDT = 6.0,0.5, 12.0,1.0, 14.0,1.0, 16.0,0.95, 24.0,0.25

PARAMETER FIEC = 0.45

Fraction of storage carbohydrate in the stems

PARAMETER FSTR = 0.35

อัตราการร่วงของใบและราก (leaf and root loss rate)

FUNCTION LLVT = 0.0,0.0, 1.0,0.0, 1.5,0.007, 1.8,0.019, 2.1,0.045

FUNCTION LRTT = 0.0,0.0, 1.0,0.0, 1.5,0.010, 1.8,0.021, 2.1,0.038

ความชื้นดิน (soil moisture)

PARAMETER EES = 20.0, FRNOF = 0.0, WSSC = 0.55, WFSC = 0.5

PARAMETER WDCL = 0.05, RFSD = 0.3

FUNCTION DRWT = 0.0,1.1, 1.0,1.0

FUNCTION PLMHT = 0.0,1.0, 1.0,1.0, 2.0,0.99, 3.0,0.86, 4.0,0.71

สถานที่ตั้งของแปลงทดลอง

PARAMETER LAT = 16.5, ELV = 190.0, RDUCE = 4.186E4

2.2.3 ข้อมูลฟ้าอากาศรายวันของจังหวัดขอนแก่น ปี 2536

ข้อมูลฟ้าอากาศรายวันของหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ปี 2536 ประกอบด้วย ความเข้มแสง (TABLE RDTMT) อุณหภูมิสูงสุด (TABLE TPHT) อุณหภูมิต่ำสุด (TABLE TPLT) ปริมาณน้ำฝน หรือปริมาณน้ำที่ให้ (TABLE RAIN) ความชื้นสัมพัทธ์ (TABLE HUAAT) และความเร็วลม (TABLE WDST) ที่บันทึกเป็นรายวัน จากสถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 19 และภาพที่ 1(ก) และ 1(ข)