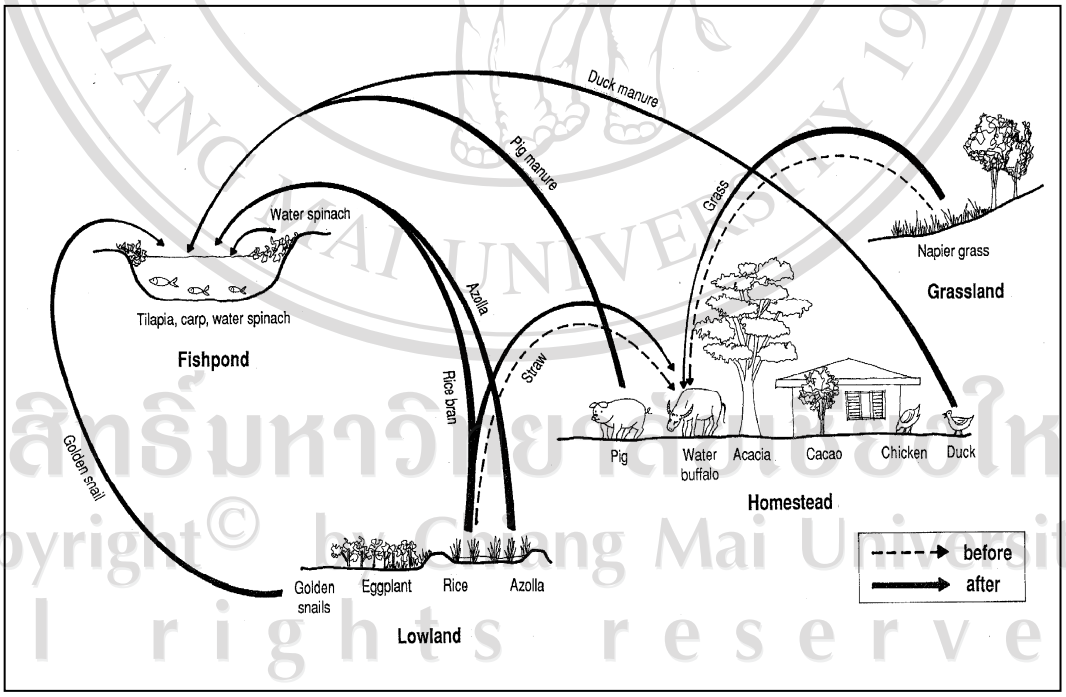
บทที่ 4

โครงสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM

โครงสร้างและกรอบของการสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM

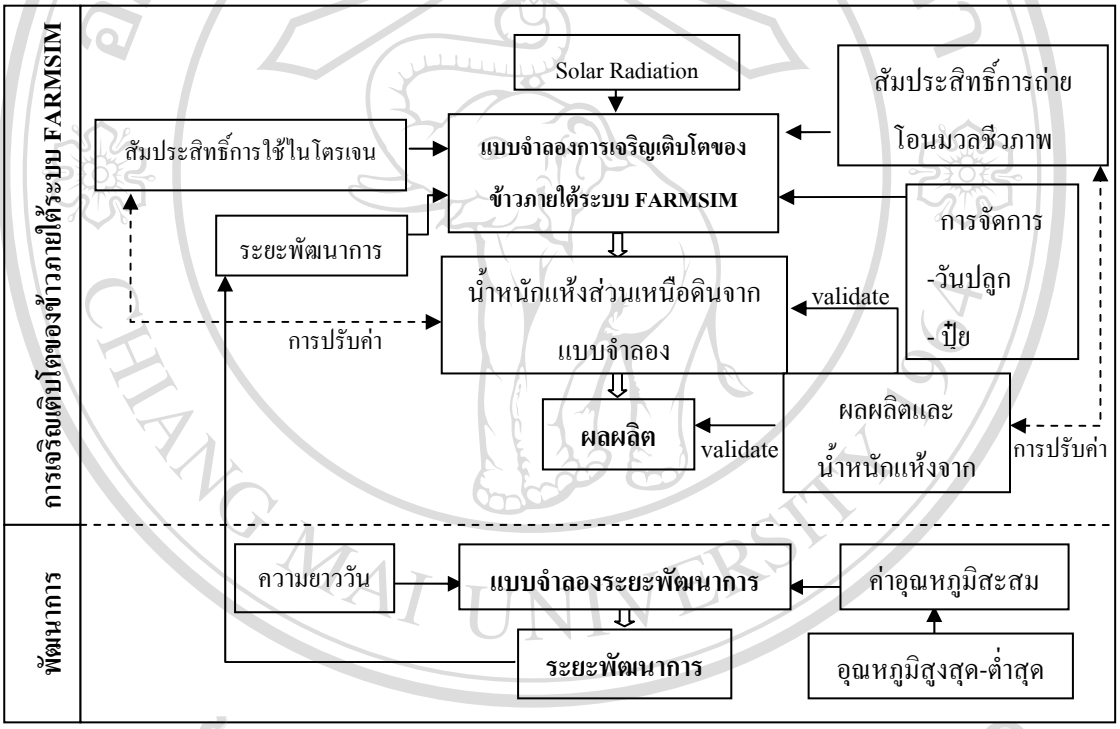
แบบจำลองระบบ FARMSIM (Schaber, 1996) เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองระบบการเกษตรในฟาร์มขนาดเล็ก ซึ่งประกอบไปด้วยการจำลองการทำการเกษตรย่อยหลายชนิด ได้แก่ แบบจำลองระบบการเลี้ยงไก่ เป็ด สุกร กระบือ ปลา หญ้าอาหารสัตว์ และระบบการปลูกข้าว โดยแบบจำลองแต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (ภาพที่ 4.1) เช่น ปลาได้อาหารจากมูลของสุกร กระบือ เป็ดไก่ และสิ่งมีชีวิตในน้ำ กระบือได้อาหารจากแปลงนาและทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และแปลงนาได้ปุ๋ยจากมูลสัตว์ เป็นต้น



ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงระบบการเกษตรที่ประกอบในแบบจำลองระบบ FARMSIM (Schaber, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปรับปรุงแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ของการศึกษาครั้งนี้ ได้ดำเนินการปรับปรุงแบบจำลองภายใต้โครงสร้างหลักของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM เดิมที่ ได้ทำการศึกษาวิจัยไว้ก่อนแล้ว ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM เดิม สร้างขึ้นเพื่อประเมินน้ำหนักแห้งรวม และผลผลิตของข้าวเท่านั้น ดังนั้นในการปรับปรุงแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ใหม่นี้ ได้มีการเพิ่มส่วนของแบบจำลองให้สามารถประเมินระยะพัฒนาการ (ภาพที่ 4.2) อีกทั้งได้มีการปรับปรุงข้อมูลนำเข้า (Input data) บางส่วนเพื่อให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวของไทยด้วย



ภาพที่ 4.2 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM กับแบบจำลองพัฒนาการ และข้อมูลจากงานทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองและสมการที่ใช้ในแบบจำลอง

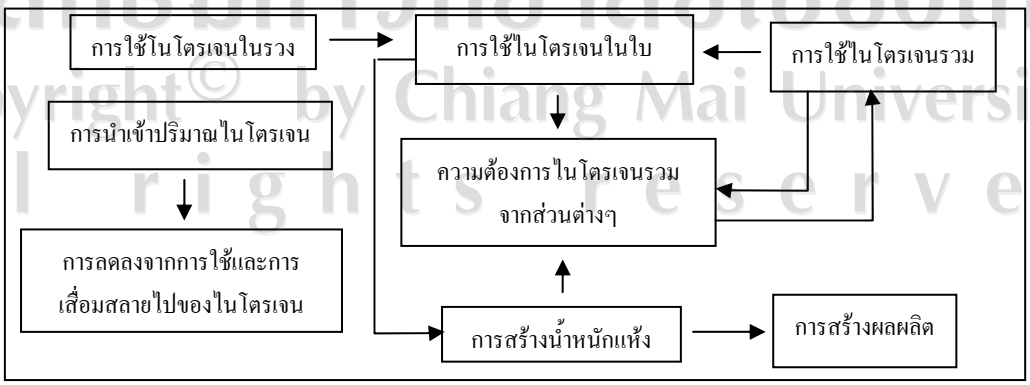
วิธีการในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองในงานวิจัยนี้ อาศัยโครงสร้างแบบจำลองแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM เดิม และได้ปรับแก้สมการบางส่วน เช่น การปรับหน่วยตัวเลขของข้อมูลนำเข้าที่ต้องกรอกเข้าไปในแบบจำลอง เพื่อความสะดวกในการนำแบบจำลองไปใช้ได้ง่ายขึ้น ซึ่งโครงสร้างแบบจำลองนี้สามารถแยกชนิดของตัวแปรใน

ระบบ ให้เป็นไปตามหลักการและเทคนิคที่เสนอโดย Forrester (1972) โดยใช้โปรแกรม STELLA (Isee System Inc, 2005) ที่ประกอบไปด้วย ตัวแปร 3 ประเภท คือ 1) stock variable หรือ state variable ที่เป็นตัวแปรที่มีระดับการสะสมที่ระยะเวลาหนึ่งๆ (t) ที่เป็นผลรวมของการไหลของข้อมูลที่เป็นปริมาณ 2) rate variable ที่เป็นอัตราเพิ่มหรือลดการสะสมของ stock variable ต่อระยะเวลา (dt) และ 3) converter หรือ auxiliary variable เป็นตัวแปรขยายที่เกี่ยวข้องกับ rate variable ที่มีความสัมพันธ์หลัก นอกจากนี้ยังมีตัวแปรที่กำหนดโดยผู้ใช้ หรือตัวแปรสัมประสิทธิ์ ที่ใช้สัญลักษณ์แบบเดียวกับ converter เช่น ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลความยาววัน จากโปรแกรม Microsoft Excel เชื่อมโยงข้อมูลมาใช้ในแบบจำลอง

แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุง ประกอบไปด้วยการจำลอง 2 ส่วนหลัก คือ 1) การจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิต ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของการนำเข้าปริมาณไนโตรเจน การใช้ไนโตรเจนในใบ การใช้ไนโตรเจนในรวง การใช้ไนโตรเจนรวมทั้งหมด ความต้องการไนโตรเจนรวมในแต่ละกระบวนการ การลดลงของไนโตรเจนเนื่องจากการใช้และการเสื่อมสลายของไนโตรเจน การสังเคราะห์แสง การสร้างน้ำหนักแห้ง และการสร้างผลผลิต และ 2) การจำลองระยะพัฒนาการ โดยแบ่งการจำลองออกเป็นสองส่วนหลักคือ การจำลองระยะพัฒนาการของข้าวพันธุ์ไวแสง เช่น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และการจำลองระยะพัฒนาการข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง เช่นพันธุ์ชัยนาท 1 โดยในแต่ละชนิดแยกจำลองในแปลงที่ปลูกโดยการปักดำและปลูกโดยการหว่าน เป็นต้น

1. แบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิต

ในแบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตนั้นประกอบไปด้วยแบบจำลองย่อย หลายแบบจำลอง ซึ่งแสดงถึงการทำงานในกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ดังภาพที่ 4.3

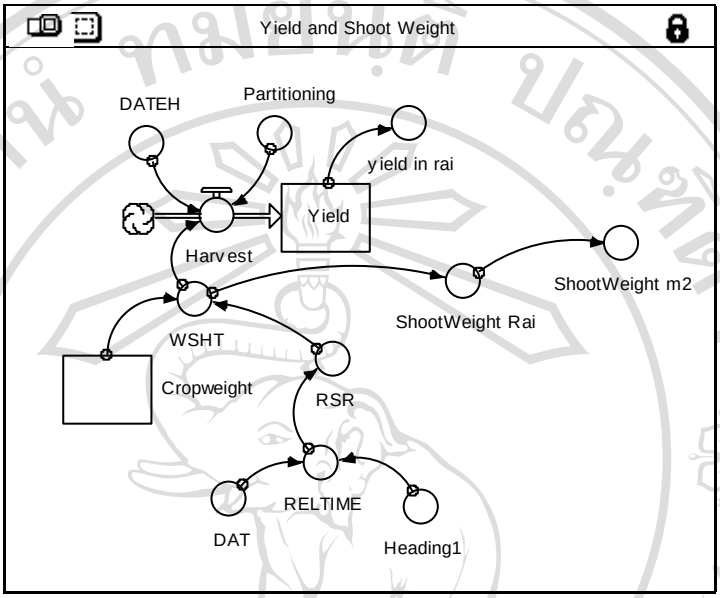


ภาพที่ 4.3 แสดงการเชื่อมโยงของกระบวนการต่างๆในการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลผลิต (Yield) (ภาพที่ 4.4) กำหนดให้เป็น stock variable โดยผลผลิตจะขึ้นอยู่กับอัตราการเก็บเกี่ยว (harvest)

$$Yield(t) = Yield(t - dt) + (Harvest) * dt \quad (1)$$



ภาพที่ 4.4 แผนภาพแสดงการสร้างผลผลิตในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุง ที่เขียนด้วย STELLA

โดยที่อัตราการเก็บเกี่ยว (Harvest) นั้น จะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลชีวภาพ (Partitiioning) เท่ากับ 0.25 ในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และมีค่าเท่ากับ 0.36 สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (การประเมินจากงานทดลองในครั้งนี้)

$$Harvest = if\ (DATEH=1)\ then\ WSHT*Partitioning\ else\ 0 \quad (2)$$

น้ำหนักของส่วนที่อยู่เหนือดิน (WSHT) นั้นขึ้นอยู่กับค่าของน้ำหนักแห้งที่ผลิตได้ในแปลง (Cropweight) และสัดส่วนของรากและต้น (RSR)

$$WSHT = CropWeight/(1+RSR) \quad (3)$$

ค่าของน้ำหนักแห้งทั้งหมด (Cropweight) (ภาพที่ 4.5) กำหนดให้เป็น stock variable โดยค่าของน้ำหนักแห้งทั้งหมด ในวันที่ t ขึ้นอยู่กับค่าของน้ำหนักแห้งทั้งหมดในวันที่ t-1 และ อัตราการเจริญเติบโต โดยค่าของน้ำหนักแห้งทั้งหมดจะมีค่าเริ่มต้น ได้มาจากน้ำหนักแห้งของต้นกล้าตอนปลูก โดยแยกรากออกไป (ค่านี้จะขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว) และเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าสูงสุดในวันที่มีการเก็บเกี่ยว (DATEH) เช่นเดียวกับอัตราการเก็บเกี่ยว

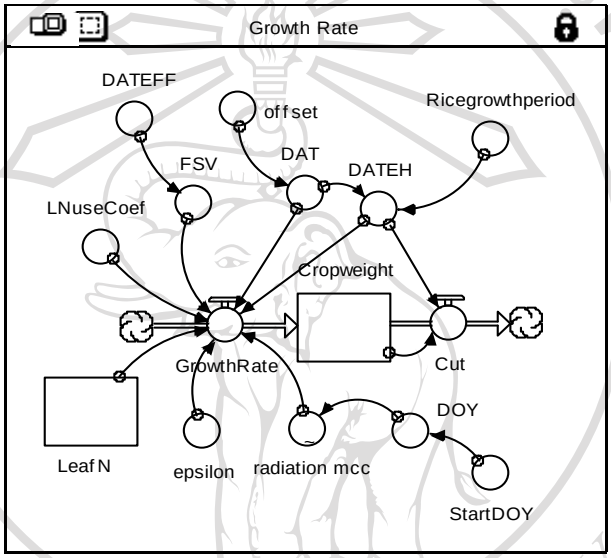
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Cropweight(t) = Cropweight(t - dt) + (GrowthRate - Cut) * dt (4)

Cut = if (DATEH=1) then Cropweight else 0 (5)

โดยวันเก็บเกี่ยวนั้นจะถูกกำหนดโดยอายุข้าว (Ricegrowthperiod) ซึ่งค่านั้นจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์ โดย

DATEH = if (DAT>=Ricegrowthperiod) then 1 else 0 (6)



ภาพที่ 4.5 แผนภาพแสดงการสร้างน้ำหนักแห้งในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุง ที่เขียนด้วย STELLA

อัตราการเจริญเติบโต (Growth Rate) เป็นปัจจัยที่มีลักษณะเป็น rate variable ที่เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดการสะสมของค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมด (Crop weight) โดย อัตราการเจริญเติบโตได้มาจากปัจจัยหลายอย่างกระทำร่วมกัน คือ ค่าของสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนในใบ (LNuseCoef) ปฏิสัมพันธ์กันระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (FSV) วันเก็บเกี่ยว (DETEH) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงของข้าว (epsilon) ค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์รายวัน (Radiation) และค่าของจำนวนการใช้ไนโตรเจนในใบข้าว (LeafN)

GrowthRate = if (DAT <= 0) or (DATEH=1) then 0 else FSV*LNuseCoef
LeafN(1-exp(-(epsilon*radiation_mcc)
/(LNuseCoef*LeafN*0.1))) (7)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราการเจริญเติบโต (Growth Rate) จะคำนวณจาก จำนวนการใช้ไนโตรเจนในใบ (LeafN) และ ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์รายวัน (Radiation) (SARP ORYZA_0 Model. หน้า 44) ซึ่งค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์รายวันในการทดลองครั้งนี้นั้นได้มาจาก ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันเฉลี่ย (ปี 2545 - 2549) จากสถานีการเกษตรในเขตชลประทาน ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยวันที่เริ่มคำนวณจะถูกกำหนดจากวันที่เริ่มการจำลอง (StartDOY)

radiation_mcc = GRAPH(DOY) (8)

DOY = mod (StartDOY+time,365)+1 (9)

ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นปัจจัยของอัตราการเจริญเติบโต (Growth Rate) นั้นประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ 2 ค่าคือ สัมประสิทธิ์การใช้แสงของข้าว มีค่าเท่ากับ 2.5 [g DM/(MJ*m^2)] ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนในใบ มีค่าเท่ากับ 10 [kgDM/kg leafN] ทั้ง 2 ค่านี้อ้างอิงมาจาก SARP ORYZA_0 หน้า 86 และ นอกจากนี้ยังมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (FSV) ซึ่งรวบรวมกันไว้ภายในหนึ่งปัจจัย (SARP ORYZA_0 หน้า 44 และ หน้า 98)

FSV = if (DATEFF=1) then 0.83 else 1 (10)

โดยผลกระทบจากสภาพแวดล้อมนี้ จะขึ้นอยู่กับวันที่ข้าวออกดอกครั้งแรก (DATEFF) ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับ ลักษณะพันธุกรรมของการออกดอกของข้าวแต่ละพันธุ์

DATEFF = if (DAT>=Heading1-7) then 1 else 0 (11)

ปริมาณการใช้ไนโตรเจนในใบข้าว (LeafN) (ภาพที่ 4.6) เป็นปัจจัยที่มีลักษณะเป็น stock variable โดยปริมาณไนโตรเจนในใบของข้าวนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราของไนโตรเจนที่นำเข้าไปในใบ (LNUptake)

LeafN(t) = LeafN(t - dt) + (LNUptake) * dt (12)

ค่าเริ่มต้นของการใช้ไนโตรเจนในใบของข้าว (LeafN) นั้นได้มาจากการใช้ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช (TotalCropN) คูณกับ สัดส่วนของไนโตรเจนในใบ

อัตราของการใช้ไนโตรเจนในใบข้าว (LNUptake) เป็นปัจจัยที่มีลักษณะเป็น rate variable ที่เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดการสะสมของปริมาณไนโตรเจนในใบของข้าว โดยประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ วันที่ข้าวออกดอกครั้งแรก (DATEFF) สัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าว (FNL) โดยค่าพารามิเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว (Schaber, 1996) อัตราการนำไนโตรเจนไปใช้ในรวง (PNUptake) และ อัตราของการใช้ไนโตรเจนทั้งหมดในข้าว (TCNUptake)

LNUptake = if (DATEFF=0) then (TCNUptake*FNL) else (FNL*(TCNUptake-PNUptake)) (13)

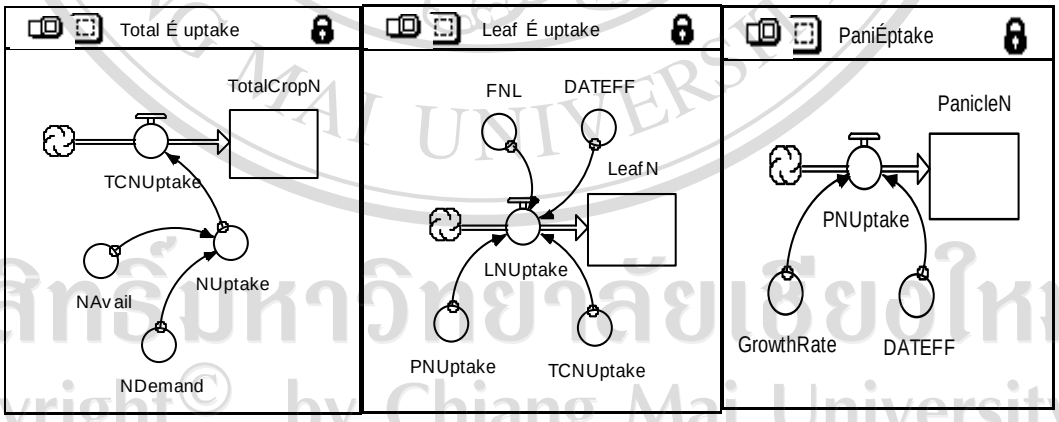
อัตราการใช้ไนโตรเจนในรวง (PNUptake) นั้นเป็นปัจจัยที่มีลักษณะเป็น rate variable ที่เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดการสะสมของ ปริมาณการใช้ไนโตรเจนที่สะสมในรวงข้าว (PanicleN) (ภาพที่ 4.6) โดยอัตราการใช้ไนโตรเจนในรวง (PNUptake) นี้ จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดการเริ่มการสะสมคือ วันที่ข้าวออกดอกครั้งแรก (DATEFF) และ อัตราการเจริญเติบโต (Growth rate)

PanicleN(t) = PanicleN(t - dt) + (PNUptake) * dt (14)

PNUptake = if (DATEFF=1) then 0.01*GrowthRate else 0 (15)

อัตราการใช้ไนโตรเจนทั้งหมดในข้าว (TCNUptake) นั้นเป็นปัจจัยที่มีลักษณะเป็น rate variable ที่เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดการสะสมของการใช้ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช (TotalCropN) ซึ่งค่าของการใช้ไนโตรเจนทั้งหมดในพืชนั้น มีค่าตั้งต้นเท่ากับ 0.4 kg/ha (Schaber, 1996)

TotalCropN(t) = TotalCropN(t - dt) + (TCNUptake) * dt (16)



ภาพที่ 4.6 แผนภาพแสดงการใช้ไนโตรเจนรวม การใช้ไนโตรเจนในใบ และการใช้ไนโตรเจนในรวง ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุง ที่เขียนด้วย STELLA

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

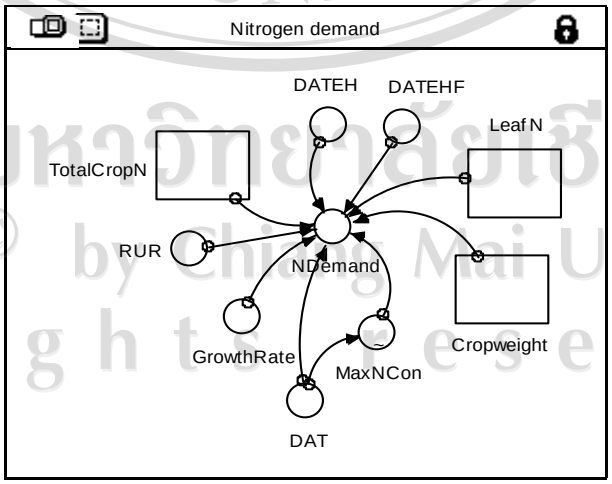
ในแบบจำลองนี้ กำหนดให้ TCNUptake นั้นเป็นค่าเดียวกันกับ NUptake ซึ่งเป็นค่าไนโตรเจนที่แท้จริงที่ถูกนำไปใช้ในดินเป็นรายวัน โดยค่านี้ประกอบด้วยปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมอยู่ทั้งหมด 2 ปัจจัยหลักคือ ความต้องการไนโตรเจนรวมจากส่วนต่างๆ (NDemand) และไนโตรเจนในดิน (NAvail)

NUptake = max (0.0,min(NAvail,NDemand)) (17)

โดยความต้องการไนโตรเจนรวมจากส่วนต่างๆ (NDemand) (ภาพที่ 4.7) เป็นตัวแปรขยายที่ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่าง คือวันที่เก็บเกี่ยว (DATEH) วันหลังจากเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ (DATEHF) ซึ่งมีไว้ใช้กำหนดความต้องการไนโตรเจนของพืช ไนโตรเจนในใบของข้าว (LeafN) อัตราการเจริญเติบโต (GrowthRate) ค่าของน้ำหนักแห้งทั้งหมด (Cropweight) ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช (TotalCropN) สัมประสิทธิ์ที่มีความสัมพันธ์กับการเติมไนโตรเจน (RUR) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.2 อ้างอิงจาก SARP ORYZA_0 หน้า 52 และ ค่าไนโตรเจนสูงสุดในข้าว (MaxNCon) โดยค่านี้จะเริ่มที่ 0.4 kg N/kg ในข้าวที่อายุน้อย และจะเพิ่มขึ้นในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ซึ่งต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์

NDemand = if (DATEH=1) then 0 else (if (DAT<=0) then 0 else (if
(TotalCropN<35.0 and (DAT<20) then (RUR*TotalCropN) else
min (5,0.035*GrowthRate, (MaxNCon* (Cropweight
+GrowthRate*DT) -TotalCropN)/DT, if (LeafN>=100) then 0 else
9999.9, if (DATEHF=1) then 0 else 9999.9))) (18)

MaxNCon = GRAPH(DAT) (19)



ภาพที่ 4.7 แผนภาพแสดงความต้องการไนโตรเจนรวมจากส่วนต่างๆ ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุง ที่เขียนด้วย STELLA

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไนโตรเจนในดิน (NAvail) (ภาพที่ 4.8) เป็นปัจจัยสำคัญซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ของ ค่าที่ได้กลับมาจากกระบวนการสูญเสียไนโตรเจนและการได้รับกลับมาทางราก (Recovery) อัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (NAppl) และ ปริมาณไนโตรเจนที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในแปลง (SoilSupply) โดยค่านี้ได้ถูกควบคุมปัจจัยโดยจำนวนวันหลังจากเก็บเกี่ยวไปแล้ว 1 สัปดาห์

NAvail = NAppl*Recovery+SoilSupply (20)

Recovery = GRAPH(DAT) (21)

SoilSupply = if (DAT<=0) or (DATEHF=1) then 0 else 0.6 (22)

DATEHF = if (DAT>=beforeharvest) then 1 else 0 (23)

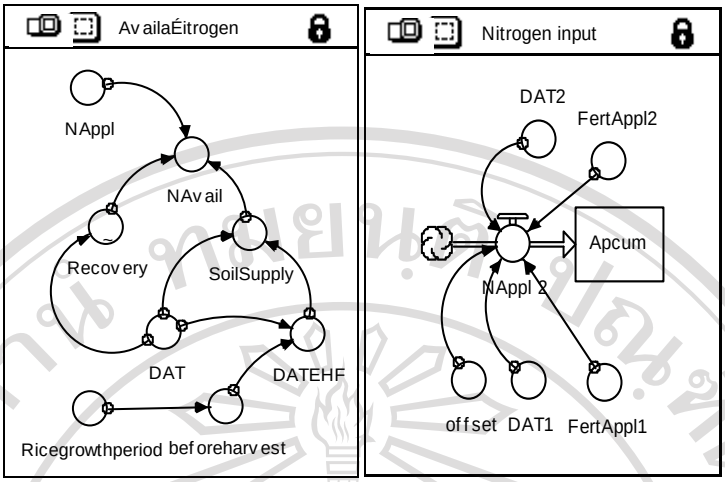
beforeharvest = Ricegrowthperiod-7 (24)

อัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (NAppl) (ภาพที่ 4.8) นั้นเป็นปัจจัยที่มีลักษณะเป็น rate variable ที่เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดการสะสมของปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในแปลง และมีปัจจัยที่เกิดจากการใส่ปุ๋ย คือ วันที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครั้งที่ 1 (DAT1) วันที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครั้งที่ 2 (DAT2) จำนวนปุ๋ยที่ใส่ครั้งที่ 1 (FertAppl1) จำนวนปุ๋ยที่ใส่ครั้งที่ 2 (FertAppl2) และจำนวนวันตั้งแต่ปลูกถึงระยะกล้า (offset) โดยจำนวนครั้งของการใส่ปุ๋ยและปริมาณปุ๋ยนั้นสามารถกำหนดได้โดยผู้ใช้

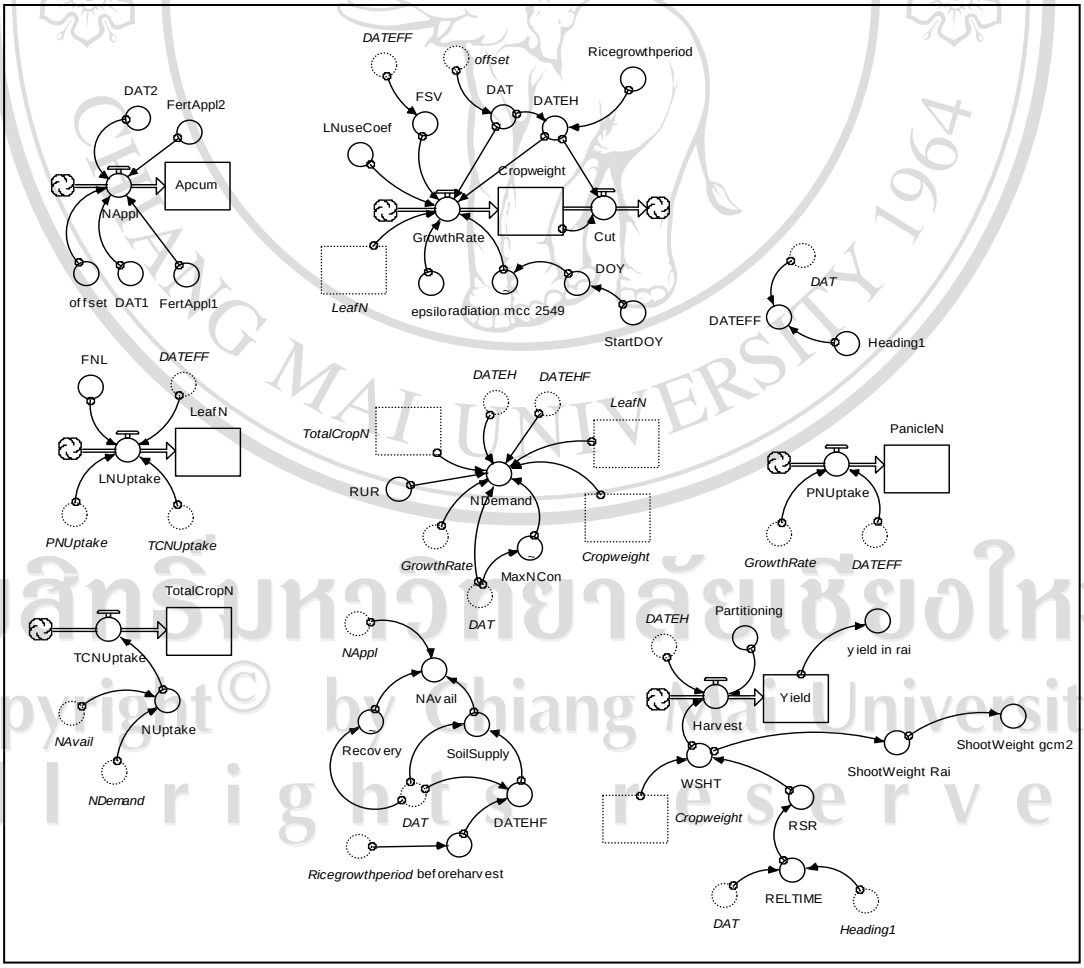
Apcum(t) = Apcum(t - dt) + (NAppl) * dt (25)

NAppl = step(FertAppl1*0.12,DAT1+offset)*(1/0.3)*(exp(-0.2*(time-DAT1-offset))-exp(-0.4*(time-DAT1- offset))) +step(FertAppl2 *0.12,DAT2 +offset) *(1/0.3)*(exp(- 0.2*(time-DAT2-offset))-exp(-0.4*(time-DAT2 - offset))) (26)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.8 แผนภาพแสดงการลดลงจากการใช้และการเสื่อมสลายไปของไนโตรเจน และการนำเข้าปริมาณไนโตรเจน ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุง ที่เขียนด้วย STELLA



ภาพที่ 4.9 แผนภาพแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุงที่เขียนด้วย STELLA

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. แบบจำลองระยะพัฒนาการการเจริญเติบโต

พันธุ์ข้าวไม่ไวแสง

ในการจำลองระยะพัฒนาการการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงนั้น ได้แบ่งเป็นการจำลองระยะพัฒนาการสำหรับข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการหว่าน และการปลูกด้วยวิธีปักดำ โดยจะใช้ข้อมูลหลักที่สำคัญคือ ค่าอุณหภูมิสะสม (SumGDD) การศึกษาสิ่งนี้โดยการคำนวณจากค่าอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด จาก ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน (เฉลี่ยจากปี 2545-2549) จากสถานีการเกษตรในเขตชลประทาน ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ การคำนวณค่าอุณหภูมิสะสมนั้นจะทำในโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้น และเชื่อมต่อข้อมูลกับโปรแกรม STELLA ในแบบจำลองนี้จะประกอบไปด้วย ค่าอุณหภูมิสะสมรายวัน ค่าอุณหภูมิสะสมในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว และ สมการที่ใช้เป็นตัวกำหนดการจำลองระยะพัฒนาการการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งในการจำลองระยะพัฒนาการในข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการหว่าน แบบจำลองจะเริ่มจำนวนค่าอุณหภูมิสะสม (SumGDD B) ตั้งแต่วันที่หว่านเมล็ด เช่นที่ระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation stage) มีค่าอุณหภูมิสะสม เท่ากับ 1289.15 องศาเซลเซียส (อ้างอิงจากตารางที่ 5.1 และ 5.2) ดังแสดงในภาพที่ 4.10

SumGDD_B(t) = SumGDD_B(t - dt) + (sum_GDD_B) * dt (27)

sum_GDD_B = SUM(GDD_B) (28)

GDD_B = GRAPH(DOY) (29)

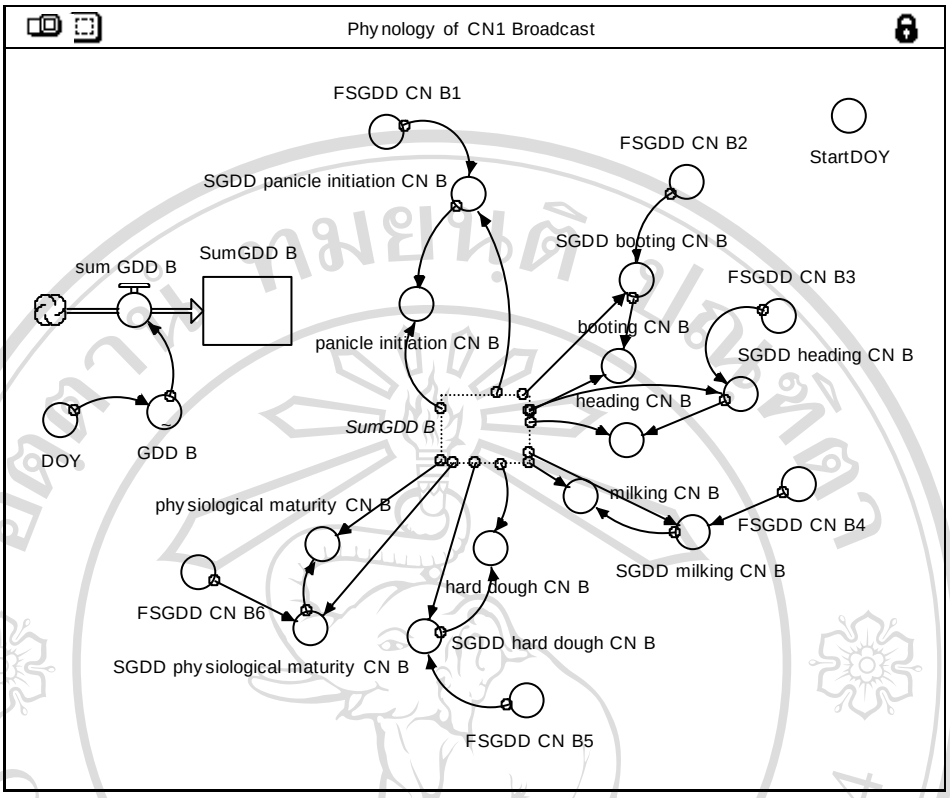
DOY = mod (StartDOY+time,365)+1 (30)

panicle_initiation_CN_B = if (SGDD_panicle_initiation_CN_B=1)
then SumGDD_B else 0 (31)

SGDD_panicle_initiation_CN_B = if (FSGDD_CN_B1>=SumGDD_B)
then 1 else 0 (32)

FSGDD_CN_B1 = 1289.15 (33)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.10 แผนภาพแบบจำลองระยะพัฒนาการ ของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงที่ปลูกด้วยวิธีการหว่าน ที่เขียนด้วย STELLA

สำหรับการจำลองระยะพัฒนาการในข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการปักดำ ได้ทำการจำลองโดยใช้ข้อมูลเดียวกันกับการจำลองในข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการหว่าน แต่ต่างกันตรงที่แบบจำลองจะเริ่มคำนวณค่าอุณหภูมิสะสม (SumGDD T) ตั้งแต่วันที่ทำการปักดำ เช่นที่ระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation stage) มีค่าอุณหภูมิสะสม เท่ากับ 722.05 องศาเซลเซียส (อ้างอิงจากตารางที่ 5.1 และ 5.2) ดังแสดงในภาพที่ 4.11

SumGDD_T(t) = SumGDD_T(t - dt) + (sum_GDD_T) * dt (34)

sum_GDD_T = SUM(GDD_T) (35)

GDD_T = GRAPH(DOY) (36)

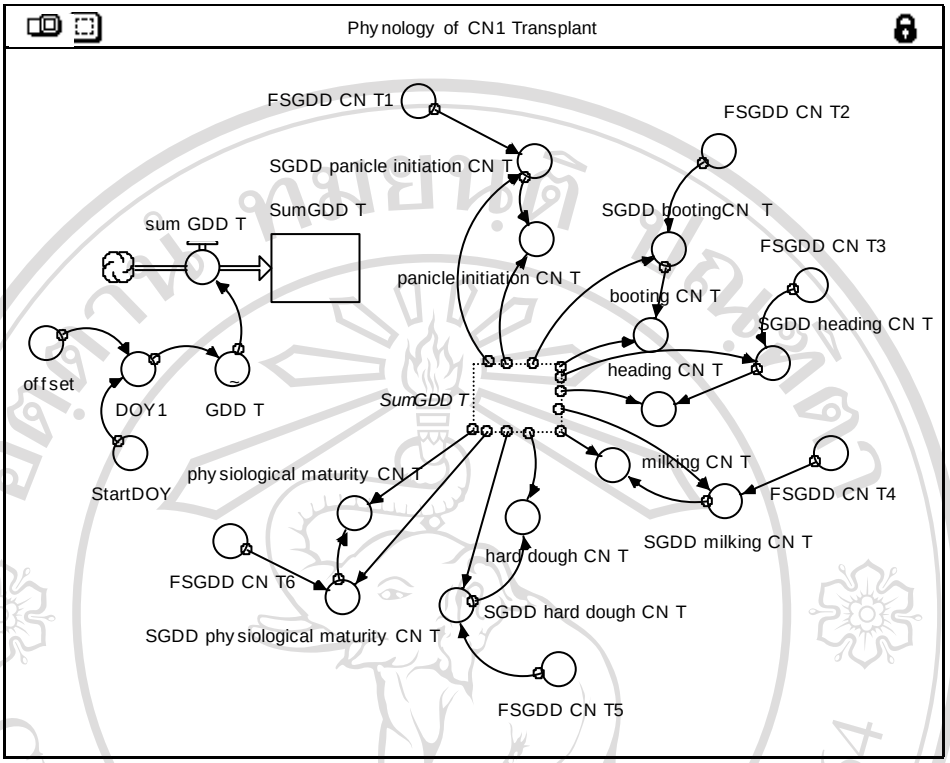
DOY1 = mod (StartDOY+time,365)+offset+1 (37)

panicle_initiation_CN_T = if (SGDD_panicle_initiation_CN_T=1)
then SumGDD_T else 0 (38)

SGDD_panicle_initiation_CN_T = if(FSGDD_CN_T1>=SumGDD_T)
then 1 else 0 (40)

FSGDD_CN_T1 = 722.05 (41)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.11 แผนภาพแบบจำลองระยะพัฒนาการ ของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงที่ปลูกด้วยวิธีการปักดำ ที่เขียนด้วย STELLA

พันธุ์ข้าวไวแสง

ในการจำลองระยะพัฒนาการการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ไวแสงนั้นจะใช้ข้อมูลที่สำคัญเช่นเดียวกันกับข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง แต่จะแตกต่างกันตรงที่ ข้าวพันธุ์ไวแสงนั้นจะต้องใช้ชั่วโมงที่พืชได้รับแสงเป็นตัวชักนำให้พืชเข้าสู่ระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation stage) เช่น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะเข้าสู่ระยะกำเนิดช่อดอก เมื่อมีความยาววันวิกฤติประมาณ 11.9 ชั่วโมง (Pushpavesa and Jackson ,1979) และอานันต์ และคณะ (2536) ซึ่งในการจำลองในข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการหว่าน (ภาพที่ 4.12) การจำลองระยะพัฒนาการจะเริ่มจำลองตั้งแต่วันที่ทำการหว่านเมล็ดเช่นเดียวกันกับข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

sunshine_hrs = GRAPH(DOY) (42)

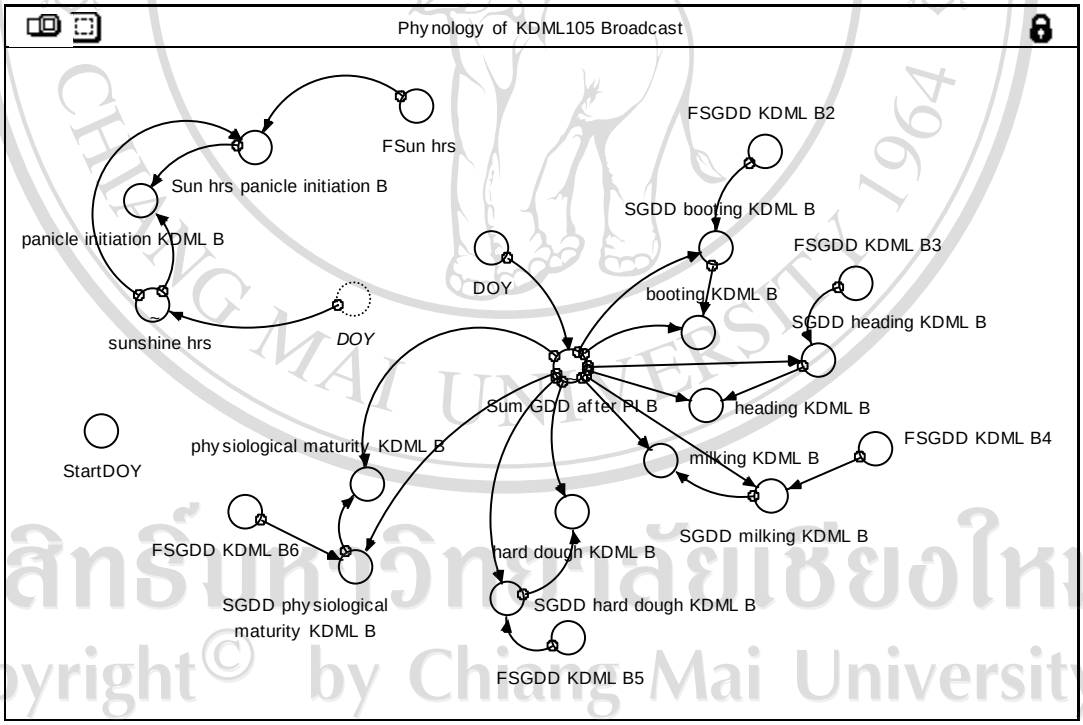
DOY = mod (StartDOY+time,365)+1 (43)

panicle_initiation_KDML_B = if (Sun_hrs_panicle_initiation_B=1
then sunshine_hrs else 0 (44)

SGDD_panicle_initiation_CN_B = if (FSGDD_CN_B1>=SumGDD_B)
then 1 else 0 (45)

FSun_hrs = 11.9 (46)

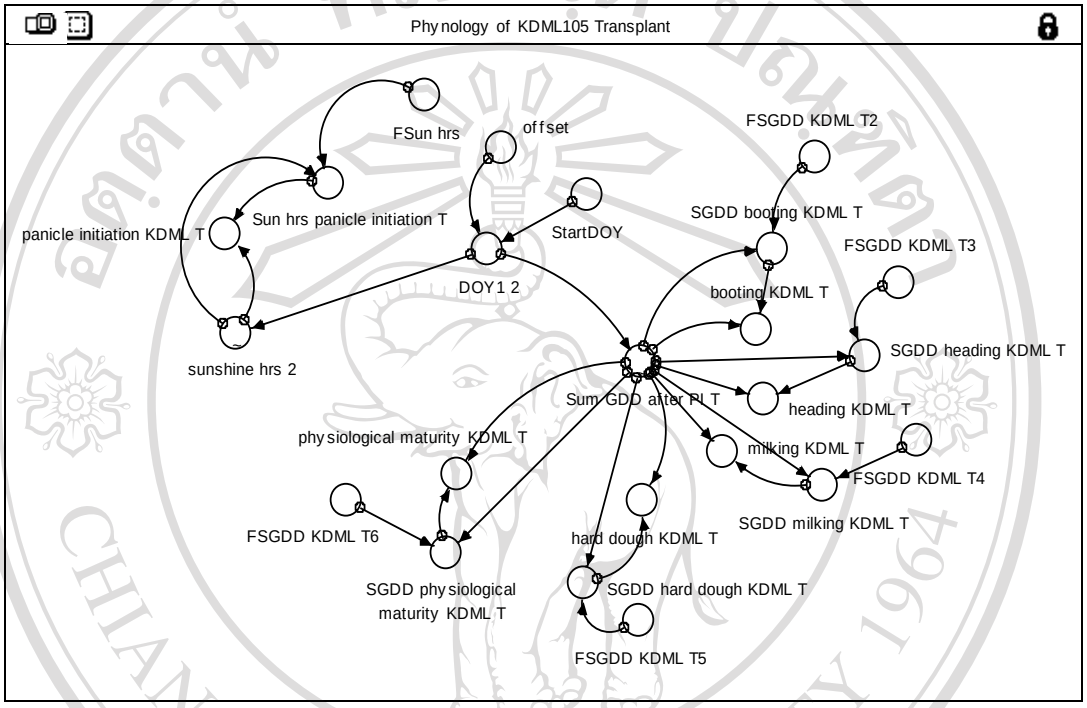
ส่วนระยะพัฒนาการหลังจากระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation stage) สมการที่ใช้ในการจำลองระยะพัฒนาการการเจริญเติบโตจะเหมือนกับ พันธุ์ข้าวไม่ไวแสง แต่ข้อมูลของค่าอุณหภูมิสะสมของระยะหลังจากระยะกำเนิดช่อดอก จะเริ่มนับสะสมใหม่หลังจากวันที่เข้าสู่ระยะกำเนิดช่อดอกเป็นต้นไป



ภาพที่ 4.12 แผนภาพแบบจำลองระยะพัฒนาการ ของข้าวพันธุ์ไวแสง ที่ปลูกด้วยวิธีการหว่าน ที่เขียนด้วย STELLA

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการปักดำ (ภาพที่ 4.13) จะมีวิธีการจำลองระยะพัฒนาการเช่นเดียวกันกับการจำลองในข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการหว่านเมล็ด แตกต่างตรงที่วันที่เริ่มต้นการจำลองระยะพัฒนาการจะเริ่มจำลองที่วันปักดำ ส่วนระยะพัฒนาการหลังจากระยะกำเนิดช่อดอก จะใช้วิธีจำลองเหมือนกันกับข้าวพันธุ์ไวแสงที่ปลูกด้วยวิธีการหว่านเมล็ด



ภาพที่ 4.13 แผนภาพแบบจำลองระยะพัฒนาการ ของข้าวพันธุ์ไวแสง ที่ปลูกด้วยวิธีการปักดำ ที่เขียนด้วย STELLA

การกำหนดข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง

ในการกำหนดข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองนั้นเป็นขั้นตอนที่จะต้องดำเนินการพร้อมๆกับการสร้างสมการของแบบจำลอง ซึ่งได้แก่ ข้อมูลที่ไม่ใช่สัมประสิทธิ์ และข้อมูลที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์ ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดสอบปรับค่ากับแบบจำลอง ซึ่งมีดังนี้

ข้อมูลนำเข้า ที่ไม่ใช่ข้อมูลสัมประสิทธิ์พันธุกรรม

1. ข้อมูลจัดการ เป็นข้อมูลที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้ และนำเข้าในแบบจำลองโดยตรง เช่น วันปลูก จำนวนปุ๋ยที่ใส่ วันที่ใส่ปุ๋ย ขนาดพื้นที่ปลูก และอายุกล้าข้าว เป็นต้น

2. ข้อมูลอากาศรายวัน ได้แก่ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิสะสม ค่าความยาววัน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จาก สถานีวิจัยเกษตรชลประทาน ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ข้อมูลระยะพัฒนาการ เป็นค่าที่ได้จากการสำรวจในแปลงทดลอง และแบบจำลองระยะพัฒนาการ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าวันเก็บเกี่ยว อายุการเจริญเติบโตของข้าวตั้งแต่ปลูกถึงวันสุกแก่ วันออกรวง และค่าอุณหภูมิสะสมที่ระยะพัฒนาการต่างๆ

สรุปตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่ไม่ใช่ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรม และที่มาของค่านั้นๆ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลนำเข้า ที่ไม่ใช่สัมประสิทธิ์พันธุกรรม ที่ใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุง

ข้อมูลนำเข้า	**แหล่งของข้อมูล**
1. แบบจำลองการเจริญเติบโต	
วันปลูก	ข้อมูลการจัดการ ผู้ใช้กำหนด
วันที่ใส่ปุ๋ย	ข้อมูลการจัดการ ผู้ใช้กำหนด
ขนาดพื้นที่ปลูก	ข้อมูลการจัดการ ผู้ใช้กำหนด
อายุกล้าข้าว	ข้อมูลการจัดการ ผู้ใช้กำหนด
ค่าพลังงานแสงอาทิตย์	สถานีตรวจอากาศ
วันเก็บเกี่ยว	แปลงทดลอง
อายุการเจริญเติบโตตั้งแต่ปลูกถึงวันสุกแก่	แปลงทดลอง
วันออกรวง	แบบจำลองระยะพัฒนาการ
2. แบบจำลองระยะพัฒนาการ	
ค่าอุณหภูมิสะสมที่ระยะกำเนิดช่อดอก	แปลงทดลอง
ค่าอุณหภูมิสะสมที่ระยะตั้งท้อง	แปลงทดลอง
ค่าอุณหภูมิสะสมที่ระยะออกรวง	แปลงทดลอง
ค่าอุณหภูมิสะสมที่ระยะน้ำนม	แปลงทดลอง
ค่าอุณหภูมิสะสมที่ระยะเมล็ดแป้งแข็ง	แปลงทดลอง
ค่าอุณหภูมิสะสมที่ระยะสุกแก่ทางสรีระ	แปลงทดลอง
ค่าความยาววัน	สถานีตรวจอากาศ
ค่าอุณหภูมิสะสม	สถานีตรวจอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อมูลนำเข้า ที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรม

ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM ที่ปรับปรุง ส่วนมากเป็นค่าที่อ้างอิงมาจากแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM เดิม เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การเริ่มใช้ไนโตรเจนในใบ ค่าไนโตรเจนสูงสุดในข้าว ค่าสัมประสิทธิ์การใช้แสงของข้าว ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่าที่อ้างอิงได้มาจาก แบบจำลอง ORYZA_0

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนในข้าว และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลชีวภาพ นั้นได้มาจากการหาโดยวิธีประมาณและทดสอบให้ได้ผลลัพท์ใกล้เคียงกับค่าสังเกตุ โดยค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนจะมีผลโดยตรงต่อค่าน้ำหนักแห้งรวมของข้าว และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลชีวภาพนั้นเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตของข้าว ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปรับได้

พันธุ์	สัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจน	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลชีวภาพ
ชัยนาท 1	0.75	0.25
ขาวดอกมะลิ 105	0.45	0.36

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved