บทที่ 4

การจำลองแบบและการสร้างภาพนามธรรม

ในบทนี้จะกล่าวถึง ข้อมูลจำเพาะของถั่วเหลือง การเก็บข้อมูลการเติบโตของถั่วเหลือง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการจำลองแบบ และส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการสร้างภาพนามธรรมของการขยายขนาดและความสูงของต้นถั่วเหลือง

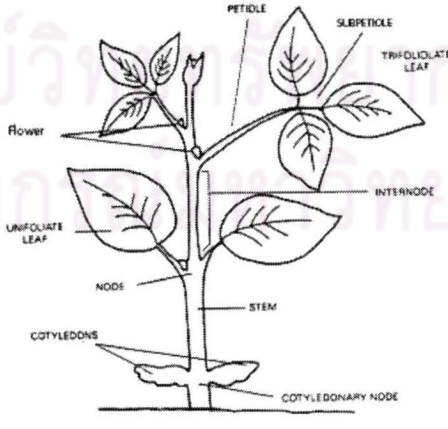
4.1 ข้อมูลจำเพาะของถั่วเหลือง(Soybean Specification)

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L) Merrill ส่วนชื่อทางสามัญก็เรียกแตกต่างกันออกไป เช่น soja bean, soya bean และ soybean เป็นต้น ซึ่งชื่อ soybean ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด

ถั่วเหลืองที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ด้วยกัน ได้แก่ พันธุ์ สจ.1, พันธุ์ สจ.2, พันธุ์ สจ.4, พันธุ์ สจ.5 และพันธุ์เชียงใหม่ 60 เป็นต้น ซึ่งพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้คือ พันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยมีอายุตั้งแต่งอกออกจากเมล็ดจนถึงโตเต็มที่ประมาณ 60 วัน

4.1.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Soybean Morphology)

ลักษณะโครงสร้างของถั่วเหลืองประกอบด้วย ลำต้น ก้านใบ ใบ ดอก และฝัก ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของถั่วเหลือง

ลำต้น(Stem) ประกอบด้วยข้อ (Node) และปล้อง (Internode) ลำต้นของถั่วเหลืองมีลักษณะกลมเจริญขึ้นไปเหนือดิน ทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมระหว่าง ก้านใบ ดอก และฝัก และทำหน้าที่เป็นท่อลำเลียงน้ำ และอาหารไปส่วนต่างๆของถั่วเหลือง

ก้านใบ(Petiole) เป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างลำต้น และใบ มีลักษณะกลม

ก้านใบย่อย(Subpetiole) เป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างก้านใบและใบ

ใบ(Leaf) ใบจริงคู่แรกเป็นใบเดี่ยว (Unifoliate) ส่วนใบต่อไปเป็นใบประกอบซึ่งประกอบด้วยใบย่อย 3 ใบ (Trifoliate) โดยมีการเรียงตัวของใบแบบสลับ (Alternate) รูปร่างของใบกลม ทางด้านโคน และแหลมทางด้านปลาย

4.1.2 ระยะการเติบโตของถั่วเหลือง

การเติบโตหมายถึง การแบ่งเซลล์ การเพิ่มน้ำหนักแห้ง ความสูง ปริมาตร สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเติบโตของถั่วเหลืองอยู่ในรูปความสูงและความกว้างของถั่วเหลือง

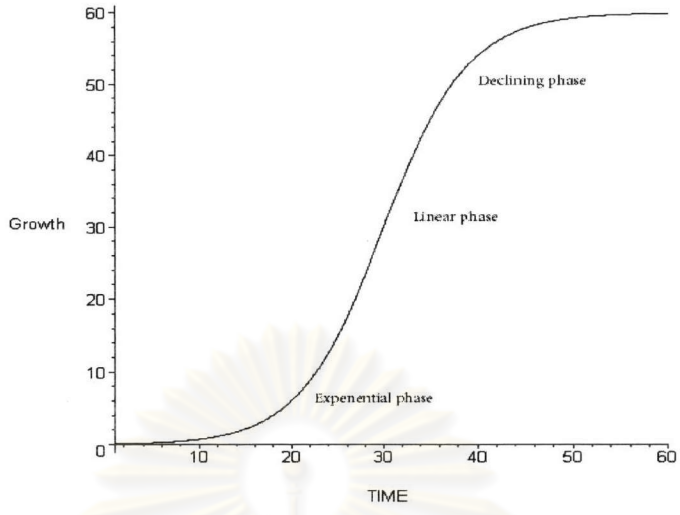
การเติบโตของถั่วเหลืองแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะการเติบโต[12] คือ ระยะแรก เริ่มตั้งแต่ Cotyledon ของถั่วเหลืองเริ่มโผล่พ้นพื้นดิน เรียกระยะนี้ว่า Emergence Stage ระยะที่สอง เริ่มตั้งแต่ Cotyledon ร่วงจนกระทั่งออกดอก เรียกระยะนี้ว่า Vegetative Stage ส่วนระยะสุดท้ายระยะที่สาม Reproduction Stage เริ่มตั้งแต่ถั่วเหลืองออกดอกจนกระทั่งออกฝักและตายในที่สุด

ระยะที่ 1 : Emergence Stage เป็นระยะที่มีอัตราการเติบโตช้ามาก เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.2 ระยะนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Exponential phase

ระยะที่ 2 : Vegetative Stage เป็นระยะที่มีอัตราการเติบโตสูงค่อนข้างคงที่ เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.2 ระยะนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Linear phase

ระยะที่ 3 : Reproduction Stage เป็นระยะที่มีอัตราการเติบโตลดลง เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.2 ระยะนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Declining phase

(Cm.)



รูปที่ 4.2 ระยะการเติบโตของถั่วเหลือง

4.2 การเก็บข้อมูล (Data Collection)

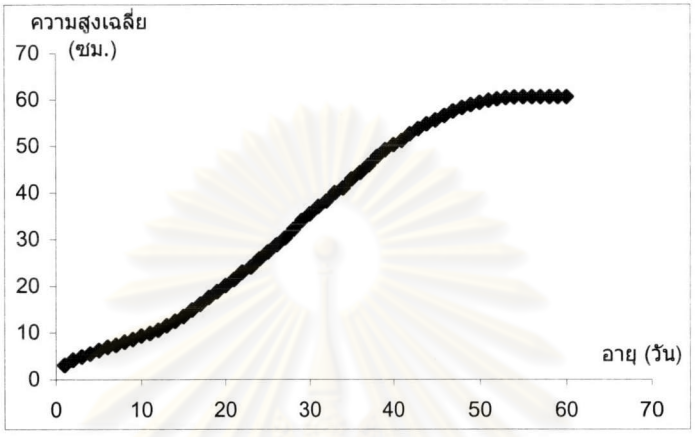
ข้อมูลที่ทำการเก็บรวบรวมเพื่อใช้ในขั้นตอนการหาแบบจำลองของงานวิจัยชิ้นนี้คือ การเติบโตของถั่วเหลือง ซึ่งจะวัดให้อยู่ในรูปความสูงรวมตลอดทั้งลำต้นและเส้นผ่าศูนย์กลางในแต่ละปล้องทุกวัน และวันที่ที่มีการแตกกิ่ง โดยปลูกถั่วเหลืองจำนวน 5 ชุดการทดลอง ซึ่งแต่ละชุดการทดลองได้พยายามควบคุมให้มีปัจจัยต่างเช่น ปริมาณน้ำ แสงแดด และอื่นๆ เหมือน ๆ กัน หลังจากทำการทดลองจนครบ 60 วัน ข้อมูลที่เก็บได้จากการทดลองการเติบโตของถั่วเหลืองทั้ง 5 ชุด ได้เก็บไว้ในตารางในภาคผนวก

4.3 การจำลองแบบ (Simulation)

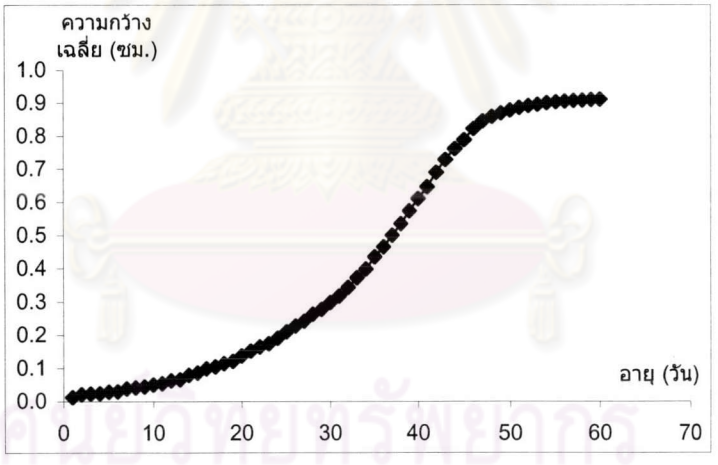
การจำลองแบบในงานวิจัยนี้คือ การจำลองแบบการเติบโตของถั่วเหลืองทั้งในด้านความสูงและความกว้างของลำต้นและกิ่ง เพื่อศึกษาการเติบโตในสภาวะปกติได้เหมือนจริงยิ่งขึ้น สิ่งแรกที่ต้องทำสำหรับกระบวนการการจำลองแบบคือ การหาแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลือง ซึ่งหาได้จากการนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของถั่วเหลือง กับเวลา

4.3.1 แบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลือง (Soybean Growth Model)

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองซึ่งแสดงในภาคผนวก ข้อมูลเฉลี่ยของการเติบโตของถั่วเหลืองทั้ง 4 ชุดข้อมูลนั้น เมื่อนำมาวาดกราฟจะได้มีลักษณะ ดังรูปที่ 4.3



ก.



ข.

รูปที่ 4.3 กราฟข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองการเติบโตของถั่วเหลือง 4 ชุดการทดลอง ที่อายุ 60 วัน (ก.) ความสูง (ข.) ความกว้าง

พิจารณากราฟข้อมูลการเติบโตของถั่วเหลืองที่ได้ จะพบว่าลักษณะของเส้นโค้งข้อมูลเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอสแบบไม่สมมาตร(non-symmetric s-curve) และกราฟข้อมูลมีลักษณะการเติบโตแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ซึ่งจะพบว่ากราฟที่ได้จะตรงกับข้อมูลจำเพาะของถั่วเหลืองที่ว่าการเติบโตของถั่วเหลืองแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะแรก Emergence Stage ระยะที่สอง Vegetative Stage และระยะสุดท้ายคือ Reproduction Stage ซึ่งถั่วเหลืองทั้ง 5 ชุดการทดลองจะมีลักษณะคล้ายกันและมีการเติบโตใกล้เคียงกัน

จากข้อมูลการเติบโตของถั่วเหลืองและเหตุผลที่กล่าวไว้ข้างต้น แบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลืองที่เหมาะสมคือ แบบจำลองการเติบโตแบบมัลติลอจิสติก เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่สามารถอธิบายลักษณะการเติบโตที่ซับซ้อน ตลอดระยะเวลาการเติบโตของถั่วเหลืองได้ ซึ่งแบบจำลองการเติบโตแบบมัลติลอจิสติกมีรูปแบบดังนี้

$$G(t) = \sum_{i=1}^{n} \frac{K_i}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_i} \cdot (t - t_{mi}) \right]}$$

และด้วยเหตุผลที่ว่าการเติบโตแบ่งออกเป็น 3 ระยะ จะได้ว่า n = 3 ซึ่งแบบจำลองการเติบโตแบบมัลติลอจิสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ

$$G(t) = \frac{K_1}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_1} \cdot (t - t_{m1}) \right]} + \frac{K_2}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_2} \cdot (t - t_{m2}) \right]} + \frac{K_3}{1 + \exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_3} \cdot (t - t_{m3}) \right]} \quad (4.1)$$

