



รายงานการวิจัย

การประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวภายใต้สภาพการจัดการ
ที่แตกต่างกันโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว
**Evaluating Growth and Yield of Rice under Different Management
Conditions Using the CERES-Rice Model**

ชื่อผู้วิจัย

นางสาวนิตยา ผกามาต

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัย

การประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวภายใต้สภาพการจัดการ
ที่แตกต่างกันโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว
Evaluating Growth and Yield of Rice under Different Management
Conditions Using the CERES-Rice Model

ชื่อผู้วิจัย นางสาวนิตยา ผกามาศ

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

OK

495

.077

5197 ค.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
เผยแพร่ภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาต
เลขที่..... 116813.....
b. 12327037
i.

ในเดือนปี..... 1.6. ส.ย. 2554

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุน การอนุเคราะห์เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำงานวิจัยจากสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้ทำการวิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอากาศในช่วงทำงานทดลองในแปลง และสุดท้ายขอขอบคุณนางสาวสุวรรณา แก่นจันทร์ และนางสาวตะวัน จุ้ยพันธุ์ ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จลงด้วยดี

ผู้ดำเนินการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการ การประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวภายใต้สภาพการจัดการที่แตกต่างกัน โดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว
Evaluating Growth and Yield of Rice under Different Management Conditions Using the CERES-Rice Model

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก เงินรายได้

ประจำปี 2552

จำนวนเงิน 85,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2551 ถึง 30 กันยายน 2552

หน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์

หน่วยงานที่ทำวิจัย

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ดำเนินการวิจัย

1. นางสาวนิตยา ผกามาศ
สังกัดสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 02-329-8512 โทรสาร 02-329-8512

คำสำคัญ : แบบจำลองข้าว, อัตราเมล็ดพันธุ์, ระยะพัฒนาการ, การเจริญเติบโต, ผลผลิต

Key words : CERES-Rice model, Seed rate, Development stage, Growth, Yield

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง CERES-Rice ในการประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว 2 พันธุ์ ภายใต้สภาพการปลูกด้วยอัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน ทำการทดลองที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ 2552 วางแผนการทดลองแบบ Split plot in randomized complete block design มีจำนวน 4 ซ้ำ โดย Main plots ได้แก่ ข้าว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ชยันต 1 และสุพรรณบุรี 60 ส่วน Sub plots คือ การหว่านเมล็ดพันธุ์ 3 อัตรา คือ 5, 25 และ 50 กก/ไร่ ตามลำดับ ประเมินระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์เหมือนกับสภาพการปลูกจริง ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแปลงทดลองโดยใช้แบบจำลอง CERES-Rice และพิจารณาความสอดคล้องระหว่างค่าพัฒนาการการเจริญเติบโต และผลผลิตที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และค่าสังเกตจริงในแปลงทดลองด้วยค่าทางสถิติ คือ root mean square error (RMSE) และ index of agreement (d- statistic) จากผลการทดลองพบว่าแบบจำลอง CERES-Rice สามารถนำมาใช้ในการประเมินอายุวันออกดอกและอายุเก็บเกี่ยวของข้าวที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันได้ผลค่อนข้างแม่นยำ และสามารถประเมินน้ำหนักแห้งรวมได้ค่อนข้างดี สำหรับผลการประเมินน้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งใบ และผลผลิตของข้าวพบว่าแบบจำลองยังประเมินได้ไม่ดีนัก อย่างไรก็ตามก็ได้ผลอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

Abstract

The objective of this study was to test accuracy of the CERES-Rice model in evaluating growth and yield of two rice varieties under different management conditions. The experiment was conducted at Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, from January to April, 2009. A split plot in randomized complete block design with 4 replications was used. Main plots were for two rice varieties (Chainat 1 and Suphanburi 60) and sub plots were for three seed rates (5, 25 and 50 kg/rai, respectively). The CERES-Rice model was used to evaluate development, growth and yield of two rice varieties similar to actual field conditions. Model evaluation was done by comparing the simulated values of development, growth and yield with their corresponding observed values, and by obtaining the values for root mean square error (RMSE) and index of agreement (d-statistic). The results showed that the CERES-Rice model can be used to evaluate flowering and harvesting dates of rice which were accurate under the different management conditions. The model can be used to evaluate total dry matter showing a good agreement but it was not good for stem dry weight, leaf dry weight and yield. However, the results were satisfactory.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อ	(2)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญภาพ	(6)
สารบัญภาคผนวก	(7)
บทนำ	1
การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
วิธีดำเนินการวิจัย	8
ผลการทดลอง	11
วิจารณ์ผลการทดลอง	30
สรุปผลการทดลอง	32
บรรณานุกรม	33
ภาคผนวก	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ลักษณะเนื้อดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดินในแปลงทดลอง	13
2. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของวันแตกกอสูงสุด วันกำเนิดช่อดอก และวันเก็บเกี่ยว	15
3. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ระยะเก็บเกี่ยว	16
4. อายุถึงวันออกดอกและวันเก็บเกี่ยวของข้าวระหว่างค่าที่ได้จากการสังเกตจริง (Observed data, O) และจากการจำลองสถานการณ์ (Simulated data, S)	21
5. ค่า RMSE (กก./เฮกตาร์) และค่า d-statistic ของน้ำหนักแห้งและผลผลิตระหว่างค่าที่ได้จากการสังเกตจริง (Observed data, O) และจากการจำลองสถานการณ์ (Simulated data, S)	22



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1. สภาพอากาศช่วงเพาะปลูกข้าวตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน 2552	12
2. การตอบสนองของผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการหว่านเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน	17
3. การตอบสนองของน้ำหนักแห้งรวมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการหว่านเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน	17
4. การตอบสนองของน้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการหว่านเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน	18
5. การตอบสนองของจำนวนเมล็ดติดต่อกอของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการหว่านเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน	19
6. เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งต้นระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง (กราฟเส้น) และค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง (กราฟจุด) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน	24
7. เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งใบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง (กราฟเส้น) และค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง (กราฟจุด) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน	25
8. เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งรวมระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง (กราฟเส้น) และค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง (กราฟจุด) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน	28
9. เปรียบเทียบผลผลิตระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง (กราฟเส้น) และค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง (กราฟจุด) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน	29

สารบัญภาคผนวก

ภาคผนวกที่	หน้า
1. ไฟล์ข้อมูลดินจากแปลงทดลอง	37
2. ไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศปี ค.ศ. 2009	38
3. ไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว	39
4. ไฟล์ข้อมูลการจัดการ (File X)	40
5. ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File T)	42
6. ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File A)	43
7. ผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว (Overview output file)	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

เป็นระยะเวลามากกว่า 40 ปี แล้วที่แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวิจัยทางการเกษตร หลักการทำงานของแบบจำลอง คือการประมวลผลความสัมพันธ์ระหว่างระบบการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชกับสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความชื้น และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ภายใต้การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ (Penning de Vries *et al.*, 1993) โดยแบบจำลองเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานทางด้าน การปรับปรุงพันธุ์พืช เช่น การกำหนดลักษณะของพืชที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง การทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม และการจำลองผลผลิตของสายพันธุ์ในหลายสภาพแวดล้อมเพื่อการคัดเลือกพันธุ์ เป็นต้น (Aggarwal *et al.*, 1995; White, 1998; White and Hoogenboom, 1996) นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงในการผลิตภายใต้สภาพอากาศที่มีความแปรปรวน การประเมินผลผลิตของพืชในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน และการศึกษาหาระยะปลูกและการจัดการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร (Egli and Bruening, 1992; Meinke *et al.*, 1993; Aggarwal and Kalra, 1994; Meinke and Hammer, 1995) ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชได้มีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้มีความก้าวหน้าไปมาก พร้อมทั้งองค์ความรู้เกี่ยวกับการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชต่อการจัดการและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันมีเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งหนึ่งในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่มีนักวิจัยจากทั่วโลกนำไปใช้กันอย่างกว้างขวางไม่ต่ำกว่า 20 ปี (Jones *et al.*, 2003) คือโปรแกรมสำเร็จรูปที่เรียกว่า “ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer; DSSAT)” ที่มีการบรรจุแบบจำลองของพืชต่าง ๆ ไว้ถึง 16 ชนิด เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ทานตะวัน ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี และข้าว เป็นต้น โดยพื้นฐานแล้วแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลตัวป้อนที่สำคัญ ประกอบด้วย ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืช ข้อมูลดิน ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน และข้อมูลการจัดการ (Jones *et al.*, 1994)

แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CERES-Rice model) เป็นแบบจำลองหนึ่งที่ถูกรวบรวมไว้ในโปรแกรม DSSAT (Hoogenboom *et al.*, 2004) แบบจำลองดังกล่าวสามารถจำลองความสมดุลของการบ่อน้ำ และไนโตรเจน แบบจำลองได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในต้นพืช เช่น พัฒนาการของพืช การสังเคราะห์แสง การหายใจ การใช้น้ำ การเจริญเติบโต และการป็นส่วนของอาหารที่ถูกสร้างขึ้น กับปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น ความเข้มแสง ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน และอุณหภูมิรายวัน นอกจากนี้แล้ว แบบจำลองยังใช้ลักษณะจำเพาะพันธุ์ของข้าวแต่ละพันธุ์ เพื่อจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการรายวัน ที่ตอบสนองต่อสภาพอากาศ ดิน และการจัดการที่แตกต่างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน ซึ่งลักษณะจำเพาะพันธุ์ดังกล่าว โดยทั่วไปเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (genetic coefficients; GCs)

ปัจจุบันมีกลุ่มนักวิจัยได้ทำการทดสอบและนำแบบจำลอง CERES-Rice มาใช้เป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย เช่น นำมาใช้เพื่อศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อการจัดการ และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เป็นต้น (Pinnschmidt *et al.*, 1990; Godwin *et al.*, 1990; Singh and Thornton, 1992; Jintrawat, 1995; Mahmood, 1998; Boonjung, 2000) แบบจำลอง CERES-Rice ได้เปิดโอกาสในการที่จะนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการศึกษาวิจัยได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยเฉพาะหากมีข้อมูลตัวป้อนที่ครบถ้วนและสมบูรณ์ แบบจำลองก็จะให้ค่าประมาณผลผลิตของพืชใกล้เคียงกับผลผลิตจริง (Lansigan, 1998; Heinemann *et al.*, 2002; Jagtap and Jones, 2002) ซึ่งหากแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชสามารถนำมาใช้ช่วยในงานวิจัยทางการเกษตรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับนักวิจัย โดยเฉพาะการลดระยะเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานวิจัย แต่อย่างไรก็ตาม การประเมินศักยภาพของแบบจำลองว่ามีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำมากน้อยแค่ไหนเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ (Jones *et al.*, 2003) ก่อนที่แบบจำลองจะได้รับการยอมรับและนำไปใช้จริงต่อไป ซึ่งสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ ที่แบบจำลองสามารถทำนายได้กับข้อมูลจริงที่เก็บจากแปลงทดลอง โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแม่นยำ เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าการแสดงออกของพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในต้นพืช สภาพแวดล้อมภายนอก (สภาพภูมิอากาศและสภาพดิน) และการจัดการ (วันปลูก ระยะเวลาปลูก อัตราเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น) ดังนั้นเมื่อสภาพแวดล้อมและการจัดการเปลี่ยนแปลงไป ก็จะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชเปลี่ยนแปลงไปได้เช่นกัน การประเมินศักยภาพของแบบจำลองจึงควรทำหลายสภาพแวดล้อม หรือหลายสภาพการจัดการ เพื่อให้ได้ผลการจำลองที่น่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง CERES-Rice ในการประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว 2 พันธุ์ ภายใต้สภาพการปลูกด้วยอัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช (crop simulation model) หมายถึง การแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระบบการเจริญเติบโต ระบบพัฒนาการ ตลอดจนการทำนายผลผลิตของพืช โดยการรวบรวมเอาข้อมูลพื้นฐาน (input) ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช มาคำนวณในรูปของสมการต่อเนื่องทางคณิตศาสตร์ และแสดงผลลัพธ์ (output) ในรูปของตัวเลข โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Penning de Vries *et al.*, 1989; Sinclair and Seligman, 1996; Monteith, 1996; Graves *et al.*, 2002) ซึ่งเป็นสิ่งที่สร้างขึ้นเพื่อลอกเลียนแบบระบบพืช เช่น ระบบการเจริญเติบโตและระบบพัฒนาการของพืช ในปัจจุบันมีกลุ่มนักวิจัยได้นำเอาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช มาใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรกันอย่างแพร่หลายในหลายวัตถุประสงค์

แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช สามารถนำมาช่วยสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรม สรีรวิทยา และสภาพแวดล้อม (Boote *et al.*, 1996) ซึ่ง Matthew (2002) รวบรวมและรายงานการศึกษาวิจัยที่มีการนำแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช ไปใช้ประโยชน์ด้านการจัดการพืชหลายแนวทางด้วยกัน เช่น การจัดการน้ำดิน การตอบสนองของพืชต่อวันปลูก ต่อการจัดการน้ำ ต่อการจัดการธาตุอาหาร ต่อการจัดการโรคและแมลง ต่อการจัดการวัชพืช การเก็บเกี่ยว และการวิเคราะห์ช่องว่างของผลผลิต เป็นต้น

แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CERES-Rice model) เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักวิจัยจากประเทศสหรัฐอเมริกา ร่วมกับการพัฒนาแบบจำลองของพืชอีกหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันฝรั่ง ทานตะวัน อ้อย ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เป็นต้น (Hoogenboom *et al.*, 2004) ซึ่งปัจจุบัน DSSAT ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาถึง version 4 ที่สะดวกในการใช้งานมากขึ้น โครงสร้างของ DSSAT ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก (main program) ซึ่งทำหน้าที่ในการประสานระหว่างแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช ฐานข้อมูลอากาศ ฐานข้อมูลดิน ฐานข้อมูลพืช และฐานข้อมูลระบบการจัดการพืช โดยหน่วยที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงองค์ประกอบดังกล่าวเรียกว่า Land Unit Module (Jones *et al.*, 2003) ระบบการจัดการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดให้แบบจำลอง CERES-Rice ในการจำลองการเจริญเติบโตของข้าว ประกอบด้วย การกำหนดวันปลูก พันธุ์พืช วันเก็บเกี่ยว การจัดการน้ำ และการจัดการปุ๋ย เป็นต้น ส่วนที่นับว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการจำลองการเจริญเติบโตมากที่สุดส่วนหนึ่งคือ ข้อมูลนำเข้าที่จัดว่าเป็นข้อมูลขับเคลื่อน (driven variable) หมายถึงตัวแปรต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกต้นพืชที่มีผลทำให้พืชในแบบจำลองสามารถเจริญเติบโตได้เปรียบเสมือนพืชในสภาพจริง ได้แก่ ข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลดิน ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลพืช

ข้อมูลอากาศที่จำเป็นสำหรับการจำลองสถานการณ์ ประกอบด้วย ข้อมูลอากาศรายวันของพลังงานแสงอาทิตย์ (เมกาจูล/ตารางเมตร) อุณหภูมิอากาศต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส) และปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ข้อมูลอากาศรายวันที่นำมาจำลองสถานการณ์ อย่างน้อยควรครอบคลุม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นับผูกติดเพื่อบริหารจัดการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดอายุของข้าว ข้อมูลที่ใช้อาจเริ่มตั้งแต่วันปลูก หรือก่อนวันปลูกสำหรับกรณีที่ต้องการจำลอง สมดุลย์ของน้ำและไนโตรเจนก่อนการปลูก

ข้อมูลดินที่แสดงคุณสมบัติทางด้านเคมี และทางด้านกายภาพของดินในแต่ละระดับชั้นความ ลึกที่ครอบคลุมการเจริญเติบโตของรากพืชโดยส่วนใหญ่ ประกอบด้วย สีของดิน ความสามารถในการ ระบายน้ำ ความหนาแน่นของดิน (bulk density) คุณสมบัติของเนื้อดิน (เปอร์เซ็นต์ sand, silt และ clay) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ความเป็นกรดและด่างของดิน และ CEC (cations exchange capacity) ของดิน นอกจากนี้ยังรวมถึงความชื้นของพื้นที่ ข้อมูลแสดงคุณสมบัติของดินเหล่านี้ บาง ลักษณะนำไปใช้ในการคำนวณคุณสมบัติของดินลักษณะอื่นๆ ด้วยโปรแกรมคำนวณคุณสมบัติของดิน ใน DSSAT ตัวอย่างเช่น ใช้ข้อมูลความหนาแน่นของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และเปอร์เซ็นต์ sand, silt และ clay เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่อิ่มตัว (saturated water content, SAT) ปริมาณน้ำสูงสุดที่มี การระบาย (drained upper limit of soil water content, DUL) หรือความชื้นระดับสนาม (field capacity) และ ปริมาณน้ำต่ำสุดที่พืชนำไปใช้ (lower limit of plant extractable water, LL) หรือจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point) เป็นต้น แบบจำลองสามารถจำลองสถานการณ์ได้หากมีข้อมูลดินทั้งหมดที่ กล่าวมา อย่างไรก็ตามหากต้องการผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ควรมีข้อมูล ก่อนการปลูกพืชเพิ่มเติม ซึ่งประกอบด้วย ความชื้นของดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณของ NO_3^- และ NH_4^+ และปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นประโยชน์ในแต่ละระดับชั้นความลึกของดิน นอกจากนี้หากต้องการจำลองสมดุลย์ของไนโตรเจนทั้งในดินและพืช ประเภทและปริมาณของซาก พืชที่ทิ้งไว้ในแปลงก่อนการปลูกก็จำเป็นต้องใช้เช่นกัน

สำหรับข้อมูลการจัดการ ประกอบด้วย วันปลูก ระยะปลูก ความลึกของการปลูก วันงอก ความ หนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร และวันเก็บเกี่ยวผลผลิต ในกรณีของการจำลองการ เจริญเติบโตของพืชภายใต้การจัดการน้ำ รายละเอียดของวันที่และปริมาณของการให้น้ำก็มีความสำคัญ ปัจจุบันแบบจำลอง CERES-Rice สามารถจำลองสมดุลย์ของไนโตรเจนในพืชและดิน และจำลองการ ตอบสนองของข้าวต่อการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นหากต้องการจำลองการ เจริญเติบโตของข้าวภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว จำเป็นต้องมีข้อมูลเพิ่มเติมคือ ประเภทของปุ๋ยไนโตรเจน จำนวนครั้งและปริมาณการให้ปุ๋ย วิธีการให้ และระดับความลึกของการให้ปุ๋ย เป็นต้น

แบบจำลอง CERES-Rice ต้องการข้อมูลแสดงลักษณะจำเพาะของข้าวแต่ละพันธุ์ หรือค่า สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (genetic coefficients; GCs) เพื่ออธิบายการเจริญเติบโต และพัฒนาการที่ แตกต่างกันของข้าวแต่ละพันธุ์ ซึ่งโดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวแต่ละพันธุ์ ได้จาก การทดลองปลูกข้าวพันธุ์นั้นในเรือนทดลองที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม หากไม่มีเรือนควบคุม สภาพแวดล้อม สามารถคำนวณค่าดังกล่าวได้ (model calibration) โดยอาศัยข้อมูลจากการปลูกข้าวพันธุ์ นั้นในหลายฤดูหรือหลายสภาพแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลลัพธ์ (output) ที่ได้จากแบบจำลอง CERES-Rice ประกอบด้วยระยะพัฒนาการทาง ลำต้นและใบ ระยะพัฒนาการเกี่ยวกับการสะสมน้ำหนักรวมเมล็ด จนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ รวมไปถึงการ จำลองการเจริญเติบโตรายวันของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต เช่น ผลผลิต น้ำหนักเมล็ด จำนวน เมล็ดต่อตารางเมตร จำนวนรวงต่อตารางเมตร ดัชนีพื้นที่ใบสูงสุด (leaf area index, LAI) น้ำหนักแห้ง ต้นและใบขณะสุกแก่ ดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index, HI) และจำนวนใบต่อหน่อ เป็นต้น (Hoogenboom *et al.*, 2004)

ในปัจจุบัน ได้มีการประเมินศักยภาพในการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองการเจริญเติบโต ของพืชหลายชนิด สำหรับแบบจำลอง CERES-Rice นั้นพบว่า ผู้พัฒนาแบบจำลองและผู้ที่ใช้ แบบจำลองไปประยุกต์ใช้ได้ทำการประเมินศักยภาพของแบบจำลองดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขและ สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น

การใช้แบบจำลอง CERES-Rice ในการประเมินระยะพัฒนาการของข้าว Alociljha and Ritchie (1991) เปรียบเทียบระยะพัฒนาการของข้าวจำนวน 3 พันธุ์ ปลูกในประเทศฟิลิปปินส์ จำนวน 6 งาน ทดลอง พบว่าแบบจำลอง CERES-Rice สามารถทำนายระยะพัฒนาการของข้าวได้อย่างแม่นยำเมื่อ เปรียบเทียบกับข้อมูลที่บันทึกจริงในแปลงทดลอง Tongyai (1994) พบว่าแบบจำลอง CERES-Rice สามารถทำนายวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาสูงกว่าข้อมูลจริงตั้งแต่ 8-16 วัน Jintrawat (1995) ทำการประเมิน ศักยภาพของแบบจำลอง CERES-Rice (v.2) สำหรับข้าวพันธุ์ไผ่แสงและไม่ไผ่แสง โดยทำการปลูกข้าว ในระยะเวลา 2 ปี จำนวน 6 สถานที่ พบว่าสำหรับข้าวพันธุ์ไผ่แสงแบบจำลองสามารถทำนายระยะ พัฒนาการได้อย่างแม่นยำ แต่สำหรับพันธุ์ไม่ไผ่แสง แบบจำลองทำนายวันที่ช่อรวงโผล่ (heading) ได้ต่ำ กว่าข้อมูลจริง โดยเฉพาะวันปลูกต้น ๆ Boonjung (2000) พบว่าแบบจำลอง CERES-Rice ทำนายวันสุก แก่ของข้าวหอมมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ไผ่แสง ปลูกใน 6 สภาพแวดล้อม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทยได้อย่างแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตามการทำนายจำนวนวันกำเนิดช่อดอกได้สูงกว่าข้อมูล จริงเล็กน้อย

การใช้แบบจำลอง CERES-Rice ในการประเมินผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต เช่น Godwin *et al.* (1990) เปรียบเทียบผลผลิตเมล็ดและมวลชีวภาพของข้าวที่ปลูกในหลายสภาพแวดล้อมใน ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าโดยส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกันระหว่างผลที่ได้จากการจำลองและข้อมูลที่ ได้จากแปลงจริง Tongyai (1994) พบว่า CERES-Rice ทำนายผลผลิตเมล็ดได้สูงกว่าข้อมูลจริง 0.2-0.4 ตัน/เฮกตาร์ (4.5-9%) และทำนายมวลชีวภาพได้ต่ำกว่าข้อมูลจริง 0.8-1.0 ตัน/เฮกตาร์ (10-12%) ในขณะที่ Jintrawat (1995) พบว่า CERES-Rice สามารถทำนาย น้ำหนักเมล็ด จำนวนเมล็ด และผลผลิตเมล็ด ของข้าวทั้งพันธุ์ไผ่แสงและไม่ไผ่แสงได้ค่อนข้างดี Boonjung (2000) รายงานว่า CERES-Rice ทำนาย ผลผลิตของข้าวหอมมะลิ 105 ได้ดี

นอกจากที่กล่าวมาแล้วแบบจำลอง CERES-Rice ยังสามารถนำมาใช้ประเมินลักษณะทาง สรีรวิทยาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช (Meyer *et al.*, 1994; Mall and Aggarwal, 2002) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนักผู้ใดเห็นว่าเนื้อหาสาระเกี่ยวข้องกับการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณธาตุไนโตรเจนในต้นพืชและในดิน (Godwin *et al.*, 1990; Meyer *et al.*, 1994; Timsina *et al.*, 1998) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าแบบจำลอง CERES-Rice จะแสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาใช้ทำนายการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวได้ค่อนข้างดีในแถบเอเชีย ดังตัวอย่างการศึกษาที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า เมื่อนำไปศึกษากับแหล่งอื่น ๆ แล้วจะให้ผลเหมือนกัน (Timsina and Humphreys, 2003) ดังนั้นการประเมินศักยภาพของแบบจำลองจึงควรทำให้ครอบคลุมแหล่งปลูกที่สำคัญ โดยการทดสอบในหลายสภาพแวดล้อม ที่มีความแตกต่างกันทางด้านสภาพภูมิอากาศ สภาพดิน หรือแม้กระทั่งสภาพการจัดการด้านต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลที่มีความน่าเชื่อถือและได้รับการยอมรับ เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์จริงต่อไป แบบจำลอง CERES-Rice เปิดโอกาสหรือเพิ่มทางเลือกให้กับผู้ใช้เพื่อประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมแปลงปลูก

การเตรียมแปลงสำหรับนาหว่านน้ำตม เริ่มการเตรียมดินโดยการไถตะ 1 ครั้ง หลังจากนั้นปล่อยทิ้งไว้ระยะหนึ่งเพื่อล่อให้เมล็ดข้าวและวัชพืชงอก แล้วคราดเพื่อกำจัดวัชพืช และปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอก่อนทำการหว่านข้าว แบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อยขนาด 3 x 3 เมตร จำนวน 24 แปลง เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างซ้ำ 1 เมตร โดยใช้ไม้ไผ่ปักทำเป็นหลักของแต่ละแปลง แล้วนำเชือกมาผูกกับหลักไม้ไผ่ เพื่อช่วยให้เห็นขอบเขตของแต่ละแปลงย่อยได้ชัดเจน

การปลูกและการดูแลรักษา

วางแผนการทดลองแบบ Split plot in Randomized Complete Block Design มีจำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนดให้มีปัจจัยในการศึกษาประกอบด้วย

Main plot ได้แก่ พันธุ์ข้าวจำนวน 2 พันธุ์

1. พันธุ์ชัยนาท 1
2. พันธุ์สุพรรณบุรี 60

Sub plot ได้แก่ อัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้จำนวน 3 อัตรา

1. อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่
2. อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่
3. อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

เตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยการขอความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวทั้งสองชนิดจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงกว่าร้อยละ 80 ก่อนการหว่านนำเมล็ดพันธุ์ข้าวของแต่ละกรรมวิธีใส่ถุงผ้าจำนวน 24 ถุง แช่น้ำเป็นเวลา 1 คืน และหุ้มทิ้งไว้อีก 2 วันรดน้ำเช้า-เย็น เพื่อกระตุ้นให้เมล็ดข้าวงอก จากนั้นนำเมล็ดข้าวมาหว่านลงแปลงในวันที่ 2 มกราคม 2552 หลังหว่านเสร็จจะระบายน้ำออกจากแปลง เมื่อข้าวได้อายุ 15 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมกับการกำจัดวัชพืชโดยวิธีการถอน เมื่อข้าวได้อายุ 30 และ 60 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในอัตรา 7 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงของการปลูกข้าวพบว่าแปลงข้าวมีหนอนกอระบาด จึงต้องมีการฉีดพ่นสารเคมีเพื่อป้องกันกำจัด โดยใช้สารคาร์โบซัลแฟน (2,3-dihydro-2,2-dimethylbenzofuran-7-yl(dibutylaminothio) methylcarbamate) ในอัตรา 80 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร ตลอดฤดูปลูกมีการควบคุมระดับน้ำในแปลงไม่ให้แห้ง และเมื่อข้าวถึงอายุเก็บเกี่ยวจึงปล่อยน้ำออกจากแปลงเพื่อสะดวกในการเก็บเกี่ยวในวันที่ 22 เมษายน 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกข้อมูล

มีการบันทึกทั้งข้อมูลด้านพัฒนาการ การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ตลอดจนข้อมูลทางด้านการจัดการ และข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สำหรับข้อมูลด้านพัฒนาการ การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว บันทึกตามแบบฟอร์มของ IBSNAT (1988) คือ ข้อมูลด้านพัฒนาการประกอบด้วย วันงอก วันแตกกอสูงสุด วันกำเนิดช่อดอก วันออกดอก และวันเก็บเกี่ยว ส่วนข้อมูลด้านการเจริญเติบโตได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง คือ ระยะข้าวแตกกอสูงสุด ระยะกำเนิดช่อดอก วันออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว

สำหรับระยะแตกกอสูงสุดและระยะกำเนิดช่อดอก ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างแปลงละ 2 กอ จากนั้นนำกอข้าวไปล้างน้ำให้สะอาด วัดความสูงของข้าวจากโคนต้นถึงปลายใบ แล้วตัดส่วนของรากทิ้งไป นับจำนวนหน่อต่อกอ จากนั้นแยกส่วนของใบและต้นใส่ถุงกระดาษแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อแห้งนำมาชั่งเพื่อบันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้ง

ระยะเก็บเกี่ยว ขึ้นแรกสุ่มเก็บข้อมูลในพื้นที่ 1 ตารางเมตร นับจำนวนกอข้าวทั้งหมดจากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 2 กอจากพื้นที่ 1 ตารางเมตร นำไปล้างทำความสะอาด วัดความสูงจากโคนต้นถึงปลายใบ ตัดส่วนของรากทิ้งไป นับจำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง แล้วแยกส่วนของใบ ต้น และรวง ใส่ถุงกระดาษ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อแห้งนำมาชั่งเพื่อบันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้ง

การเก็บบันทึกข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองโดยก่อนการปลูกข้าวทำการเก็บตัวอย่างดิน 1 จุด ที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินซึ่งประกอบด้วย สีของดิน ความสามารถในการระบายน้ำ ความหนาแน่นของดิน (bulk density) คุณสมบัติของเนื้อดิน (เปอร์เซ็นต์ sand, silt และ clay) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ความเป็นกรดและด่างของดิน และ CEC (cations exchange capacity) ของดิน

ข้อมูลการดูแลจัดการที่ต้องทำการจดบันทึกประกอบด้วย วันปลูก ความลึกของการปลูก วันงอก ความหนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร วันที่และปริมาณการให้น้ำและปุ๋ยในโตรเจน วันที่ฉีดพ่นสารเคมีและปริมาณการใช้ และวันเก็บเกี่ยว

สำหรับข้อมูลอากาศรายวันซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ (เมกาจูล/ตารางเมตร) อุณหภูมิอากาศต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส) และปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ตลอดช่วงฤดูปลูกจากโดยใช้ข้อมูลจากสถานีอากาศสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งอยู่ใกล้แปลงปลูกข้าวมากที่สุด โดยขอความอนุเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวจาก กรมอุตุนิยมวิทยา สถานที่ตั้ง 4353 ถนนสุขุมวิท แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260

การจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

ใช้แบบจำลอง CERES-Rice ทำการจำลองการปลูกข้าวเหมือนกับการปลูกจริงในแปลงทดลอง โดยจำลองการปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม อยู่แล้ว แต่ละพันธุ์จำลองการปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5, 25 และ 50 กิโลกรัม/ไร่ โดยอาศัยข้อมูลตัวป้อน ซึ่งประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวแต่ละพันธุ์ ข้อมูลอากาศรายวัน ข้อมูลดิน และข้อมูลการจัดการ ที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น เพื่อทำการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวภายใต้เงื่อนไขเหมือนกับสภาพแปลงปลูกจริง

การวิเคราะห์ข้อมูล

พิจารณาความสอดคล้องระหว่างการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวที่ได้จากการจำลองและจากการสังเกตจริงจากแปลงทดลองด้วยค่าทางสถิติ เช่น root mean square error (RMSE) และ index of agreement (d- statistic) ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum (S_i - O_i)^2 \right]^{0.5}$$

เมื่อ N คือ จำนวนของค่าสังเกต

S_i คือ ค่าที่ได้จากการจำลองของการวัดครั้งที่ i

O_i คือ ค่าที่ได้จากการสังเกตของการวัดครั้งที่ i

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

เมื่อ S_i คือ ค่าที่ได้จากการจำลองของการวัดครั้งที่ i

O_i คือ ค่าที่ได้จากการสังเกตของการวัดครั้งที่ i

S_i' คือ S_i - ค่าเฉลี่ยของ O และ O_i' คือ O_i - ค่าเฉลี่ยของ O

และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ทั้งข้อมูลที่ได้จากการจำลองและจากการสังเกตจริงในแปลงทดลองตามแผนการทดลองทางสถิติที่วางไว้ โดยใช้โปรแกรม M-STATC เพื่อช่วยในการประเมินความสอดคล้องอีกทางหนึ่งด้วย

ผลการทดลอง

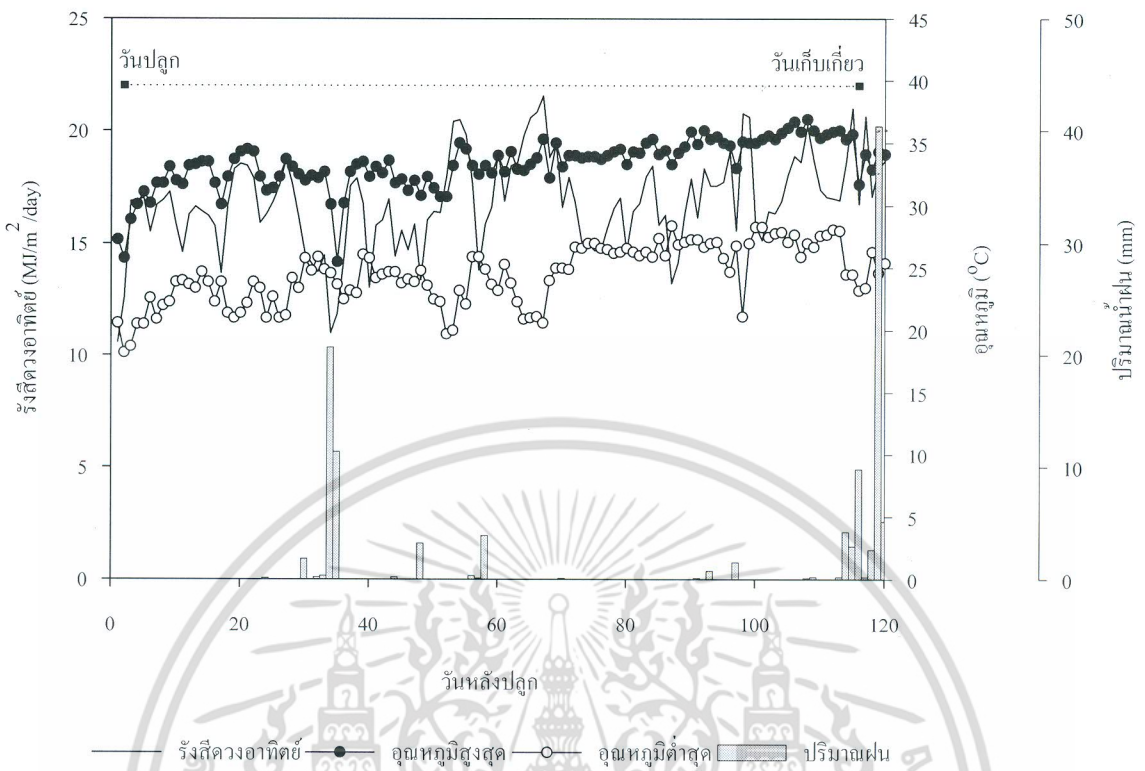
1. สภาพอากาศ

สภาพอากาศในช่วงของการทำงานทดลองในแปลงปลูกแบบนาหว่านน้ำตาม ในวันที่ทำการหว่านข้าวลงในแปลง (2 มกราคม 2552) พบว่ามีอุณหภูมิต่ำมากโดยมีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 18.2°C และอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 25.8°C และในระยะ 5 วัน หลังจากช่วงปลูกยังคงมีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นอย่างต่อเนื่อง โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ระหว่าง $18-22^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิสูงสุดอยู่ระหว่าง $25-31^{\circ}\text{C}$ หลังจากนั้นอุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในระยะเวลาหนึ่ง แต่พบว่าตั้งแต่ช่วงเดือนมกราคมไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็น ก่อนที่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งค่อนข้างคงที่ในช่วงประมาณปลายเดือนมีนาคมถึงเมษายน สำหรับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ปลูกไปจนถึงวันเก็บเกี่ยวมีค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ต่ำสุดที่พบเท่ากับ $12.5 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ และมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ $20.8 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ และมีปริมาณฝนตกตลอดช่วงเพาะปลูกรวมเท่ากับ 75.8 mm (ภาพที่ 1)

2. ลักษณะเนื้อดินและคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ในการทดลองนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองที่ 2 ระดับความลึก คือ 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินพบว่า ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เนื้อดินมีลักษณะเป็นดินร่วนปนเหนียว มีความเป็นกรดเล็กน้อยค่า pH ประมาณ 5.23 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ $31.01 \text{ me}/100\text{g}$ ปริมาณอินทรีย์วัตถุประมาณ 1.97 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) เท่ากับ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+) และปริมาณไนเตรต (NO_3^-) เท่ากับ 60.40 และ $14.21 \text{ mg}/\text{kg}$ ตามลำดับ ปริมาณโปแตสเซียมและปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 356.49 และ $1,846.66 \text{ ppm}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

สำหรับที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์พบว่า มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนเหนียว และยังคงมีความเป็นกรดเล็กน้อยค่า pH ประมาณ 5.22 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกลดลงเหลือเท่ากับ $29.73 \text{ me}/100\text{g}$ ที่ระดับความลึกนี้พบว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงเหลือประมาณ 1.79 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ Total N ไม่มีการเปลี่ยนแปลงยังคงมีค่าเท่ากับ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแอมโมเนียม (NH_4^+) และปริมาณไนเตรต (NO_3^-) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยมีค่าประมาณ 63.95 และ $21.32 \text{ mg}/\text{kg}$ ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณโปแตสเซียมและปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น มีค่าเท่ากับ 353.49 และ $1,892.22 \text{ ppm}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 สภาพอากาศช่วงเพาะปลูกข้าวตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ลักษณะเนื้อดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดินในแปลงทดลอง

คุณสมบัติ	ระดับความลึก (เซนติเมตร)	
	0-15	15-30
1. ลักษณะเนื้อดิน		
% Sand	9.09	8.35
% Silt	45.07	44.97
% Clay	45.84	46.68
Textural class	Silty Clay	Silty Clay
2. คุณสมบัติทางเคมี		
pH (1:1)	5.23	5.22
CEC (me/100g)	31.01	29.73
Organic matter (%)	1.97	1.79
Total N (%)	0.19	0.19
NH ₄ ⁺ (mg/kg)	60.40	63.95
NO ₃ ⁻ (mg/kg)	14.21	21.32
Exchangeable K (ppm)	356.49	353.49
Exchangeable Ca (ppm)	1,846.66	1,892.22

หมายเหตุ

pH	โดยวิธี Std. Glass electrode
Organic mater	โดยวิธี Walkley and Black
Total N	โดยวิธี Microkjeldahl method
NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	โดยวิธี KCl extraction, Distillation
Exchangeable K, Ca	โดยวิธี NH ₄ OAc extraction, Atomic spectroscopy
CEC	โดยวิธี NH ₄ OAc pH 7.0
Soil texture	โดยวิธี Pipette method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการศึกษาในแปลงทดลองฤดูนาปี 2552 (ระหว่างเดือนมกราคม-เมษายน)

วันแตกกอสูงสุด

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าอายุถึงวันแตกกอสูงสุดของข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยทั้งพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 มีอายุถึงวันแตกกอเฉลี่ยประมาณ 38 วัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันนั้น พบว่าอัตราเมล็ดพันธุ์ไม่มีผลต่ออายุการแตกกอของข้าว โดยไม่ว่าจะหว่านโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ต่ำหรือสูง ข้าวจะมีอายุการแตกกอเฉลี่ยเท่า ๆ กัน คือประมาณ 38 วัน และไม่พบว่ามีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ (ตารางที่ 2)

วันกำเนิดช่อดอก

ผลการวิเคราะห์พบว่าอายุวันกำเนิดช่อดอกของข้าวทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 มีอายุวันกำเนิดช่อดอกเฉลี่ยประมาณ 68 วัน ในทำนองเดียวกัน อายุวันกำเนิดช่อดอกของข้าวที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าหากใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ต่ำข้าวจะออกดอกช้าลงเล็กน้อย โดยที่อัตราเมล็ดพันธุ์ 5 กก./ไร่ ข้าวมีอายุวันกำเนิดช่อดอกเฉลี่ยประมาณ 69 วัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นเป็น 25 และ 50 กก./ไร่ ข้าวจะมีอายุวันกำเนิดช่อดอกเฉลี่ยประมาณ 67 วัน ซึ่งเร็วขึ้นเป็นเวลา 2 วัน สำหรับปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับอัตราเมล็ดพันธุ์พบว่าการตอบสนองของข้าวในเรื่องอายุวันกำเนิดช่อดอกไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

วันเก็บเกี่ยว

เนื่องจากมีความจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวข้าวในวันเดียวกันทั้งหมด เพราะเกิดโรคและแมลงเข้าทำลาย ทำให้แปลงข้าวเกิดความเสียหายค่อนข้างมาก แม้ว่าจะพยายามฉีดสารเคมีป้องกันและกำจัดอย่างเต็มที่ จึงทำให้ไม่สามารถรอบันทึกอายุวันสุกแก่ทางสีร์วิทยาของข้าวได้ ดังนั้นทุกระบวนวิธีจึงจำเป็นต้องมีการเก็บเกี่ยวพร้อมกัน เมื่อข้าวมีอายุได้ประมาณ 112 วัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของวันแตกกอสูงสุด วันกำเนิดช่อดอก และวันเก็บเกี่ยว

	สิ่งทดลอง	ระยะพัฒนาการ		
		แตกกอสูงสุด	กำเนิดช่อดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์	ชัยนาท 1	38.2	67.8	112
	สุพรรณบุรี 60	38.5	68.0	112
อัตราเมล็ดพันธุ์	5 กก./ไร่	38.6	69.0	112
	25 กก./ไร่	38.3	67.4	112
	50 กก./ไร่	38.1	67.4	112
F-test (พันธุ์)		ns	ns	-
F-test (อัตราเมล็ดพันธุ์)		ns	ns	-
F-test (พันธุ์ x อัตราเมล็ดพันธุ์)		ns	ns	-
C.V. (a) % (พันธุ์)		7.12	3.82	-
C.V. (b) % (อัตราเมล็ดพันธุ์)		5.37	3.42	-

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผลผลิต

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ 3) พบว่าผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 402 กก./ไร่ ซึ่งน้อยกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 562 กก./ไร่ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการหว่านโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันพบว่าผลผลิตของข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าการหว่านโดยใช้อัตราเมล็ด 25 กก./ไร่ ข้าวจะให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 592 กก./ไร่ รองลงมาคือการหว่านด้วยอัตรา 5 กก./ไร่ ให้ผลผลิตเท่ากับ 430 กก./ไร่ และอัตราเมล็ด 50 กก./ไร่ จะทำให้ได้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 423 กก./ไร่ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการหว่านพบว่า แม้การตอบสนองของผลผลิตจะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ แต่ก็มีเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย โดยพบว่าการปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ต่ำเพียง 5 กก./ไร่ นั้น การตอบสนองของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ประมาณ 59 กก./ไร่ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อมีการหว่านโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้นเป็น 25-50 กก./ไร่ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 จะให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 โดยที่อัตราเมล็ดพันธุ์ 25 และ 50 กก./ไร่ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 จะให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 เท่ากับ 376 และ 164 กก./ไร่ ตามลำดับ (ภาพที่ 2)

น้ำหนักแห้งรวม

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักแห้งรวมของข้าวทั้งสองพันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ให้น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 686 กก./ไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ให้น้ำหนักแห้งรวมเพียง 494 กก./ไร่ แต่พบว่าการหว่านโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งรวมของข้าว แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการหว่านโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ไม่ต่ำหรือสูงเกินไปจะทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งรวมสูงขึ้น สำหรับอัตราเมล็ดพันธุ์ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ ข้าวให้ค่าน้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 553, 702 และ 515 กก./ไร่ ตามลำดับ

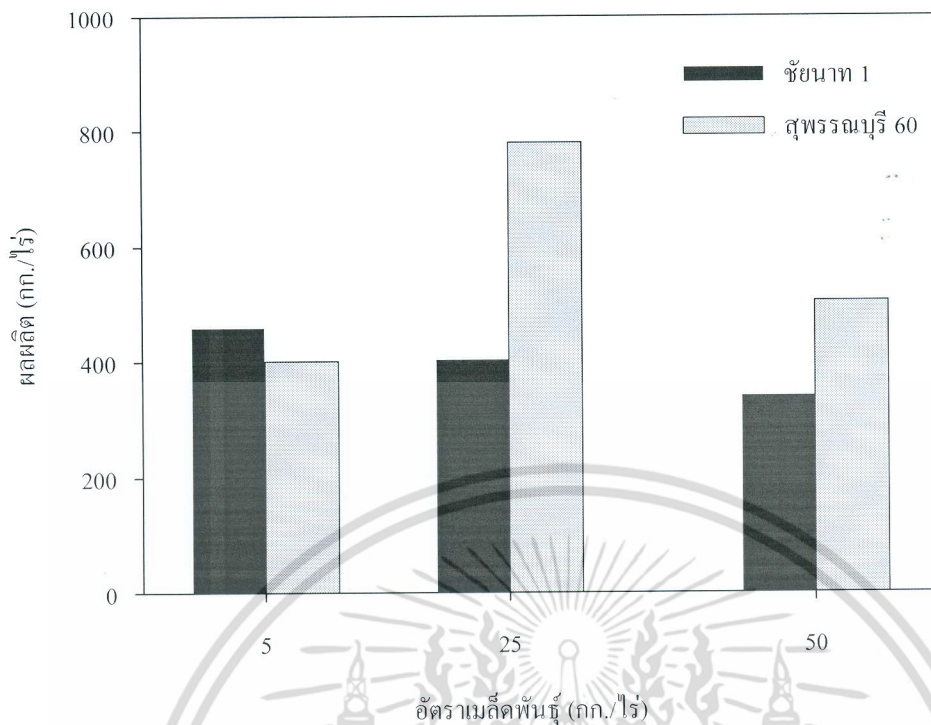
สำหรับการตอบสนองของพันธุ์ทั้งสองพันธุ์ต่ออัตราเมล็ดที่ใช้หว่าน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าการหว่านโดยใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตรา 5 กก./ไร่ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ให้น้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 แต่เมื่อเพิ่มอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูกสูงขึ้นกลับพบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ให้น้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 โดยการหว่านที่อัตราเมล็ดพันธุ์ 25 กก./ไร่ พันธุ์สุพรรณบุรี 60 ให้น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 916 กก./ไร่ ในขณะที่พันธุ์ชัยนาท 1 ให้น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 489 กก./ไร่ และเมื่อมีการหว่านโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์เพิ่มสูงขึ้นเป็น 50 กก./ไร่ พบว่าน้ำหนักแห้งโดยรวมของทั้งสองพันธุ์จะลดลง แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ยังคงให้น้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 โดยพันธุ์สุพรรณบุรี 60 มีค่าน้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 608 กก./ไร่ และพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าเท่ากับ 572 กก./ไร่ (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ระยะเก็บเกี่ยว

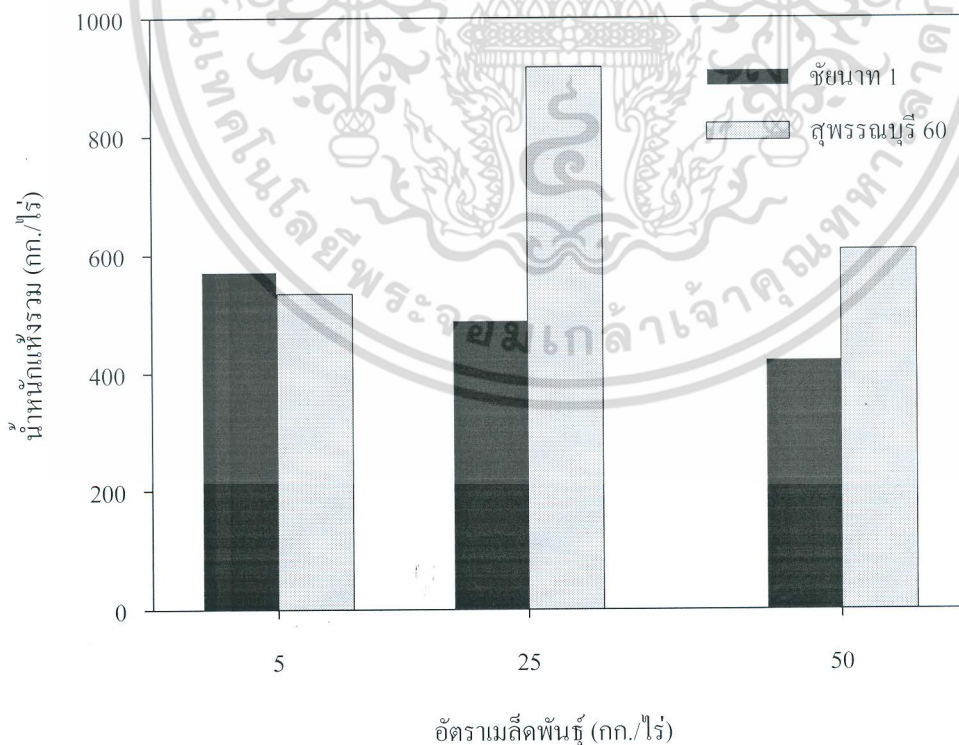
พันธุ์	สิ่งทดลอง	ผลผลิต (กก./ไร่)	น้ำหนัก	น้ำหนัก	จำนวน เมล็ดดี/ กอ
			แห้งรวม	1000 เมล็ด (กรัม)	
พันธุ์	ชัยนาท 1	402	494	22.8	325
	สุพรรณบุรี 60	562	686	23.7	338
อัตราเมล็ดพันธุ์	5 กก./ไร่	430	553	22.8	324
	25 กก./ไร่	592	702	22.3	291
	50 กก./ไร่	423	515	24.6	381
F-test (พันธุ์)		ns	*	ns	ns
F-test (อัตราเมล็ดพันธุ์)		ns	ns	ns	ns
F-test (พันธุ์ x อัตราเมล็ดพันธุ์)		ns	ns	ns	ns
C.V. (a) % (พันธุ์)		27.5	24.1	18.5	12.3
C.V. (b) % (อัตราเมล็ดพันธุ์)		44.8	36.4	16.6	27.7

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, * = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ชนิดานการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 2 การตอบสนองของผลผลิตของข้าวพันธุ์ชยันต 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการหว่านเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน

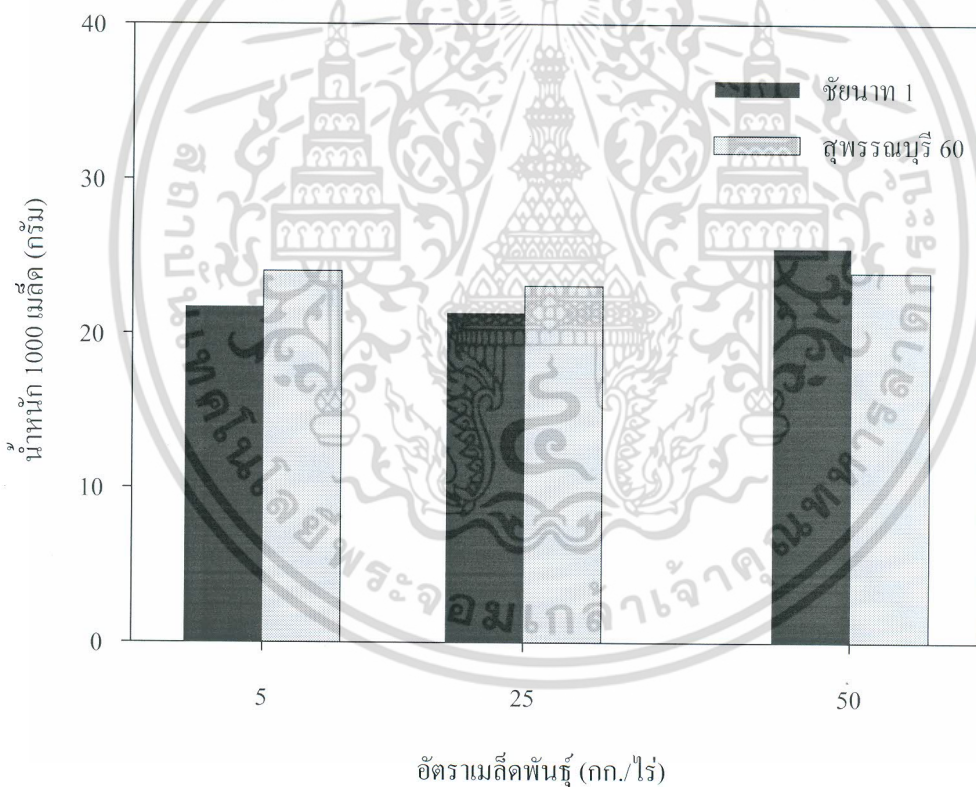


ภาพที่ 3 การตอบสนองของน้ำนักแห้งรวมของข้าวพันธุ์ชยันต 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการหว่านเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนัก 1000 เมล็ด

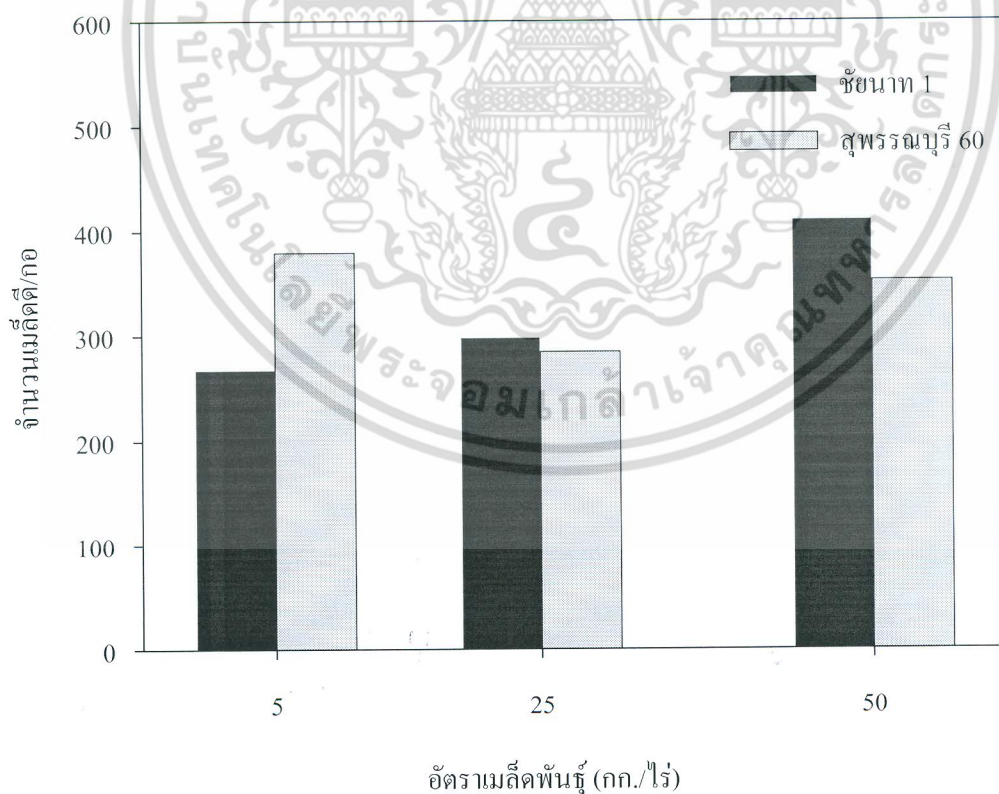
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนัก 1000 เมล็ด ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า น้ำหนักเมล็ดของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดย น้ำหนักเมล็ดของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1หนัก 22.8 กรัม พันธุ์สุพรรณบุรี 60หนัก 23.7 กรัม สำหรับน้ำหนัก เมล็ดที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่าง พบว่ามีน้ำหนักเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยการปลูกด้วยอัตราเมล็ด 50 กก./ไร่ มีผลทำให้น้ำหนักเมล็ดสูงที่สุดเท่ากับ 24.6 กรัม การปลูกด้วยอัตราเมล็ดพันธุ์ 25 กก./ไร่ มีผลทำให้ได้น้ำหนักเมล็ดต่ำที่สุดเท่ากับ 22.3 กรัม ผลการ วิเคราะห์การตอบสนองน้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าวทั้งสองพันธุ์พบว่าการปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5 และ 25 กก./ไร่ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ให้น้ำหนักเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 เล็กน้อย แต่เมื่อใช้อัตรา เมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้นเป็น 50 กก./ไร่ พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ให้น้ำหนักเมล็ดต่ำกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 เพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การตอบสนองของน้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการ หว่านเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่าง

จำนวนเมล็ดดีต่อกอ

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีจำนวนเมล็ดดีต่อกอไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งจำนวนเมล็ดดีต่อกอของข้าวทั้งสองพันธุ์แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยพันธุ์ชัยนาท 1 มีจำนวน 325 เมล็ดต่อรวง และพันธุ์สุพรรณบุรี 60 มีจำนวน 338 เมล็ดต่อรวง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนเมล็ดดีต่อกอของข้าวที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดแตกต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยการปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดเท่ากับ 25 กก./ไร่ มีจำนวน 291 เมล็ดต่อรวงซึ่งน้อยที่สุด และการปลูกโดยใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตรา 5 และ 50 กก./ไร่ มีจำนวนเมล็ดเท่ากับ 324 และ 381 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของจำนวนเมล็ดดีต่อกอของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการหว่านเมล็ดอัตราพันธุ์ที่ต่างกัน พบว่าการตอบสนองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่พบว่าการปลูกที่อัตราเมล็ด 5 กก./ไร่ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 จะมีจำนวนเมล็ดดีเท่ากับ 268 เมล็ดต่อรวง ซึ่งต่ำกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่มีจำนวน 379 เมล็ดต่อรวง และเมื่ออัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูกเพิ่มสูงขึ้นเป็น 25 กก./ไร่ จำนวนเมล็ดดีต่อกอของพันธุ์ชัยนาท 1 มากกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 เพียง 14 เมล็ดเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นเป็น 50 กก./ไร่ พบว่าจำนวนเมล็ดดีต่อกอของพันธุ์ชัยนาท 1 สูงกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ถึง 58 เมล็ด (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การตอบสนองของจำนวนเมล็ดดีต่อกอของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ต่ออัตราการหว่านเมล็ดพันธุ์ที่ต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

วันออกดอก

การประเมินระยะพัฒนาการของข้าวในแง่ของอายุวันออกดอกของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และ สุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินอายุวันออกดอกเฉลี่ยของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ได้แตกต่างจากอายุวันออกดอกที่จับบันทึกจริงในแปลงทดลองคิดเป็นร้อยละ 2.8 โดยอายุวันออกดอกของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ ที่แบบจำลองสามารถประเมินได้มีค่าเท่ากับ 89, 90 และ 90 วันตามลำดับ ซึ่งเร็วกว่าอายุวันออกดอกที่จับบันทึกได้จากแปลงทดลองจริงประมาณ 6, 1 และ 1 วัน ตามลำดับ สำหรับผลการจำลองอายุวันออกดอกของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 พบว่า แบบจำลองสามารถประเมินอายุวันออกดอกของข้าวได้แตกต่างจากค่าสังเกตจริงในแปลงทดลองจริงคิดเป็นร้อยละ 4.3 โดยวันออกดอกของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ ที่แบบจำลองประเมินได้มีค่าเท่ากับ 88 วัน ที่ทุกอัตราเมล็ดพันธุ์ ในขณะที่อายุวันออกดอกที่จับบันทึกได้จากแปลงทดลองจริงมีค่าเท่ากับ 92, 91 และ 93 วัน ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองสามารถทำนายอายุวันออกดอกได้เร็วกว่าค่าสังเกตจริงเท่ากับ 4, 3 และ 5 ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

วันเก็บเกี่ยว

การประเมินอายุเก็บเกี่ยวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกัน คือ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินอายุเก็บเกี่ยวของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยเฉพาะพันธุ์ชัยนาท 1 แบบจำลองสามารถประเมินวันเก็บเกี่ยวของข้าวที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ ได้ตรงกับวันเก็บเกี่ยวจริงในแปลงทดลอง คือ 112 วัน ที่ทุกอัตราเมล็ดพันธุ์ ในขณะที่ผลการประเมินอายุวันเก็บเกี่ยวของพันธุ์สุพรรณบุรี 60 นั้นพบว่าแบบจำลองประเมินได้แตกต่างจากอายุเก็บเกี่ยวจริงคิดเป็นร้อยละ 2.7 โดยแบบจำลองประเมินอายุวันเก็บเกี่ยวของข้าวที่ทุกอัตราเมล็ดพันธุ์เฉลี่ยเท่ากับ 115 วัน ซึ่งช้ากว่าอายุวันเก็บเกี่ยวจริงในแปลงทดลองประมาณ 3 วัน ที่ทุกอัตราเมล็ดพันธุ์ โดยค่าสังเกตจริงของอายุวันเก็บเกี่ยวในแปลงทดลองที่ทุกอัตราเมล็ดพันธุ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 112 วัน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 อยุ่ถึงวันออกดอกและวันเก็บเกี่ยวของข้าวระหว่างค่าที่ได้จากการสังเกตจริง (Observed data, O) และจากการจำลองสถานการณ์ (Simulated data, S)

กรรมวิธี	วันออกดอก (วัน)		วันเก็บเกี่ยว (วัน)			
	S	O	S	O		
				(S-O)x100/O		
ชัชนาท 1 x อัตราเมล็ด 5 กก./ไร่	89	95	111	112	-6.3	-0.9
ชัชนาท 1 x อัตราเมล็ด 25 กก./ไร่	90	91	112	112	-1.1	0.0
ชัชนาท 1 x อัตราเมล็ด 50 กก./ไร่	90	91	112	112	-1.1	0.0
ค่าเฉลี่ย	90	92	112	112	-2.8	-0.3
สุพรรณบุรี 60 x อัตราเมล็ด 5 กก./ไร่	88	92	115	112	-4.3	2.7
สุพรรณบุรี 60 x อัตราเมล็ด 25 กก./ไร่	88	91	115	112	-3.3	2.7
สุพรรณบุรี 60 x อัตราเมล็ด 50 กก./ไร่	88	93	115	112	-5.4	2.7
ค่าเฉลี่ย	88	92	115	112	-4.3	2.7
F-test	ns		-			
C.V. %	3.42		-			

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5 ค่า RMSE (กก./เฮกตาร์) และค่า d-statistic ของน้ำหนักแห้งและผลผลิตระหว่างค่าที่ได้จากการสังเกตจริง (Observed data, O) และจากการจำลอง

สถานการณ์ (Simulated data, S)

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้งต้น		น้ำหนักแห้งใบ		น้ำหนักแห้งรวม		ผลผลิต†		
	RMSE [‡]	d-statistic	RMSE [‡]	d-statistic	RMSE [‡]	d-statistic	RMSE [‡]	d-statistic	
ชัຍນາท 1 x อັตรานเม็ล็ด 5 กก./ไร่	205	0.85	164	0.74	102	0.99	1,020	-	
	186	0.84	217	0.47	246	0.99	580	-	
	196	0.81	200	0.55	200	0.99	216	-	
ค่าเฉลี่ย	196	0.83	194	0.59	183	0.99	605	-	
	สุพรรณบุรี 60 x อັตรานเม็ล็ด 5 กก./ไร่	177	0.92	192	0.69	443	0.98	244	-
		158	0.94	197	0.70	1,241	0.93	2,644	-
276		0.75	184	0.73	95	0.99	943	-	
ค่าเฉลี่ย	204	0.87	191	0.71	593	0.97	1,277	-	

†= เก็บตัวอย่างเพียง 1 ครั้ง ที่ระยะเก็บเกี่ยวจึงไม่สามารถวัดค่า d-stat ได้

‡= ค่า RMSE มีหน่วยเป็น กก./เฮกตาร์

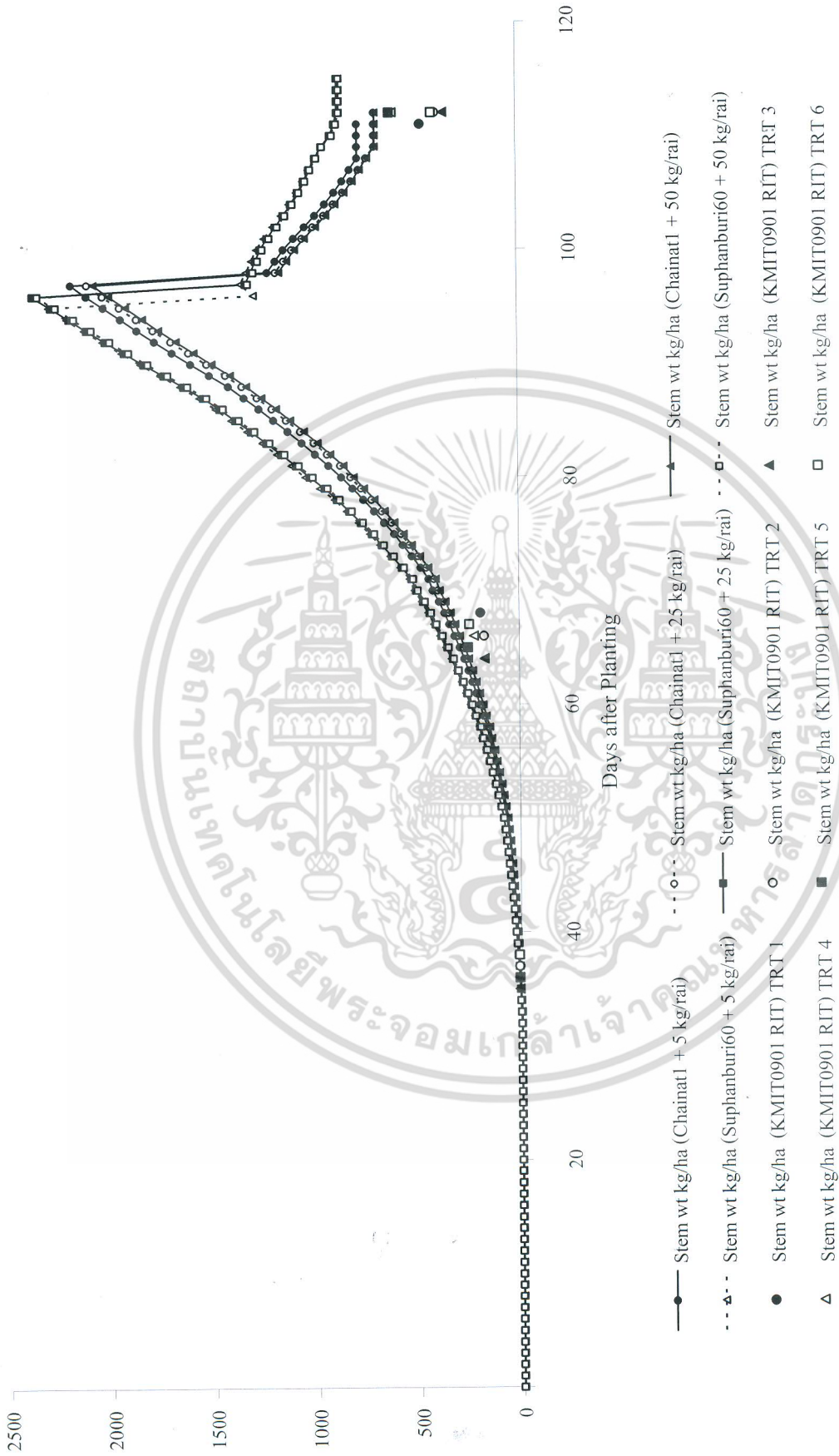
น้ำหนักแห้งต้น

ผลการจำลองน้ำหนักแห้งต้นของข้าว พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักแห้งต้นของข้าวได้ค่อนข้างดี โดยแบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักแห้งต้นเฉลี่ยของพันธุ์ชยันนาท 1 ได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริง มีค่า RMSE เท่ากับ 196 กก./เฮกตาร์ และค่า d-stat เท่ากับ 0.83 เมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายน้ำหนักแห้งต้นของข้าวพันธุ์ชยันนาท 1 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 205, 186 และ 196 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ และมีค่า d-stat เท่ากับ 0.85, 0.84 และ 0.81 ตามลำดับ สำหรับผลการทำนายน้ำหนักแห้งต้นของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงแม่นยำน้อยกว่าพันธุ์ชยันนาท 1 โดยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักแห้งต้นเฉลี่ยของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่ประเมินได้จากแบบจำลองและค่าสังเกตจริง มีค่า RMSE เท่ากับ 204 กก./เฮกตาร์ และมีค่า d-stat เท่ากับ 0.87 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำนายน้ำหนักแห้งต้นของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ มีค่า RMSE เท่ากับ 177, 158 และ 276 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ และมีค่า d-stat เท่ากับ 0.92, 0.94 และ 0.75 ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

โดยภาพรวมของการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งต้นของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ประเมินได้จากแบบจำลองกับค่าสังเกตจริง พบว่าน้ำหนักแห้งต้นที่ประเมินได้จากแบบจำลองสูงกว่าค่าสังเกตจริงในแปลงทดลองเล็กน้อย (ภาพที่ 6)

น้ำหนักแห้งใบ

การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งใบของข้าวที่ประเมินได้จากแบบจำลองและค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักแห้งใบของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้สูงกว่าค่าสังเกตจริงในแปลงทดลองค่อนข้างมาก (ภาพที่ 7) ซึ่งจะเห็นว่าแบบจำลองยังประเมินน้ำหนักแห้งใบของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ไม่ دقیق โดยแบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยของข้าวพันธุ์ชยันนาท 1 มีค่า RMSE และ d-stat เท่ากับ 194 กก./เฮกตาร์ และ 0.59 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายน้ำหนักแห้งใบของข้าวพันธุ์ชยันนาท 1 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 164, 217 และ 200 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ และมีค่า d-stat เท่ากับ 0.74, 0.47 และ 0.55 ตามลำดับ สำหรับผลการทำนายน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 มีค่า RMSE และ d-stat เท่ากับ 191 กก./เฮกตาร์ และ 0.71 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายน้ำหนักแห้งใบของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ พบว่ามีค่า RMSE เท่ากับ 192, 197 และ 184 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ และมีค่า d-stat เท่ากับ 0.69, 0.70 และ 0.73 ตามลำดับ (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งต้นระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง (กราฟเส้น) และค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง (กราฟจุด) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งใบระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง (กราฟเส้น) และค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง (กราฟจุด) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักรวม

ผลการจำลองน้ำหนักรวมของข้าวพบว่า แบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักรวมของข้าวได้ค่อนข้างดี โดยเฉพาะพันธุ์ชัยนาท 1 พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักรวมเฉลี่ยได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริง มีค่า RMSE เท่ากับ 183 กก./เฮกตาร์ และค่า d-stat เท่ากับ 0.99 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายน้ำหนักรวมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ มีค่า RMSE เท่ากับ 102, 246 และ 200 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ และมีค่า d-stat เท่ากับ 0.99 เท่ากันที่ทุกอัตราเมล็ดพันธุ์ และสำหรับผลการทำนายน้ำหนักรวมของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้ใกล้เคียงน้อยกว่าพันธุ์ชัยนาท 1 โดยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักรวมเฉลี่ยที่ประเมินได้จากแบบจำลองและค่าสังเกตจริงจากแปลงทดลองมีค่า RMSE เท่ากับ 593 กก./เฮกตาร์ และมีค่า d-stat เท่ากับ 0.97 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายน้ำหนักรวมของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5, 25 และ 50 กก./ไร่ มีค่า RMSE เท่ากับ 443, 1241 และ 95 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ และมีค่า d-stat เท่ากับ 0.98, 0.93 และ 0.99 ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

โดยภาพรวมของการเปรียบเทียบน้ำหนักรวมของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ประเมินได้จากแบบจำลองกับค่าสังเกตจริง พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินน้ำหนักรวมในช่วงแรกของการเจริญเติบโตได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงได้ดี แต่ที่ระยะเก็บเกี่ยวแบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักรวมของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงมากกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 (ภาพที่ 8)

ผลผลิต

การประเมินผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ได้ไม่คล้ัน โดยมีความ RMSE เฉลี่ยเท่ากับ 605 และ 1,277 กก./เฮกตาร์ สำหรับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ได้ดีกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 เมื่อเปรียบเทียบผลการประเมินข้าวพันธุ์เดียวกันแต่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์แตกต่างกัน พบว่าในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตของข้าวที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 50 กก./ไร่ ได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงมากที่สุด โดยมีความ RMSE เท่ากับ 216 กก./เฮกตาร์ รองลงมาคือการปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 25 และ 5 กก./ไร่ มีความ RMSE เท่ากับ 580 และ 1,020 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ ในขณะที่ผลการประเมินของพันธุ์สุพรรณบุรี 60 พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตของข้าวที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 5 กก./ไร่ ได้ใกล้เคียงมากที่สุด โดยมีความ RMSE เท่ากับ 244 กก./เฮกตาร์ รองลงมาคือการปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ 50 และ 25 กก./ไร่ มีความ RMSE เท่ากับ 943 และ 2,644 กก./เฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

สำหรับการเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์โดยภาพรวมระหว่างผลผลิตที่ประเมินได้จากแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวกับค่าสังเกตจริง พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ต่ำกว่าผลผลิตที่วัดได้จริงจากแปลงทดลอง (ภาพที่ 9)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบผลผลิตระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลอง (กราฟเส้น) และค่าสังเกตจริงในแปลงทดลอง (กราฟจุด) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกด้วยอัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการตรวจสอบสภาพอากาศพบว่า ในวันที่ทำการหว่านข้าวลงในแปลงนั้น มีสภาพอากาศหนาวเย็นมาก (วันที่ 2 มกราคม 2552) โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 18.2 และ 25.8 °C ตามลำดับ และยังคงมีอุณหภูมิเย็นต่อเนื่องไปอีกเป็นระยะเวลาประมาณ 5 วัน โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ระหว่าง 18-22 °C และอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 25-31 °C จึงทำให้ข้าวที่หว่านลงในแปลงงอกช้ามาก โดยใช้เวลาในการงอกนานกว่า 5 วัน ส่งผลให้ข้าวมีอายุวันแตกกอและอายุวันกำเนิดช่อดอกยี่ดอกออกไปเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีความจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวข้าวในวันเดียวกันทั้งหมด เพราะเกิดโรคและแมลงเข้าทำลายอย่างมาก จึงทำให้ไม่สามารถรอบันทึกอายุวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวได้ ดังนั้นทุกกรรมวิธีจึงจำเป็นต้องมีการเก็บเกี่ยวพร้อมกัน เมื่อข้าวมีอายุได้ประมาณ 112 วัน ซึ่งอาจมีผลต่อความสามารถในการทำนายของแบบจำลอง เนื่องจากต้องมีการกำหนดค่าสังเกตของวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาให้กับแบบจำลองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ทำนายได้

ผลการเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 พบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยข้าวพันธุ์ใดพันธุ์หนึ่งที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันจะให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ De Datta (1981) ที่รายงานไว้ว่าข้าวพันธุ์หนึ่งไม่ว่าจะปลูกโดยวิธีใดมีแนวโน้มในการให้ผลผลิตคล้าย ๆ กัน ถ้าได้รับการดูแลปฏิบัติดูแลรักษาที่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่า และเมื่อมีการหว่านข้าวที่อัตราเมล็ดพันธุ์ไม่ต่ำและสูงเกินไปจะทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น

ในการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลอง CERES-Rice มีความสามารถที่จะนำมาใช้ในการจำลองพัฒนาการและการให้ผลผลิตของข้าวได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้จะเห็นได้จากแบบจำลองสามารถทำนายอายุวันออกดอกและวันเก็บเกี่ยวของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันได้ค่อนข้างดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Alociljha and Ritchie (1991) ที่ได้รายงานไว้ว่า แบบจำลอง CERES-Rice สามารถทำนายระยะพัฒนาการของข้าวจำนวน 3 พันธุ์ ที่ปลูกในประเทศฟิลิปปินส์ จำนวน 6 งานทดลองได้อย่างแม่นยำ และการศึกษาของ Boonjung (2000) ที่ได้รายงานไว้ว่าแบบจำลอง CERES-Rice สามารถทำนายวันสุกแก่ของข้าวหอมมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์ไวแสง ปลูกใน 6 สภาพแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้อย่างแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของเขาชี้ให้เห็นว่า แบบจำลองสามารถทำนายจำนวนวันกำเนิดช่อดอกได้สูงกว่าข้อมูลจริงเล็กน้อย

แบบจำลองสามารถทำนายผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ที่แตกต่างกันได้ต่ำกว่าผลผลิตจริงในแปลงทดลอง แต่การศึกษาอื่น ๆ กลับพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลผลิตของข้าวได้สูงกว่าค่าสังเกตจริง เช่น Tongyai (1994) พบว่าแบบจำลอง CERES-Rice สามารถทำนายผลผลิตเมล็ดของข้าวได้สูงกว่าข้อมูลจริง 0.2-0.4 ตัน/เฮกตาร์ (4.5-9%) และทำนายมวลชีวภาพได้ต่ำกว่าข้อมูลจริง 0.8-1.0 ตัน/เฮกตาร์ (10-12%) ในขณะที่ Jintrawat (1995) รายงานว่าแบบจำลองไม่ว่การณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CERES-Rice สามารถทำนาย น้ำหนักเมล็ด จำนวนเมล็ด และผลผลิตเมล็ดของข้าวทั้งพันธุ์ไวแสงและไม่ไวแสงได้ค่อนข้างดี และ Boonjung (2000) ก็ได้รายงานว่าแบบจำลอง CERES-Rice สามารถทำนายผลผลิตของข้าวหอมมะลิ 105 ได้ดี เช่นกัน อย่างไรก็ตามเนื่องมาจากข้อมูลผลผลิตที่ได้จากการสังเกตจริงในการศึกษาครั้งนี้นั้นมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น การระบาดของโรคและแมลงในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตก่อนที่ข้าวถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลผลิตในแปลงทดลองได้ ซึ่งชี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าแบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งใบของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันมีค่าสูงน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งใบที่มีการจดบันทึกจริงในแปลงทดลอง ซึ่งสาเหตุสำคัญเนื่องมาจากการระบาดของโรคและแมลงในแปลงทดลองทำให้ต้นและใบของข้าวเกิดความเสียหายอย่างหนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

แบบจำลอง CERES-Rice สามารถนำมาใช้ในการประเมินระยะพัฒนาการและผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60 ที่ปลูกภายใต้สภาพการจัดการในเรื่องของอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการหว่าน ได้ผลการประเมินที่ค่อนข้างแม่นยำสำหรับอายุวันออกดอกและอายุเก็บเกี่ยว แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความสามารถในการทำนายของแบบจำลอง CERES-Rice สำหรับลักษณะการเจริญเติบโตแบบจำลองสามารถทำนายน้ำหนักแห้งรวมได้ค่อนข้างดี แต่ทำนายน้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งใบ และผลผลิตของข้าว ได้ไม่ดีนัก แต่ก็อยู่ในระดับที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามการที่จะนำเอาแบบจำลอง CERES-Rice มาประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตข้าว เพื่อเป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการตัดสินใจนั้น ผู้ใช้งานต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลอง และตระหนักไว้เสมอว่า อย่งไรเสียแบบจำลองก็เป็นสิ่งที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อเลียนแบบระบบจริง ซึ่งแบบจำลองอาจยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถในการนำไปใช้งานในบางสภาพการณ์ โดยเฉพาะปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยแบบจำลอง เช่น การระบาดของโรคและแมลง การระบาดของวัชพืช และธาตุอาหารอื่นๆ นอกเหนือจากไนโตรเจนที่แบบจำลองยังไม่สามารถจำลองสถานการณ์ได้ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการประเมินสภาพการจัดการแปลงปลูก เช่น การกำหนดอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการหว่าน อาจจะต้องคำนึงถึงความถูกต้องของข้อมูลนำเข้า ทั้งนี้เพื่อให้ผลการทำนายมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ล้วนส่งผลต่อความสามารถในการทำงานของแบบจำลองในการประเมินพัฒนาการและผลผลิตของข้าวทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- Aggarwal, P.K. and N. Kalra. 1994. Analyzing the limitation set by climatic factors genotype, and water and nitrogen availability on productivity of wheat: II. Climatically potential yields and management strategies. *Field Crops Res.* 36: 161-166.
- Aggarwal, P.K., R.B. Matthews and M.J. Kropff. 1995. Opportunities for the application of systems approaches in plant breeding. *In* P.K. Aggarwal, R.B. Matthews, M.J. Kropff and H.H. van Larr (eds), *SARP Research Proceeding*, pp. 135-144. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Alociljha, E.C. and J.T. Ritchie. 1991. A model for the phenology of rice. *In* Hodges, T. (ed.), *Predicting Crop Phenology*, pp. 181-189. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Boonjung, H. 2000. Climate variability and rice production in rainfed rice area in northeast Thailand: risk analysis and management applications. <http://www.earthscience.org/rmain/rsites/clch.html> pp. 202-205.
- Boote, K.J., J.W. Jones, and N.B. Pickering. 1996. Potential uses and limitations of crop models. *Agron. J.* 88: 704-716.
- De Datta, S.K. 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. John Wiley & Sons, Inc., NY. 618 p.
- Egli, D.B. and W. Bruening. 1992. Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effect with a crop simulation model. *SOYGRO. Agric. For. Meteorol.* 62: 19-29.
- Godwin, D.C., U. Singh, R.J. Buresh, and S.K. De Datta. 1990. Modelling N dynamics in relation to rice growth and yield. *In* *Transactions of the 14th Int. Cong. Soil Sci.*, Kyoto, Japan. Int. Soc. Soil Sci., Japan, pp. 320-325.
- Graves, A.R., T. Hess, R.B. Matthews., W. Stephens., and T. Middleton. 2002. Crop simulation model as tools in computer laboratory and classroom-based education. *J. Nat. Resour. Life Sci. Educ.* 31: 48-54.
- Heinemann, A.B., G. Hoogenboom, and B. Chojnicki. 2002. The impact of potential errors in rainfall observation on the simulation of crop growth, development and yield. *Ecological Modeling.* 157: 1-21.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Hoogenboom, G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, K.J. Boote, U. Singh, O. Uryasev, W.T. Bowen, A.J. Gijssman, A.S. Du Toit, J.W. White, and G.Y. Tsuji. 2004. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer Project). 1988. Technical Report 1. Experimental design and data collection procedure for IBSNAT. The minimum data sets for system analysis and crop simulation, 3rd Edition. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Jagtap, S.S., and J.W. Jones. 2002. Adaptation and evaluation of the CROPGRO-soybean model to predict regional yield and production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 93: 73-85.
- Jintrawat, A. 1995. A decision support system for rapid assessment of lowland rice-based cropping alternatives in Thailand. *Agric. Syst.* 47: 245-258.
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijssman and J.T. Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. *Europ. J. Agron.* 18: 235-265.
- Jones, J.W., L.A. Hunt, G. Hoogenboom, D.C. Godwin, U. Singh, G.Y. Tsuji, N.B. Pickering, P.K. Thornton, W.T. Bowen, K.J. Boote, and J.T. Ritchie. 1994. Input and output files, pp. 1-93. *In* Tsuji, G.Y., G. Uehava, and S. Balas. (eds.), DSSAT v3. Vol. 2-1. University of Hawaii Honolulu, Hawaii.
- Lansigan, F.P. 1998. Minimum data and information requirements for estimating yield gap in crop production systems. *The Asian Federation for Information Technology in Agriculture*. 151-160.
- Mahmood, R. 1998. Air temperature variations and rice productivity in Bangladesh: a comparative study of the performance of the yield and the CERES-Rice models. *Ecological Modelling*. 106: 201-212.
- Mall, R.K., and P.K., Aggarwal. 2002. Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. I. Evaluation of impact assessment models. *Climate Change*. 52: 315-330.
- Matthews, R. 2002. Crop management. *In* Matthews, R., and W. Stephens (eds.), *Crop-Soil Simulation Models Applications in Developing Countries*, pp. 29-53. CABI Publishing, CABI Publishing, New York.
- Meinke, H., G.L. Hammer and S.C. Chapman. 1993. A sunflower simulation model. II. Simulating production risks in variable subtropical environment. *Agron. J.* 85: 735-742.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Meinke, H. and G.L. Hammer. 1995. A peanut simulation model : II. Assessing regional production potential. *Agron. J.* 87: 1093-1099.
- Meyer, W.S., R.J.G. White, D.J. Smith, and B.D. Baer. 1994. Monitoring a rice crop to validate the CERES Rice model. CSIRO Technical Memorandum 94/13. September 1994, 26 p.
- Monteith, J.L. 1996. The Quest for balance in crop modeling. *Agron. J.* 88: 695-697.
- Penning de Vries, F. P. Teng, and K. Metselaar (eds.). 1993. Systems approaches for agricultural development. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge and A. Bakema. 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops, 271 p.
- Pinnschmidt, H.O., P.S. Teng, J.E. Yuen, and A., Djurle. 1990. Coupling pest effects to the IBSNAT CERES crop model for rice. *Phytopathology.* 80: 997.
- Sinclair, T.R. and N.G. Seligman. 1996. Crop modeling: From infancy to maturity. *Agron. J.* 88: 698-704.
- Singh, U. and P.K. Thornton. 1992. Using crop simulation models for sustainability and environmental quality assessment. *Outlook on Agriculture.* 21: 209-218.
- Timsina, J and E. Humphreys. 2003. Performance and application of CERES and SWAGMAN Destiny models for rice-wheat cropping systems in Asia and Australia: a review. CSIRO Land and Water Technical Report 16/03. CSIRO Land and Water, Griffith, NSW 2680, Australia, 57 p.
- Timsina, J., U. Singh, M. Badaruddin, and C. Meisner. 1998. Cultivar, nitrogen, and moisture effects on a rice wheat sequence: experimentation and simulation. *Agron. J.* 90: 119-130.
- Tongyai, C. 1994. Impact of climate change on simulated rice production in Thailand. *In* Rosenzweig, C, Iglesias, A (eds.), *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modelling Study.* US Environmental Protection Agency. EPA 230-B-94-003, Washington DC.
- White, J.W. 1998. Modeling and crop improvement. *In* Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (eds.). *Understanding Options for Agricultural Production*, pp. 179-188.. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- White, J.W. and G. Hoogenboom. 1996. Simulating effects of genes for physiological traits in a process-oriented crop model. *Agron. J.* 88: 416-422.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 1 ไฟล์ข้อมูลดินจากแปลงทดลอง

*SOILS: General DSSAT Soil Input File

! DSSAT v4.0; 08/31/2005

!

! Standard Soil Profiles

!

! The following generic information was developed by A.J. Gijssman:

!

! - BD was estimated as $BD = 100 / (SOM\% / 0.224 + (100 - SOM\%) / \text{mineral BD})$

! (Adams, 1973; Rawls and Brakensiek, 1985).

! - LL and DUL are according to Saxton et al., 1986.

! - SAT was taken as a fraction of porosity (Dalgliesh and Foale, 1998):

! 0.93 for soil classes S, SL and LS; 0.95 for soil classes L, SIL, SI,

! SCL and SC; and 0.97 for soil classes C, CL, SIC and SICL.

! For this, porosity was estimated as: $POR = 1 - BD / APD$ (in which APD

! is the adjusted particle density, i.e. corrected for SOM; Baumer and Rice, 1988).

! - The ranges of LL and DUL values were calculated by stepping through the

! complete texture triangle in steps of 1% sand, 1% silt and 1% clay (>5000

! combinations), but with the texture limitations that Saxton set for his method

! taken into consideration. For SAT, these limitations do not hold, as this was

! based on POR and not on Saxton. See Gijssman et al., 2002.

! - The root growth distribution function SRGF was calculated as:

! $SRGF = 1 * \text{EXP}(-0.02 * \text{LAYER_CENTER})$; SRGF was set 1 for $\text{LAYER_BOTTOM} \leq 15$.

!

SOIL CLASS	BD	LL	DUL	SAT
C	1.129 - 1.512	0.220 - 0.346	0.330 - 0.467	0.413 - 0.488
CL	1.243 - 1.502	0.156 - 0.218	0.282 - 0.374	0.417 - 0.512
L	1.245 - 1.483	0.083 - 0.156	0.222 - 0.312	0.415 - 0.501
LS	1.353 - 1.629	0.059 - 0.110	0.137 - 0.185	0.355 - 0.416
S	1.446 - 1.574	0.055 - 0.085	0.123 - 0.158	0.374 - 0.400
SC	1.501 - 1.593	0.195 - 0.294	0.276 - 0.389	0.376 - 0.409
SCL	1.475 - 1.636	0.132 - 0.191	0.213 - 0.304	0.360 - 0.418
SI	0.978 - 1.464	0.096 - 0.099	0.299 - 0.307	0.442 - 0.488
SIC	1.307 - 1.446	0.224 - 0.326	0.379 - 0.456	0.455 - 0.489
SICL	1.248 - 1.464	0.155 - 0.219	0.324 - 0.392	0.448 - 0.511
SIL	0.968 - 1.464	0.082 - 0.152	0.240 - 0.333	0.439 - 0.547
SL	1.142 - 1.647	0.066 - 0.133	0.164 - 0.243	0.348 - 0.499

! Start of Generic soil profiles

!

! The 12 Generic soils for SOIL.SOL, as estimated by Arjan Gijssman:

!

! - LL, DUL are according to the Nearest Neighbor method (Jagtap et al, 2004)

! - Ksat at -99

! - BD according to Gijssman et al (2002)

! - SAT based on the APSRU manual (Dalgliesh and Foale, 1998); i.e. 93-97% of porosity

! depending on the soil type) in which porosity is according to Baumer and Rice (1988).

!

! References

! Adams W.A. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some

! uncultivated podzolic soils. J. Soil Science 24, 10-17.

! Baumer O.W. and Rice J.W. 1988. Methods to predict soil input data for DRAINMOD.

! Am. Soc. Agr. Eng. Paper 88-2564

! Dalgliesh, N.P., and M.A. Foale. 1998. Soil Matters - monitoring soil water and nitrogen

! in dryland farming. CSIRO, Agricultural Production Systems Research Unit,

! Toowoomba, Queensland, Australia. 122 pp.

! Gijssman A.J., Jagtap S.S., Jones J.W. 2002. Wading through a swamp of complete confusion:

! how to choose a method for estimating soil water retention parameters for crop models.

! European Journal of Agronomy, 18: 75-105.

! Jagtap S.S., Lal U., Jones J.W., Gijssman A.J., Ritchie J.T. 2004. A dynamic nearest-neighbor

! method for estimating soil water parameters. Transactions of ASAE 47: 1437-1444

! Rawls W.J. and Brakensiek D.L. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic

! modeling. In: Jones, E.B. and Ward, T.J. (Eds.), Proc. Symp. Watershed Management

! in the Eighties. April 30-May 1, 1985, Denver, CO. Am. Soc. Civil Eng.,

! New York, NY. pp.293-299.

! Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I. 1986. Estimating generalized soil-water

! characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 1031-1036

!

*BK00002008 KMIT SIC 130 Bangkok series

@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY

KMITL Thailand 13.400 100.400 -99

@ SCOM SALE SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE

BL 0.09 6.0 0.40 73.0 1.00 1.00 IB001 IB001 IB001

@ SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHW SLHB SCEC SADC

15 -99 0.228 0.385 0.481 1.000 0.09 1.19 1.97 45.8 45.1 9.1 0.190 5.2 -99 31.0 -99

30 -99 0.228 0.385 0.481 1.000 0.09 1.21 1.79 46.7 45.0 8.4 0.190 5.2 -99 29.7 -99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 3 ไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว

*RICE GENOTYPE COEFFICIENTS: RICER040 MODEL

```

!
! COEFF      DEFINITIONS
! =====
! VAR#       Identification code or number for a specific cultivar.
! VAR-NAME   Name of cultivar.
! ECO#       Ecotype code for this cultivar points to the Ecotype in the ECO
!            file (currently not used).
! P1         Time period (expressed as growing degree days [GDD] in °C above
!            a base temperature of 9°C) from seedling emergence during which
!            the rice plant is not responsive to changes in photoperiod. This
!            period is also referred to as the basic vegetative phase of the
!            plant.
! P20        Critical photoperiod or the longest day length (in hours) at
!            which the development occurs at a maximum rate. At values higher
!            than P20 developmental rate is slowed, hence there is delay due
!            to longer day lengths.
! P2R        Extent to which phasic development leading to panicle initiation
!            is delayed (expressed as GDD in °C) for each hour increase in
!            photoperiod above P20.
! P5         Time period in GDD °C) from beginning of grain filling (3 to
!            4 days after flowering) to physiological maturity with a base
!            temperature of 9°C.
! G1         Potential spikelet number coefficient as estimated from the
!            number of spikelets per g of main culm dry weight (less lead
!            blades and sheaths plus spikes) at anthesis. A typical value
!            is 55.
! G2         Single grain weight (g) under ideal growing conditions, i.e.
!            nonlimiting light, water, nutrients, and absence of pests
!            and diseases.
! G3         Tillering coefficient (scalar value) relative to IR64 cultivar
!            under ideal conditions. A higher tillering cultivar would have
!            coefficient greater than 1.0.
! G4         Temperature tolerance coefficient. Usually 1.0 for varieties
!            grown in normal environments. G4 for japonica type rice growing
!            in a warmer environment would be 1.0 or greater. Likewise, the
!            G4 value for indica type rice in very cool environments or
!            season would be less than 1.0.
!
! @VAR#  VAR-NAME..... ECO#   P1   P2R   P5   P20   G1   G2   G3   G4
!
! TR0003 SUPANBURI 60   IB0001 540.0 154.7 497.0 11.9 77.7 .0280 1.00 1.03
! TR0004 CHAINAT 1    IB0001 570.0 122.8 334.8 11.9 63.1 .0278 1.00 1.00

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 4 ไฟล์ข้อมูลการจัดการ (File X)

*EXP.DETAILS: KMIT0901RI DIFFERENT SEED RATE IN RICE

*GENERAL

@PEOPLE

suwanna

@ADDRESS

KMTIL

@SITE

Bangkok, Thailand

@ PAREA	PRNO	PLEN	PLDR	PLSP	PLAY	HAREA	HRNO	HLEN	HARM
-99	-99	-99	-99	-99	-99	0	-99	0	-99

*TREATMENTS

-----FACTOR LEVELS-----

@N	R	O	C	TNAME	CU	FL	SA	IC	MP	MI	MF	MR	MC	MT	ME	MH	SM
1	1	1	0	Chainat1 + 5 kg/rai	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
2	1	1	0	Chainat1 + 25 kg/rai	1	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	1
3	1	1	0	Chainat1 + 50 kg/rai	1	1	1	1	3	1	1	0	0	0	0	0	1
4	1	1	0	Suphanburi60 + 5 kg/rai	2	1	1	1	4	1	1	0	0	0	0	0	1
5	1	1	0	Suphanburi60 + 25 kg/rai	2	1	1	1	5	1	1	0	0	0	0	0	1
6	1	1	0	Suphanburi60 + 50 kg/rai	2	1	1	1	6	1	1	0	0	0	0	0	1

*CULTIVARS

@C CR INGENO CNAME

1 RI TR0004 CHAINAT 1

2 RI TR0003 SUPANBURI 60

*FIELDS

@L	ID	FIELD	WSTA	FLSA	FLOB	FLDT	FLDD	FLDS	FLST	SLTX	SLDP	ID_SOIL	FLNAME
1	KMIT0001	KMIT0901		0	0	DR001	-99	-99	00000	SC	51	BK00002009	-99

@LXCRDYCRDELEVAREA	SLEN	FLWR	SLAS
1	0	0	0	0	0	0	0

*SOIL ANALYSIS

@A SADAT SMHB SMPX SMKE SANAME

1 09001 SA011 -99 SA015 -99

@A SABL SADM SAOC SANI SAPHW SAPHB SAPX SAKE

1 15 1.2 1.97 .19 5.2 -99 -99 -99

1 30 1.2 1.79 .19 5.2 -99 -99 -99

*INITIAL CONDITIONS

@C PCR ICDAT ICRT ICND ICRN ICRE ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIIP ICRID ICNAME

1 RI 09001 100 -99 1 1 -99 -99 -99 -99 100 15 -99

@C ICBL SH20 SNH4 SNO3

1 15 .385 .1 .1

1 30 .385 .1 .1

*PLANTING DETAILS

@P	PDATE	EDATE	PPOP	PPOE	PLME	PLDS	PLRS	PLRD	PLDP	PLWT	PAGE	PENV	PLPH	SPRL
----	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

PLNAME

1 09002 -99 47 47 P U 1 -99 1 -99 -99 -99 -99 -99

2 09002 -99 44 44 P U 1 -99 1 -99 -99 -99 -99 -99

3 09002 -99 43 43 P U 1 -99 1 -99 -99 -99 -99 -99

4 09002 -99 59 59 P U 1 -99 1 -99 -99 -99 -99 -99

5 09002 -99 58 58 P U 1 -99 1 -99 -99 -99 -99 -99

6 09002 -99 57 57 P U 1 -99 1 -99 -99 -99 -99 -99

*IRRIGATION AND WATER MANAGEMENT

@I EFIR IDEP ITHR IEPT IOFF IAME IAMT IRNAME

1 .85 30 50 100 GS000 IR006 10 -99

@I IDATE IROP IRVAL

1 09007 IR006 50

1 09017 IR006 50

1 09027 IR006 50

1 09037 IR006 50

1 09047 IR006 50

1 09057 IR006 50

1 09067 IR006 50

1 09077 IR006 50

1 09087 IR006 50

1 09097 IR006 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*FERTILIZERS (INORGANIC)

@F	FDATE	FMCD	FACD	FDEP	FAMN	FAMP	FAMK	FAMC	FAMO	FOCD	FERNAME
1	09012	FE012	AP012	1	99	124	-99	-99	-99	-99	-99
1	09046	FE005	AP012	1	66	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1	09062	FE005	AP012	1	66	-99	-99	-99	-99	-99	-99

*SIMULATION CONTROLS

@N	GENERAL	NYERS	NREPS	START	SDATE	RSEED	SNAME						
1	GE	1	1	S	09002	2150	DEFAULT	SIMULATION CONTROL						
@N	OPTIONS	WATER	NITRO	SYMBI	PHOSP	POTAS	DISES	CHEM	TILL					
1	OP	Y	Y	Y	N	N	N	N	N					
@N	METHODS	WTHFR	INCON	LIGHT	EVAPO	INFIL	PHOTO	HYDRO	NSWIT	MESOM				
1	ME	M	M	E	R	R	C	R	1	G				
@N	MANAGEMENT	PLANT	IRRIG	FERTI	RESID	HARVS								
1	MA	R	R	R	N	M								
@N	OUTPUTS	FNAME	OVVEW	SUMRY	FROPT	GROUT	CAOUT	WAOUT	NIOUT	MIOUT	DIOUT	LONG	CHOUT	
1	OU		N	Y	Y	1	Y	N	Y	Y	N	N	Y	N

@ AUTOMATIC MANAGEMENT

@N	PLANTING	PFRST	PLAST	PH2OL	PH2OU	PH2OD	PSTMX	PSTMN
1	PL	09001	09001	40	100	30	40	10
@N	IRRIGATION	IMDEP	ITHRL	ITHRU	IROFF	IMETH	IRAMT	IREFF
1	IR	50	50	100	IB000	IR003	50	1
@N	NITROGEN	NMDEP	NMTHR	NAMNT	NCODE	NAOFF		
1	NI	1	50	25	FE012	GS000		
@N	RESIDUES	RIPCEN	RTIME	RIDEP				
1	RE	100	1	20				
@N	HARVEST	HFRST	HLAST	HPCNP	HPCNR			
1	HA	0	09112	100	0			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 5 ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File T)

*EXP.DATA (T) : KMIT0901RI DIFFERENT SEED RATE IN RICE

! File last edited on day 08/28/2003 at 3:51:27 PM

!

@TRNO	DATE	T#AD	LAI	RWAD	SWAD	GWAD	LWAD	CWAD	HIAD	GWGD
1	09039	233	-99	-99	9	-99	10	19	-99	-99
1	09070	183	-99	-99	189	-99	-99	-99	-99	-99
1	09113	190	-99	-99	468	2872	206	3574	0.80	22
2	09039	183	-99	-99	10	-99	12	21	-99	-99
2	09068	189	-99	-99	172	-99	-99	-99	-99	-99
2	09114	240	-99	-99	397	2527	119	3056	0.83	27
3	09037	263	-99	-99	10	-99	13	23	-99	-99
3	09066	201	-99	-99	171	-99	-99	-99	-99	-99
3	09114	249	-99	-99	359	2131	137	3639	0.81	26
4	09038	311	-99	-99	11	-99	17	28	-99	-99
4	09068	227	-99	-99	222	-99	-99	-99	-99	-99
4	09114	310	-99	-99	607	2503	205	3341	0.75	24
5	09038	279	-99	-99	9	-99	12	21	-99	-99
5	09067	289	-99	-99	250	-99	-99	-99	-99	-99
5	09114	286	-99	-99	619	4876	209	5725	0.85	23
6	09040	235	-99	-99	10	-99	19	29	-99	-99
6	09069	221	-99	-99	244	-99	-99	-99	-99	-99
6	09114	379	-99	-99	413	3157	221	3800	0.83	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 6 ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File A)

*EXP.DATA (A) : KMIT0901RI DIFFERENT SEED RATE IN RICE

! File last edited on day 08/28/2003 at 3:50:49 PM

!

@TRNO	HWAM	HWUM	H#AM	H#UM	LAIX	CWAM	BWAH	IDAT	ADAT	MDAT
1	2872	0.022	-99	268	-99	3574	-99	070	097	114
2	2527	0.027	-99	298	-99	3056	-99	068	093	114
3	2131	0.026	-99	410	-99	2639	-99	066	093	114
4	2503	0.024	-99	379	-99	3341	-99	068	094	114
5	4876	0.023	-99	284	-99	5725	-99	067	093	114
6	3157	0.024	-99	352	-99	3800	-99	069	095	114



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 7 ผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว (Overview output file)

*SIMULATION OVERVIEW FILE

*DSSAT Cropping System Model Ver. 4.0.2.000

Apr 07, 2011; 11:34:33

*RUN 1 : Chainat1 + 5 kg/rai
 MODEL : RICER040 - RICE
 EXPERIMENT : KMIT0901 RI KMIT0801RI DIFFERENT SEED RATE IN RICE
 TREATMENT 1 : Chainat1 + 5 kg/rai

CROP : RICE CULTIVAR : CHAINAT 1 ECOTYPE : IB0001
 STARTING DATE : JAN 2 2009
 PLANTING DATE : JAN 2 2009 PLANTS/m2 : 47.0 ROW SPACING : 1.cm
 WEATHER : KMIT 2009
 SOIL : BK00002009 TEXTURE : SC - Bangkok series
 SOIL INITIAL C : DEPTH: 30cm EXTR. H2O: 47.1mm NO3: 0.4kg/ha NH4: 0.4kg/ha
 WATER BALANCE : IRRIGATE ON REPORTED DATE(S)
 IRRIGATION : 500 mm IN 10 APPLICATIONS
 NITROGEN BAL. : SOIL-N & N-UPTAKE SIMULATION; NO N-FIXATION
 N-FERTILIZER : 231 kg/ha IN 3 APPLICATIONS
 RESIDUE/MANURE : INITIAL : 0 kg/ha ; 0 kg/ha IN 0 APPLICATIONS
 ENVIRONM. OPT. : DAYL= 0.00 SRAD= 0.00 TMAX= 0.00 TMIN= 0.00
 RAIN= 0.00 CO2 = R330.00 DEW = 0.00 WIND= 0.00
 SIMULATION OPT : WATER :Y NITROGEN:Y N-FIX:N PHOSPH:N PESTS :N
 PHOTO :C ET :R INFIL:R HYDROL :R SOM :G
 MANAGEMENT OPT : PLANTING:R IRRIG :R FERT :R RESIDUE:N HARVEST:M WTH:M

*SUMMARY OF SOIL AND GENETIC INPUT PARAMETERS

SOIL DEPTH	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	SAT SW	EXTR SW	INIT SW	ROOT DIST	BULK DENS	pH	NO3	NH4	ORG C
cm	cm3/cm3	cm3/cm3	cm3/cm3	cm3/cm3	cm3/cm3	cm	g/cm3		ugN/g	ugN/g	%
0- 5	0.228	0.385	0.481	0.157	0.385	1.00	1.20	5.20	0.10	0.10	1.97
5- 15	0.228	0.385	0.481	0.157	0.385	1.00	1.20	5.20	0.10	0.10	1.97
15- 30	0.228	0.385	0.481	0.157	0.385	1.00	1.20	5.20	0.10	0.10	1.79
TOT- 30	6.8	11.5	14.4	4.7	11.5	<--cm	-	kg/ha-->	0.4	0.4	67680
SOIL ALBEDO	: 0.09		EVAPORATION LIMIT				:26.00	MIN. FACTOR : 1.00			
RUNOFF CURVE #	:73.00		DRAINAGE RATE				: 0.05	FERT. FACTOR : 1.00			

RICE CULTIVAR : TR0004-CHAINAT 1 ECOTYPE : IB0001
 P1 : 570.0 P2R : 122.8 P5 : 334.8 P20 : 11.9
 G1 : 63.1 G2 : 0.0278 G3 : 1.00 G4 : 1.00

*SIMULATED CROP AND SOIL STATUS AT MAIN DEVELOPMENT STAGES

RUN NO. 1 Chainat1 + 5 kg/rai

DATE	CROP AGE	GROWTH STAGE	BIOMASS kg/ha	LAI	LEAF NUM	CROP N kg/ha	% N	STRESS H2O	N
2 JAN	0	Prgerm Sow	0	0.00	0.0	0	0.0	0.00	0.00
2 JAN	0	Start Sim	0	0.00	0.0	0	0.0	0.00	0.00
3 JAN	1	Emergence	2	0.00	1.0	0	2.5	0.00	0.00
5 FEB	34	End Juveni	24	0.03	9.0	1	3.2	0.23	0.38
22 FEB	51	Pan Init	165	0.14	11.0	5	3.0	0.02	0.07
1 APR	89	Heading	2028	0.88	15.0	34	1.7	0.00	0.00
10 APR	98	Beg Gr Fil	2777	0.83	15.0	35	1.3	0.00	0.00
21 APR	109	End Mn Fil	3431	0.74	15.0	35	1.0	0.00	0.00
22 APR	110	End Ti Fil	3431	0.74	15.0	35	1.0	0.00	0.00
23 APR	111	Maturity	3431	0.74	15.0	35	1.0	0.61	0.00
23 APR	111	Harvest	3431	0.74	15.0	35	1.0	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*MAIN GROWTH AND DEVELOPMENT VARIABLES

@	VARIABLE	SIMULATED	MEASURED
	Panicle Initiation day (dap)	51	68
	Anthesis day (dap)	89	95
	Physiological maturity day (dap)	111	112
	Yield at harvest maturity (kg [dm]/	1852	2872
	Unit wt at maturity (g [dm]/unit)	0.0278	0.022
	Number at maturity (no/m2)	6662	-99
	Pod number (no/m2)	83.12	-99
	Leaf area index, maximum	0.88	-99
	Tops weight at anthesis (kg [dm]/ha	1936	-99
	Tops N at anthesis (kg/ha)	33	-99
	Tops weight at maturity (kg [dm]/ha	3431	3574
	By-product produced (stalk) at matu	1579	-99
	Harvest index at maturity	0.540	-99
	Leaf number per stem at maturity	15	-99
	Grain N at maturity (kg/ha)	17	-99
	Tops N at maturity (kg/ha)	35	-99
	Stem N at maturity (kg/ha)	18	-99
	Grain N at maturity (%)	0.92	-99

*ENVIRONMENTAL AND STRESS FACTORS

Development Phase	Environment					Cumulative		Stress (0=Min, 1=Max Stress)			
	Time Span days	Temp Max °C	Average Temp Min °C	Solar Rad MJ/m2	Photop [day] hr	Rain mm	Evapo Trans mm	Water Photo synth	Nitrogen Growth	Photo synth	Growth
Emergence-End Juvenile	33	30.6	20.1	16.9	11.32	0.0	81.8	0.164	0.229	0.480	0.377
End Juvenil-Panicl Init	17	34.2	23.6	18.0	11.54	0.0	48.5	0.000	0.019	0.140	0.074
Panicl Init-End Lf Grow	38	34.3	26.2	16.2	11.86	11.2	135.0	0.000	0.000	0.000	0.000
End Lf Grth-Beg Grn Fil	9	35.3	25.0	19.7	12.16	26.0	51.0	0.000	0.000	0.000	0.000
Grain Filling Phase	12	35.9	26.8	18.6	12.29	22.7	54.6	0.000	0.000	0.000	0.000

Rice YIELD : 1852 kg/ha [Dry weight]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หนังสือเป็นสมบัติของท่าน
โปรดช่วยกันรักษา

www.lib.kmitl.ac.th

สำนักหอสมุดกลาง โทร. 0 2739 2221

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ทางปัญญาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้