โดยที่

$G(t)$ คือ การเติบโตของถั่วเหลืองที่เวลา t ในที่นี้หมายถึงความสูงหรือความกว้างของถั่วเหลือง

t คือ เวลาการเติบโตของถั่วเหลือง

K_1 คือ ขอบจำกัดบนของความสูงหรือความกว้างของถั่วเหลืองในระยะที่ 1

Δt_1 คือ ระยะเวลาการเติบโตของถั่วเหลืองในระยะที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

t_{m1} คือ เวลาที่ถั่วเหลืองมีอัตราการเติบโตมากที่สุดในระยะที่ 1

K_2 คือ ขอบจำกัดบนของความสูงหรือความกว้างของถั่วเหลืองในระยะที่ 2

Δt_2 คือ ระยะเวลาการเติบโตของถั่วเหลืองในระยะที่ 2

t_{m2} คือ เวลาที่ถั่วเหลืองมีอัตราการเติบโตมากที่สุดในระยะที่ 2

K_3 คือ ขอบจำกัดบนของความสูงหรือความกว้างของถั่วเหลืองในระยะที่ 3

Δt_3 คือ ระยะเวลาการเติบโตของถั่วเหลืองในระยะที่ 3

t_{m3} คือ เวลาที่ถั่วเหลืองมีอัตราการเติบโตมากที่สุดในระยะที่ 3

4.3.2 การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการเติบโตแบบมัลติลอจิสติก

แบบจำลองการเติบโตแบบมัลติลอจิสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้(สมการ 4.1) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 9 ตัว คือ K_1 , Δt_1 , t_{m1} , K_2 , Δt_2 , t_{m2} , K_3 , Δt_3 และ t_{m3} การหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ทำได้โดยการวิเคราะห์การถดถอย โดยใช้วิธี Levenberg-Marquardt ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.4 ซึ่งพารามิเตอร์ของแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลือง หาได้ดังนี้

ความสูง

กำหนดให้ G_i แทนข้อมูลการเติบโตของถั่วเหลืองวันที่ i และกำหนดให้ $G(t_i;a)$ แทนแบบจำลองที่แทนความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตกับเวลาการเติบโต t_i โดยมีพารามิเตอร์ a ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$G(t_i;a) = \frac{K_1}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_1}\cdot(t-t_{m1})\right]} + \frac{K_2}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_2}\cdot(t-t_{m2})\right]} + \frac{K_3}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{\Delta t_3}\cdot(t-t_{m3})\right]}$$

โดยที่ พารามิเตอร์ K_1 , Δt_1 , t_{m1} , K_2 , Δt_2 , t_{m2} , K_3 , Δt_3 และ t_{m3} เขียนแทนโดยรวมด้วย a จากข้อมูลการเติบโต G_i และแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ $G(t_i;a)$ เราจึงได้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างข้อมูลการเติบโตกับแบบจำลองของช่วงการเติบโตทั้ง 60 วัน โดยมีพารามิเตอร์ a คือ

$$E(a) = \sum_{i=1}^{60} \left(G_i - G(t_i;a)\right)^2$$

ขั้นตอนต่อไปสำหรับการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับแบบจำลองที่ใช้แทนการเติบโตของถั่วเหลือง **ความสูง** คือการใช้สมการของ Levenberg-Marquardt (สมการ 3.24) คือ

$$a_{n+1} = a_n - (H + \lambda I)^{-1} g$$

โดยที่

a_{n+1} คือ พารามิเตอร์ในรอบการทำซ้ำที่ $n+1$

a_n คือ พารามิเตอร์ในรอบการทำซ้ำที่ n

H คือ เมตริกซ์อนุพันธ์ย่อยอันดับสองของ $E(a)$

g คือ เวคเตอร์อนุพันธ์ย่อยอันดับหนึ่งของ $E(a)$

λ คือ ค่าที่ช่วยในการลู่เข้าสู่ผลเฉลย

ซึ่งสมการ Levenberg-Marquardt ข้างต้นนี้ เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองรวมน้อยที่สุด สำหรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลือง **ความสูง** ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เมื่อกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้น และผ่านการขั้นตอนทำซ้ำ จะได้พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

K_1 = 3.470

Δt_1 = 6.484

t_{m1} = 1.643

K_2 = 16.336

Δt_2 = 19.730

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

t_{m2} = 39.299

K_3 = 41.595

Δt_3 = 31.688

t_{m3} = 23.181

ดังนั้นจะได้ แบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลือง **ความสูง** คือ

$$G_h(t,60) = \frac{3.470}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{6.484}\cdot(t-1.643)\right]} + \frac{16.366}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{19.730}\cdot(t-39.299)\right]} + \frac{41.595}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{31.688}\cdot(t-23.181)\right]} \quad (4.2)$$

สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลืองในด้านความกว้างนั้น ก็สามารถทำได้โดยวิธีเดียวกันกับการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลือง **ความสูง** ซึ่งสามารถหาแบบจำลองได้ดังนี้

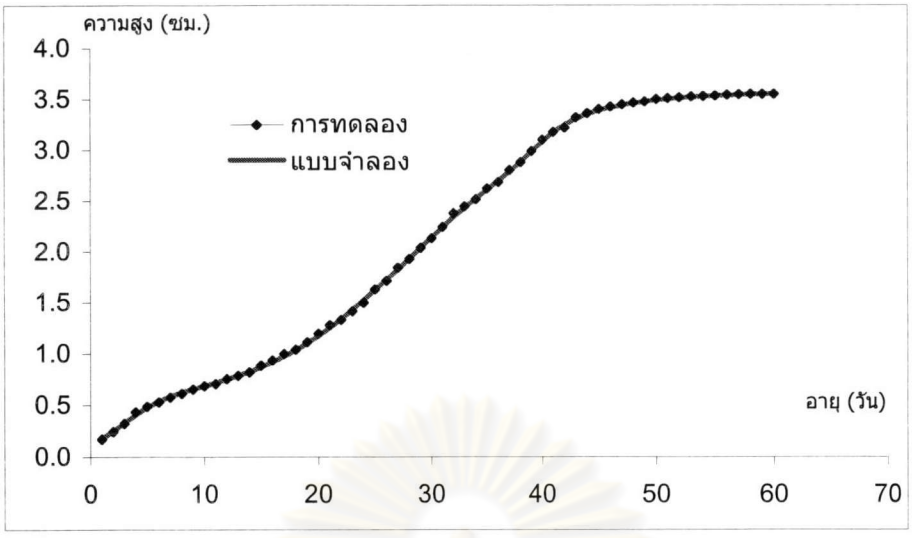
ความกว้าง

แบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลือง **ความกว้าง** คือ

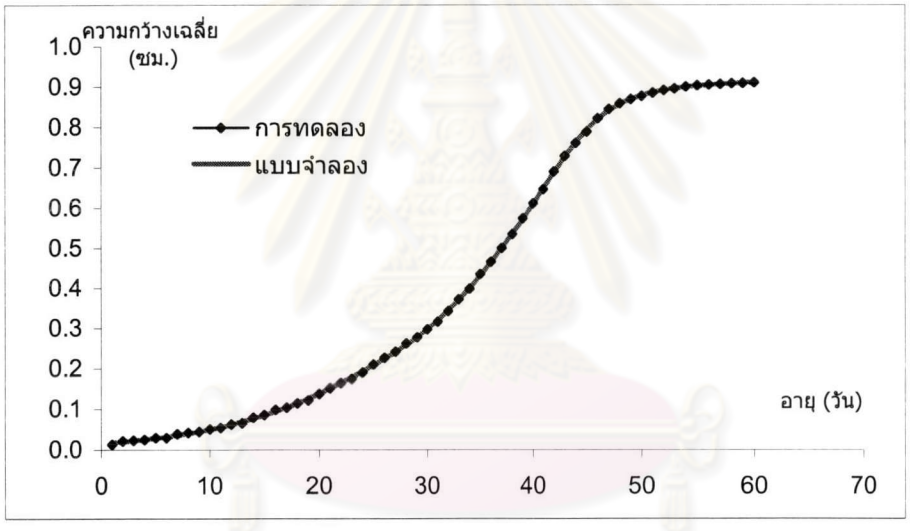
$$G_w(t,60) = \frac{0.153}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{10.463}\cdot(t-35.542)\right]} + \frac{0.267}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{10.350}\cdot(t-42.571)\right]} + \frac{0.501}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{35.627}\cdot(t-27.855)\right]} \quad (4.3)$$

เมื่อนำแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลืองที่ได้มาวาดกราฟ เทียบกับข้อมูลเฉลี่ยที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลองพบว่า มีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.



ข.

รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง-แบบจำลองของถั่วเหลืองอายุ 60 วัน (ก.) ความสูง (ข.) ความกว้าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การสร้างภาพนามธรรม (Visualization)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการสร้างภาพนามธรรมการเติบโตของถั่วเหลือง โดยเริ่มจากนำสายอักขระแอล มาผ่านขั้นตอนการตีความอักขระเพื่อสร้างเป็นภาพกราฟิก และใช้แบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลืองทั้งด้านความกว้างและความสูงที่ได้จากหัวข้อ 4.3 มาควบคุมการเติบโตสำหรับการสร้างภาพนามธรรมเติบโตของถั่วเหลือง

4.4.1 สายอักขระแอลสำหรับการสร้างภาพนามธรรมของถั่วเหลือง (L-String for Soybean Visualization)

สายอักขระแอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้นำมาจากงานวิจัยของ สมพร ช่วยอารีย์[11] และจากการทดลองปลูกถั่วเหลือง ได้สังเกตว่าลำต้นของถั่วเหลืองประกอบด้วยปล้องจำนวน 17 ปล้อง สายอักขะแอลที่ได้จึงมีลักษณะดังนี้

'II[+(θ)PL][-(θ)PL]I[-(θ)P[-(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]
I[<(θ)P[<(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]I[+(θ)P[+(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]
I[>(θ)P[>(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]I[-(θ)P[-(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]
I[<(θ)P[<(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]I[+(θ)P[+(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]
I[>(θ)P[>(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]I[-(θ)P[-(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]
I[<(θ)P[<(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]I[+(θ)P[+(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]
I[>(θ)P[>(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]I[-(θ)P[-(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]
I[<(θ)P[<(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]I[+(θ)P[+(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

สายอักขระแอลที่แสดงให้ดูข้างต้น เป็นสายอักขระแอลที่แทนส่วนประกอบต่างของถั่วเหลือง คือ I แทนปล้องของถั่วเหลือง P แทนก้านใบของถั่วเหลือง s แทนก้านใบย่อยของถั่วเหลือง และ L แทนใบของถั่วเหลือง ตัวอักขระเหล่านี้จะถูกนำไปตีความเป็นภาพกราฟิกซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป สายอักขระแอลของถั่วเหลืองนี้เมื่อนำมาเขียนใหม่ โดยแสดงตามข้อต่างๆของถั่วเหลือง ได้ดังนี้

1st node: 'I'

2nd node: 'I[+(θ)PL][-(θ)PL]'

3rd node : 'I[-(θ)P[-(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

4th node : 'I[<(θ)P[<(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]'

5th node : 'I[+(θ)P[+(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

6th node : 'I[>(θ)P[>(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]'

7th node : 'I[-(θ)P[-(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

8th node : 'I[<(θ)P[<(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]'

9th node : 'I[+(θ)P[+(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

10th node : 'I[>(θ)P[>(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]'

11th node : 'I[-(θ)P[-(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

12th node : 'I[<(θ)P[<(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]'

13th node : 'I[+(θ)P[+(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

14th node : 'I[>(θ)P[>(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]'

15th node : 'I[-(θ)P[-(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

16th node : 'I[<(θ)P[<(θ)sL][+(θ)sL][-(θ)sL]]'

17th node : 'I[+(θ)P[+(θ)sL][<(θ)sL][>(θ)sL]]'

เมื่อพิจารณาสายอักขระแอลกับข้อมูลจำเพาะของถั่วเหลืองพบว่า ตรงกับความเป็นจริงสำหรับลักษณะทางสัณฐานวิทยากล่าวคือ ใบเลี้ยงเดี่ยวคู่แรกเกิดขึ้นที่ข้อที่ 2 ส่วนข้ออื่นๆ เกิดใบเลี้ยงรวมแบบ 3 ใบ ส่วนมุม θ ในสายอักขระแอลจากการสังเกตพบว่า มุมของก้านใบในแต่ละข้อมีค่าประมาณ 35-60 องศา และมุมของก้านใบย่อยมีค่าประมาณ 70-80 องศา เมื่อใส่ค่ามุมในแต่ละส่วนลงไป สายอักขระแอลที่ได้จึงมีลักษณะดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1st node: 'I'

2nd node: 'I[+(45)PL][-(45)PL]'

3rd node : 'I[-(60)P[-(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

4th node : 'I[<(60)P[<(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

5th node : 'I[+(55)P[+(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

6th node : 'I[>(55)P[>(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

7th node : 'I[-(50)P[-(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

8th node : 'I[<(50)P[<(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

9th node : 'I[+(45)P[+(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

10th node : 'I[>(45)P[>(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

11th node : 'I[-(40)P[-(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

12th node : 'I[<(40)P[<(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

13th node : 'I[+(40)P[+(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

14th node : 'I[>(40)P[>(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

15th node : 'I[-(35)P[-(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

16th node : 'I[<(35)P[<(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

17th node : 'I[+(30)P[+(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]' (String A)

เมื่อนำลักษณะของสายแอลด้านบนมาตีความตามหัวข้อ 4.4.2 ซึ่งจะกล่าวต่อไป แล้วจะพบว่าการสร้างภาพการเติบโตนั้นจะมีเพียง ลำต้น ก้านใบ ก้านใบย่อย และ ใบ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึง กิ่ง ด้วย ดังนั้นลักษณะของสายแอลจะเป็นดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1st node: 'I'

2nd node: 'I[>(55)PL]<(45)i{-(30)pl<(30)l>(30)l}

<(45)i{+(30)pl-(30)l<(30)l} <(40)i{-(30)pl<(30)l>(30)l}

<(40)i{+(30)pl-(30)l<(30)l} <(35)i{-(30)pl<(30)l>(30)l}

<(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l} <(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

[<(55)PL]>(45)i{+(30)pl<(30)l>(30)l}

>(45)i{+(30)pl-(30)l<(30)l} >(40)i{-(30)pl<(30)l>(30)l}

>(40)i{+(30)pl-(30)l<(30)l} >(35)i{-(30)pl<(30)l>(30)l}

>(35)i{+(30)pl-(30)l<(30)l} >(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

3rd node: 'I[-(55)P[-(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]

-(45)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} -(45)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

-(40)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} -(40)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

-(35)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} (30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

4th node: 'I[<(50)P[<(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]

<(45)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} <(45)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

<(40)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} <(40)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

<(35)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} <(35)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

<(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

5th node: 'I[+(55)P[+(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

+(45)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} +(45)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

+(40)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} +(40)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

+(35)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} +(35)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

+(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

6th node: 'I[>(55)P[>(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]

>(45)i{+(30)pl<(30)l>(30)l} >(45)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

>(40)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} >(40)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

>(35)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} >(35)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

>(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

7th node: 'I[-(50)P[-(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]

-(45)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} -(45)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

-(40)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} -(40)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

-(40)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} -(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

8th node: 'I[<(50)P[<(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]

<(45)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} <(45)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

<(40)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} <(40)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

<(40)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} <(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

9th node: 'I[+(55)P[+(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]

+(45)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} +(45)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

+(40)i{<(30)pl<(30)l>(30)l} +(40)i{>(30)pl-(30)l<(30)l}

+(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

10th node: 'I[>(45)P[+(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]

>(35)i{+(30)pl<(30)l>(30)l} >(35)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

>(30)i{-(30)pl<(30)l>(30)l} >(30)i{+(30)pl-(30)l<(30)l}

>(30)i{+(30)l-(30)l<(30)l}'

11th node: 'I[-(45)P[>(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

12th node: 'I[<(40)P[-(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

13th node: 'I[+(40)P[<(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

14th node: 'I[>(40)P[+(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

15th node: 'I[-(40)P[>(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]'

16th node: 'I[<(35)P[-(80)sL][<(80)sL][>(80)sL]]'

17th node: 'I[+(35)P[<(80)sL][+(80)sL][-(80)sL]]' (String B)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 การตีความสายอักขระแอลสำหรับการสร้างภาพนามธรรมของถั่วเหลือง (L-String Interpretation for Soybean Visualization)

สายอักขระแอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีการกำหนดสัญลักษณ์และความหมายให้เหมาะสม สอดคล้องสำหรับการนำไปใช้สร้างภาพนามธรรมของถั่วเหลือง โดยสัญลักษณ์และความหมาย แสดงได้ในตารางต่อไปนี้

ตาราง 4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการตีความเพื่อสร้างภาพนามธรรมของถั่วเหลือง

สัญลักษณ์	ความหมาย
I	สร้างปล้องของถั่วเหลือง
i	สร้างปล้องของกิ่งถั่วเหลือง
P	สร้างก้านใบของถั่วเหลือง
p	สร้างก้านใบของกิ่งถั่วเหลือง
S	สร้างก้านใบย่อยของถั่วเหลือง
s	สร้างก้านใบย่อยของกิ่งถั่วเหลือง
L	สร้างใบของถั่วเหลือง
l	สร้างใบของกิ่งถั่วเหลือง
θ	มุมในการหมุนตามแกนที่กำหนด
+	หมุนแกน Z ทวนเข็มนาฬิกา
-	หมุนแกน Z ตามเข็มนาฬิกา
>	หมุนแกน X ทวนเข็มนาฬิกา
<	หมุนแกน X ตามเข็มนาฬิกา
[	เก็บค่าตำแหน่งปัจจุบันเข้าไปในสแตก
]	นำค่าตำแหน่งที่อยู่ในสแตกออกมา
{	เก็บค่าตำแหน่งปัจจุบันของส่วนของกิ่งเข้าไปในสแตก
}	นำค่าตำแหน่งของส่วนของกิ่งที่อยู่ในสแตกออกมา

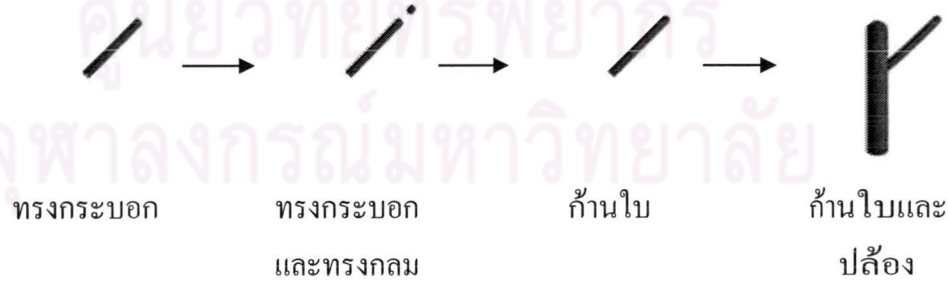
4.4.3 การสร้างส่วนประกอบของถั่วเหลือง (Visualization of Soybean Component)

ภาพนามธรรมของถั่วเหลืองประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ปล้อง ก้านใบ ก้านใบย่อย และใบ โดยที่ส่วนประกอบเหล่านี้สร้างจากรูปทรงเรขาคณิตเช่น รูปทรงกลม รูปทรงกระบอก เป็นต้น ซึ่งส่วนต่างๆของถั่วเหลืองสามารถสร้างได้ดังนี้

ปล้อง(Internode) ปล้องของถั่วเหลืองมีลักษณะกลม เป็นรูปทรงกระบอก สามารถสร้างเป็นภาพกราฟิกได้โดยการแทนด้วยรูปทรงกระบอก และรูปทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ภาพกราฟิกของปล้อง

ก้านใบ(Petiole) ก้านใบของถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นทรงกระบอก คล้ายกับปล้องของถั่วเหลือง สร้างเป็นภาพกราฟิกได้โดยการนำรูปทรงกระบอกและรูปทรงกลม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพกราฟิกของก้านใบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก้านใบย่อย(Subpetiole) ก้านใบย่อยมีลักษณะเช่นเดียวกับปล้องและก้านใบ แต่มีขนาดเล็กกว่า สร้างเป็นภาพกราฟิกได้โดยการแทนด้วยรูปทรงกระบอกและรูปทรงกลม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.7

ทรงกระบอก ทรงกระบอกและทรงกลม ก้านใบย่อย ก้านใบย่อย ก้านใบและปล้อง

รูปที่ 4.7 ภาพกราฟิกของก้านใบย่อย

ใบ(Leaf) ใบของถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบเดียวที่แตกต่างจากส่วนอื่น ซึ่งสามารถสร้างภาพกราฟิกได้โดยแทนด้วยรูปทรงหลายเหลี่ยม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.8

ใบ ใบ ก้านใบและปล้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.8 ภาพกราฟิกของใบ

กิ่ง (Branch) กิ่งลักษณะเช่นเดียวกับปล้องและก้านใบ แตกออกมาระหว่างปล้องกับก้านใบ ซึ่งสามารถสร้างภาพกราฟิกได้โดยแทนด้วยรูปทรงหลายเหลี่ยม ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.9

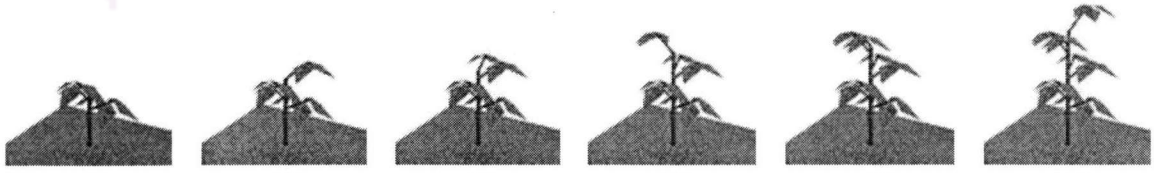
ทรงกระบอก ทรงกระบอกและทรงกลม กิ่ง ก้านใบ,ปล้องและกิ่ง

รูปที่ 4.9 ภาพกราฟิกของกิ่ง

4.4.4 การสร้างภาพนามธรรมของถั่วเหลือง (Soybean Visualization)

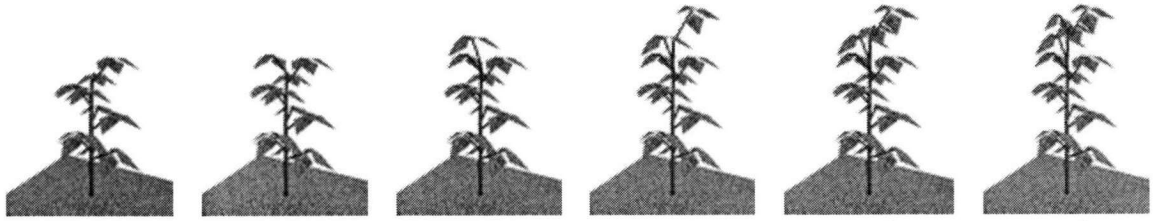
การสร้างภาพนามธรรมของถั่วเหลืองทำได้โดยการนำสายอักขระแอลที่ได้มาตีความตามตารางที่ 4.2 จากนั้นนำมาสร้างภาพนามธรรมของส่วนประกอบต่างๆด้วยรูปทรงเรขาคณิตสามารถแสดงได้ดังนี้

0 ปล้อง 1 ปล้อง 2 ปล้อง 3 ปล้อง 4 ปล้อง 5 ปล้อง



6 ปล้อง 7 ปล้อง 8 ปล้อง 9 ปล้อง 10 ปล้อง 11 ปล้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ภาพกราฟิกส่วนประกอบของถั่วเหลือง

4.4.5 การสร้างภาพนามธรรมการเติบโตของถั่วเหลือง (Visualization of Soybean Growth)

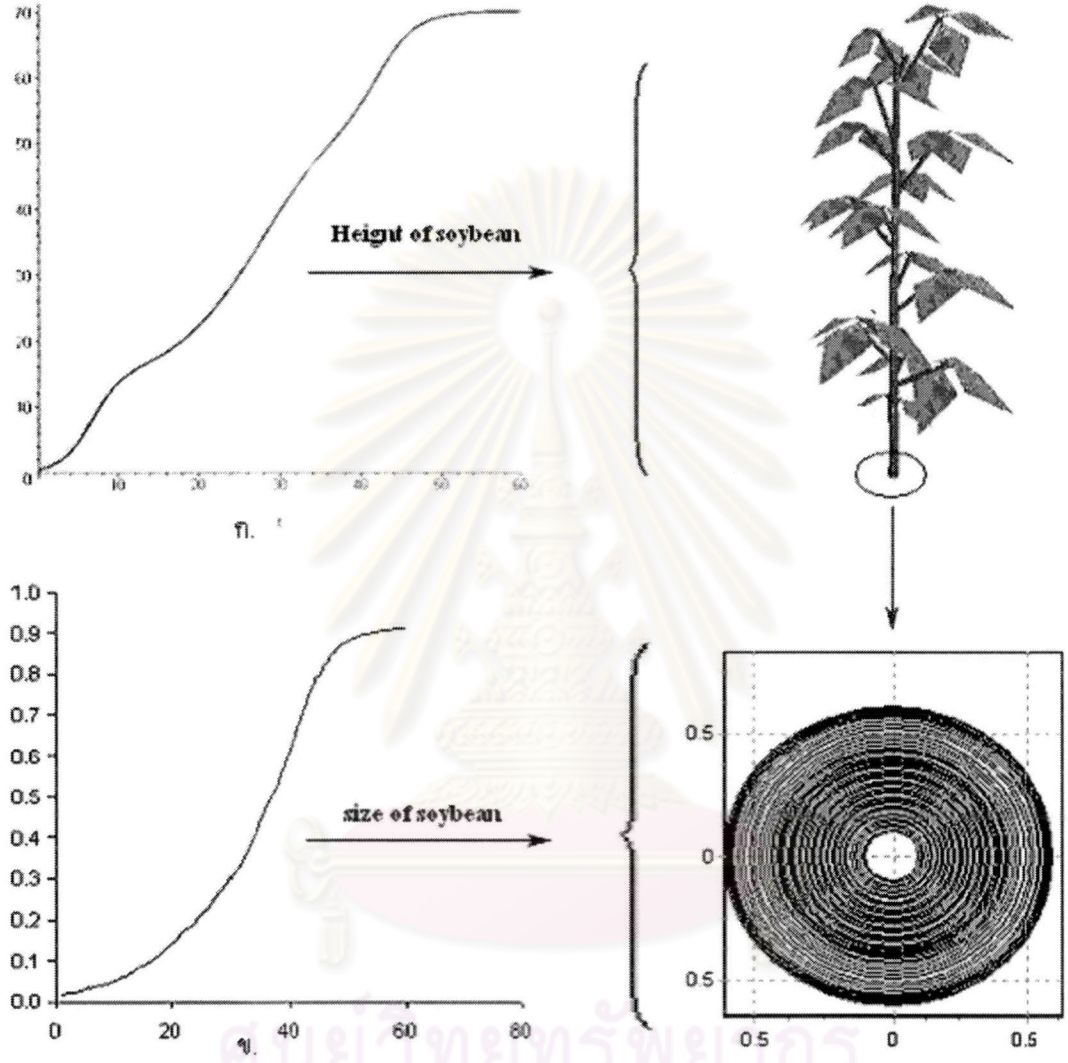
การสร้างภาพนามธรรมการเติบโตของถั่วเหลือง ทำได้โดยนำสมการการเติบโตด้านความสูง (4.2) และ สมการการเติบโตด้านความกว้าง (4.3) จากแบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลืองในหัวข้อ 4.3.2 ซึ่งมีสมการดังนี้

$$G_h(t,60) = \frac{3.470}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{6.484}\cdot(t-1.643)\right]} + \frac{16.366}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{19.730}\cdot(t-39.299)\right]} + \frac{41.595}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{31.688}\cdot(t-23.181)\right]} \quad (4.2)$$

$$G_w(t,60) = \frac{0.153}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{10.463}\cdot(t-35.542)\right]} + \frac{0.267}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{10.350}\cdot(t-42.571)\right]} + \frac{0.501}{1+\exp\left[-\frac{\ln(81)}{35.627}\cdot(t-27.855)\right]} \quad (4.3)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

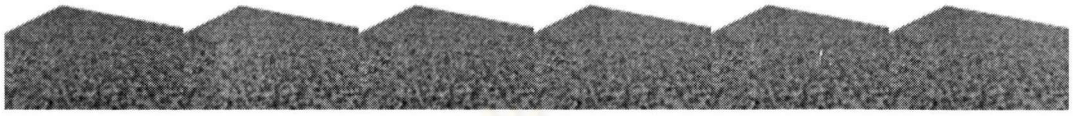
โดยแทนค่า เวลาการเติบโตของถั่วเหลืองลงในสมการ จะได้เส้นโค้งที่แสดงค่าความสูง 4.11 (ก.) และเส้นโค้งที่แสดงความกว้าง 4.11 (ข.) ตลอดช่วงระยะเวลาการเติบโต ซึ่งค่าความสูงและความกว้างนี้เองที่จะนำมาใช้ในการควบคุมความสูงของภาพกราฟิกของถั่วเหลือง



รูปที่ 4.11 การควบคุมการเติบโตของภาพกราฟิกของถั่วเหลือง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเราใช้เส้นโค้งการเติบโตที่ได้จากแบบจำลอง 4.2 และ 4.3 มาสร้างภาพกราฟิกของถั่วเหลืองที่ระยะเวลาการเติบโตต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



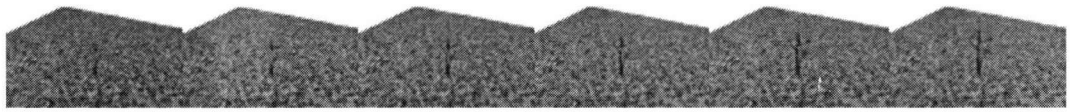
t = 1 t = 2 t = 3 t = 4 t = 5 t = 6

t = 7 t = 8 t = 9 t = 10 t = 11 t = 12

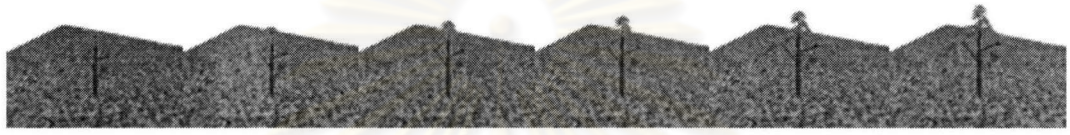
t = 13 t = 14 t = 15 t = 16 t = 17 t = 18

t = 19 t = 20 t = 21 t = 22 t = 23 t = 24

ศูนย์วิทยทรัพยากร

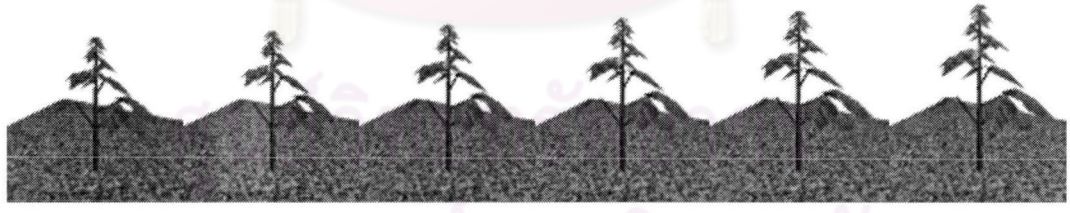


t = 25 t = 26 t = 27 t = 28 t = 29 t = 30



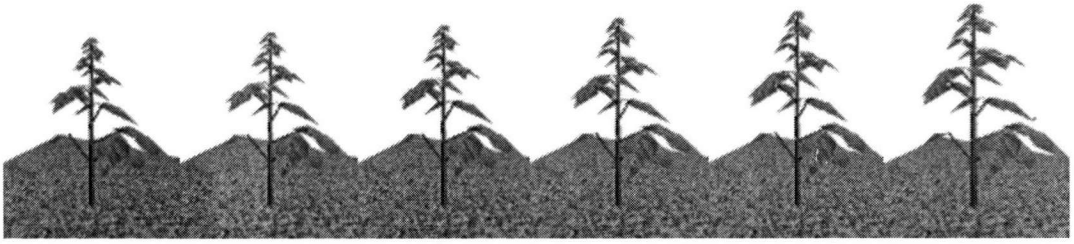
t = 31 t = 32 t = 33 t = 34 t = 35 t = 36

t = 37 t = 38 t = 39 t = 40 t = 41 t = 42



t = 43 t = 44 t = 45 t = 46 t = 47 t = 48

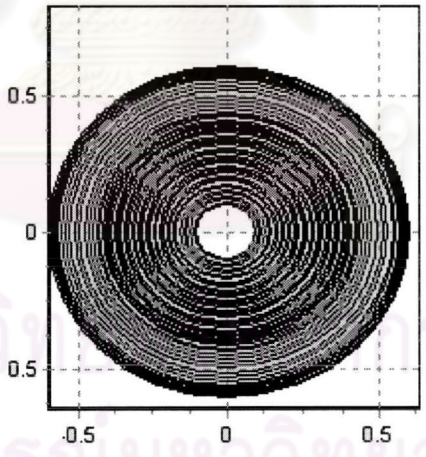
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



t = 49 t = 50 t = 51 t = 52 t = 53 t = 54

t = 55 t = 56 t = 57 t = 58 t = 59 t = 60

รูปที่ 4.12 การสร้างภาพกราฟิกการเติบโตของถั่วเหลือง

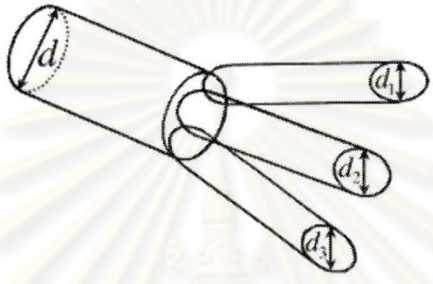


รูปที่ 4.13 การขยายขนาดของลำต้นในปล้องที่ 1 ในลักษณะภาคตัดขวาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.6 การสร้างภาพนามธรรมของกิ่งถั่วเหลือง (VISUALIZATION OF BRANCH OF SOYBEAN)

ในงานวิจัยนี้จะมีการขยายขนาดและความสูงของลำต้นและกิ่ง ซึ่งในหัวข้อก่อนหน้านี้ ได้อธิบายและจำลองการขยายขนาดของลำต้นและกิ่งไปแล้ว ในส่วนต่อไปนี้จะกล่าวถึงการแตกกิ่ง โดยอาศัย Principle of Leonardo's rule [13] ได้กล่าวว่า ผลรวมของเส้นผ่าศูนย์กลางของแขนงกำลังสองจะเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของกิ่งกำลังสอง ดังรูป 4.14 และสมการ 4.4



รูปที่ 4.14 Principle of Leonardo's rule

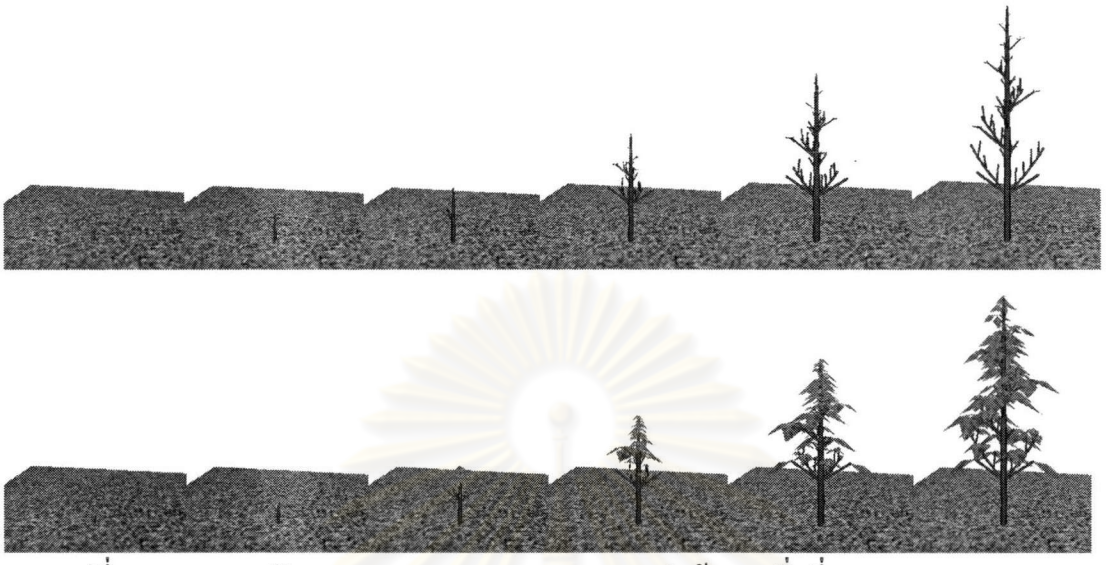
$$d^2 = \sum_{i=1}^{n} d_i^2 \qquad (4.4)$$

เมื่อ

d	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของกิ่ง (กิ่งแม่)
d_i	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของแขนง (กิ่งลูก)
n	=	จำนวนแขนงทั้งหมด
i	=	1, 2, …, n

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองการเติบโตของถั่วเหลือง ที่ได้ในหัวข้อ 4.3.2 และสมการ 4.3.2 สามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.15 ภาพกราฟิกการขยายขนาดและความสูงของลำต้นและกิ่งที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย