

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตของข้าวและ
การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวเพื่อใช้ใน
แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช

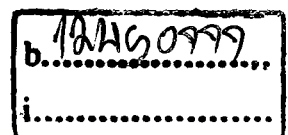
PHYSIOLOGICAL TRAITS ASSOCIATED WITH RICE YIELD AND
EVALUATING GENETIC COEFFICIENTS OF RICE FOR
CROP SIMULATION MODEL



พรเพ็ญ สมจิตร
PORNPEN SOMCHIT

กษ.
9N252ค
2555

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....123742
วัน, เดือน, ปี.....28 พ.ย. 2555



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชไร่
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2555

KMITL-2012-AG-M-010-122

**PHYSIOLOGICAL TRAITS ASSOCIATED WITH RICE YIELD AND
EVALUATING GENETIC COEFFICIENTS OF RICE FOR
CROP SIMULATION MODEL**

PORNPEN SOMCHIT

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN AGRONOMY
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2012

KMITL-2012-AG-M-010-122

COPYRIGHT 2012

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตของข้าวและการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวเพื่อใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช
Physiological Traits Associated with Rice Yield and Evaluating Genetic Coefficients of Rice for Crop Simulation Model

นักศึกษา นางสาวพรเพ็ญ สมจิตร

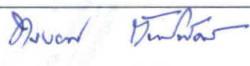

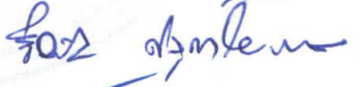


รหัสประจำตัว 52640302

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา พืชไร่

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.นิตยา ผกามาศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ทรงยศ	ต้นพิพัฒน์	
ผศ.ดร.ปรเมศ	บรรเทียง	
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	ศรุต โยภาส	
ดร.ชัชฌูชา	บุคคาบุญ	
ดร.นิตยา	ผกามาศ	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 15 ตุลาคม 2555 เวลา 09.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุมหลักสูตรสาขาวิชาพืชไร่ (ชั้น 3 อาคารบุญนาค L)

คณบดีรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ศักดิ์ชัย ชูโชติ)

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

วันที่ 12 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตของข้าวและการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวเพื่อใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช
นักศึกษา	นางสาวพรเพ็ญ สมจิตร
รหัสประจำตัว	52640302
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	พืชไร่
พ.ศ.	2555
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.นิตยา ผกามาศ

บทคัดย่อ

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ทำการทดลองที่แปลงนาเกษตรกร แขวงชุมทอง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยการทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวทั้งในสภาพแปลงทดลองและสภาพกระถางทดลอง ใช้ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงจำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ทำการปักดำวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 ใช้ต้นกล้าอายุ 25-30 วัน จำนวน 3 ต้นต่อกอ ใช้ระยะปักดำ 25×25 เซนติเมตร เก็บบันทึกข้อมูลอัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่ 3 ระยะ คือ จากปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว บันทึกน้ำหนักแห้งรวม จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) พื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) และผลผลิต นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและวิเคราะห์ multiple regression เพื่อหาลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าว ผลการศึกษาทั้งในสภาพแปลงทดลองและกระถางทดลองชี้ให้เห็นว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 และชัยนาท 1 เป็นพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูงที่สุด ผลการวิเคราะห์ multiple regression พบว่า CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตข้าวมากที่สุด

การทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวทั้งในสภาพแปลงทดลองและสภาพกระถางทดลอง โดยใช้ข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสงชุดเดียวกับการทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete

Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ทำการปักดำจำนวน 3 วันปลูก คือ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 (วันปลูกที่ 1), 15 สิงหาคม 2553 (วันปลูกที่ 2) และ 16 มกราคม 2554 (วันปลูกที่ 3) ใช้ต้นกล้าอายุ 25-30 วัน จำนวน 3 ต้นต่อกอ ใช้ระยะปักดำ 25×25 เซนติเมตร เก็บบันทึกลักษณะอายุเก็บเกี่ยว CGR ที่ 3 ระยะ คือ จากปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้ำหนักแห้งรวม คัดชนิดเก็บเกี่ยว และผลผลิต นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis) และวิเคราะห์ multiple regression พบว่าวันปลูกมีผลต่อการตอบสนองของอายุเก็บเกี่ยว CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม คัดชนิดเก็บเกี่ยว และผลผลิตของข้าว โดยผลการศึกษาสอดคล้องกันทั้งในสภาพแปลงทดลองและกระถางทดลอง

การทดลองที่ 3 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (genetic coefficients, GCs) ของข้าว 7 พันธุ์ เก็บบันทึกข้อมูลดิน อากาศ การจัดการ และลักษณะจำเพาะพันธุ์ของพืช ใน 3 วันปลูก นำข้อมูลเหล่านั้นมาใส่แบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (model calibration) ของข้าวแต่ละพันธุ์ ด้วยโปรแกรม GLUE ซึ่งบรรจุอยู่ใน DSSAT version 4.5 package สำหรับการปรับค่า GCs ของข้าวจะใช้ข้อมูลของวันที่ 15 สิงหาคม 2553 (วันปลูกที่ 2) และ 16 มกราคม 2554 (วันปลูกที่ 3) โดยปรับค่าจนกว่าค่าที่ได้จากการจำลองจะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสังเกตจริงมากที่สุด จากนั้นนำค่า GCs ที่ประเมินได้ไปทำการทดสอบ (model validation) ประสิทธิภาพในการทำนายกับชุดข้อมูลอิสระ (13 กุมภาพันธ์ 2553) ผลการศึกษาพบว่าข้าวมีค่า GCs ที่เฉพาะเจาะจงของแต่ละพันธุ์ แบบจำลองสามารถทำนายลักษณะด้านพัฒนาการและการเจริญเติบโตได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงในทุกพันธุ์ การทดสอบค่า GCs ซึ่งให้เห็นว่าค่า GCs ที่ประเมินได้สามารถนำมาใช้ในการทำนายน้ำหนักเมล็ด และน้ำหนักแห้งรวมของชุดข้อมูลอิสระได้ดีแต่เฉพาะบางพันธุ์เท่านั้น ทั้งนี้เพราะค่าสังเกตจริงมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง อันเนื่องมาจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้

การทดลองที่ 4 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว ทำการศึกษาโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงทั้ง 7 พันธุ์ที่ประเมินได้จากการทดลองที่ 3 เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลอง CSM-CERES-Rice นำไปใช้ในการประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว เก็บบันทึกลักษณะทางสรีรวิทยาจำนวน 3 วันปลูก ประกอบด้วย CGR, LAI, SLA ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ และ HI ที่ระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการประเมิน CGR, LAI และ SLA ของข้าวได้ค่อนข้างดีในทุกวันปลูก โดยเฉพาะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว แต่พบว่าแบบจำลองทำนาย HI ที่ระยะเก็บเกี่ยวได้ไม่ดี

Thesis	Physiological Traits Associated with Rice Yield and Evaluating Genetic Coefficients of Rice for Crop Simulation Model
Student	Miss Pornpen Somchit
Student ID.	52640302
Degree	Master of Science
Program	Agronomy
Year	2012
Thesis Advisor	Dr. Nittaya Phakamas

ABSTRACT

This study was divided into four experiments. These experiments were conducted in the farmer's field at Khumthong sub-district, Ladkrabang district, Bangkok. The objective of the first experiment was to determine the physiological traits associated with rice yield in both experimental field and pot conditions. Seven non-photoperiod rice varieties consisted of Chainat 1, Suphan Buri 1, Suphan Buri 2, Suphan Buri 3, Pathum Thani 1, Pathum Thani 80 and Phitsanulok 2 were studied in a randomized complete block design with 4 replications. Transplantation was done on 13 February 2010, 25-30 days seedling were transplanted using 3 plants per hill with space of 25×25 cm. Crop growth rates (CGR) were recorded at 3 stages including first transplanting date to 30 days after transplanting, 30 to 45 days after transplanting and 45 days after transplanting to harvesting. Total dry matter, spikelets per m², 1,000 grain weight, leaf area index (LAI), specific leaf area (SLA), harvest index (HI) and grain yield were also recorded. Analysis of variances and multiple regression analyses were done for identifying the most important physiological traits contributed to rice yield. The results indicated that growth and yield of rice were significantly different ($P < 0.01$) for both experimental field and pot conditions. Suphan Buri 2 and Chainat 1 varieties had the highest growth and yield. Multiple regression analysis identified that the CGR at 45 days after transplanting to harvesting was the most important trait that contributed in rice yielding.

In the second experiment, the objective was to determine the effect of planting date on the physiological traits associated with rice yield in both experimental field and pot conditions. The same set of non-photoperiod rice varieties of the first experiment was studied in randomized

complete block design with 4 replications. Three planting dates were done on 13 February 2010 (planting date 1), 15 August 2010 (planting date 2) and 16 January 2011 (planting date 3), 25-30 days seedling were transplanted using 3 plants per hill with space of 25×25 cm. The physiological maturity, CGR were recorded at 3 stages including first transplanting date to 30 days after transplanting, 30 to 45 days after transplanting and 45 days after transplanting to harvesting. Spikelets per m², 1,000 grain weight, total dry matter, harvest index and grain yield were also recorded. Combined analysis and multiple regressions were conducted. The results showed that there were significant responses to planting dates for physiological maturity, CGR at 45 days after transplanting to harvesting, total dry matter, harvest index and yield of rice. The results were similar in both experimental field and pot conditions.

For third experiment, the objective was to evaluate the genetic coefficients (GCs) of seven rice varieties. Data were collected including soil, weather, management and plant characteristics in 3 planting dates. They were used as input data for calibrating genetic coefficients of each rice variety using the GLUE estimator that contained in the DSSAT version 4.5 package. Model calibration was done by using the data of 15 August 2010 (planting date 2) and 16 January 2011 (planting date 3), calibration of genetic coefficient was conducted by minimizing the error between the observed and simulated data. Model validation were also done with an independent data set (13 February 2010). The results indicated that there were specific GCs values for each rice variety. The model can be used to predict the development and growth values of all varieties closed to their observed values. Validation of the calibrated GCs with an independent data set indicated that these GCs can be used to predict grain weight and total dry matter showing a good agreement, but only for few varieties. Hence, there were high variations for observed values due to the effect of uncontrollable environments.

The fourth experiment, the objective was to use the CSM-CERES-Rice model in evaluating the physiological traits associated with rice yield. The calibrated genetic coefficients of seven non-photoperiod rice varieties from the third experiment were used as input data for the CSM-CERES-Rice model to use in evaluating the physiological trait associated with rice yield. Physiological traits were recorded for 3 planting dates including CGR, LAI and SLA at different growth stages and HI at harvesting stage. The results showed that the model can be used to evaluate CGR, LAI and SLA as indicated by a good agreement in all planting dates, especially the CGR at 45 days after transplanting to harvesting, but it was not good in evaluating the HI at harvesting stage.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างดียิ่งจาก ดร.นิตยา ผกามาส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ แนวคิด คำแนะนำ และประสบการณ์ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมากแก่ข้าพเจ้า ตลอดทั้งตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ได้อย่างสมบูรณ์ โอกาสนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ทรงยศ ต้นพิพัฒน์ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ ศรุตโยภาส และ ผศ.ดร.ปรเมศ บรรเทิง ที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชิษณุชา บุคคานุกู จากศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี ที่ให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหา และแนะนำวิธีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโดยใช้โปรแกรม GLUE พร้อมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ได้อย่างสมบูรณ์ ตลอดทั้งให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพัชรินทร์ เกศะรักษ์ และน้องๆ ปริญญาตรี สาขาวิชาพืชไร่ เกษตรเจ้าคุณทหารรุ่นที่ 36, 37 และ 38 ที่ให้ความช่วยเหลือด้านกำลังกายและกำลังใจ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมทั้งคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนเรื่อง การศึกษาและอนุเคราะห์พื้นที่แปลงนาที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือในด้านกำลังกาย กำลังใจ และทุนทรัพย์มาโดยตลอด

พรเพ็ญ สมจิตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	XII
สารบัญตารางภาคผนวก.....	XIV
สารบัญภาพภาคผนวก.....	XV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ความมุ่งหมายของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว.....	4
2.2 สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าว.....	6
2.3 แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CSM-CERES-Rice).....	8
2.4 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว (model calibration).....	9
2.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในระบบการผลิตข้าว.....	14
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	17
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	17
3.2 สถานที่ทำการทดลองและแผนการดำเนินการ.....	18
3.3 วิธีการดำเนินการ.....	18
3.4 การบันทึกผลการทดลอง.....	23
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	26
4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิต ของข้าว.....	26
4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่ เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว.....	44
4.3 การทดลองที่ 3 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับ ใช้เป็นข้อมูลตัวป้อนให้กับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว.....	65
4.4 การทดลองที่ 4 การประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผล ผลิตของข้าวโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว.....	76
บทที่ 5 วิจัยผลการทดลอง.....	89
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	94
บรรณานุกรม.....	96
ภาคผนวก.....	104
ประวัติผู้เขียน.....	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่ประเมินโดยใช้โปรแกรม GENCALC และ GLUE.....	13
4.1	ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพแปลงทดลอง.....	26
4.2	พื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพแปลงทดลอง.....	27
4.3	อัตราการเจริญเติบโต (CGR) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพแปลงทดลอง.....	28
4.4	น้ำหนักแห้งรวมของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพแปลงทดลอง.....	29
4.5	จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ผลผลิตและดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวในสภาพแปลงทดลอง.....	30
4.6	การวิเคราะห์ Multiple regression สำหรับ CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิตของข้าวในสภาพแปลงทดลอง.....	33
4.7	ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพกระถางทดลอง.....	35
4.8	พื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพกระถางทดลอง.....	36
4.9	อัตราการเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพกระถางทดลอง.....	37
4.10	น้ำหนักแห้งรวมของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพกระถางทดลอง.....	38
4.11	จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ผลผลิตและดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวในสภาพกระถางทดลอง.....	39
4.12	การวิเคราะห์ Multiple regression สำหรับ CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิตของข้าวในสภาพกระถางทดลอง.....	42
4.13	การวิเคราะห์ Multiple regression สำหรับอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ กับผลผลิตของข้าวทั้ง 3 วันปลูก ในสภาพแปลงทดลอง.....	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.14	อายุเก็บเกี่ยวของข้าวแต่ละพันธุ์สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพแปลงทดลอง.....	52
4.15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (Combined analysis) ของอายุเก็บเกี่ยว อัตราการเจริญเติบโตที่ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยว ในสภาพแปลงทดลอง.....	53
4.16	อัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และ วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพแปลงทดลอง.....	54
4.17	ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพแปลงทดลอง.....	55
4.18	การวิเคราะห์ Multiple regression สำหรับอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ กับผลผลิตของข้าวทั้ง 3 วันปลูก ในสภาพกระถางทดลอง...	56
4.19	อายุเก็บเกี่ยวของข้าวแต่ละพันธุ์สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพกระถางทดลอง.....	61
4.20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (Combined analysis) ของอายุเก็บเกี่ยว อัตราการเจริญเติบโตที่ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยว ในสภาพกระถางทดลอง.....	62
4.21	อัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และ วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพกระถางทดลอง.....	63
4.22	ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และ วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพกระถางทดลอง.....	64
4.23	ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว 7 พันธุ์.....	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.24	ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของลักษณะด้านพัฒนาการของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated).....	67
4.25	ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของน้ำหนัก 1 เมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated).....	68
4.26	ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของผลผลิต และน้ำหนักแห้งรวมของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated).....	69
4.27	ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของน้ำหนัก 1 เมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated).....	70
4.28	ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของผลผลิต และน้ำหนักแห้งรวมของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated).....	71
4.29	ความสอดคล้องของลักษณะด้านพัฒนาการของข้าว 7 พันธุ์ ที่ได้จากการจำลองและการสังเกตจริงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ในการทำนาย (validated).....	73
4.30	ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของน้ำหนัก 1 เมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรของข้าว 7 พันธุ์ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ในการทำนาย (validated).....	74
4.31	ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของผลผลิต และน้ำหนักแห้งรวมของข้าว 7 พันธุ์ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ในการทำนาย (validated).....	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.32	ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ของข้าวใน 3 วันปลูก.....	79
4.33	ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว.....	80
4.34	ค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ของข้าวใน 3 วันปลูก.....	81
4.35	ค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว.....	82
4.36	ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ของข้าวใน 3 วันปลูก.....	83
4.37	ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว.....	84
4.38	ค่าเฉลี่ยของดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ของข้าว.....	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SLA และ LAI ของข้าวที่ช่วงอายุ 30 วันหลังปักดำ (ก), 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพแปลงทดลอง.....	31
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR ของข้าวที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพแปลงทดลอง.....	32
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและ CGR ของข้าวที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพแปลงทดลอง.....	34
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SLA และ LAI ของข้าวที่ช่วงอายุ 30 วันหลังปักดำ (ก), 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพกระถางทดลอง.....	40
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR ของข้าวที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพกระถางทดลอง.....	41
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและ CGR ของข้าวที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพกระถางทดลอง.....	43
4.7	อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และรังสีดวงอาทิตย์รายวัน สำหรับวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค).....	45
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวและผลผลิตของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค) ในสภาพแปลงทดลอง.....	48
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวและผลผลิตของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค) ในสภาพกระถางทดลอง.....	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.10	การเปรียบเทียบระหว่าง CGR ที่ได้จากการสังเกตและการจำลองที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ของข้าว 7 พันธุ์.....	86
4.11	การเปรียบเทียบระหว่าง LAI ที่ได้จากการสังเกตและการจำลองของวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค) ของข้าว 7 พันธุ์.....	87
4.12	การเปรียบเทียบระหว่าง SLA ที่ได้จากการสังเกตและการจำลองของวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค) ของข้าว 7 พันธุ์.....	88

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
1	ไฟล์ข้อมูลดินจากแปลงทดลอง.....	105
2	ไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศปี ค.ศ. 2010.....	106
3	ไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว.....	107
4	ไฟล์แสดงรายละเอียดของการทดลอง (File X).....	108
5	ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File T).....	110
6	ไฟล์แสดงค่าเฉลี่ยผลการทดลอง (File A).....	111
7	ผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว (Overview output file).....	112
8	ข้อมูลต่ำสุดและสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว แต่ละตัวที่บรรจุอยู่ในไฟล์ ParameterProperty.xls.....	114

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
ผ.1	การเก็บตัวอย่างดิน (ภาพบน) และการเตรียมดิน (ภาพล่าง).....	115
ผ.2	การเตรียมแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง) สำหรับปักดำ.....	116
ผ.3	การปักดำข้าวในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง).....	117
ผ.4	ข้าวอายุ 30 วันหลังปักดำในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง).....	118
ผ.5	การดูแลรักษาในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง).....	119
ผ.6	การใส่ปุ๋ยเคมีในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง).....	120
ผ.7	การเก็บตัวอย่างในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง).....	121
ผ.8	การวัดความสูงของต้นข้าว.....	122
ผ.9	การเจาะใบข้าวเพื่อนำไปหาพื้นที่ใบ.....	122
ผ.10	การตัดรากเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก.....	123
ผ.11	การตัดลำต้นและใบข้าวเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก.....	123
ผ.12	การคัดแยกเมล็ดดีและเมล็ดเสียพร้อมทั้งนับจำนวนเมล็ด.....	124
ผ.13	การชั่งน้ำหนักแห้ง.....	124

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ข้าว (*Oryza sativa* L.) จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญมากต่อประเทศไทย นอกจากจะเป็นอาหารหลักของคนไทยแล้ว ข้าวยังเป็นสินค้าส่งออกที่สามารถทำรายได้ปีละหลายแสนล้านบาท ในปีการเพาะปลูก 2553/54 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดประมาณ 72.62 ล้านไร่ แบ่งออกเป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาปีประมาณ 57.04 ล้านไร่ ส่วนอีก 15.58 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง โดยพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553) ในเขตที่มีระบบชลประทาน ซึ่งมีน้ำอย่างเพียงพอ ทำให้เกษตรกรสามารถปลูกข้าวได้ตลอดทั้งปี ในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่มีการใช้ปัจจัยการผลิตข้าวเพิ่มขึ้น เช่น ปุ๋ยเคมี และยาปราบศัตรูพืช แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าผลผลิตของข้าวที่ผลิตได้จะเพิ่มตามไปด้วย เนื่องจากการให้ผลผลิตของข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการไม่ว่าจะเป็นพันธุกรรมของข้าว สภาพแวดล้อม ตลอดจนวิธีการดูแลปฏิบัติของเกษตรกร โดยข้าวแต่ละพันธุ์ก็มีข้อดีและข้อจำกัดในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตแตกต่างกัน ซึ่งศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวแต่ละพันธุ์จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต (Alam *et al.* 2009) ดังนั้นการศึกษาการเจริญเติบโต หรือสรีรวิทยาของพืชซึ่งมีความสำคัญทำให้ทราบถึงกระบวนการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ตลอดจนอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ซึ่งความรู้ความเข้าใจเรื่องการตอบสนองของพืชดังกล่าวน่าจะเป็นประโยชน์สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้ได้พืชที่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

ปัจจุบันวิทยาการด้านคอมพิวเตอร์ก้าวหน้าไปมาก พร้อมทั้งองค์ความรู้เกี่ยวกับการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชต่อการจัดการและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันมีเพิ่มมากขึ้น นักวิทยาศาสตร์จึงใช้ประโยชน์จากความก้าวหน้าของวิทยาการคอมพิวเตอร์ผนวกกับองค์ความรู้ที่มีอยู่ พัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชโดยประมวลระบบการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความชื้นและความอุดมสมบูรณ์ของดินภายใต้การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ (Penning de Vries *et al.* 1993) ดังนั้นแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดได้ถูกพัฒนาขึ้น เช่น แบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อย มันสำปะหลัง ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ทานตะวัน ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และข้าว เป็นต้น ซึ่งการจำลองสถานการณ์โดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช เป็นการนำค่าของข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ ข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ข้อมูลการจัดการและข้อมูลพืช มา นำเข้าให้แบบจำลองทำการคำนวณออกมาเป็นค่าการเจริญเติบโตและ

พัฒนาการของพืช (Boote *et al.* 1989) โดยข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศรายวันและข้อมูลการจัดการ เป็นข้อมูลเฉพาะของแต่ละสถานที่ ซึ่งอาจจะได้มาจากการบันทึกจากสถานที่นั้นโดยตรงหรืออาศัย ข้อมูลที่บางหน่วยงานได้ทำการศึกษาและรวบรวมไว้แล้ว แต่ข้อมูลพืชหรือค่าสัมประสิทธิ์ทาง พันธุกรรมของพืช (genetic coefficients; GCs) เป็นลักษณะประจำพันธุ์พืชที่ต้องประเมินจากพันธุ์ นั้นโดยตรง โดยเป็นค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของพืชแต่ละพันธุ์/สายพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วย 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เป็นลักษณะด้านพัฒนาการ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิสะสมในแต่ละช่วงพัฒนาการของพืช ตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว และกลุ่มที่เป็นลักษณะด้านการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นค่าที่แสดง อัตราการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละส่วน (อรรถชัย จินตะเวช และคณะ. 2540) จะเห็นว่าข้อมูล สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมเป็นข้อมูลชนิดหนึ่งที่ดีว่ามีความสำคัญมากต่อการนำแบบจำลองไป ประยุกต์ใช้ จึงจำเป็นต้องมีการประเมินในกรณีที่พันธุ์พืชที่ต้องการศึกษานั้นยังไม่มีข้อมูลดังกล่าว และปัจจุบันพบว่าในประเทศไทยมีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวไว้ค่อนข้าง น้อย ในขณะที่กรมการข้าวได้มีการแนะนำพันธุ์ข้าวรับรองอื่นๆ ให้เกษตรกรปลูกเพิ่มมากขึ้น ซึ่ง ข้าวพันธุ์รับรองเหล่านี้มีลักษณะดี มีความต้านทานโรคและแมลง และให้ผลผลิตสูง แต่พันธุ์เหล่านี้ ยังไม่มีข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (input data) ให้กับ แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ของข้าว เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชต่อไป

แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางการเกษตรได้หลาย แนวทาง เช่น ในด้านการผลิตพืชสามารถนำไปใช้ในการทำนายช่องว่างของผลผลิต (yield gap) การจัดการหน้าดิน การจัดการน้ำ และการปลูกพืช (Matthews and Stephens. 2002) ในด้านการ ปรับปรุงพันธุ์พืช เช่น Banterng *et al.* (2003) และ Suriharn *et al.* (2008) นำมาใช้ในการประเมิน ความดีเด่นของสายพันธุ์ถั่วลิสงในหลายสภาพแวดล้อม Banterng *et al.* (2006) ใช้ในการศึกษา เสถียรภาพของสายพันธุ์ Phakamas *et al.* (2008) และ Phakamas *et al.* (2010) นำมาใช้ศึกษา เกี่ยวกับปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม Putto *et al.* (2009) ใช้ในการศึกษา ประสิทธิภาพของสถานที่สำหรับการประเมินสายพันธุ์ นอกจากนี้ Aggarwal *et al.* (1996) ใช้ แบบจำลองในการศึกษาหาลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มศักยภาพ ผลผลิตของข้าว จะเห็นว่าแบบจำลองสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายแนวทาง ดังนั้นการนำ แบบจำลองมาใช้ในการศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยานั้นก็จะช่วยให้สามารถประเมินลักษณะทาง สรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวได้สะดวกมากขึ้น โดยไม่ต้องไปปลูกทดสอบจริง และข้อมูลที่ได้มาจะนำมาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงได้ หาก จะใช้ลักษณะดังกล่าวเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ทางอ้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว
- 1.2.3 เพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้าไปกับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว
- 1.2.4 เพื่อประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

1.3 ความมุ่งหมายของการศึกษา

- 1.3.1 ทราบถึงลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว
- 1.3.2 ทราบถึงอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว
- 1.3.3 ได้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้าไปกับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว
- 1.3.4 แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวสามารถใช้ประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวได้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและทำรายได้ให้กับประเทศปีละหลายแสนล้านบาท ผลผลิตส่วนใหญ่จะใช้บริโภคภายในประเทศ และส่วนที่เหลือส่งไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ซึ่งในปีการเพาะปลูก 2553/54 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวรวมทั้งหมดประมาณ 72.62 ล้านไร่ แต่ข้าวที่ผลิตได้ยังมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำ โดยในข้าวนาปีได้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 389 กิโลกรัมต่อไร่ จากพื้นที่เพาะปลูก 57.04 ล้านไร่ และข้าวนาปรังได้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 611 กิโลกรัมต่อไร่ จากพื้นที่เพาะปลูก 15.58 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553) ทั้งนี้เนื่องจากการให้ผลผลิตของข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการไม่ว่าจะเป็นพันธุกรรม สภาพแวดล้อม ตลอดจนวิธีการดูแลปฏิบัติของเกษตรกร อย่างไรก็ตามการที่พืชจะให้ผลผลิตสูงได้นั้น พืชจะต้องมีการเจริญเติบโตหรือมีการสะสมน้ำหนักแห้งมากพอ ก่อนที่พืชจะสิ้นสุดการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ซึ่งการสะสมน้ำหนักแห้งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช

2.1 ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว

ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวมีหลายลักษณะ แต่ลักษณะสำคัญที่สัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าวมีดังนี้

2.1.1 น้ำหนักแห้ง (dry matter) และดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index; HI)

Yoshida (1981) กล่าวว่าผลผลิตของข้าวจะเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มน้ำหนักแห้งหรือดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) หรือทั้งสองอย่าง นักวิจัยหลายกลุ่มศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวพืชหลายชนิดระหว่างพันธุ์ใหม่กับพันธุ์พื้นเมือง พบว่าการเพิ่มขึ้นของ HI จะมีผลต่อศักยภาพการให้ผลผลิตมากกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง (Austin *et al.* 1980; Takeda *et al.* 1983; Evans *et al.* 1984) แต่เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มของพันธุ์ใหม่พบว่าพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเป็นพันธุ์ที่มีการสะสมน้ำหนักแห้งมาก (Jiang *et al.* 1988; Akita. 1989; Amano *et al.* 1993) ยกตัวอย่างเช่น ข้าวลูกผสมให้ผลผลิตสูงกว่าสายพันธุ์แท้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งมากกว่าการเพิ่มขึ้นของ HI (Song *et al.* 1990; Yamauchi. 1994)

2.1.2 อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR) และผลผลิต (yield)

ในข้าวมีรายงานว่าจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมีความสัมพันธ์กันสูงกับการสะสมน้ำหนักแห้งในช่วงกำเนิดช่อดอกถึงช่วงออกดอก (Kropff *et al.* 1994) และจะมีการเติมเต็มเมล็ดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การสะสมน้ำหนักแห้งในช่วงออกดอกถึงเก็บเกี่ยว (Yoshida. 1981) โดยการเพิ่มขึ้น

ของน้ำหนักแห้งของพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของอายุการเจริญเติบโต (crop growth duration; CGD) หรืออัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR) หรือทั้งสองอย่าง (Yoshida, 1983) เพราะ CGR จะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการหายใจของทรงพุ่มของพืช ซึ่งมีรายงานว่า CGR ในระยะก่อนกำเนิดช่อรวงมีความสำคัญต่อศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าว โดย Horie *et al.* (2003) ศึกษาการสะสมน้ำหนักแห้งในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวที่มีผลต่อความแตกต่างของการให้ผลผลิตในข้าว 3 พันธุ์ คือ Takanari (ผลผลิตสูง), Nipponbare (ผลผลิตปานกลาง) และ Banten (ผลผลิตต่ำ) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ กับผลผลิตในประเทศญี่ปุ่น พบว่า CGR ที่ระยะ 2 สัปดาห์ก่อนที่ข้าวจะออกรวงเต็มที่ (2 weeks before full heading stage) หรือช่วงปลายของระยะสืบพันธุ์ (late reproductive period) มีความสัมพันธ์ต่อการให้ผลผลิตของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ และจากผลการศึกษาวิจัยจึงอาจกล่าวได้ว่า ข้าวจะให้ผลผลิตสูงหากข้าวมี CGR ในช่วงปลายของระยะสืบพันธุ์สูง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจาก Katsura *et al.* (2007) ชี้ให้เห็นว่าในปัจจุบันนั้นยังมีข้อโต้แย้งกันระหว่างความสำคัญของการสะสมน้ำหนักแห้งที่ระยะก่อนออกรวง (Horie *et al.* 2003; Takai *et al.* 2006) และระยะหลังออกรวง (Saitoh *et al.* 1993; Murchie *et al.* 2002) ต่อการให้ผลผลิตของข้าว ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสำคัญของ CGR ที่ระยะก่อนออกรวงและหลังออกรวงว่าระยะใดมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวมากที่สุด ซึ่งข้อมูลที่ได้น่าจะเป็นประโยชน์ต่อนักปรับปรุงพันธุ์พืช สำหรับพิจารณาใช้เป็นลักษณะหนึ่งในการคัดเลือกพันธุ์พืชที่ให้ผลผลิตสูงทางอ้อมได้

2.1.3 ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) และ CGR

ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) เป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของใบพืชที่สามารถรับแสงเอาไว้ได้ เพราะแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (เฉลิมพล เขมเพชร, 2542) หากใบพืชสามารถรับแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะทำให้พืชมีการสะสมอาหารได้สูง อย่างไรก็ตาม LAI ของข้าวจะเพิ่มขึ้นตามอายุของข้าว และจะมีค่าสูงสุดเมื่อข้าวถึงระยะออกรวง หลังจากนั้น LAI จะลดลงเป็นลำดับเนื่องจากใบล่างแห้งตาย (Yoshida, 1981) โดยปกติ LAI จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของพืช Saitoh *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาในข้าวพันธุ์ Takanari และ Nipponbare พบว่า CGR จะเพิ่มขึ้นตาม LAI ที่เพิ่มขึ้น และ Roy *et al.* (2003) ศึกษาในข้าวพันธุ์พื้นเมืองและข้าวพันธุ์ปรับปรุง พบว่า LAI และ CGR ในระยะแรกของการเจริญเติบโตต่ำ และ LAI จะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงออกรวงและลดลงหลังจากนั้น ซึ่ง CGR และ LAI จะมีผลทางอ้อมกับความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืช กล่าวคือถ้าข้าวมี CGR และ LAI ที่ระยะแตกกอสูงจะมีความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืชได้ดี (Ni *et al.* 2000) นอกจากนี้ Raju *et al.* (2003) ยังพบว่า CGR หลังออกดอก และ LAI ที่ระยะออกดอกมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อการให้ผลผลิตของข้าว โดยการให้ผลผลิตสูงของข้าวถูกผสมส่วนใหญ่เนื่องจากมีจำนวนหน่อต่อกอและน้ำหนักของเมล็ดสูง ซึ่งทั้งสองลักษณะมีความสัมพันธ์กับ CGR และ LAI สูง

2.1.4 พื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area; SLA) และ LAI

พื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) คือ อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งใบ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถใช้บ่งบอกถึงความหนาบางของใบ SLA เป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืช กล่าวคือหากพืชมีใบหนา นั้นหมายถึงพืชจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบมาก ในทางตรงกันข้ามหากพืชมีใบบางก็จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบน้อยกว่า

Dingkuhn *et al.* (2001) รายงานว่า SLA เป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแตกกอของข้าว โดยพบที่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่าง SLA กับความสามารถในการแตกกอ (tillering ability) ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) และความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืช (weed competitive) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Dingkuhn *et al.* (1998) ที่พบมีความสัมพันธ์ระหว่าง SLA และ LAI ในข้าวลูกผสมระหว่างข้าว *Oryza sativa* × *Oryza glaberrima* ซึ่ง SLA เป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของข้าวในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและเกี่ยวข้องกับ LAI โดยข้าวที่ให้ผลผลิตสูง คือข้าวที่มีความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืชได้ดี เนื่องจากข้าวที่มี SLA สูงจะทำให้สามารถพัฒนาพื้นที่ใบได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากข้าวเข้าสู่ระยะสืบพันธุ์แล้วค่า SLA จะลดลงอย่างรวดเร็ว

2.2 สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าว

สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการปลูกข้าวแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สภาพแวดล้อมทางกายภาพ ได้แก่ ดิน น้ำ และภูมิอากาศ (ลม ฝน อุณหภูมิ ความชื้น และพลังงานแสงอาทิตย์) และสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ ได้แก่ โรค แมลง นก หนู ปู ปลา หอย และจุลินทรีย์ในดิน สภาพแวดล้อมทั้ง 2 ประเภท ถ้าอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสมจะเป็นปัจจัยสำคัญในการจำกัดการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของข้าวได้ ยกตัวอย่างเช่น

2.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของอากาศนอกจากจะมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของต้นข้าวแล้วยังมีผลต่อการพัฒนาด้านการสืบพันธุ์ของข้าว ซึ่งจะนำไปสู่การให้ผลผลิตของข้าว ถ้าอุณหภูมิต่ำในระหว่างการพัฒนาขอรวงจะทำให้ข้าวเป็นหมันเพิ่มขึ้น (Gunawardena *et al.* 2003) ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปก็ทำให้ข้าวเป็นหมัน (Matsui *et al.* 2000) และทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดต่อรวงลดลง 9.7-12.3 เปอร์เซ็นต์ (กณิตา ธณเจริญชนภาส และโอรส รักษาติ. 2552)

2.2.2 น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวหรือพืชอื่นๆ ทุกชนิด โดย Boonjung and Fukai (1996) กล่าวว่าความแห้งแล้งมีผลกระทบต่อพัฒนาลักษณะทางสรีรวิทยาการสะสมน้ำหนักแห้ง ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

อย่างไรก็ตามการเกิดความแห้งแล้งในระหว่างการเจริญเติบโตทางลำต้นจะมีอิทธิพลไม่มากต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต แต่หากเกิดความแห้งแล้งระหว่างการพัฒนาช่อรวงจะมีผลกระทบค่อนข้างมาก โดยทำให้ดอกบานช้า จำนวนดอกต่อช่อรวงลดลง และเปอร์เซ็นต์ของการเต็มเต็มเมล็ดลดลง

2.2.3 แสง

ความยาวของช่วงแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวของวัน โดยข้าวพันธุ์พื้นเมืองซึ่งเป็นพันธุ์ไวต่อช่วงแสง ส่วนใหญ่มีช่วงแสงที่เหมาะสมเพื่อกระตุ้นให้เปลี่ยนจากระยะ vegetative ไปสู่ระยะ reproductive อยู่ประมาณ 9-10 ชั่วโมง หากช่วงแสงยาวหรือสั้นกว่านี้ทำให้การออกดอกล่าช้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุกรรม (Yoshida, 1981) อย่างไรก็ตามในพันธุ์ข้าวที่ได้รับการปรับปรุงไม่ให้ความไวต่อช่วงแสงนั้นพบว่าความยาวของช่วงแสงมีอิทธิพลต่ออายุการออกดอกของข้าวในกลุ่มนี้น้อยมาก กล่าวคืออายุการออกดอกของแต่ละพันธุ์จะมีความแปรปรวนน้อยมากไม่ว่าจะปลูกในช่วงเวลาใดของปีก็ตาม

2.2.4 ความชื้นและลม

ผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อต้นข้าว นั้นมักแยกไม่ออกอย่างเด่นชัดจากผลของอุณหภูมิ โดย Matsui *et al.* (1997) ศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเร็วลม และอิทธิพลของอุณหภูมิสูงที่มีผลต่อความสมบูรณ์พันธุ์ของดอกข้าว พบว่าที่อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส ดอกข้าวมีความสมบูรณ์พันธุ์สูงที่สุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 45 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ และต่ำที่สุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วลมสูงกว่า 0.85 เมตรต่อวินาที ทำให้ความสมบูรณ์พันธุ์ของดอกข้าวลดลงเนื่องจากทำให้จำนวนละอองเกสรที่ติดบนยอดเกสรตัวเมียลดลง

2.2.5 อิทธิพลของวันปลูก

Gomez and Gomez (1984) กล่าวว่า การเจริญเติบโตของพืชอยู่ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยหลายปัจจัย เช่น แสงแดด อุณหภูมิ ปริมาณของน้ำฝนและคุณสมบัติบางประการของดิน ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่และฤดูปลูกซึ่งต่างก็มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ทั้งสิ้น Ghosh *et al.* (2004) ศึกษาอิทธิพลของวันปลูกและการจัดการปุ๋ยในโตรเจนต่อผลผลิตและคุณภาพความหอมของข้าว โดยทำการศึกษาสองวันปลูกได้แก่ วันที่ 2 และ 23 กุมภาพันธ์ ในฤดูแล้ง พบว่าการปลูกล่าช้า (23 กุมภาพันธ์) ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง 0.88 ตันต่อเฮกตาร์ Buddhaboon *et al.* (2011) ศึกษาอิทธิพลของวันปลูกและพันธุ์ข้าวต่อการผลิตข้าวของประเทศไทย พบว่าทั้งวันปลูกและพันธุ์ข้าวมีผลกระทบต่อการใช้ผลผลิตของข้าว โดยพันธุ์พิษณุโลก 2 เหมาะสำหรับปลูกในเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคมสำหรับการผลิตข้าวในต้นฤดูฝน และพันธุ์ปทุมธานี 1 เหมาะสำหรับปลูกต้นเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นฤดูแล้ง Nahar *et al.* (2009) ศึกษาผลของความเครียดจากอุณหภูมิต่ำซึ่งได้รับอิทธิพลจากวันปักดำต่อผลผลิตของข้าวใน

ประเทศบังกลาเทศ โดยทำการศึกษาวนปีค่าที่แตกต่างกัน 4 วันปีค่า ได้แก่ วันที่ 1, 10, 20 และ 30 กันยายน พบว่าการปีค่าล่าช้า คือ วันที่ 10, 20 และ 30 กันยายน ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงและข้าวเป็นหมันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากข้าวได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิต่ำที่ระยะกำเนิดช่อร์วง นอกจากนี้จินตนา ทยาธรรม และคณะ (2548) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อการทำลายของแมลงบัว พบว่าการปีค่าเร็ว (มิถุนายน) มีการทำลายของแมลงบัวมากกว่าการปีค่าปกติ (กรกฎาคม) แต่ให้ผลผลิตได้ดีกว่า ส่วนการปีค่าช้า (สิงหาคม) ไม่มีการทำลายของแมลงบัว แต่ให้ผลผลิตต่ำกว่าการปีค่าเร็วและการปีค่าปกติ

2.3 แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CSM-CERES-Rice)

แบบจำลอง CSM-CERES-Rice เป็นแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช (crop simulation model) ชนิดหนึ่งในตระกูลแบบจำลอง CERES (Crop-Environment Resource Synthesis) ซึ่งถูกบรรจุไว้ในโปรแกรม “ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer; DSSAT)” ที่พัฒนาโดยโครงการ IBNSAT (The International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) (Uehara and Tsuji. 1998) แบบจำลองนี้ยึดกระบวนการทางสรีรวิทยาและการสะสมน้ำหนักของส่วนต่างๆ ของพืชในแต่ละช่วงเวลาของการเจริญเติบโตและการพัฒนาเป็นหลัก และถูกออกแบบขึ้นเพื่อที่จะให้สามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาพแวดล้อม เป็นอิสระจากสถานที่ ฤดูกาล และระบบการจัดการ (Jones *et al.* 1998) โดยแบบจำลองการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชอาจจะตอบสนองต่อสภาพดิน อากาศ และการจัดการที่แตกต่างกัน ดังนั้นการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลนำเข้า (input data) ประกอบด้วย

2.3.1 ข้อมูลดิน

ข้อมูลดินเป็นข้อมูลที่แสดงถึงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของชุดดินในแต่ละชั้น โดยให้ครอบคลุมการเจริญของรากพืช ซึ่งข้อมูลทางด้านกายภาพของดิน ได้แก่ คุณสมบัติของเนื้อดิน (เปอร์เซ็นต์ sand, silt, clay) ความสามารถในการระบายน้ำ ความหนาแน่นของดิน (bulk density) รวมถึงความแตกต่างเกี่ยวกับโครงสร้างของชั้นดินในแต่ละระดับความลึก ส่วนข้อมูลทางเคมีของดินนั้นประกอบด้วยปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cations exchange capacity; CEC) อีกทั้งสามารถใช้ข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เพื่อคำนวณข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้สำหรับแบบจำลอง เช่น ปริมาณน้ำที่อิ่มตัว (saturated water content; SAT) ปริมาณน้ำสูงสุดที่มีการระบาย (drained upper limit of soil water content; DUL) หรือความจุความชื้นระดับสนาม (field capacity) และปริมาณน้ำในดินต่ำที่สุดที่พืชนำไปใช้ได้ (lower limit of plant extractable water; LL) หรือจุดเหี่ยวเฉาถาวร (permanent wilting point) เป็นต้น

2.3.2 ข้อมูลอากาศ

ข้อมูลอากาศรายวันที่จำเป็นสำหรับการจำลองสถานการณ์โดยแบบจำลอง ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) พลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (เมกาจูลต่อตารางเมตรต่อวัน) อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส) ข้อมูลอากาศนี้ต้องมีการเก็บบันทึกให้ครอบคลุมฤดูปลูกมากที่สุด อย่างน้อยให้ตลอดอายุการเจริญเติบโตของพืชที่ทำการศึกษา ข้อมูลอากาศเหล่านี้ควรได้จาก สถานีตรวจอากาศที่อยู่ในบริเวณสถานที่ทำการทดลองจริง หรือสถานที่ที่ต้องการจำลองสถานการณ์ หากไม่มีสถานีตรวจอากาศในบริเวณดังกล่าว อาจใช้ข้อมูลอากาศที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแปลงทดลอง หรือพื้นที่ที่ต้องการจำลองสถานการณ์มากที่สุด

2.3.3 ข้อมูลการจัดการ

ข้อมูลการจัดการที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง ประกอบด้วย วันปลูก ระยะปลูก ความลึกของการปลูก วันงอก ความหนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร และวันเก็บเกี่ยวผลผลิต ในกรณีของการจำลองการเจริญเติบโตของพืชภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ย รายละเอียดของวันที่และปริมาณการให้น้ำและปุ๋ยก็มีความสำคัญมากเช่นกัน

2.3.4 ข้อมูลแสดงลักษณะจำเพาะพันธุ์

แบบจำลองต้องการข้อมูลแสดงลักษณะจำเพาะของพืชแต่ละพันธุ์หรือค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (genetic coefficients; GCs) เพื่ออธิบายการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่แตกต่างกันของพืชแต่ละพันธุ์ ผู้ใช้จำเป็นต้องศึกษาหรือประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืชชนิดนั้นๆ หากยังไม่มีการศึกษาหรือประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืชที่ต้องการจำลองสถานการณ์ก็จำเป็นต้องมีการประเมินค่าดังกล่าวก่อน ซึ่งโดยทั่วไปข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมได้จากการทดลองปลูกพืชชนิดนั้นๆ ในโรงเรือนทดลองที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม หากไม่มีโรงเรือนอาจสามารถคำนวณได้โดยอาศัยข้อมูลจากการปลูกพืชพันธุ์นั้นในหลายฤดูหรือหลายสภาพแวดล้อม

2.4 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว (model calibration)

ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของระยะพัฒนาการ (development coefficients) ซึ่งเป็นตัวแปรที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าว เช่น การออกดอกและการสุกแก่ทางสรีรวิทยามีทั้งหมด 4 ค่า (P1, P2O, P2R และ P5) และค่าสัมประสิทธิ์ของการเจริญเติบโต (growth coefficients) ที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณหรือการสร้างผลผลิตของข้าว 4 ค่า (G1, G2, G3 และ G4) Singh *et al.* (2002) ได้นิยามค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ไว้ดังนี้

P1 คือ ระยะเวลาที่มีการสะสมอุณหภูมิ (growing degree day; GDD (องศาเซลเซียส)) ที่เกินจากอุณหภูมิพื้นฐาน (base temperature) เท่ากับ 9 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะสิ้นสุดการเจริญพื้นฐาน (basic vegetative phase) หรือเป็นระยะที่ข้าวไม่ตอบสนองต่อช่วงความยาวแสง

P2O เป็นค่าความยาววันวิกฤติ (critical photoperiod) หรือช่วงเวลากลางวันที่ยาวที่สุด (ชั่วโมง) ที่ทำให้การกำเนิดช่อรวงเกิดขึ้นในอัตราสูงสุด ถ้าค่าความยาววันมากกว่า P2O อัตราการกำเนิดช่อรวงจะลดลง

P2R เป็นระยะเวลาที่มีการชะลอการเกิดช่อรวง (panicle initiation; PI) GDD (องศาเซลเซียส) ต่อเวลา 1 ชั่วโมงของความยาววันที่เกิน P2O

P5 คือระยะเวลาที่มีการสะสมพลังงานความร้อนเป็น GDD (องศาเซลเซียส) ตั้งแต่เริ่มสะสมน้ำหนักเมล็ด (grain filling) (3-4 วันหลังจากออกดอก) จนถึงสุกแก่ทางสรีรวิทยาที่มี base temperature เท่ากับ 9 องศาเซลเซียส

G1 คือ จำนวนดอกสูงสุด (potential spikelet) ที่ประมาณจากจำนวนดอกย่อย (spikelet) ต่อน้ำหนักแห้งของต้นแม่ (main culm) 1 กรัม (โดยที่ไม่รวมแผ่นใบและกาบใบและ spikes) ในช่วง anthesis ค่าต้นแบบ (typical value) คือ 55

G2 คือ น้ำหนักเมล็ดหนึ่งเมล็ด (กรัม) ภายใต้สภาพการปลูกแบบ ideal growing condition หมายถึง ไม่มีข้อจำกัดทางแสง น้ำ ธาตุอาหาร และไม่มีแมลงศัตรูและโรค

G3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแตกกอ tillering coefficient (scalar value) โดยเทียบกับพันธุ์ IR 64 ภายใต้สภาพไม่มีข้อจำกัดของสภาพแวดล้อม พันธุ์ที่มีการแตกกอสูงกว่าพันธุ์ดังกล่าวจะมีค่าสัมประสิทธิ์มากกว่า 1.0

G4 คือ สัมประสิทธิ์ความทนทานเชิงอุณหภูมิ ค่าปกติ 1.0 สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในสภาพปกติ ค่า G4 สำหรับข้าวชนิด Japonica ที่ปลูกในสภาพที่ร้อนจะเท่ากับหรือมากกว่า 1.0 และค่า G4 สำหรับข้าวชนิด Indica ในสภาพอากาศเย็นมากจะน้อยกว่า 1.0

จากนิยามค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว Singh *et al.* (1993) รายงานว่าช่วงข้อมูลปกติของค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวควรจะมีค่าดังนี้

ลักษณะพัฒนาการ		ช่วงของข้อมูลปกติ	หน่วย
ระยะกล้าจนถึงระยะสิ้นสุดการเจริญพื้นฐาน	P1	300 – 900	GDD (องศาเซลเซียส)
ช่วงแสงวิกฤติ	P2O	10 – 14	ชั่วโมง
ระยะเวลาที่มีการชะลอการเกิดช่อรวง	P2R	5 – 250	GDD ต่อชั่วโมง
ระยะเวลาการสะสมน้ำหนักรวมเมล็ด	P5	300 – 900	GDD (องศาเซลเซียส)

ลักษณะการเจริญเติบโต		ช่วงของข้อมูลปกติ	หน่วย
จำนวนดอกสูงสุด	G1	30 – 100	
น้ำหนักหนึ่งเมล็ด	G2	0.022 – 0.029	กรัม
ค่าสัมประสิทธิ์การแตกกอ	G3	0.5 – 2.0	
ค่าสัมประสิทธิ์ความทนทานเชิงอุณหภูมิต่ำ	G4	0.7 – 1.5	

สำหรับในประเทศไทยได้มีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวบางพันธุ์ไว้บ้างแล้ว โดยวิธีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมอาจใช้วิธีการลองผิดลองถูกปรับค่าสัมประสิทธิ์จนกว่าจะให้ค่าจำลองที่น่าพอใจหรือสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จากการทดลอง แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวมีจำนวนมากถึง 8 ลักษณะ และการปรับค่าใดค่าหนึ่งของลักษณะหนึ่งมีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ลักษณะอื่นด้วย ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากในการปฏิบัติ จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยให้การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมทำได้สะดวก รวดเร็วขึ้น (จิรวุฒน์ เวชแพศย์ และคณะ. 2543) ซึ่งโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม GENCALC (Genotype Coefficient Calculator) ซึ่งการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมด้วยการใช้ GENCALC ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ในการคำนวณ เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงค่า และจำนวนรอบที่ต้องการคำนวณได้ โดยโปรแกรมจะเลือกรอบที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ root mean square error (RMSE) ที่ต่ำที่สุดมาแสดงการเปรียบเทียบ ทำเช่นนี้จนกว่าจะได้ค่าที่เห็นว่าดีที่สุดสำหรับค่าสัมประสิทธิ์นั้น จากนั้นก็ปรับค่าอื่น จนกว่าจะแล้วเสร็จ โดยทั่วไปการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมจะเริ่มจากค่า P1 ตามลำดับจนถึงค่า G3 ข้อสังเกตสำหรับ GENCALC ได้แก่ โปรแกรมไม่มีการปรับค่า G4 (ชัชวาล บุดคาบุญ และคณะ. 2554)

นอกจากโปรแกรม GENCALC แล้วยังมีโปรแกรมใหม่ที่จะมีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมอีกโปรแกรมหนึ่ง คือ โปรแกรม GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมด้วยการใช้ GLUE จะเป็นการคำนวณแบบสุ่มในการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ภายใต้ช่วงข้อมูลปกติของค่าสัมประสิทธิ์นั้น ผู้ใช้สามารถเลือกให้ปรับค่าพัฒนาการ (Phenology) หรือค่าการเจริญเติบโตหรือผลผลิต (Growth) หรือทั้งสองอย่างพร้อมกันได้ สำหรับจำนวนรอบในการปรับเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมนั้น ผู้พัฒนาโปรแกรมแนะนำให้เริ่มต้นที่ 6,000 ซึ่งหมายถึง 12,000 รอบ (6,000 รอบของค่าพัฒนาการ และ 6,000 รอบของค่าการเจริญเติบโต) สำหรับการปรับค่าสัมประสิทธิ์ด้านพัฒนาการ (Phenology coefficients) และด้านค่าการเจริญเติบโตหรือผลผลิต (Growth coefficients) ซึ่งต้องใช้เวลามากในการคำนวณ (ชัชวาล บุดคาบุญ และคณะ. 2554)

สำหรับข้อแตกต่างในการใช้ GENCALC และ GLUE เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว ชีษณูชา บุคดาบุญ และคณะ (2554) กล่าวว่า การใช้ GENCALC ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ ผู้ใช้ต้องมีความชำนาญและทักษะในการปรับค่าสัมประสิทธิ์เนื่องจากต้องพิจารณาว่าควรหยุดการคำนวณที่ค่าใดจึงจะเหมาะสมและดีที่สุด ซึ่งข้อดีสำหรับการใช้ GENCALC ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ คือ ใช้เวลาในการคำนวณน้อย ในขณะที่การใช้ GLUE จะใช้ได้สะดวกกว่า GENCALC แต่ต้องใช้เวลาในการคำนวณ ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบในการปรับค่าสัมประสิทธิ์และกรรมวิธีที่นำมาเป็นข้อมูลนำเข้าในการคำนวณ อย่างไรก็ตามทั้งโปรแกรม GENCALC และ GLUE สามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวได้ แต่การที่จะเลือกใช้โปรแกรมใดนั้นขึ้นอยู่กับความชำนาญและทักษะในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ตลอดจนความสะดวกของผู้ใช้เป็นสำคัญ

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวที่ประเมินได้จากการใช้โปรแกรม GENCALC และ GLUE แสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าถึงแม้จะเป็นข้าวพันธุ์เดียวกันแต่วิธีที่ใช้ในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมแตกต่างกันจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวเนื่องจากข้าวพันธุ์เดียวกันควรมีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมเท่ากันเพราะเป็นลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์นั้น

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่ประเมินโดยใช้โปรแกรม GENCALC และ GLUE

วิธีการประเมิน	พันธุ์	ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม								อ้างอิง
		P1	P2R	P5	P2O	G1	G2	G3	G4	
GENCALC	ชัยนาท 1	570.0	122.00	334.0	11.90	63.10	0.0270	1.00	1.00	ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และคณะ (2542)
	ชัยนาท 1	742.6	25.00	445.5	11.74	37.06	0.0278	1.00	1.00	ชิษณุชา บุคคาบุญ และคณะ (2554)
	ปทุมธานี 1	530.0	122.00	373.0	11.90	64.30	0.0270	1.00	1.15	ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และคณะ (2542)
	ปทุมธานี 1	769.0	28.70	414.7	12.07	37.67	0.0266	1.00	1.00	ชิษณุชา บุคคาบุญ และคณะ (2554)
	พิษณุโลก 2	712.2	23.50	422.8	11.90	40.38	0.0267	1.00	0.90	ชิษณุชา บุคคาบุญ และคณะ (2554)
	ขาวดอกมะลิ 105	420.0	2000.00	350.0	13.00	75.00	0.0270	1.00	1.00	Mankeb (1993)
	ขาวดอกมะลิ 105	550.0	2000.00	362.4	12.80	57.30	0.0270	3.05	1.00	Cheyglinted <i>et al.</i> (2001)
GLUE	ชัยนาท 1	465.5	161.20	400.6	12.67	64.67	0.0270	0.346	1.25	ชิษณุชา บุคคาบุญ และคณะ (2554)
	ปทุมธานี 1	561.2	41.16	374.3	11.80	74.83	0.0250	0.510	1.25	ชิษณุชา บุคคาบุญ และคณะ (2554)
	พิษณุโลก 2	320.3	187.40	426.4	12.33	55.33	0.0260	0.425	1.25	ชิษณุชา บุคคาบุญ และคณะ (2554)

2.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในระบบการผลิตข้าว

ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสามารถจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชในสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แล้วหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วลิสง มันฝรั่ง มันสำปะหลัง อ้อย ทานตะวัน มะเขือเทศ และข้าว เป็นต้น (Hoogenboom *et al.* 1999) ซึ่งปัจจุบันแบบจำลองข้าวก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายแนวทาง เช่น

การใช้แบบจำลอง CERES-Rice ในการประเมินระยะพัฒนาการของข้าว โดย Jintrawet (1995) ทำการประเมินศักยภาพของแบบจำลอง CERES-Rice (v.2) สำหรับข้าวพันธุ์ไวแสงและไม่ไวแสง โดยทำการปลูกข้าวในระยะเวลา 2 ปี จำนวน 6 สถานที่ พบว่า สำหรับข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง แบบจำลองสามารถทำนายระยะพัฒนาการ ได้อย่างแม่นยำ แต่สำหรับพันธุ์ไวแสง แบบจำลองทำนายวันออกดอก (heading) ได้ต่ำกว่าข้อมูลจริง Fukai (1999) นำแบบจำลองมาใช้ในการทำนายวันออกดอกของข้าวนาชลประทานและข้าวหน้าน้ำฝน พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายวันออกดอก ได้อย่างแม่นยำในข้าวนาชลประทาน แต่อย่างไรก็ตามในข้าวหน้าน้ำฝนที่เกิดความแห้งแล้ง และดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แบบจำลองจะทำนายวันออกดอกของข้าว ได้ล่าช้าออกไป และ Wikarnpapraharn and Kositsakulchai (2010) พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายวันกำเนิดช่อดอก และวันออกดอกของข้าวได้ดี

การใช้แบบจำลอง CERES-Rice ในการประเมินผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต เช่น Godwin *et al.* (1990) เปรียบเทียบผลผลิตเมล็ดและมวลชีวภาพของข้าวที่ปลูกในหลายสภาพแวดล้อม ในประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าโดยส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกันระหว่างผลที่ได้จากการจำลอง และข้อมูลที่ได้จากแปลงทดลองจริง Tongyai (1994) พบว่าแบบจำลอง CERES-Rice ทำนายผลผลิตเมล็ด ได้สูงกว่าข้อมูลจริงประมาณ 0.2-0.4 ตันต่อเฮกตาร์ (4.5 - 9 เปอร์เซ็นต์) และทำนายมวลชีวภาพได้ต่ำกว่าข้อมูลจริงประมาณ 0.8-1.0 ตันต่อเฮกตาร์ (10 - 12 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ Jintrawet (1995) พบว่า CERES-Rice สามารถทำนายน้ำหนักเมล็ด จำนวนเมล็ด และผลผลิตเมล็ดของข้าวทั้งพันธุ์ไวแสงและไม่ไวแสง ได้ค่อนข้างดี

การใช้แบบจำลอง CERES-Rice ต่อการจัดการด้านต่างๆ กับการให้ผลผลิตของข้าว โดย ศักดิ์คำ จงแก้ววัฒนา และคณะ (2543ก) ทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว CERES-Rice ภายใต้การจัดการน้ำและระดับปุ๋ยใน ไตรเจนที่ต่างกันของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และชัชนาท 1 พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองระยะพัฒนาการและผลผลิตของข้าวได้ดี ทั้งนี้เห็นได้จากการที่แบบจำลองมีความสามารถตอบสนองต่อการจัดการด้านปุ๋ยในไตรเจนและการจัดการน้ำได้ดีและสอดคล้องกับงานที่ทำการทดสอบในภาคสนาม Cheyglinted *et al.* (2001) ใช้แบบจำลอง CERES-Rice ในการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว 4 พันธุ์ กับอัตราและเวลาในการใส่ปุ๋ยในไตรเจน พบว่าแบบจำลองทำนายผลผลิตได้สูงกว่าค่าสังเกตเล็กน้อยสำหรับทุกพันธุ์ที่ใส่ปุ๋ยในไตรเจน 75 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ แต่ความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตและการจำลองผลผลิตไม่

แตกต่างกันทางสถิติ Mahmood *et al.* (2004) ศึกษาบทบาทของความเครียดน้ำต่อการผลิตข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice พบว่าเมื่อเกิดความเครียดน้ำในระยะออกดอกและสุกแก่จะทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง

สำหรับการนำแบบจำลอง CERES-Rice ไปประยุกต์ใช้เพื่อหาวันปลูกที่เหมาะสม Kerdsuk (2002) พบว่าวันปลูกที่เหมาะสมสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 อยู่ระหว่าง วันที่ 1 ถึง 15 มิถุนายน ทั้งวิธีการปลูกแบบหว่านและปักดำ โดยความไม่แน่นอนของผลผลิตข้าวมีอิทธิพลจากระยะเวลาปลูกซึ่งเกี่ยวกับช่วงแสงและปริมาณน้ำฝนมากกว่าลักษณะของพื้นที่นาที่มีภูมิทัศน์และลักษณะดินน้ำ ต่างกัน และการปลูกข้าวเร็วในต้นฤดูมีแนวโน้มจะให้ผลผลิตสูงกว่าปลูกช้า โดยเดือนมิถุนายนจะเหมาะสมที่สุด (สุรจิต ภูภักดี และ บาส เบาว์แมน. 2551) อย่างไรก็ตามปัจจัยการผลิตที่สำคัญนอกเหนือจากการกำหนดอัตราปุ๋ยใน โตรเจนและสภาพพื้นที่การเพาะปลูกรวมถึงการกำหนดวันปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวแล้ว อีกปัจจัยหนึ่งซึ่งจัดว่าเป็นกรรมวิธีการจัดการการผลิตที่มีส่วนในการกำหนดและมีผลต่อการพัฒนาการและผลผลิตของข้าว ได้แก่ พันธุ์ข้าวและกรรมวิธีการปลูกซึ่งแบ่งออกเป็นการปักดำข้าวและการหว่านน้ำตม ดังนั้น เพื่อให้การทดสอบแบบจำลอง CERES-Rice ครอบคลุมปัจจัยและวิธีการจัดการการปลูกข้าวได้กว้างมากขึ้นจึงมีการนำแบบจำลอง CERES-Rice มาศึกษาการตอบสนองของข้าวในเรื่องพัฒนาการและการให้ผลผลิตต่อวิธีการปลูกแบบปักดำและแบบหว่านน้ำตมที่ปลูกโดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ต่างกัน พบว่าผลผลิตของข้าวที่หว่านในอัตราเมล็ดพันธุ์ที่ต่างกันและการปักดำข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวที่ปลูกด้วยความหนาแน่นต่ำกว่าจะมีการทดแทนของการแตกกอและองค์ประกอบผลผลิต ซึ่งผลสุดท้ายจะได้ผลผลิตที่ใกล้เคียงกับข้าวที่ปลูกด้วยจำนวนประชากรที่สูง (ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และคณะ. 2543ข)

การใช้แบบจำลอง CERES-Rice ในการจำลองผลกระทบของสภาพบรรยากาศในอนาคตต่อการผลิตข้าว โดย Amgain *et al.* (2006) ศึกษาอิทธิพลของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงและปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 4 องศาเซลเซียส พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของรังสีดวงอาทิตย์ 1 เมกาจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง 32 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 20 ppm จากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐาน คือ 335 ppm ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง 33 เปอร์เซ็นต์ และแบบจำลองยังสามารถนำมาใช้ในการจำลองแนวโน้มในการให้ผลผลิตย้อนหลังได้ เช่น Swain and Yadav (2009) จำลองผลกระทบของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงต่อผลผลิตของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice และใช้ข้อมูลอากาศย้อนหลัง 27 ปี (1974-2000) ของประเทศอินเดีย พบว่าผลผลิตของข้าวมีความแปรปรวนสูงในพันธุ์ที่มีอายุยาว (140 วัน) เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่มีอายุปานกลาง (120 วัน) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยผลผลิตของพันธุ์อายุยาวกับการเพิ่มขึ้นของ

ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ 100 ppm ทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น 6 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้การให้น้ำและธาตุอาหารที่เหมาะสม และอุณหภูมิเฉลี่ยเป็น 20 องศาเซลเซียส ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงทั้งพันธุ์อายุปานกลางและอายุยาว แต่การเพิ่มขึ้นของผลผลิตในพันธุ์อายุยาวจะมากกว่า แสดงให้เห็นว่าพันธุ์อายุยาวมีการปรับตัวต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าพันธุ์อายุปานกลางภายใต้สภาพการจัดการที่เหมาะสม

การนำแบบจำลองมาใช้ในการประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น Aggarwal *et al.* (1996) ใช้แบบจำลอง ORYZA1 ศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มศักยภาพผลผลิตของข้าว พบว่าการเปลี่ยนค่าลักษณะต่างๆ ที่ลักษณะขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ศักยภาพผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่หากทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆ ร่วมกันหลายลักษณะจะทำให้ผลผลิตข้าวที่ได้จากการทำนายเพิ่มขึ้นประมาณ 15-40 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ Mall and Aggarwal (2002) นำแบบจำลอง CERES-Rice และ ORYZA1 มาใช้ในการจำลองดัชนีพื้นที่ใบ พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายดัชนีพื้นที่ใบได้สอดคล้องกับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากการสังเกต

นอกจากที่กล่าวมาแล้วแบบจำลองยังสามารถนำมาใช้ในการศึกษาผลการทำลายของศัตรูพืชในข้าว (Pinnschmidt *et al.* 1995) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าแบบจำลอง CERES-Rice จะแสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาใช้ในการทำนายการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิตข้าว การจัดการด้านต่างๆ ผลกระทบของสภาพบรรยากาศต่อการผลิตข้าว รวมทั้งลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้ค่อนข้างดีในแถบเอเชีย ดังตัวอย่างการศึกษาที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า เมื่อนำไปศึกษากับแหล่งอื่นๆ แล้วจะให้ผลเหมือนกัน (Timsina and Humphreys. 2003) ในการประเมินศักยภาพของแบบจำลอง จึงควรทำให้ครอบคลุมแหล่งปลูกที่สำคัญโดยการทดสอบในหลายสภาพแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันทางด้านสภาพภูมิอากาศ สภาพดิน หรือแม้กระทั่งการจัดการด้านต่างๆ เพื่อให้ได้ผลที่มีความน่าเชื่อถือและได้รับการยอมรับ เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์จริงต่อไป

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 พืชทดลอง

ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง จำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 (กข31) และพิษณุโลก 2

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 กระจกพลาสติกสีดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 นิ้ว สูง 31 เซนติเมตร

3.1.2.2 ถังพลาสติกสีดำ ถังพลาสติกใส และ ถังกระดาษอบตัวอย่างพืช

3.1.2.3 ปุ๋ยเคมี ได้แก่

- ปุ๋ยแอม โมเนียมฟอสเฟต (16-20-0)

- ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0)

- ปุ๋ยสูตรเสมอ (15-15-15)

3.1.2.4 สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืช ได้แก่

- abamectin (Avermectin)

- cartap hydrochloride (Thiocarbamate)

- propineb (Polymeric-zinc propylenebis)

3.1.2.5 ท่อ PVC สำหรับทำตารางสี่เหลี่ยมขนาด 1×1 เมตร (quadrat)

3.1.2.6 อุปกรณ์เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

3.1.2.7 เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 และ 3 ตำแหน่ง

3.1.2.8 ตู้อบตัวอย่างพืช (hot air oven)

3.1.2.9 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน

3.1.2.10 อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ กรรไกร ไม้บรรทัด ดลับเมตร ปากกาเมจิ แผ่นนับเมล็ดข้าว กระสอบ ไม้ไผ่ เชือกไนลอน เชือกฟาง ตาข่ายดักนก ป้ายชื่อ

3.1.2.11 Computer, โปรแกรม Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) version 4.5 package, โปรแกรม GLUE และโปรแกรม WeaData 1.0

3.2 สถานที่ทำการทดลองและแผนการดำเนินการ

แปลงนาเกษตรกร แขวงชุมทอง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร เริ่มทำการทดลองระหว่างเดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนสิงหาคม 2555

ขั้นตอน การดำเนินงาน	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
การทดลองที่ 1			2553									
การทดลองที่ 2						2553						
การทดลองที่ 3									2554			
การทดลองที่ 4								2555				
การวิเคราะห์ และสรุปผล การทดลอง									2554			
									2555			

3.3 วิธีการดำเนินการ

3.3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาในสภาพแปลงทดลอง และส่วนที่ 2 ศึกษาในสภาพกระถางทดลอง

3.3.1.1 การศึกษาในสภาพแปลงทดลองเป็นการปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ข้าวจำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 (กข31) และพิษณุโลก 2 ที่แปลงนาแขวงชุมทอง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 4 ซ้ำ โดยกำหนดขนาดแปลงย่อย 4×4 เมตร และใช้ระยะปลูก 25×25 เซนติเมตร ปลูกโดยใช้วิธีการปักดำด้วยอายุกล้าประมาณ 25-30 วัน และ

ปักดำจำนวน 3 ต้นต่อกอ โดยก่อนการเตรียมดินทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร นำมาชั่งน้ำหนักก่อนอบ จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งอีกครั้งหนึ่ง เพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่นดิน (bulk density) และสุ่มเก็บตัวอย่างดิน 3 จุดทั่วทั้งแปลงปลูกเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ โดยใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวจำนวน 7 พันธุ์ ที่มีความงอกไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ชั่งน้ำหนักพันธุ์ละ 0.8 กิโลกรัม เพื่อหว่านในพื้นที่ 16 ตารางเมตร หลังจากนั้นนำเมล็ดใส่กระสอบแล้วมัดปากให้แน่นนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาวางเรียงไว้โดยมีช่องระบายอากาศเล็กน้อยและนำกระสอบเปียกปิดทับกองกระสอบข้าวทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง ตรวจสอบหากมีรากสีขาวยาว 3-5 มิลลิเมตร ก็นำไปหว่านได้

การเตรียมแปลงตกกล้า สูบน้ำเข้าแปลงทิ้งไว้ 3 วัน ไถตะและไถแปรแล้วคราดดินให้เหลวจนเป็นเทือก พร้อมกับปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอและทำการวัดและแบ่งแปลงกล้าให้มีขนาด 4x4 เมตร จำนวน 7 แปลง เว้นระยะห่างระหว่างแปลง 50 เซนติเมตร โดยก่อนหว่านเมล็ด 1 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการดูแลแปลงตกกล้า หลังจากหว่านเมล็ด 1-2 วัน รักษาระดับน้ำให้อยู่ระดับเดียวกับเมล็ด หลังจากนั้นค่อยๆ เพิ่มระดับน้ำให้อยู่ระหว่าง 2-3 เซนติเมตร เมื่อต้นกล้าอายุได้ 25-30 วัน จึงถอนไปปักดำ

การเตรียมแปลงปักดำ โดยการไถพร้อมกับปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอและทำการวัดและแบ่งแปลงทดลองให้มีขนาด 4x4 เมตร จำนวน 28 แปลง เว้นระยะห่างระหว่างแปลง 1 เมตร จากนั้นใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนปักดำ 1 วัน โดยใช้อายุกล้า 25-30 วัน มาปักดำในแปลง จำนวน 3 ต้นต่อกอ ใช้ระยะปักดำ 25x25 เซนติเมตร หากข้าวไม่มีการเจริญเติบโตหรือตาย ให้ทำการปลูกซ่อมภายใน 7 วันหลังจากปักดำ และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อข้าวเริ่มสร้างช่อจนถึงระยะตั้งท้องคือ 45-50 วันหลังจากปักดำ ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการดูแลแปลงปักดำ พยายามรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับ 5-10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลงตามสมควร

3.3.1.2 การศึกษาในสภาพกระถางทดลองเป็นการปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ข้าวจำนวน 7 พันธุ์ ซึ่งเป็นชุดเดียวกันกับที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 4 ซ้ำ และทำการปักดำวันเดียวกับที่ปักดำในแปลงทดลอง โดยใช้กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 นิ้ว สูง 31 เซนติเมตร การเตรียมดิน โดยนำดินจากบริเวณเดียวกับแปลงทดลองขึ้นมาและตากดินไว้ 7-10 วัน หลังจากนั้นย่อยดินให้มีขนาดเล็กลงและนำดินใส่กระถางขนาด 17 นิ้ว กระถางละ 16 กิโลกรัม ใส่น้ำและใส่ปุ๋ยก่อนปักดำ 1 วัน การปักดำใช้ต้นกล้าอายุประมาณ 25-30 วัน จำนวนกล้า 3 ต้นต่อกอ ปักดำจำนวน 5 กอต่อกระถาง การใส่ปุ๋ยในกระถางก่อนปักดำ 1 วัน ใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อข้าว

เริ่มสร้างรวงถึงระยะตั้งท้องคือ 45-50 วันหลังปักดำ ใส่น้ำปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการดูแลรักษาพยายามรักษาระดับน้ำในกระถางให้อยู่ระหว่าง 5-10 เซนติเมตร ตลอดฤดูปลูก ใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลงตามสมควร

3.3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาในสภาพแปลงทดลอง และส่วนที่ 2 ศึกษาในสภาพกระถางทดลอง โดยทั้ง 2 ส่วนเป็นการปลูกทดสอบพันธุ์ข้าวจำนวน 7 พันธุ์ ใน 3 วันปลูก ได้แก่ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 วันที่ 15 สิงหาคม 2553 และวันที่ 16 มกราคม 2554 การทดสอบในแต่ละวันปลูกวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 4 ซ้ำ โดยการศึกษาในสภาพแปลงทดลองจะกำหนดขนาดแปลงย่อย 4×4 เมตร และใช้ระยะปลูก 25×25 เซนติเมตร ปลูกโดยใช้วิธีการปักดำด้วยอายุกล้าประมาณ 25-30 วัน และปักดำจำนวน 3 ต้นต่อกอ ส่วนการศึกษาในสภาพกระถางทดลองจะทำการปักดำวันเดียวกับที่ปักดำในแปลงทดลองโดยใช้ต้นกล้าชุดเดียวกับแปลงทดลอง ปักดำจำนวน 5 กอต่อกระถาง และใช้จำนวนกล้า 3 ต้นต่อกอ สำหรับการเตรียมดิน การปลูก และการดูแลรักษาจะมีการปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.3.3 การทดลองที่ 3 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้ากับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมในแบบจำลอง (model calibration) และการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (model validation) แต่ก่อนที่จะประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมต้องนำข้อมูลที่เก็บบันทึกจากการทดลองที่ 1 และ 2 คือ ข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลพืช มาจัดให้อยู่ในรูปแบบที่แบบจำลองจะสามารถนำไปใช้ได้ โดยเพิ่มข้อมูลที่จัดเตรียมมีดังนี้

- 1) ไฟล์ข้อมูลดิน ประกอบด้วยข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางกายภาพของดิน
- 2) ไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศ ประกอบด้วยข้อมูลภูมิอากาศรายวัน คือ อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ความชื้นแสง และปริมาณน้ำฝนในช่วงทำงานทดลองจริง (พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2554)
- 3) ไฟล์ข้อมูลการจัดการ ประกอบด้วยข้อมูลการจัดการต่างๆ ในการทดลอง ได้แก่ ชื่อพันธุ์ วันปลูก ระยะปลูก ความหนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร ปริมาณการให้น้ำ และปริมาณและเวลาการใส่ปุ๋ย
- 4) ข้อมูลพืช หรือค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ประกอบด้วยข้อมูลลักษณะต่าง ๆ ด้านพัฒนาการและด้านการเจริญเติบโตของพืชที่ได้จากการทดลอง

นำเข้าข้อมูลทั้ง 4 ส่วน ให้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CSM-CERES-Rice) ใน DSSAT version 4.5 package เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นในการจำลอง โดยอาศัยข้อมูลของวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibration) ด้วยโปรแกรม GLUE และจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์ IR 64 เป็นค่าเริ่มต้นในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม สำหรับจำนวนรอบในการปรับเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมนั้นจะเริ่มต้นที่ 6,000 ซึ่งหมายถึง 12,000 รอบ (6,000 รอบของพัฒนาการ และ 6,000 รอบของการเจริญเติบโต) สำหรับการปรับค่าสัมประสิทธิ์ด้านพัฒนาการและด้านการเจริญเติบโตหรือผลผลิต หลังจากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ได้ให้แบบจำลองประมวลผลใหม่และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าสังเกตที่ได้จากการทดลอง ทำซ้ำเช่นนี้โดยเพิ่มจำนวนรอบในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมจนกว่าค่าที่ได้จากการจำลองจะใกล้เคียงกับค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองมากที่สุด ในการประเมินว่าค่าจำลองจะใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงมากน้อยเพียงใด สำหรับลักษณะด้านพัฒนาการและลักษณะด้านการเจริญเติบโตจะประเมินโดยใช้ค่า normalized root mean square error (RMSEn) และค่า index of agreement (d) (Anothai *et al.* 2008) ถ้าหากค่า d มีค่าใกล้เคียง 1 และ RMSEn มีค่าต่ำ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการสังเกตจริงในแปลงทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีความใกล้เคียงกัน โดยค่า RMSEn น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดีมาก เมื่อค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดี และเมื่อ RMSEn อยู่ระหว่าง 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ค่อนข้างดี และ RMSEn มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี (Rinaldi *et al.* 2003) ซึ่งค่า RMSEn และค่า d สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

- เมื่อ n = จำนวนของค่าสังเกต
 P_i = ค่าทำนายของการวัดครั้งที่ i
 O_i = ค่าสังเกตของการวัดครั้งที่ i

$$RMSEn = \frac{RMSE \times 100}{\bar{O}}$$

- เมื่อ RMSE = root mean square error
 \bar{O} = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i'| + |O_i'|)^2} \right], 0 \leq d \leq 1$$

เมื่อ	n	= จำนวนของค่าสังเกต
	P_i	= ค่าทำนายของการวัดครั้งที่ i
	O_i	= ค่าสังเกตของการวัดครั้งที่ i
	\bar{O}	= ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต
	P_i'	= $P_i - \bar{O}$
	O_i'	= $O_i - \bar{O}$

สำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (model validation) เพื่อประเมินว่าค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้จะสามารถทำนายลักษณะต่างๆ ของข้าวได้ดีเพียงใดนั้นจะใช้ข้อมูลของวันปลูกอื่นที่ไม่ได้ใช้ในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม คือ วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) เป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบ โดยจำลองลักษณะด้านพัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าว แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการสังเกตจริง โดยใช้ค่า RMSEn และ d เช่นเดียวกับการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ถ้าหากค่า d มีค่าใกล้เคียง 1 และ RMSEn มีค่าต่ำ แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้สามารถนำมาใช้ประเมินลักษณะต่างๆ ของข้าวได้ดี

3.3.4 การทดลองที่ 4 การประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

ข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ข้อมูลดิน ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลการจัดการ และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม เพื่อให้แบบจำลองใช้ในการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเป็นรายวัน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองประกอบด้วยระยะพัฒนาการของข้าว น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ของข้าว เช่น ใบ ต้น เมล็ด และราก พร้อมทั้งดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และพื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการจำลองสามารถนำมาใช้ในการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของข้าว โดยการนำข้อมูลน้ำหนักแห้งของข้าวที่ได้จากการจำลองมาคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ได้แก่ ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ และระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว จากนั้นประเมินความสอดคล้องระหว่างค่า CGR ที่ประเมินได้จากการจำลองสถานการณ์และค่าที่ได้จากการสังเกตจริงในแปลงทดลอง โดยใช้ค่า normalized root mean square error (RMSEn) และค่า index of agreement (d) (Anothai *et al.* 2008)

3.4 การบันทึกผลการทดลอง

3.4.1 การทดลองที่ 1 และ 2 บันทึกผลการทดลองดังนี้

1. ข้อมูลการเจริญเติบโต บันทึกข้อมูล โดยสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เก็บตัวอย่างเมื่อข้าวอายุ 30 วัน และ 45 วันหลังปักดำ โดยในสภาพแปลงทดลองสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวน 2 กอต่อแปลง ส่วนครั้งที่ 3 เก็บตัวอย่างข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว โดยสุ่มเก็บตัวอย่างในพื้นที่ 1 ตารางเมตร สำหรับในสภาพกระถางทดลองการสุ่มเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จะสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวน 1 กอต่อกระถาง และที่ระยะเก็บเกี่ยวจะเก็บตัวอย่างจำนวน 3 กอต่อกระถาง นำมาวัดความสูง นับจำนวนหน่อต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง จากนั้นนำต้นข้าวมาตัดแยกราก ต้น ใบ ทำการเจาะใบเพื่อนำไปวัดพื้นที่ใบ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งคงที่ เพื่อนำน้ำหนักแห้ง นำตัวอย่างพืชไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในต้น ใบ และเมล็ด

2. คำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของข้าว (crop growth rate; CGR) ที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ และระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว และคำนวณโดยใช้สูตรของ Radford (1967)

$$\text{Crop growth rate} = \frac{1}{\text{GA}} \times \frac{(W_2 - W_1)}{(T_2 - T_1)}$$

เมื่อ GA = พื้นที่ดิน (ground area)

W_1 = น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่ระยะเวลา T_1

W_2 = น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่ระยะเวลา T_2

T_1 = ระยะเวลาในการวัดน้ำหนักแห้งทั้งหมด ครั้งที่ 1

T_2 = ระยะเวลาในการวัดน้ำหนักแห้งทั้งหมด ครั้งที่ 2

3. ตรวจวัดหาค่าดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) เมื่อข้าวมีอายุ 30 และ 45 วันหลังปักดำ และที่ระยะเก็บเกี่ยว ทำการเจาะใบเพื่อหาพื้นที่ใบ และคำนวณหาค่าดัชนีพื้นที่ใบ โดยใช้สูตร

$$\text{Leaf area index} = \frac{\text{LA}}{\text{GA}}$$

เมื่อ LA = พื้นที่ใบทั้งหมด (total leaf area)

GA = พื้นที่ดิน (ground area)

4. ตรวจสอบวัดค่าพื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area; SLA) โดยใช้สูตร

$$\text{Specific leaf area} = \frac{\text{LA}}{\text{LW}}$$

เมื่อ LA = พื้นที่ใบ
LW = น้ำหนักใบแห้ง

5. ตรวจสอบวัดค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index; HI) ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\text{HI} = \frac{\text{economic yield}}{\text{biological yield}} = \frac{\text{ผลผลิต (น.น. เมตริก)}}{\text{น.น.แห้ง (ทั้งหมด)}}$$

3.4.2 การทดลองที่ 3 และ 4 บันทึกผลการทดลองดังนี้

1. การเก็บข้อมูลดิน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร ระดับละ 3 จุดทั่วทั้งแปลงและนำมาคลุกเคล้ากันเพื่อนำไปหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ซึ่งประกอบด้วยความหนาแน่นของดิน (bulk density) คุณลักษณะของเนื้อดิน (เปอร์เซ็นต์ sand, silt และ clay) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ความเป็นกรดและด่างของดิน (pH) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cations exchange capacity; CEC) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchange K) และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchange Ca)
2. ข้อมูลสภาพอากาศรายวัน ใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาของสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งใกล้เคียงแปลงปลูกมากที่สุด ประกอบด้วยอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด (องศาเซลเซียส) ความเข้มของแสง (เมกาจูลต่อตารางเมตรต่อวัน) และปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
3. ข้อมูลการจัดการทั่วไป ได้แก่ ชื่อพันธุ์ วันปลูก ระยะปลูก วันและอัตราการใส่ปุ๋ย ความหนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร
4. ข้อมูลพืช จดบันทึกวันแตกกอ วันแตกกอสูงสุด วันกำเนิดช่อรวง 50 เปอร์เซ็นต์ วันดอกบาน 50 เปอร์เซ็นต์ วันสุกแก่ 80 เปอร์เซ็นต์ และวันเก็บเกี่ยว

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำหรับการทดลองที่ 1 และ 2 นำข้อมูลที่เก็บบันทึกมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ตามแผนการทดลองที่วางไว้และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และวิเคราะห์ multiple regression โดยใช้โปรแกรม MSTATC ของ Michigan State University ส่วนการทดลองที่ 3 และ 4 ประเมินความสอดคล้องระหว่างผลการจำลองและข้อมูลที่ได้จากการสังเกตจริงโดยใช้ค่า normalized root mean square error (RMSEn) และค่า index of agreement (d)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว

การศึกษาในสภาพแปลงทดลอง

4.1.1 ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI)

ผลการศึกษาพบว่าค่า LAI ของข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ระยะการเจริญเติบโต 30 วันหลังปักดำ โดยที่ระยะดังกล่าวข้าวพันธุ์ชัชนาท 1 มีค่า LAI สูงที่สุดเท่ากับ 1.61 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 สำหรับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีค่า LAI ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.77 ส่วนผลการวิเคราะห์ที่ระยะการเจริญเติบโต 45 วันหลังปักดำ และระยะเก็บเกี่ยวพบว่าค่า LAI ของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพแปลงทดลอง

พันธุ์	LAI ที่วันหลังปักดำ		
	30 วัน ^{1/}	45 วัน	เก็บเกี่ยว
ชัชนาท 1	1.61a	4.21	2.24
สุพรรณบุรี 1	1.15abc	3.53	3.58
สุพรรณบุรี 2	1.03bc	2.73	2.22
สุพรรณบุรี 3	0.77c	2.44	2.77
ปทุมธานี 1	1.19abc	2.68	2.50
ปทุมธานี 80	1.50ab	3.20	2.43
พิษณุโลก 2	1.33ab	3.14	3.16
F-test	*	ns	ns
C.V. (%)	24.74	25.87	23.96

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.1.2 พื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area; SLA)

ที่ระยะเวลาเจริญเติบโต 30 วันหลังปักดำ พบว่าข้าวทั้ง 7 พันธุ์มีค่า SLA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าที่ระยะเวลาเจริญเติบโต 45 วันหลังปักดำและระยะเก็บเกี่ยว ข้าวมีค่า SLA แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยที่ระยะ 45 วันหลังปักดำ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่า SLA สูงที่สุดเท่ากับ $274.3 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ รองลงมาคือข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่าเท่ากับ $253.0 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ และพันธุ์ที่มีค่า SLA ต่ำที่สุด คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 โดยมีค่าเท่ากับ 225.3, 240.2, 230.2, 241.3 และ $228.7 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่า SLA สูงที่สุดเท่ากับ $218.5 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพิษณุโลก 2 สำหรับพันธุ์ที่มีค่า SLA ต่ำที่สุด คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 2 และปทุมธานี 80 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 161.8 และ $161.7 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ของข้าวที่ระยะเวลาเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพแปลงทดลอง

พันธุ์	SLA ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) ที่วันหลังปักดำ		
	30 วัน	45 วัน ^{1/}	เก็บเกี่ยว ^{1/}
ชัยนาท 1	230.3	274.3a	177.0bc
สุพรรณบุรี 1	205.2	225.3b	193.6abc
สุพรรณบุรี 2	186.2	240.2b	161.8c
สุพรรณบุรี 3	197.9	230.2b	180.3bc
ปทุมธานี 1	205.1	241.3b	218.5a
ปทุมธานี 80	212.9	228.7b	161.7c
พิษณุโลก 2	251.9	253.0ab	204.1ab
F- test	ns	*	*
C.V. (%)	17.70	7.24	12.22

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.1.3 อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR)

พบว่าที่ทุกระยะการเจริญเติบโตข้าวแต่ละพันธุ์มี CGR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ในระยะข้าวอายุ 30 วันหลังปักดำ ข้าวพันธุ์ที่มีค่า CGR สูงที่สุด คือ ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.78, 2.43 และ $2.74 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ตามลำดับ โดยไม่

แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 และพิษณุโลก 2 สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ สุพรรณบุรี 3 โดยมีค่าเท่ากับ $1.54 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ส่วนในระยะข้าวอายุ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ ข้าวพันธุ์ที่มีค่า CGR สูงที่สุด คือ ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.12 14.22 และ $10.99 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ ปทุมธานี 1 มีค่าเท่ากับ $4.65 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ และที่ระยะข้าวอายุ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว พบว่าข้าวพันธุ์ที่มี CGR สูงที่สุด คือ สุพรรณบุรี 2 และปทุมธานี 80 มีค่าเท่ากับ 11.01 และ $9.70 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ ปทุมธานี 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $5.38 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 และพิษณุโลก 2 (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 อัตราการเจริญเติบโต (CGR) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพแปลงทดลอง

พันธุ์	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) ที่วันหลังปักดำ		
	ปักดำ ถึง 30 ^{1/}	30 ถึง 45 ^{1/}	45 ถึง เก็บเกี่ยว ^{1/}
ชัยนาท 1	2.78a	15.12a	6.24b
สุพรรณบุรี 1	2.28ab	14.22a	6.78b
สุพรรณบุรี 2	2.20ab	10.99ab	11.01a
สุพรรณบุรี 3	1.54b	8.85bc	6.20b
ปทุมธานี 1	2.43a	4.65c	5.38b
ปทุมธานี 80	2.74a	8.10bc	9.70ab
พิษณุโลก 2	2.18ab	7.76bc	6.66b
F-test	**	**	**
C.V. (%)	16.34	22.12	26.23

** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

4.1.4 น้ำหนักแห้งรวม (total dry matter)

จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว โดยที่ระยะข้าวอายุ 30 วันหลังปักดำ ผลการวิเคราะห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยข้าวพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุด คือ ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 และ ปทุมธานี 80 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 240, 209 และ 236 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์

สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 และพิษณุโลก 2 สำหรับข้าวพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมน้อยที่สุด คือ สุพรรณบุรี 3 โดยมีค่าเท่ากับ 133 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนในระยะข้าวอายุ 45 วันหลังปักดำและระยะเก็บเกี่ยว ข้าวทุกพันธุ์มีน้ำหนักแห้งรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าที่ระยะเก็บเกี่ยว ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และสุพรรณบุรี 2 มีน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักแห้งรวมของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพแปลงทดลอง

พันธุ์	น้ำหนักแห้งรวม (กิโลกรัมต่อไร่) ที่วันหลังปักดำ		
	30 วัน ^{1/}	45 วัน	เก็บเกี่ยว
ชัยนาท 1	240a	553	1,322
สุพรรณบุรี 1	196ab	578	1,414
สุพรรณบุรี 2	190ab	453	1,493
สุพรรณบุรี 3	133b	345	1,109
ปทุมธานี 1	209a	404	1,069
ปทุมธานี 80	236a	493	1,595
พิษณุโลก 2	187ab	407	1,227
F-test	**	ns	ns
C.V. (%)	16.34	22.42	18.40

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวแนวนอนตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.1.5 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

จากการวิเคราะห์ผลผลิตพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงที่สุด คือ สุพรรณบุรี 2 และปทุมธานี 80 ซึ่งมีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 559 และ 533 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 และพิษณุโลก 2 ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 190 กิโลกรัมต่อไร่ และจะเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนว่าข้าวพันธุ์ที่มีผลผลิตสูง ส่วนใหญ่ก็จะมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ด้วย โดยข้าวพันธุ์ที่มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูงที่สุด คือ ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 2 ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 มีค่าเท่ากับ 0.39, 0.37, 0.30, 0.34 และ 0.29 ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ สุพรรณบุรี 3 มีค่าเท่ากับ 0.17 (ตารางที่ 4.5)

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลผลิต พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) และพบว่าจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าว ซึ่งจะเห็นได้จากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดก็จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมากที่สุด คือ 17.6×10^3 เมล็ด ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุดก็จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรน้อยที่สุด คือ 5.5×10^3 เมล็ด แต่เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนัก 1,000 เมล็ด กลับพบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงนั้นจะมีเมล็ดขนาดเล็กกว่าพันธุ์อื่นๆ โดยน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 19.7 กรัม ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำกลับมีขนาดเมล็ดใหญ่กว่า โดยมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 21.2 กรัม (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ผลผลิตและดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวในสภาพแปลงทดลอง

พันธุ์	จำนวนเมล็ดต่อ ตารางเมตร ($\times 10^3$) ^{1/}	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม) ^{1/}	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) ^{1/}	ดัชนี เก็บเกี่ยว ^{1/}
ชัยนาท 1	14.2ab	22.4ab	507ab	0.39a
สุพรรณบุรี 1	11.6b	21.4bc	403ab	0.28b
สุพรรณบุรี 2	17.6a	19.7c	559a	0.37ab
สุพรรณบุรี 3	5.5c	21.2bc	190c	0.17c
ปทุมธานี 1	9.6bc	20.6bc	318bc	0.30ab
ปทุมธานี 80	13.9ac	24.1a	533a	0.34ab
พิษณุโลก 2	10.4bc	21.8b	363abc	0.29ab
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	19.67	4.07	22.51	13.51

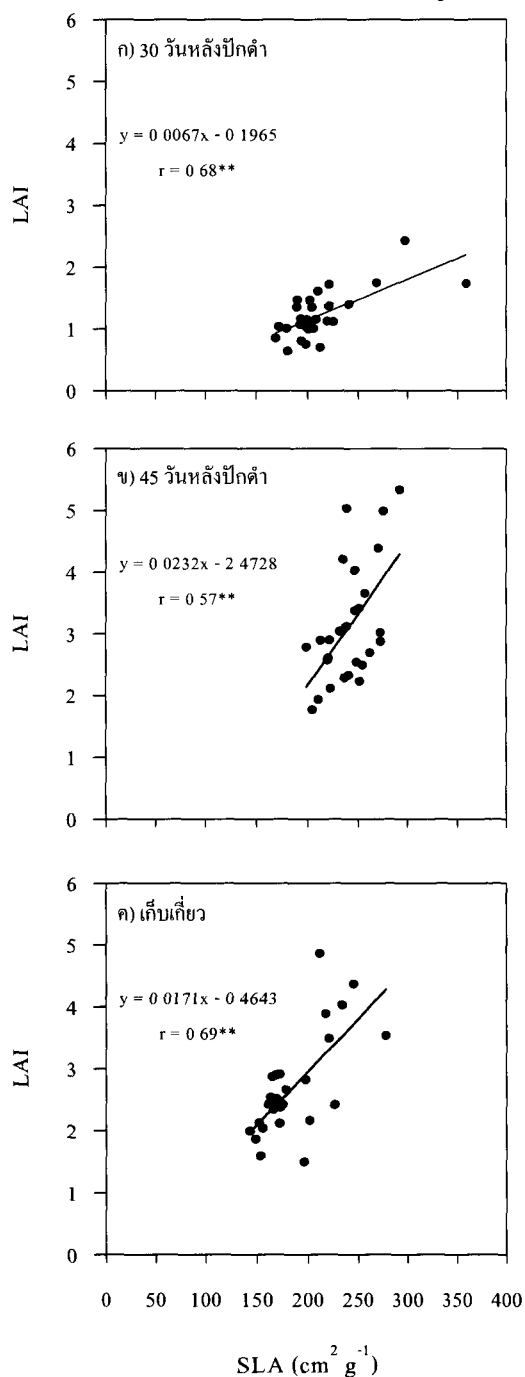
** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว

4.1.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง SLA และ LAI

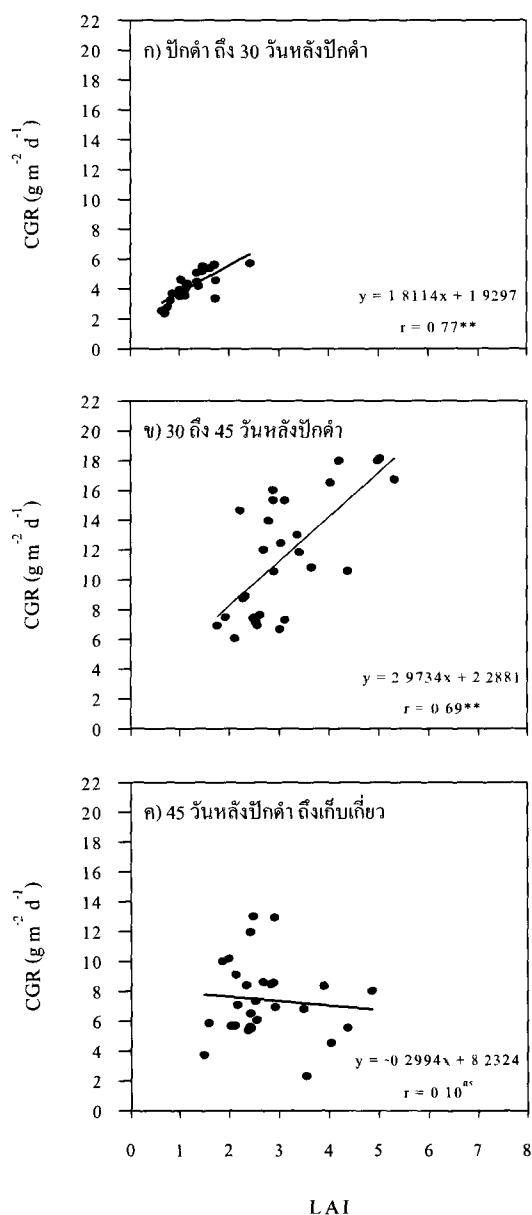
ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SLA และ LAI ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ ผลการวิเคราะห์พบว่าที่ทุกระยะการเจริญเติบโต มีความสัมพันธ์กันทางสถิติระหว่างค่า SLA และ LAI โดยมีลักษณะความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงในเชิงบวก ($r = 0.68^{**}$, $r = 0.57^{**}$ และ $r = 0.69^{**}$ ตามลำดับ) กล่าวคือหากข้าวมี SLA สูง ก็จะทำให้มีค่า LAI สูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SLA และ LAI ของข้าวที่ช่วงอายุ 30 วันหลังปักดำ (ก), 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพแปลงทดลอง

4.1.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR

ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ โดยที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR แต่ที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำและที่ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำพบความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR โดยมีลักษณะความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงในเชิงบวก $r = 0.77^{**}$ และ $r = 0.69^{**}$ ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ และที่ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำนั้นหากข้าวมีค่า LAI สูงก็จะทำให้ข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นด้วย



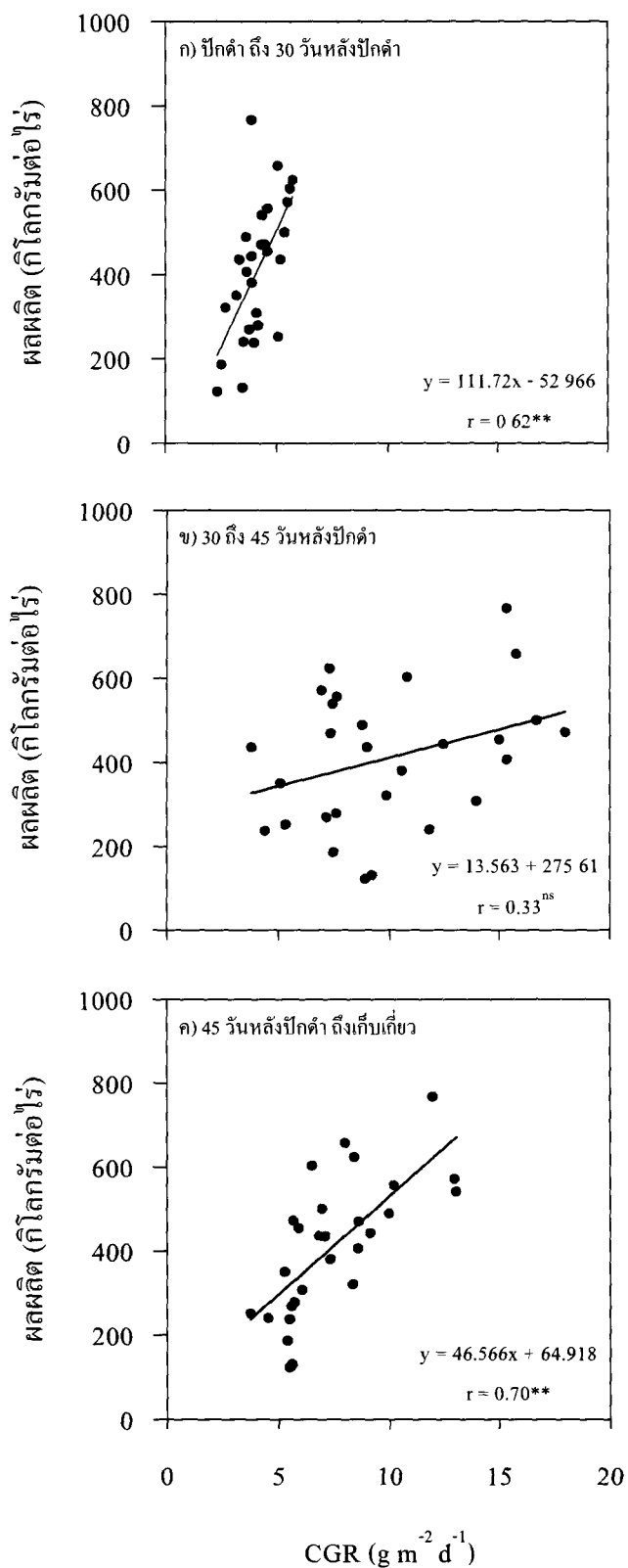
ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR ของข้าวที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพแปลงทดลอง

4.1.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR และผลผลิต

จากภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิตของข้าว โดยที่ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง CGR และผลผลิต แต่พบว่า CGR ที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำและที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในเชิงบวกกับการให้ผลผลิตของข้าว ($r = 0.62^{**}$ และ $r = 0.70^{**}$ ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่า CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วน 47.94 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ CGR ที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ และที่ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ คิดเป็นสัดส่วน 25.55 และ 7.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่าถ้าในช่วงดังกล่าวข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงก็จะทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงขึ้นด้วย (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ Multiple regression สำหรับ CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิตของข้าวในสภาพแปลงทดลอง

Source	d.f.	SS	% SS	P
Regression	3	580260	81.06	
45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	1	343149	47.94	< 0.01
ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	1	182895	25.55	< 0.01
30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	1	54216	7.57	< 0.01
Residual	24	135570	18.94	
Total	27	715830	100	



ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและ CGR ของข้าวที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพแปลงทดลอง

การศึกษาในสภาพกระถางทดลอง

4.1.7 ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI)

ผลการวิเคราะห์ LAI ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าที่ระยะ 30 และ 45 วัน หลังปักดำ ค่า LAI ของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าค่า LAI ของข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1 และปทุมธานี 1 มีค่า LAI สูงที่สุดเท่ากับ 9.53 และ 9.16 ตามลำดับ และไม่แตกต่างกัน ทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 80 สำหรับข้าวพันธุ์ที่มีค่า LAI ต่ำที่สุด คือ พันธุ์ สุพรรณบุรี 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.91 (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพกระถางทดลอง

พันธุ์	LAI ที่วันหลังปักดำ		
	30 วัน	45 วัน	เก็บเกี่ยว ^{1/}
ชัยนาท 1	5.25	9.56	9.53a
สุพรรณบุรี 1	6.13	6.67	6.53abc
สุพรรณบุรี 2	5.16	6.63	4.90bc
สุพรรณบุรี 3	7.16	6.93	3.91c
ปทุมธานี 1	4.37	7.98	9.16a
ปทุมธานี 80	4.75	8.99	7.26ab
พิษณุโลก 2	5.76	9.21	5.25bc
F-test	ns	ns	**
C.V. (%)	25.75	25.39	20.81

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

4.1.8 พื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area; SLA)

ที่ระยะการเจริญเติบโต 30 วันหลังปักดำ พบว่าข้าวทั้ง 7 พันธุ์มีค่า SLA แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่า SLA สูงที่สุดเท่ากับ $281.6 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 สำหรับพันธุ์ที่มีค่า SLA ต่ำที่สุด คือ ชัยนาท 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $208.4 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ สำหรับที่ระยะ 45 วันหลังปักดำ และที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าข้าวทั้ง 7 พันธุ์มีค่า SLA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 พื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพกระถางทดลอง

พันธุ์	SLA ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) ที่วันหลังปักดำ		
	30 วัน ^{1/}	45 วัน	เก็บเกี่ยว
ชัยนาท 1	208.4c	290.3	216.0
สุพรรณบุรี 1	233.9bc	249.2	186.3
สุพรรณบุรี 2	239.3abc	251.9	213.2
สุพรรณบุรี 3	248.7abc	233.3	181.8
ปทุมธานี 1	281.6a	256.3	187.1
ปทุมธานี 80	254.6ab	270.6	185.6
พิษณุโลก 2	249.9abc	259.4	196.1
F- test	*	ns	ns
C.V. (%)	10.55	9.48	11.12

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.1.9 อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR)

จากการวิเคราะห์ CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าวพบว่าที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ ข้าวแต่ละพันธุ์มี CGR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพันธุ์ที่มี CGR สูงที่สุด คือ สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.51 และ 9.83 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 2 และพิษณุโลก 2 สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.84 และ 6.59 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนในระยะข้าวอายุ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ และระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ข้าวแต่ละพันธุ์มี CGR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยระยะข้าวอายุ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ ข้าวพันธุ์ที่มีค่า CGR สูงที่สุด คือ ปทุมธานี 1 มีค่าเท่ากับ 33.48 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ รองลงมา คือ ปทุมธานี 80 มีค่าเท่ากับ 28.55 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 3 และพิษณุโลก 2 มีค่าเท่ากับ 18.35, 17.33 และ 15.69 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ตามลำดับ สำหรับที่ระยะข้าวอายุ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว พบว่าข้าวพันธุ์ที่มีค่า CGR สูงที่สุด คือ ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 มีค่าเท่ากับ 19.67, 17.19 และ 19.17 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ พิษณุโลก 2 โดยมีค่าเท่ากับ 6.02 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 อัตราการเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพกระถางทดลอง

พันธุ์	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) ที่วันหลังปักดำ		
	ปักดำ ถึง 30 ^{1/}	30 ถึง 45 ^{1/}	45 ถึง เก็บเกี่ยว ^{1/}
ชัยนาท 1	8.56ab	20.91bc	19.67a
สุพรรณบุรี 1	9.51a	18.35c	11.60b
สุพรรณบุรี 2	8.10ab	21.36bc	9.80b
สุพรรณบุรี 3	9.83a	17.33c	9.43b
ปทุมธานี 1	5.84b	33.48a	17.19a
ปทุมธานี 80	6.59b	28.55ab	19.17a
พิษณุโลก 2	7.95ab	15.69c	6.02b
F-test	*	**	**
C.V. (%)	21.99	17.52	20.38

*, ** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกัน ในแถวแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.1.10 น้ำหนักแห้งรวม (total dry matter)

จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งรวมที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว โดยที่ระยะข้าวอายุ 30 วันหลังปักดำ ผลการวิเคราะห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยข้าวพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดที่สุด คือ สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.64 และ 12.03 กรัมต่อนอก ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 2 และพิษณุโลก 2 สำหรับข้าวพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมน้อยที่สุด คือ ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 โดยมีค่าเท่ากับ 7.15 และ 8.06 กรัมต่อนอก ตามลำดับ ส่วนในระยะข้าวอายุ 45 วันหลังปักดำ ข้าวทุกพันธุ์มีน้ำหนักแห้งรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับที่ระยะเก็บเกี่ยวผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีน้ำหนักแห้งรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยข้าวพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดที่สุด คือ ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 71.54, 74.73 และ 73.58 กรัมต่อนอก ตามลำดับ และพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมน้อยที่สุด คือพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่าเท่ากับ 42.56 กรัมต่อนอก (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 นำหนักแห้งรวมของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ในสภาพกระถางทดลอง

พันธุ์	นำหนักแห้งรวม (กรัมต่อนอก) ที่วันหลังปักดำ		
	30 วัน ^{1/}	45 วัน	เก็บเกี่ยว ^{1/}
ชัยนาท 1	10.48ab	20.46	71.54a
สุพรรณบุรี 1	11.64a	17.28	54.14b
สุพรรณบุรี 2	9.92ab	20.01	45.55b
สุพรรณบุรี 3	12.03a	18.72	52.75b
ปทุมธานี 1	7.15b	20.90	74.73a
ปทุมธานี 80	8.06b	20.43	73.58a
พิษณุโลก 2	9.74ab	19.81	42.56b
F-test	*	ns	**
C.V. (%)	22.00	23.84	13.87

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

*, ** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.1.11 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

จากการวิเคราะห์ผลผลิตและดัชนีเก็บเกี่ยวพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงที่สุด คือ ชัยนาท 1 มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 27.5 กรัมต่อนอก และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 6.0 กรัมต่อนอก จะเห็นว่าพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงจะมีดัชนีเก็บเกี่ยวสูงด้วย เห็นได้จากพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งมีผลผลิตสูงที่สุดจะมีดัชนีเก็บเกี่ยวสูงที่สุดเท่ากับ 0.38 สำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตน้อยที่สุดก็จะมีดัชนีเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดเช่นกันคือ 0.12 (ตารางที่ 4.11)

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลผลิต พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งมีผลผลิตสูงที่สุดจะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรสูงที่สุดเท่ากับ 11.1×10^3 เมล็ด และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 สำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตน้อยที่สุดก็จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรน้อยที่สุด คือ 2.3×10^3 เมล็ด แต่เมื่อวิเคราะห์น้ำหนัก 1,000 เมล็ด กลับพบว่าพันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงที่สุดคือ สุพรรณบุรี 3 และปทุมธานี 80 มีค่าเท่ากับ

23.6 และ 23.4 กรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยที่สุด คือ สุพรรณบุรี 2 มีค่าเท่ากับ 18.0 กรัม (ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.11 จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ผลผลิตและดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวในสภาพกระถางทดลอง

พันธุ์	จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร ($\times 10^3$) ^{1/}	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม) ^{1/}	ผลผลิต (กรัมต่อกอ) ^{1/}	ดัชนี เก็บเกี่ยว ^{1/}
ชัยนาท 1	11.1a	21.9b	27.5a	0.38a
สุพรรณบุรี 1	5.7b	22.4ab	14.5b	0.27b
สุพรรณบุรี 2	8.9ab	18.0d	18.1b	0.39a
สุพรรณบุรี 3	2.3c	23.6a	6.0c	0.12c
ปทุมธานี 1	8.9ab	20.4c	20.6ab	0.28b
ปทุมธานี 80	8.5ab	23.4a	22.6ab	0.31ab
พิษณุโลก 2	6.4b	21.6bc	15.5b	0.35ab
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	22.22	2.67	21.19	15.98

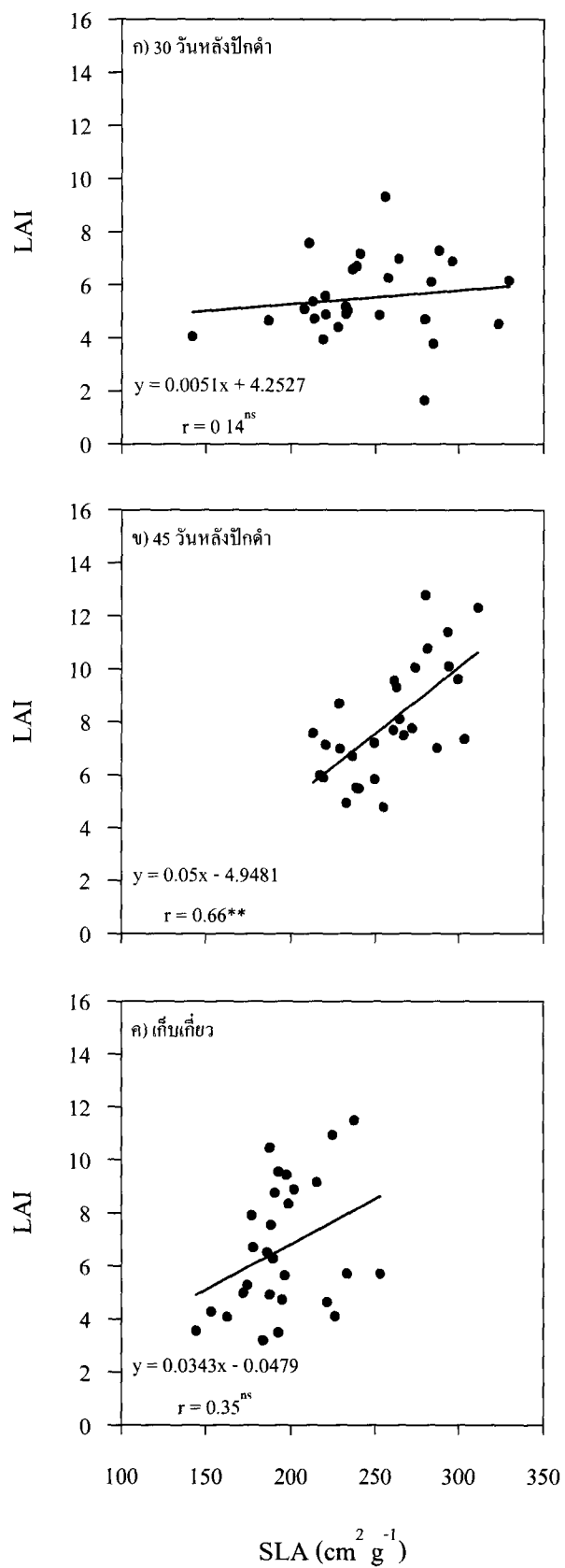
** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกัน ในแถวแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

4.1.12 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว

4.1.12.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง SLA และ LAI

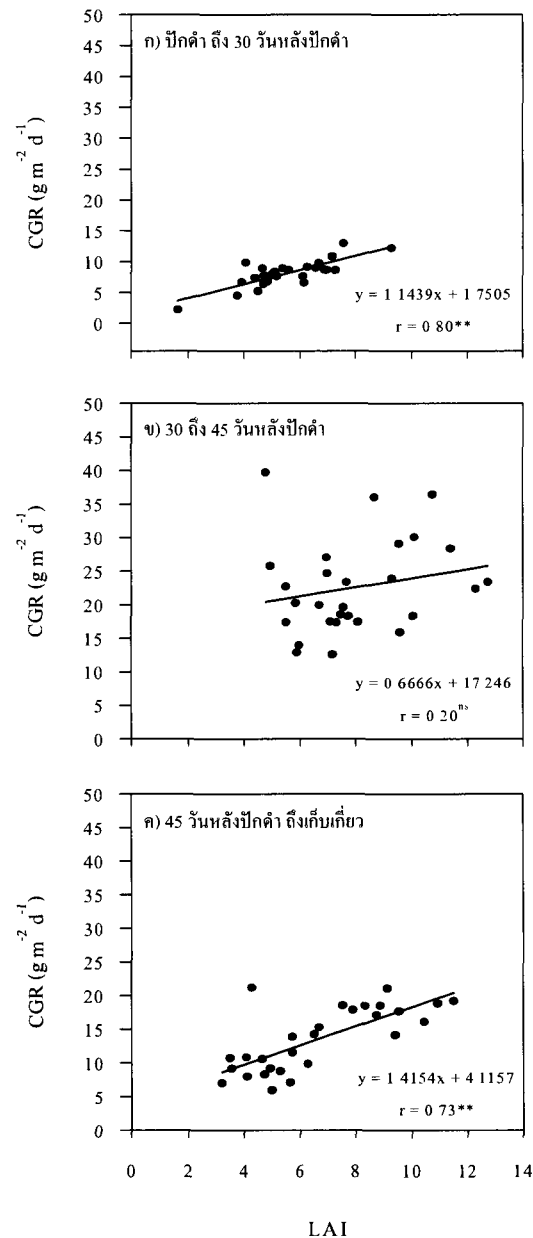
จากภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SLA และ LAI ของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าที่ระยะข้าวมีอายุ 30 วันหลังปักดำและระยะเก็บเกี่ยว ไม่พบว่ามี ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SLA กับ LAI แต่ที่ระยะข้าวมีอายุ 45 วันหลังปักดำ พบว่าค่า SLA มีความสัมพันธ์กับค่า LAI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.66^{**}$) โดยมีลักษณะความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงในเชิงบวก กล่าวคือหากข้าวมีค่า SLA สูง ก็จะทำให้มีค่า LAI สูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SLA และ LAI ของข้าวที่ช่วงอายุ 30 วันหลังปักดำ (ก), 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพกระถางทดลอง

4.1.12.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR

ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ โดยที่ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR แต่ที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำและที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวพบความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR โดยมีลักษณะความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงในเชิงบวก $r = 0.80^{**}$ และ $r = 0.73^{**}$ ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวนั้นหากข้าวมี LAI สูงก็จะทำให้ข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นด้วย



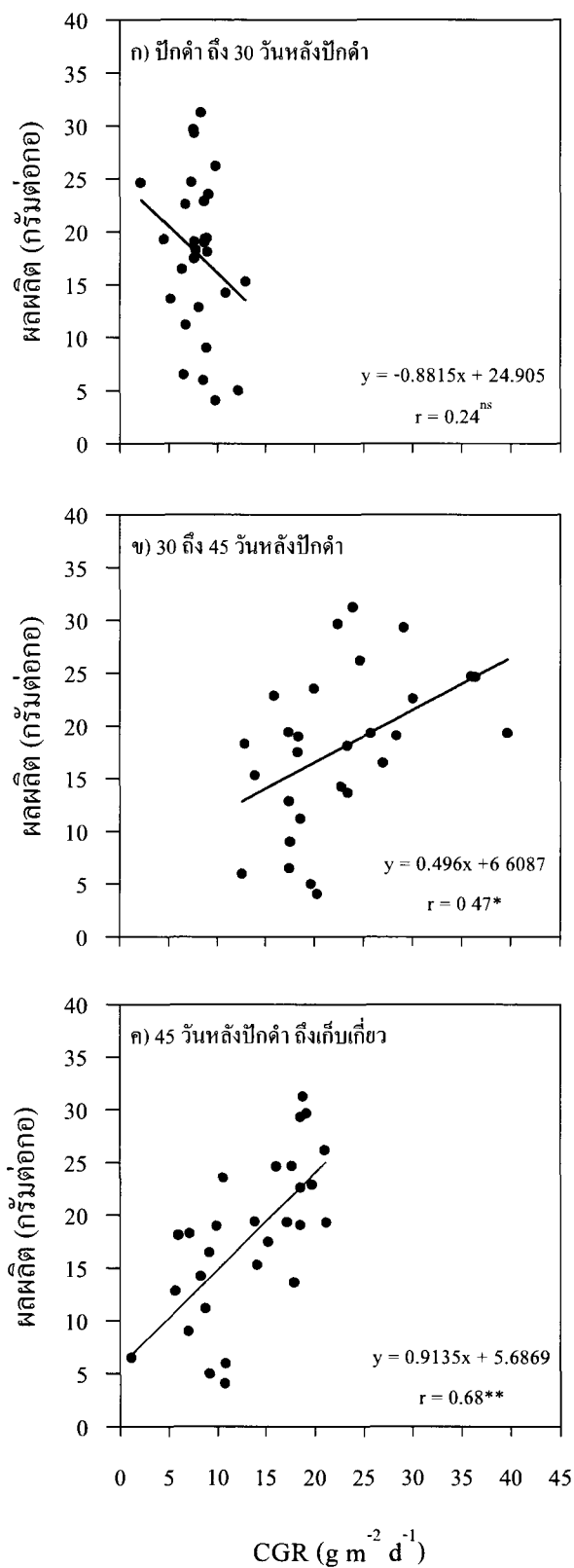
ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ CGR ของข้าวที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพกระถางทดลอง

4.1.12.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR และผลผลิต

จากภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิตของข้าว พบว่าที่ระยะปักดำ ถึง 30 วันหลังปักดำ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง CGR และผลผลิต แต่พบว่า CGR ที่ระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในเชิงบวกกับการให้ผลผลิตของข้าว ($r = 0.47^*$ และ $r = 0.68^{**}$ ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่ามีเพียง CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ระยะเดียวที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตในข้าวมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วน 47.00 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือถ้าในช่วงดังกล่าวข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงก็จะมีผลผลิตสูงขึ้นด้วย (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ Multiple regression สำหรับ CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิตของข้าวในสภาพกระถางทดลอง

Source	d.f.	SS	% SS	P
Regression	1	711.52	47.00	
45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	1	711.52	47.00	< 0.01
Residual	26	802.43	53.00	
Total	27	1513.95	100	

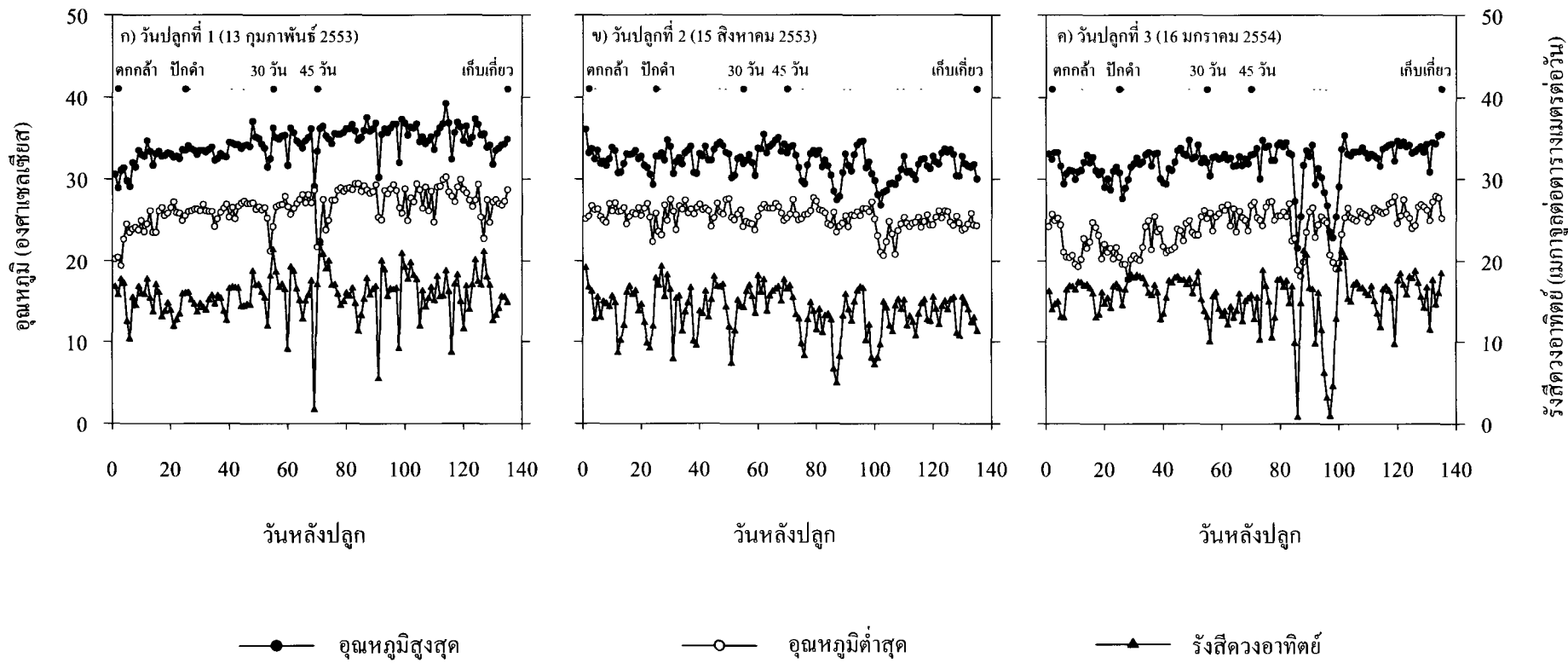


ภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและ CGR ของข้าวที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ในสภาพ ธรรมดาทดลอง

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว

สภาพอากาศ

สำหรับสภาพอากาศตลอดช่วงการทดลองและช่วงอายุของพืชของวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) พบว่าอุณหภูมิในขณะตกกล้าค่อนข้างต่ำเนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว โดยอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 26.6 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 34.3 องศาเซลเซียสตลอดฤดูปลูก แต่ในวันที่ 42, 43 และ 44 วันหลังปักดำ พบว่าอุณหภูมิและความเข้มแสงมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 29.1, 33.3 และ 36.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 28.6, 21.7 และ 22.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 1.6, 16.9 และ 22.2 เมกาจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ส่วนวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดฤดูปลูกประมาณ 25.4 ถึง 32.1 องศาเซลเซียส และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดฤดูปลูกประมาณ 13.7 เมกาจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งถือว่าสภาพอากาศของช่วงวันปลูกที่ 2 มีความแปรปรวนไม่มากนัก สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 24.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 31.9 องศาเซลเซียส ตลอดฤดูปลูก แต่ในระยะ 62 และ 73 วันหลังปักดำ พบว่าอุณหภูมิและความเข้มแสงมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 21.6 และ 23.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 18.9 และ 20.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 0.8 และ 0.9 เมกาจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ จะเห็นว่าอุณหภูมิและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดฤดูปลูกในทั้งสามวันปลูกไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นช่วง 42 ถึง 44 วันหลังปักดำของวันปลูกที่ 1 และในระยะ 62 และ 73 วันหลังปักดำของวันปลูกที่ 3 ที่อุณหภูมิและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ลดต่ำกว่าช่วงอื่นๆ (ภาพที่ 4.7)



พื้นที่การปลูก (ไร่) และอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ภาพที่ 4.7 อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และรังสีดวงอาทิตย์รายวัน สำหรับวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค)

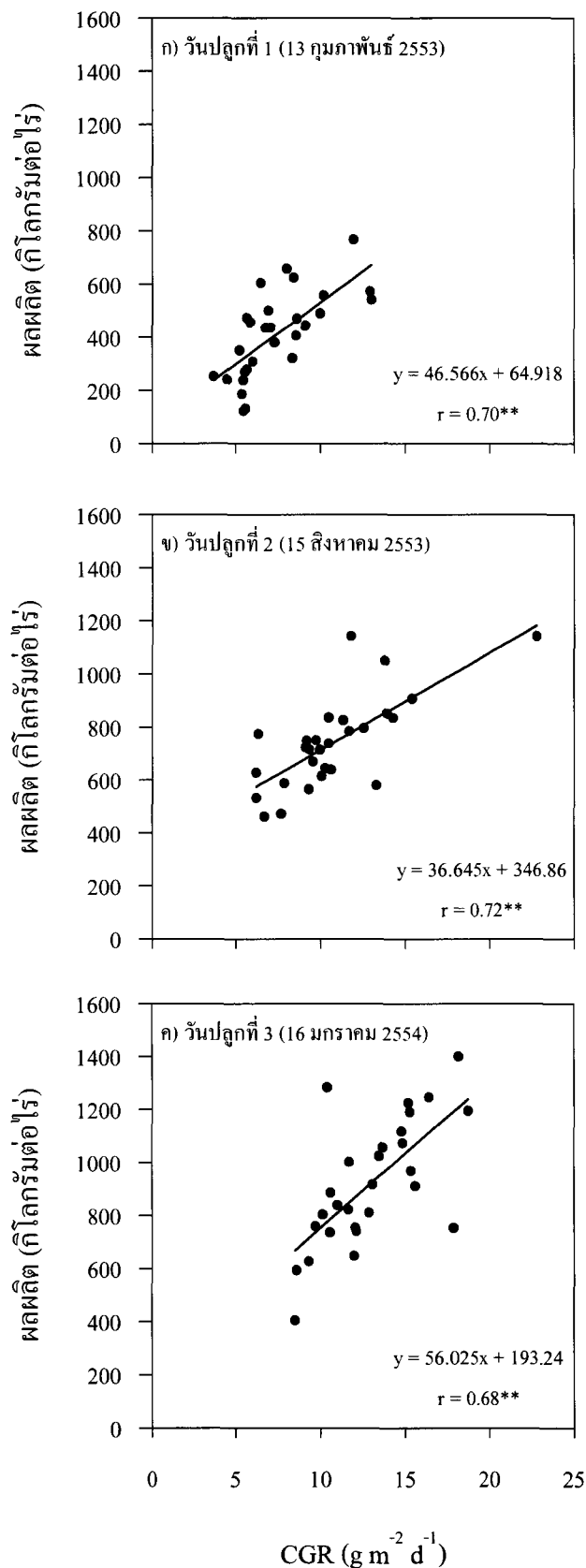
การศึกษาในสภาพแปลงทดลอง

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิต

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิตของข้าว ในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) พบว่า CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วน 47.94 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ CGR ในระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ และระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ คิดเป็นสัดส่วน 25.55 และ 7.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่า CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ยังคงมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วน 52.31 เปอร์เซ็นต์ แต่รองลงมากลับพบว่าระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำมีความสำคัญมากกว่าระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ คิดเป็นสัดส่วน 17.91 และ 5.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่ามีเพียง CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวเท่านั้นที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าว คิดเป็นสัดส่วน 45.99 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.13) โดยพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของข้าวในช่วง 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวของทั้ง 3 วันปลูกนั้นจะมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าวเป็นแบบเส้นตรงเชิงบวก ($r = 0.70^{**}, 0.72^{**}$ และ 0.68^{**} ตามลำดับ) กล่าวคือ ถ้าในช่วงดังกล่าวข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นก็จะทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงขึ้นด้วย (ภาพที่ 4.8)

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ Multiple regression สำหรับอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ กับผลผลิตของข้าวทั้ง 3 วันปลูก ในสภาพแปลงทดลอง

Source	d.f.	SS	% SS	P
วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)				
Regression	3	580260	81.06	
45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	1	343149	47.94	< 0.01
ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	1	182895	25.55	< 0.01
30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	1	54216	7.57	< 0.01
Residual	24	135570	18.94	
Total	27	715830	100	
วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)				
Regression	3	623629	76.21	
45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	1	428011	52.31	< 0.01
30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	1	146591	17.91	< 0.01
ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	1	49027	5.99	< 0.05
Residual	24	194661	23.79	
Total	27	818290	100	
วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)				
Regression	1	705623	45.99	
45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	1	705623	45.99	< 0.01
Residual	26	828557	54.01	
Total	27	1534180	100	



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวและผลผลิตของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค) ในสภาพแปลงทดลอง

4.2.2 อิทธิพลของวันปลูก

เมื่อพิจารณาอายุเก็บเกี่ยวของข้าวในทั้ง 3 วันปลูก พบว่าในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ข้าวทั้ง 7 พันธุ์ มีอายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 119 วัน สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่าข้าวมีอายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 113 วัน ส่วนวันปลูกที่ 3 พบว่าข้าวมีอายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 116 วัน โดยจะเห็นว่าในวันปลูกที่ 1 อายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ยของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ มากกว่าวันปลูกที่ 2 และวันปลูกที่ 3 (ตารางที่ 4.14) สำหรับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis) พบว่าวันปลูกมีอิทธิพลทำให้ค่าเฉลี่ยของลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวทุกพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.15) โดยพบว่าวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ข้าวมีค่าเฉลี่ยของลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวเท่ากับ $7.42 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 1,318 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตเท่ากับ 410 กิโลกรัมต่อไร่ และดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.31 สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) ข้าวมีค่าเฉลี่ยของลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวเท่ากับ $10.71 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 1,883 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตเท่ากับ 739 กิโลกรัมต่อไร่ และดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.39 สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ข้าวมี CGR เฉลี่ยเท่ากับ $12.98 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 2,152 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตเท่ากับ 921 กิโลกรัมต่อไร่ และดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.42 (ตารางที่ 4.16)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบผลผลิต พบว่าวันปลูกที่ 1 ข้าวมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรเฉลี่ยเท่ากับ 11.8×10^3 เมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 21.6 กรัม ส่วนวันปลูกที่ 2 ข้าวมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรเท่ากับ 19.4×10^3 เมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 24.17 กรัม สำหรับวันปลูกที่ 3 จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรของข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.5×10^3 เมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 24.57 กรัม (ตารางที่ 4.17) ซึ่งจะเห็นว่าข้าวที่ปลูกในวันที่ 16 มกราคม 2554 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวที่ปลูกในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 และวันที่ 15 สิงหาคม 2553 (ตารางที่ 4.16 และตารางที่ 4.17)

4.2.3 อิทธิพลของพันธุ์

จากการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ ที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรม พบว่าในทั้ง 3 วันปลูก ข้าวแต่ละพันธุ์มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) พันธุ์ชัชวาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 และพิษณุโลก 2 เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ 122, 123, 123, 122 และ 123 วัน ตามลำดับ สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ 119 วัน และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด คือ 105 วัน สำหรับ

วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีอายุเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น พันธุ์สุพรรณบุรี 2 ที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยกว่าพันธุ์อื่นๆ คือ 103 วัน (ตารางที่ 4.14) และพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.15) โดยพบว่าในทั้ง 3 วันปลูก ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวสูงที่สุด ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่ำ อย่างไรก็ตามแม้จะพบว่าข้าวทั้ง 7 พันธุ์ มีน้ำหนักแห้งรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกวันปลูก แต่มีแนวโน้มว่า พันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงเช่นกัน สำหรับผลการวิเคราะห์น้ำหนัก 1,000 เมล็ด กลับพบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงกลับมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยที่สุดในทั้ง 3 วันปลูก (ตารางที่ 4.16 และตารางที่ 4.17)

4.2.4 การตอบสนองของอัตราการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตต่อวันปลูก

จากการวิเคราะห์พบว่าวันปลูกมีผลต่อการตอบสนองของอายุเก็บเกี่ยว CGR ที่ระยะ 45 วัน หลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยว ของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ (ตารางที่ 4.15) โดยพบว่าข้าวที่ปลูกในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 และพิษณุโลก 2 ซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 122, 123, 123, 122 และ 123 วัน ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 2 โดยมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 105 วัน (ตารางที่ 4.14) สำหรับ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวพบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 2 เป็นพันธุ์ที่มี CGR สูงที่สุด คือ $11.01 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ปทุมธานี 80 ส่วนพันธุ์ที่มี CGR น้อยที่สุด คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 3 โดยมี CGR เท่ากับ $6.20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 ปทุมธานี 1 และพิษณุโลก 2 และพบว่าข้าวทุกพันธุ์มีน้ำหนักแห้งรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และสุพรรณบุรี 2 มีการสะสมน้ำหนักแห้งสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ส่วนผลผลิตพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงที่สุด คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 2 และปทุมธานี 80 มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 559 และ 533 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 190 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 4.16) ส่วนข้าวที่ปลูกในวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ 119 วัน ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 สำหรับพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด คือ สุพรรณบุรี 2 โดยมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 105 วัน (ตารางที่ 4.14) ส่วน CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ผลผลิตและน้ำหนักแห้งรวมพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มี

แนวโน้มน่าเชื่อว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 และ ปทุมธานี 80 มีผลผลิตและการสะสมน้ำหนักแห้งสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ (ตารางที่ 4.16) สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด และพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด คือ สุพรรณบุรี 2 โดยมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 103 วัน (ตารางที่ 4.14) สำหรับ CGR พบว่าข้าวทุกพันธุ์มี CGR แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 2 เป็นพันธุ์ที่มี CGR สูงที่สุด คือ $16.81 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 80 ส่วนพันธุ์ที่มี CGR น้อยที่สุด คือ พิษณุโลก 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $9.50 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ สำหรับน้ำหนักแห้งรวมและผลผลิตพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีแนวโน้มน่าเชื่อว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 และปทุมธานี 80 ยังคงมีน้ำหนักแห้งและผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ เช่นเดียวกับวันปลูกที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 และ 15 สิงหาคม 2553 โดยจะเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนว่าข้าวพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงส่วนใหญ่ก็จะมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ด้วย ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้ง 3 วันปลูก (ตารางที่ 4.16)

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลผลิต พบว่าในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และพบว่าจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าว ซึ่งจะเห็นได้จากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดก็จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมากที่สุด คือ 17.6×10^3 เมล็ด ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุดก็จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรน้อยที่สุด คือ 5.5×10^3 เมล็ด แต่เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนัก 1,000 เมล็ด กลับพบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีขนาดเมล็ดเล็กกว่าพันธุ์อื่นๆ โดยน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 19.7 กรัม ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำกลับมีขนาดเมล็ดใหญ่กว่า โดยมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 21.2 กรัม ส่วนในวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) พันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมากที่สุดเท่ากับ 28.8×10^3 เมล็ด แต่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยที่สุด คือ 20.10 กรัม สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมากที่สุดเท่ากับ 31.3×10^3 เมล็ด แต่เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนัก 1,000 เมล็ด กลับพบว่าข้าวทุกพันธุ์มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.17) จะเห็นว่าในทั้ง 3 วันปลูก พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงจะเป็นพันธุ์ที่มีองค์ประกอบผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ

ตารางที่ 4.14 อายุเก็บเกี่ยวของข้าวแต่ละพันธุ์สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพแปลงทดลอง

พันธุ์	อายุเก็บเกี่ยว (วัน) ^{1/}		
	วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)	วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)
ชัยนาท 1	122a	112bc	118a
สุพรรณบุรี 1	123a	119a	118a
สุพรรณบุรี 2	105c	105d	103b
สุพรรณบุรี 3	123a	115ab	119a
ปทุมธานี 1	122a	117ab	119a
ปทุมธานี 80	118b	116ab	118a
พิษณุโลก 2	123a	109cd	119a
เฉลี่ย	119	113	116
F-test	**	**	**
C.V. (%)	1.31	2.56	1.53

** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (Combined analysis) ของอายุเก็บเกี่ยว อัตราการเจริญเติบโตที่ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยว ในสภาพแปลงทดลอง

Source	d.f.	อายุเก็บเกี่ยว (วัน)	CGR ที่ 45 วันหลังปักดำ ถึงเก็บเกี่ยว	น้ำหนักแห้งรวม (กิโลกรัมต่อไร่)	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	ดัชนีเก็บเกี่ยว
วันปลูก	2	**	**	**	**	**
พันธุ์	6	**	**	**	**	**
พันธุ์ × วันปลูก	12	**	ns	ns	ns	**

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.16 อัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพแปลงทดลอง

พันธุ์	วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)				วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)				วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)			
	CGR ที่ 45 วันถึงเก็บเกี่ยว ^{1/}	น้ำหนักแห้งรวม (กิโลกรัม ต่อไร่)	ผลผลิต (กิโลกรัม ต่อไร่) ^{1/}	ดัชนีเก็บเกี่ยว ^{1/}	CGR ที่ 45 วันถึงเก็บเกี่ยว	น้ำหนักแห้งรวม (กิโลกรัม ต่อไร่)	ผลผลิต (กิโลกรัม ต่อไร่)	ดัชนีเก็บเกี่ยว ^{1/}	CGR ที่ 45 วันถึงเก็บเกี่ยว ^{1/}	น้ำหนักแห้งรวม (กิโลกรัม ต่อไร่)	ผลผลิต (กิโลกรัม ต่อไร่)	ดัชนีเก็บเกี่ยว
ชัยนาท 1	6.24b	1,322	507ab	0.39a	11.27	1,940	731	0.37bc	12.28bc	2,138	877	0.41
สุพรรณบุรี 1	6.78b	1,414	403ab	0.28b	9.01	1,788	692	0.39bc	11.62bc	1,980	875	0.44
สุพรรณบุรี 2	11.01a	1,493	559a	0.37ab	14.56	2,098	930	0.45a	16.81a	2,213	1,118	0.50
สุพรรณบุรี 3	6.20b	1,109	190c	0.17c	8.69	1,721	730	0.42ab	11.70bc	2,135	896	0.42
ปทุมธานี 1	5.38b	1,069	318bc	0.30ab	11.20	1,810	638	0.35c	15.39ab	2,483	986	0.39
ปทุมธานี 80	9.70ab	1,595	533a	0.34ab	10.91	2,125	829	0.38bc	13.58ab	2,257	938	0.41
พิษณุโลก 2	6.66b	1,227	363abc	0.29ab	9.34	1,699	622	0.36c	9.50c	1,856	754	0.39
เฉลี่ย	7.42	1,318	410	0.31	10.71	1,883	739	0.39	12.98	2,152	921	0.42
F-test	**	ns	**	**	ns	ns	ns	*	**	ns	ns	ns
C.V. (%)	22.98	18.40	22.51	13.51	25.15	13.43	18.31	9.84	13.15	14.67	25.67	14.09

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, *, ** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.17 ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพแปลงทดลอง

พันธุ์	วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)			วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)			วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)		
	ผลผลิต (กิโลกรัม ต่อไร่) ^{1/}	จำนวนเมล็ดต่อ ตารางเมตร ($\times 10^3$) ^{1/}	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม) ^{1/}	ผลผลิต (กิโลกรัม ต่อไร่)	จำนวนเมล็ดต่อ ตารางเมตร ($\times 10^3$) ^{1/}	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม) ^{1/}	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อ ไร่)	จำนวนเมล็ดต่อ ตารางเมตร ($\times 10^3$) ^{1/}	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)
ชัยนาท 1	507ab	14.2ab	22.4ab	731	19.1b	24.07ab	877	21.6b	25.41
สุพรรณบุรี 1	403ab	11.6b	21.4bc	692	18.0b	23.96b	875	22.7b	24.12
สุพรรณบุรี 2	559a	17.6a	19.7c	930	28.8a	20.10c	1,118	31.3a	22.31
สุพรรณบุรี 3	190c	5.5c	21.2bc	730	18.7b	24.31ab	896	21.6b	26.07
ปทุมธานี 1	318bc	9.6bc	20.6bc	638	15.8b	25.34ab	986	24.9ab	24.56
ปทุมธานี 80	533a	13.9ac	24.1a	829	19.4b	26.86a	938	23.7ab	24.76
พินธุโลก 2	363abc	10.4bc	21.8b	622	15.7b	24.56ab	754	18.4b	24.78
เฉลี่ย	410	11.8	21.6	739	19.4	24.17	921	23.5	24.57
F-test	**	**	**	ns	**	**	ns	*	ns
C.V. (%)	22.51	19.67	4.07	18.31	18.31	5.19	25.67	21.29	15.00

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, *, ** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

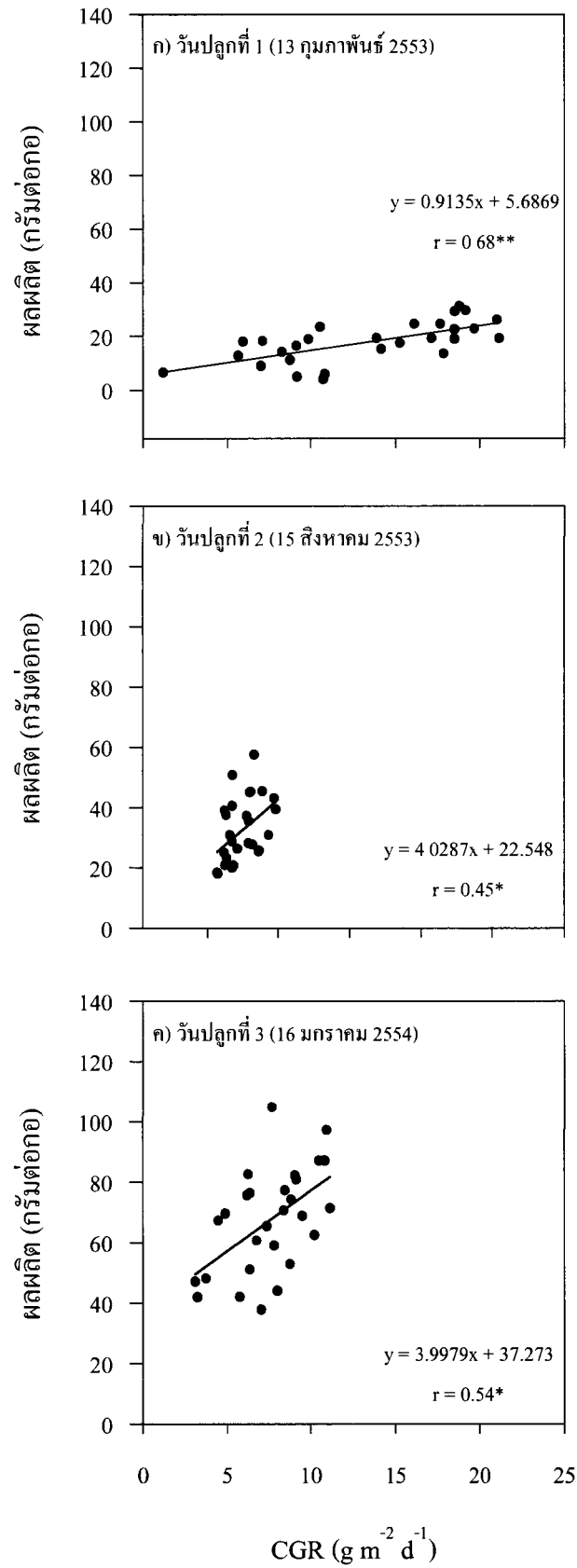
การศึกษาในสภาพกระถางทดลอง

4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิต

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ และผลผลิตของข้าว พบว่าทั้ง 3 วันปลูก มีเพียง CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวระยะเดียวที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวคิดเป็นสัดส่วน 45.52, 20.24 และ 28.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18) และพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของข้าวในช่วง 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวของทั้ง 3 วันปลูกนั้นจะมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าวเป็นแบบเส้นตรงเชิงบวก ($r = 0.68^{**}$, 0.45^* และ 0.54^* ตามลำดับ) กล่าวคือ ถ้าในช่วงดังกล่าวข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นก็จะทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงขึ้นด้วย (ภาพที่ 4.9)

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ Multiple regression สำหรับอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ กับผลผลิตของข้าวทั้ง 3 วันปลูก ในสภาพกระถางทดลอง

Source	d.f.	SS	% SS	P
วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)				
Regression	1	689.08	45.52	
45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	1	689.08	45.52	< 0.01
Residual	26	824.87	54.48	
Total	27	1513.95	100	
วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)				
Regression	1	627.43	20.24	
45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	1	627.43	20.24	< 0.05
Residual	26	2471.97	79.76	
Total	27	3099.40	100	
วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)				
Regression	1	2325.65	28.54	
45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	1	2325.65	28.54	< 0.05
Residual	26	5822.87	71.46	
Total	27	8148.52	100	



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวและผลผลิตของข้าว สำหรับ วันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค) ในสภาพกระถางทดลอง

4.2.6 อิทธิพลของวันปลูก

เมื่อพิจารณาอายุเก็บเกี่ยวของข้าวในทั้ง 3 วันปลูก พบว่าในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ข้าวทั้ง 7 พันธุ์ มีอายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 113 วัน สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่าข้าวมีอายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 110 วัน ส่วนวันปลูกที่ 3 พบว่าข้าวมีอายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 109 วัน ซึ่งจะเห็นว่าในวันปลูกที่ 1 ข้าวมีอายุเก็บเกี่ยวเฉลี่ยมากกว่าวันปลูกที่ 2 และวันปลูกที่ 3 (ตารางที่ 4.19) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis) พบว่าวันปลูกมีอิทธิพลทำให้ค่าเฉลี่ยของลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวทุกพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.20) โดยพบว่าวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ข้าวมีค่าเฉลี่ยของลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวเท่ากับ $13.27 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 59.3 กรัมต่อกอ ผลผลิตเท่ากับ 17.8 กรัมต่อกอ และดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.30 สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) ข้าวมีค่าเฉลี่ยของลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวเท่ากับ $2.44 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 77.6 กรัมต่อกอ ผลผลิตเท่ากับ 32.4 กรัมต่อกอ และดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.42 ส่วนวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ข้าวมี CGR เฉลี่ยเท่ากับ $7.53 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ น้ำหนักแห้งรวมเท่ากับ 145.5 กรัมต่อกอ ผลผลิตเท่ากับ 67.4 กรัมต่อกอ และดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.46 (ตารางที่ 4.21)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบผลผลิต พบว่าวันปลูกที่ 1 ข้าวมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรเฉลี่ยเท่ากับ 7.4×10^3 เมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 21.61 กรัม ส่วนวันปลูกที่ 2 ข้าวมีค่าเฉลี่ยของจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรเท่ากับ 11.5×10^3 เมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 24.35 กรัม สำหรับวันปลูกที่ 3 จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรของข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.1×10^3 เมล็ด และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 23.73 กรัม (ตารางที่ 4.22) ซึ่งจะเห็นว่าข้าวที่ปลูกในวันที่ 16 มกราคม 2554 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวที่ปลูกในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 และ 15 สิงหาคม 2553 (ตารางที่ 4.21 และตารางที่ 4.22)

4.2.7 อิทธิพลของพันธุ์

จากการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ ที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรม พบว่าในทั้ง 3 วันปลูก ข้าวแต่ละพันธุ์มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ 122 วัน สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ 115 วัน ทั้ง 2 พันธุ์ และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 3 และปทุมธานี 80 ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด คือ 101 วัน สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ 115 วัน ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3

และปทุมธานี 80 สำหรับข้าวพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท 1 โดยมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 102 วัน (ตารางที่ 4.19) และพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม และดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.20) โดยทั้ง 3 วันปลูก พบว่าข้าวพันธุ์ที่มีลักษณะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม และดัชนีเก็บเกี่ยวสูง จะเป็นพันธุ์ที่มีแนวโน้มในการให้ผลผลิตสูง (ตารางที่ 4.21) สำหรับผลการวิเคราะห์น้ำหนัก 1,000 เมล็ด พบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 2 เป็นพันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยที่สุดในทั้ง 3 วันปลูก (ตารางที่ 4.22)

4.2.8 การตอบสนองของอัตราการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตต่อวันปลูก

จากการวิเคราะห์พบว่าวันปลูกมีผลต่อการตอบสนองของอายุเก็บเกี่ยว CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยว ของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ (ตารางที่ 4.20) โดยพบว่าข้าวที่ปลูกในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ พันธุ์พิษณุโลก 2 ซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 122 วัน สำหรับพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท 1 โดยมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 110 วัน (ตารางที่ 4.19) สำหรับ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 มี CGR สูงที่สุด คือ 19.67, 17.19 และ 19.17 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ตามลำดับ และพันธุ์ที่มี CGR น้อยที่สุด คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 และพิษณุโลก 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.60, 9.80, 9.43 และ 6.02 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ตามลำดับ สำหรับน้ำหนักแห้งรวมและผลผลิตพบว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด คือ ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 มีค่าเท่ากับ 71.5, 74.7 และ 73.6 กรัมต่อนกอ ส่วนพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมน้อยที่สุด คือ พิษณุโลก 2 มีค่าเท่ากับ 42.6 กรัมต่อนกอ สำหรับผลผลิตพบว่าพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงที่สุด คือ ชัยนาท 1 เท่ากับ 27.5 กรัมต่อนกอ รองลงมา คือ ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 เท่ากับ 20.6 และ 22.6 กรัมต่อนกอ ตามลำดับ และพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เป็นพันธุ์ที่มีผลผลิตเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 6.0 กรัมต่อนกอ (ตารางที่ 4.21) ส่วนข้าวที่ปลูกในวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ 115 วัน ทั้ง 2 พันธุ์ และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 3 และปทุมธานี 80 สำหรับพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุด คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 2 โดยมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 101 วัน (ตารางที่ 4.19) ส่วน CGR พบว่ามีเพียงพันธุ์สุพรรณบุรี 3 พันธุ์เดียวที่มี CGR สูงที่สุด คือ 4.17 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ สำหรับผลผลิตและน้ำหนักแห้งรวมพบว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุด คือ สุพรรณบุรี 3 มีค่าเท่ากับ 101.7 กรัมต่อนกอ และพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งรวมน้อยที่สุด คือ พิษณุโลก 2 เท่ากับ 50.3 กรัมต่อนกอ ส่วนผลผลิตพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 มีผลผลิตมากที่สุดเท่ากับ 43.4 และ

42.1 กรั่มต่อกอ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.21) สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์ปทุมธานี 1 และพิษณุโลก 2 มีอายุเก็บเกี่ยวมากที่สุด คือ 113 และ 115 วัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 และปทุมธานี 80 ส่วนพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดคือ พันธุ์ชัยนาท 1 โดยมีอายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 102 วัน (ตารางที่ 4.19) สำหรับ CGR พบว่าข้าวทุกพันธุ์มี CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวสูง ยกเว้นพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มี CGR ต่ำที่สุดคือ $3.62 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ สำหรับน้ำหนักรวมแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งพันธุ์ที่มีน้ำหนักรวมมากที่สุดคือ สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 เท่ากับ 150.2, 173.6, 147.8 และ 169.7 กรัมต่อกอ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ชัยนาท 1 มีน้ำหนักรวมน้อยที่สุดคือ 103.0 กรัมต่อกอ ส่วนผลผลิตพบว่าข้าวทุกพันธุ์มีผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าพันธุ์ปทุมธานี 80 มีผลผลิตมากที่สุด โดยจะเห็นว่าข้าวพันธุ์ที่มีผลผลิตสูง ส่วนใหญ่ก็จะมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ด้วย (ตารางที่ 4.21)

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลผลิต พบว่าในวันปลูกที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และพบว่าจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าว ซึ่งจะเห็นได้จากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดก็จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมากที่สุดคือ 11.1×10^3 เมล็ด ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุดก็จะมีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรน้อยที่สุดคือ 2.3×10^3 เมล็ด เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนัก 1,000 เมล็ด พบว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีขนาดเมล็ดเล็กกว่าพันธุ์อื่นๆ โดยน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 18.98 กรัม ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำกลับมีขนาดเมล็ดใหญ่กว่าพันธุ์อื่นๆ โดยมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเท่ากับ 23.58 กรัม ส่วนในวันปลูกที่ 15 สิงหาคม 2553 พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมากที่สุดเท่ากับ 15.6×10^3 เมล็ด และพันธุ์ชัยนาท 1 มีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมีน้อยที่สุดเท่ากับ 7.6×10^3 เมล็ด เมื่อพิจารณาน้ำหนัก 1,000 เมล็ด พบว่าพันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 80 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุดคือ 26.11 และ 26.17 กรัม ตามลำดับ ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยที่สุดเท่ากับ 22.17 กรัม สำหรับวันปลูกที่ 16 มกราคม 2554 พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนัก 1,000 เมล็ด กลับพบว่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ข้าวพันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุดคือ ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 เท่ากับ 23.76, 24.36, 24.38, 24.19 และ 24.01 กรัม ตามลำดับ และพันธุ์สุพรรณบุรี 2 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยที่สุดเท่ากับ 22.12 กรัม จะเห็นว่าในทั้ง 3 วันปลูก พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงจะเป็นพันธุ์ที่มีองค์ประกอบผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ (ตารางที่ 4.22)

ตารางที่ 4.19 อายุเก็บเกี่ยวของข้าวแต่ละพันธุ์สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพกระถางทดลอง

พันธุ์	อายุเก็บเกี่ยว (วัน) ^{1/}		
	วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)	วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)
ชัยนาท 1	110c	109bc	102b
สุพรรณบุรี 1	113bc	115a	106ab
สุพรรณบุรี 2	103d	101d	109ab
สุพรรณบุรี 3	117b	112ab	111ab
ปทุมธานี 1	115b	115a	113a
ปทุมธานี 80	117b	113ab	107ab
พิษณุโลก 2	122a	106cd	115a
เฉลี่ย	113	110	109
F-test	**	**	**
C.V. (%)	2.05	3.16	4.93

** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (Combined analysis) ของอายุเก็บเกี่ยว อัตราการเจริญเติบโตที่ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยว ในสภาพกระถางทดลอง

Source	d.f.	อายุเก็บเกี่ยว (วัน)	CGR ที่ 45 วันหลังปักดำถึง เก็บเกี่ยว	น้ำหนักแห้งรวม (กรัมต่อกอ)	ผลผลิต (กรัมต่อกอ)	ดัชนีเก็บเกี่ยว
วันปลูก	2	**	**	**	**	**
พันธุ์	6	**	**	**	ns	**
พันธุ์ × วันปลูก	12	**	**	**	*	**

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

*,** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.21 อัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพกระถางทดลอง

พันธุ์	วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)				วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)				วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)			
	CGR ที่ 45 วันถึงเก็บเกี่ยว ^{1/}	น้ำหนักแห้งรวม (กรัมต่อกอ) ^{1/}	ผลผลิต (กรัมต่อกอ) ^{1/}	ดัชนีเก็บเกี่ยว ^{1/}	CGR ที่ 45 วันถึงเก็บเกี่ยว ^{1/}	น้ำหนักแห้งรวม (กรัมต่อกอ) ^{1/}	ผลผลิต (กรัมต่อกอ) ^{1/}	ดัชนีเก็บเกี่ยว ^{1/}	CGR ที่ 45 วันถึงเก็บเกี่ยว ^{1/}	น้ำหนักแห้งรวม (กรัมต่อกอ) ^{1/}	ผลผลิต (กรัมต่อกอ) ^{1/}	ดัชนีเก็บเกี่ยว ^{1/}
ชัยนาท 1	19.67a	71.5a	27.5a	0.38a	2.02b	70.5abc	22.3b	0.35c	3.62b	103.0b	51.1	0.50a
สุพรรณบุรี 1	11.60b	54.1b	14.5b	0.27b	2.37b	89.0ab	43.4a	0.46ab	6.53a	150.2a	68.6	0.45b
สุพรรณบุรี 2	9.80b	45.6b	18.1b	0.39a	2.48b	64.5bc	28.1ab	0.44ab	7.07a	134.4ab	68.9	0.51a
สุพรรณบุรี 3	9.43b	52.8b	6.0c	0.12c	4.17a	101.7a	35.3ab	0.37bc	9.11a	173.6a	75.9	0.43b
ปทุมธานี 1	17.19a	74.7a	20.6ab	0.28b	2.64b	88.5ab	42.1a	0.47a	8.35a	147.8a	65.9	0.44b
ปทุมธานี 80	19.17a	73.6a	22.6ab	0.31ab	1.94b	78.8abc	32.0ab	0.40abc	8.97a	169.7a	81.5	0.48ab
พิษณุโลก 2	6.02b	42.6b	15.5b	0.35ab	1.49b	50.3c	23.6b	0.45ab	9.03a	139.5ab	59.6	0.43b
เฉลี่ย	13.27	59.3	17.8	0.30	2.44	77.6	32.4	0.42	7.53	145.5	67.4	0.46
F-test	**	**	**	**	**	**	**	*	**	*	ns	*
C.V. (%)	20.38	13.87	21.19	15.98	24.34	20.91	24.36	12.09	17.06	18.06	22.23	8.12

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

*, ** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4.22 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว สำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ในสภาพกระถางทดลอง

พันธุ์	วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)			วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)			วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)		
	ผลผลิต	จำนวนเมล็ดต่อ	น้ำหนัก	ผลผลิต	จำนวนเมล็ดต่อ	น้ำหนัก	ผลผลิต	จำนวนเมล็ดต่อ	น้ำหนัก
	(กรัมต่อกอ) ^{1/}	ตารางเมตร (×10 ³) ^{1/}	1,000 เมล็ด (กรัม) ^{1/}	(กรัมต่อกอ) ^{1/}	ตารางเมตร (×10 ³) ^{1/}	1,000 เมล็ด (กรัม) ^{1/}	(กรัมต่อกอ)	ตารางเมตร (×10 ³)	1,000 เมล็ด (กรัม) ^{1/}
ชัยนาท 1	27.5a	11.1a	21.89b	22.3b	7.6c	26.11a	51.1	19.1	23.76a
สุพรรณบุรี 1	14.5b	5.7b	22.37ab	43.4a	15.6a	24.72abc	68.6	25.1	24.36a
สุพรรณบุรี 2	18.1b	8.9ab	18.98d	28.1ab	11.2abc	22.17c	68.9	27.5	22.12b
สุพรรณบุรี 3	6.0c	2.3c	23.58a	35.3ab	12.2abc	25.19ab	75.9	27.5	24.38a
ปทุมธานี 1	20.6ab	8.9ab	20.42c	42.1a	13.9ab	22.79bc	65.9	25.0	23.26ab
ปทุมธานี 80	22.6ab	8.5ab	23.39a	32.0ab	11.0abc	26.17a	81.5	29.8	24.19a
พิษณุโลก 2	15.5b	6.4b	21.58bc	23.6b	8.7bc	23.33abc	59.6	22.0	24.01a
เฉลี่ย	17.8	7.4	21.61	32.4	11.5	24.35	67.4	25.1	23.73
F-test	**	**	**	**	**	**	ns	ns	*
C.V. (%)	21.19	22.22	2.67	24.36	20.57	5.30	22.23	23.35	3.61

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

*, ** = มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

4.3 การทดลองที่ 3 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับใช้เป็น ข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว (model calibration)

ทำการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว 7 พันธุ์ โดยอาศัยข้อมูลการทดลองของวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) เพื่อใช้ในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวแต่ละพันธุ์ และทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมโดยใช้โปรแกรม GLUE จนได้ผลการจำลองลักษณะด้านพัฒนาการและการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองมากที่สุด ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ที่ประเมินได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว 7 พันธุ์

พันธุ์	P1	P2R	P5	P2O	G1	G2	G3	G4
ชัยนาท 1	592.2	112.1	345.7	11.9	51.0	0.024	0.97	1.00
สุพรรณบุรี 1	629.7	153.6	403.8	12.2	51.1	0.023	0.60	1.00
สุพรรณบุรี 2	408.5	154.2	332.7	11.5	74.0	0.021	0.96	1.00
สุพรรณบุรี 3	516.4	91.8	332.8	10.6	53.4	0.025	0.58	1.00
ปทุมธานี 1	610.7	90.8	480.4	11.3	47.7	0.024	0.59	1.00
ปทุมธานี 80	711.0	148.7	338.4	12.9	55.5	0.025	0.63	1.00
พิษณุโลก 2	661.3	36.0	392.7	12.9	50.7	0.024	0.56	1.00

สำหรับการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองและค่าที่ได้จากการสังเกตจริงของลักษณะพัฒนาการ ได้แก่ วันออกดอก และวันสุกแก่ทางสรีรวิทยา ของข้าวทุกพันธุ์ พบว่าค่าที่ได้จากการจำลองใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสังเกตจริง โดยวันออกดอกของวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) มีค่า d อยู่ระหว่าง 0.99 ถึง 1.00 และมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 3.57 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวทุกพันธุ์มีค่า d เท่ากับ 0.99 และมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 1.08 ถึง 6.25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่า วันออกดอกของข้าวมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.99 ถึง 1.00 และมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 4.35 เปอร์เซ็นต์ และวันสุกแก่ทางสรีรวิทยา มีค่า d อยู่ระหว่าง 0.99 ถึง 1.00 และ RMSEn อยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 8.86 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.24)

ในส่วนของการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองและค่าที่ได้จากการสังเกตจริงของลักษณะด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนัก 1 เมล็ด จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร ผลผลิต และน้ำหนักแห้งรวม ภายใต้การใช้ข้อมูลของวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) พบว่าสามารถทำนายน้ำหนัก 1 เมล็ดของข้าวทุกพันธุ์ได้ดีมากเนื่องจากมีค่า RMSEn ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.99 ถึง 1.00 สำหรับจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรพบว่าสามารถทำนายได้ค่อนข้างดี โดยมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 6.59 ถึง 25.20 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.25) และเมื่อพิจารณาความสอดคล้องของผลผลิตที่ได้จากการสังเกตและการทำนายพบว่ามีค่า d อยู่ระหว่าง 0.98 ถึง 0.99 และมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 5.81 ถึง 22.57 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทำนายน้ำหนักแห้งรวม พบว่าแบบจำลองทำนายได้ค่อนข้างดี โดยมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.97 ถึง 0.99 และมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 1.55 ถึง 25.68 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.26)

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้มาทำนายลักษณะด้านการเจริญเติบโต ภายใต้การใช้ข้อมูลการทดลองของวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่าสามารถทำนายน้ำหนัก 1 เมล็ดของข้าวทุกพันธุ์ได้ดีมาก โดยมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.99 ถึง 1.00 และค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 0.40 ถึง 4.55 เปอร์เซ็นต์ สำหรับจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้ค่อนข้างดี โดยมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.97 ถึง 0.99 และมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 1.94 ถึง 25.94 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.27) สำหรับผลผลิตพบว่าแบบจำลองทำนายได้ค่อนข้างดี โดยมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.97 ถึง 0.99 และมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 2.96 ถึง 27.99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำหนักแห้งรวมพบว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี โดยมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.95 ถึง 0.99 และมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 16.65 ถึง 33.47 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.28)

ตารางที่ 4.24 ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของลักษณะด้านพัฒนาการของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated)

ลักษณะด้านพัฒนาการ	พันธุ์	วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553)				วันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554)			
		การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)
วันออกดอก	ชัยนาท 1	63	61	0.99	3.17	64	64	1.00	0.00
	สุพรรณบุรี 1	63	64	0.99	1.59	66	66	1.00	0.00
	สุพรรณบุรี 2	56	58	0.99	3.57	57	58	0.99	1.75
	สุพรรณบุรี 3	63	62	0.99	1.59	65	67	0.99	3.08
	ปทุมธานี 1	66	64	0.99	3.03	70	68	0.99	2.86
	ปทุมธานี 80	61	61	1.00	0.00	68	68	1.00	0.00
	พิษณุโลก 2	56	58	0.99	3.57	69	66	0.99	4.35
วันสุกแก่ทางสรีรวิทยา	ชัยนาท 1	87	89	0.99	2.30	93	92	0.99	1.08
	สุพรรณบุรี 1	93	92	0.99	1.08	93	93	1.00	0.00
	สุพรรณบุรี 2	80	85	0.99	6.25	79	86	0.99	8.86
	สุพรรณบุรี 3	90	87	0.99	3.33	94	91	0.99	3.19
	ปทุมธานี 1	93	95	0.99	2.15	94	99	0.99	5.32
	ปทุมธานี 80	91	89	0.99	2.20	93	93	1.00	0.00
	พิษณุโลก 2	84	85	0.99	1.19	94	93	0.99	1.06

ตารางที่ 4.25 ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของน้ำหนัก 1 เมล็ด และจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated)

พันธุ์	น้ำหนัก 1 เมล็ด (กรัม)				จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร ($\times 10^3$)			
	การสังเกต	การจำลอง	d	RMSEn (%)	การสังเกต	การจำลอง	d	RMSEn (%)
ชัยนาท 1	0.0240	0.0240	1.00	0.00	19.1	23.3	0.99	22.11
สุพรรณบุรี 1	0.0240	0.0241	1.00	0.42	18.0	21.5	0.99	19.64
สุพรรณบุรี 2	0.0200	0.0210	0.99	5.00	28.8	30.7	0.99	6.59
สุพรรณบุรี 3	0.0240	0.0250	0.99	4.17	18.7	21.9	0.99	16.17
ปทุมธานี 1	0.0250	0.0240	0.99	4.00	15.8	19.8	0.98	25.20
ปทุมธานี 80	0.0270	0.0262	0.99	2.96	19.4	21.6	0.99	11.16
พิษณุโลก 2	0.0250	0.0252	0.99	0.80	15.7	17.7	0.99	12.66

ตารางที่ 4.26 ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของผลผลิต และน้ำหนักแห้งรวมของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated)

พันธุ์	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)				น้ำหนักแห้งรวม (กิโลกรัมต่อไร่)			
	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)
ชัยนาท 1	731	896	0.98	22.57	1,940	1,863	0.99	3.97
สุพรรณบุรี 1	692	834	0.99	20.25	1,789	1,720	0.99	3.86
สุพรรณบุรี 2	930	984	0.99	5.81	2,099	1,749	0.99	16.67
สุพรรณบุรี 3	730	876	0.99	20.00	1,722	1,605	0.99	6.79
ปทุมธานี 1	638	762	0.99	19.44	1,810	1,782	0.99	1.55
ปทุมธานี 80	829	908	0.99	9.53	2,126	1,580	0.97	25.68
พิษณุโลก 2	622	716	0.99	15.11	1,700	1,435	0.99	15.59

ตารางที่ 4.27 ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของน้ำหนัก 1 เมล็ด และจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated)

พันธุ์	น้ำหนัก 1 เมล็ด (กรัม)				จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร ($\times 10^3$)			
	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)
ชัยนาท 1	0.0250	0.0242	0.99	3.20	21.6	22.0	0.99	1.94
สุพรรณบุรี 1	0.0240	0.0237	0.99	1.25	22.7	19.2	0.99	15.39
สุพรรณบุรี 2	0.0220	0.0210	0.99	4.55	31.3	27.2	0.99	13.17
สุพรรณบุรี 3	0.0260	0.0250	0.99	3.85	21.6	20.6	0.99	4.59
ปทุมธานี 1	0.0250	0.0240	0.99	4.00	24.9	18.5	0.97	25.94
ปทุมธานี 80	0.0250	0.0251	1.00	0.40	23.7	21.6	0.99	9.03
พิษณุโลก 2	0.0250	0.0251	1.00	0.40	18.4	17.8	0.99	3.24

ตารางที่ 4.28 ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของผลผลิต และน้ำหนักแห้งรวมของข้าว 7 พันธุ์ สำหรับวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ซึ่งใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (calibrated)

พันธุ์	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)				น้ำหนักแห้งรวม (กิโลกรัมต่อไร่)			
	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)
ชัยนาท 1	877	851	0.99	2.96	2,138	1,782	0.99	16.65
สุพรรณบุรี 1	875	727	0.99	16.91	1,980	1,511	0.98	23.69
สุพรรณบุรี 2	1,118	814	0.97	27.19	2,213	1,639	0.97	25.94
สุพรรณบุรี 3	896	824	0.99	8.04	2,135	1,505	0.97	29.51
ปทุมธานี 1	986	710	0.97	27.99	2,483	1,652	0.95	33.47
ปทุมธานี 80	938	868	0.99	7.46	2,258	1,540	0.96	31.80
พิจนุโลก 2	754	715	0.99	5.17	1,857	1,420	0.98	23.53

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (model validation)

สำหรับการประเมินว่าค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้โดยอาศัยข้อมูลจากวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) จะสามารถทำนายลักษณะต่างๆ ของข้าวได้ดีเพียงใดนั้นจะต้องนำไปประเมินกับชุดข้อมูลอื่น (independent set) โดยการศึกษาที่ใช้ข้อมูลวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ซึ่งไม่ได้ใช้ในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมเป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบ โดยจำลองลักษณะด้านพัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวแต่ละพันธุ์ แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการสังเกตจริง พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายวันออกดอกของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 ปทุมธานี 1 และปทุมธานี 80 ได้ดีมาก เนื่องจากมีค่า d เท่ากับ 0.99 และมีค่า RMSEn ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 4 พันธุ์ สำหรับการทำนายวันสุกแก่ทางสรีรวิทยานั้น พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายได้ดีเพียงพันธุ์เดียวคือ สุพรรณบุรี 2 ซึ่งมีค่า d เท่ากับ 0.99 และ RMSEn เท่ากับ 7.50 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.29)

ในส่วนของการทำนายลักษณะด้านการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนัก 1 เมล็ด จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร ผลผลิต และน้ำหนักแห้งรวม เมื่อพิจารณาค่า d และค่า RMSEn พบว่าแบบจำลองทำนายน้ำหนัก 1 เมล็ดได้ดีมากสำหรับพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 2 และปทุมธานี 80 โดยมีค่า RMSEn เท่ากับ 9.09, 5.00 และ 8.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่า d เท่ากับ 0.99 ทั้ง 3 พันธุ์ สำหรับจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร พบว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดัดนัก โดยเฉพาะในพันธุ์สุพรรณบุรี 3 ซึ่งมีค่า d เท่ากับ 0.67 และมีค่า RMSEn สูงถึง 264.24 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีความแตกต่างกันมากระหว่างค่าที่ได้จากการสังเกตและค่าที่ได้จากการจำลอง ซึ่งค่าที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 5.5×10^3 เมล็ด และค่าที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 20.2×10^3 เมล็ด (ตารางที่ 4.30) และเมื่อพิจารณาความสอดคล้องของผลผลิตที่ได้จากการสังเกตและการจำลองพบว่าแบบจำลองทำนายผลผลิตของข้าวทุกพันธุ์ได้ไม่ดี โดยเฉพาะพันธุ์สุพรรณบุรี 3 เนื่องจากมีค่าที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 190 กิโลกรัมต่อไร่ และค่าที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 808 กิโลกรัมต่อไร่ จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการสังเกตและการจำลองแตกต่างกันค่อนข้างมากจึงทำให้ผลการทำนายไม่ดี โดยมีค่า d เท่ากับ 0.61 และมีค่า RMSEn สูงถึง 325.26 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำหนักแห้งรวมพบว่าแบบจำลองทำนายได้ดีสำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 ปทุมธานี 80 และพิษณุโลก 2 ซึ่งมีค่า d เท่ากับ 0.99 ทั้ง 4 พันธุ์ และ RMSEn เท่ากับ 2.12, 0.60, 7.59 และ 9.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับพันธุ์อื่นๆ พบว่าแบบจำลองทำนายน้ำหนักแห้งรวมได้ไม่ดี (ตารางที่ 4.31)

ตารางที่ 4.29 ความสอดคล้องของลักษณะด้านพัฒนาการของข้าว 7 พันธุ์ ที่ได้จากการจำลองและการสังเกตจริง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ใน การทำนาย (validated)

พันธุ์	วันออกดอก				วันสุกแก่ทางสรีรวิทยา			
	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)
ชัยนาท 1	65	56	0.99	13.85	98	80	0.98	18.37
สุพรรณบุรี 1	63	57	0.99	9.52	98	81	0.99	17.35
สุพรรณบุรี 2	53	51	0.99	3.77	80	74	0.99	7.50
สุพรรณบุรี 3	70	57	0.98	18.57	98	78	0.98	20.41
ปทุมธานี 1	61	59	0.99	3.28	98	87	0.99	11.22
ปทุมธานี 80	60	58	0.99	3.33	92	82	0.99	10.87
พิษณุโลก 2	68	56	0.99	12.00	98	80	0.98	18.37

ตารางที่ 4.30 ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของน้ำหนัก 1 เมล็ดและจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรของข้าว 7 พันธุ์ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ในการทำนาย (validated)

พันธุ์	น้ำหนัก 1 เมล็ด (กรัม)				จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร ($\times 10^3$)			
	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)
ชัยนาท 1	0.0220	0.0240	0.99	9.09	14.2	21.8	0.95	53.76
สุพรรณบุรี 1	0.0210	0.0241	0.99	14.76	11.6	18.8	0.94	61.09
สุพรรณบุรี 2	0.0200	0.0210	0.99	5.00	17.6	27.2	0.95	54.21
สุพรรณบุรี 3	0.0210	0.0250	0.99	19.05	5.5	20.2	0.67	264.24
ปทุมธานี 1	0.0210	0.0244	0.99	16.19	9.6	18.3	0.90	89.63
ปทุมธานี 80	0.0240	0.0260	0.99	8.33	13.9	20.6	0.96	48.28
พิษณุโลก 2	0.0220	0.0252	0.99	14.55	10.4	17.3	0.93	67.36

ตารางที่ 4.31 ความสอดคล้องของค่าที่ได้จากการจำลองและการสังเกตของผลผลิตและน้ำหนักแห้งรวมของข้าว 7 พันธุ์ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ในการทำนาย (validated)

พันธุ์	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)				น้ำหนักแห้งรวม (กิโลกรัมต่อไร่)			
	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)	การสังเกต	การจำลอง	<i>d</i>	RMSEn (%)
ชัยนาท 1	507	836	0.94	64.89	1,322	1,676	0.98	26.78
สุพรรณบุรี 1	403	725	0.91	79.90	1,414	1,444	0.99	2.12
สุพรรณบุรี 2	559	914	0.94	63.51	1,493	1,502	0.99	0.60
สุพรรณบุรี 3	190	808	0.61	325.26	1,109	1,408	0.98	26.96
ปทุมธานี 1	318	712	0.85	123.90	1,069	1,604	0.95	50.05
ปทุมธานี 80	533	857	0.94	60.79	1,595	1,474	0.99	7.59
พิษณุโลก 2	363	698	0.90	92.29	1,227	1,348	0.99	9.86

4.4 การทดลองที่ 4 การประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

อัตราการเจริญเติบโต (CGR)

จากการประเมิน CGR ของข้าว 7 พันธุ์ ใน 3 วันปลูกพบว่าแบบจำลองสามารถประเมิน CGR ของข้าวทุกพันธุ์ได้ค่อนข้างดี โดยเฉพาะวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) แต่สำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 กลับพบว่าแบบจำลองประเมิน CGR ได้ดีในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) โดยมีค่าเฉลี่ยของ CGR ที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ $8.37 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยของ CGR ที่ได้จากการจำลองเท่ากับ $9.21 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ส่วนค่า RMSEn และค่า d เท่ากับ 15.06 เปอร์เซ็นต์ และ 0.98 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.32)

สำหรับการประเมิน CGR ของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าแบบจำลองสามารถประเมิน CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวได้ดีกว่าระยะอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของ CGR ที่ได้จากการสังเกตอยู่ระหว่าง $8.50 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ถึง $14.13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองอยู่ระหว่าง $6.36 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ถึง $12.84 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ สำหรับค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 10.30 ถึง 57.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.46 ถึง 0.93 (ตารางที่ 4.33)

ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

จากการประเมิน LAI ของข้าว 7 พันธุ์ ใน 3 วันปลูก พบว่าแบบจำลองสามารถประเมิน LAI ของข้าวทุกพันธุ์ได้ดีสำหรับวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) โดยมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 2.67 ถึง 48.65 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า d อยู่ระหว่าง 0.67 ถึง 1.00 แต่สำหรับพันธุ์สุพรรณบุรี 2 กลับพบว่าแบบจำลองประเมิน LAI ได้ดีสำหรับวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) โดยมีค่าเฉลี่ยของ LAI ที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 4.60 และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 2.95 สำหรับ RMSEn มีค่าเท่ากับ 43.39 เปอร์เซ็นต์ และค่า d เท่ากับ 0.66 (ตารางที่ 4.34)

เมื่อพิจารณา LAI ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าแบบจำลองสามารถประเมิน LAI ที่ระยะเก็บเกี่ยวได้ดีกว่าระยะอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของ LAI ที่ได้จากการสังเกตอยู่ระหว่าง 3.39 ถึง 5.18 และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองอยู่ระหว่าง 1.93 ถึง 3.06 ส่วน RMSEn มีค่าอยู่ระหว่าง 38.19 ถึง 60.36 เปอร์เซ็นต์ และค่า d อยู่ระหว่าง 0.09 ถึง 0.48 (ตารางที่ 4.35)

พื้นที่ใบเฉพาะ (SLA)

จากการประเมิน SLA ของข้าว 7 พันธุ์ใน 3 วันปลูก พบว่าแบบจำลองทำนาย SLA ของข้าวทุกพันธุ์ในวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ได้ดีกว่าวันปลูกอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ยของ SLA ที่ได้จาก

การสังเกตอยู่ระหว่าง 196.05 ถึง $236.30 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองอยู่ระหว่าง 144.03 ถึง $156.93 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ สำหรับ RMSEn มีค่าอยู่ระหว่าง 23.06 ถึง 37.76 เปอร์เซนต์ และค่า d อยู่ระหว่าง 0.21 ถึง 0.62 (ตารางที่ 4.36)

เมื่อพิจารณา SLA ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่าที่ระยะ 30 วันหลังปักดำแบบจำลองสามารถประเมิน SLA ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้ดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ $287.02 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ $160.93 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ส่วน RMSEn และ d มีค่าเท่ากับ 48.63 เปอร์เซนต์ และ 0.41 ตามลำดับ สำหรับที่ระยะ 45 วันหลังปักดำพบว่าแบบจำลองทำนาย SLA ได้ดีในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 3 และพิษณุโลก 2 โดยมีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 344.43 , 275.64 และ $319.73 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 169.20 , 171.13 และ 171.13 ตามลำดับ ส่วน RMSEn มีค่าเท่ากับ 52.94 , 39.83 และ 48.73 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ สำหรับ d มีค่าเท่ากับ 0.33 , 0.34 และ 0.35 ตามลำดับ สำหรับที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าแบบจำลองทำนาย SLA ได้ดีในข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 และปทุมธานี 80 โดยมีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 185.05 , 198.05 และ $154.69 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 103.33 , 122.50 และ $111.43 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ตามลำดับ สำหรับ RMSEn มีค่าเท่ากับ 44.68 , 45.41 และ 29.95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ส่วน d มีค่าเท่ากับ 0.25 , 0.42 และ 0.42 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.37)

ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI)

จากการประเมิน HI ของข้าว 7 พันธุ์ใน 3 วันปลูก พบว่าแบบจำลองทำนาย HI ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และ ปทุมธานี 1 ได้ค่อนข้างดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสังเกตเท่ากับ 0.39 และ 0.35 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองเท่ากับ 0.49 และ 0.43 ตามลำดับ สำหรับ RMSEn มีค่าเท่ากับ 23.89 และ 28.08 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ และค่า d เท่ากับ 0.18 และ 0.35 ตามลำดับ แต่สำหรับพันธุ์อื่นๆ พบว่าแบบจำลองทำนาย HI ได้ไม่ดี (ตารางที่ 4.38)

ความสัมพันธ์ระหว่าง CGR ที่ได้จากจำลองและการสังเกตจริง

จากผลการวิเคราะห์ RMSEn และ d ระหว่าง CGR ที่ระยะต่างๆ พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองและค่าสังเกตจริง โดยพบว่าที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ และระยะ 30 ถึง 45 วันหลังปักดำไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ แต่ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว พบว่า CGR ที่ได้จากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับค่าสังเกตจริง ($R^2 = 0.50^{**}$) ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการประเมิน CGR ของข้าวในระยะดังกล่าวได้ค่อนข้างดี

ความสัมพันธ์ระหว่าง LAI ที่ได้จากการจำลองและการสังเกตจริง

ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LAI ที่ได้จากการสังเกตและการจำลองในวันปลูกต่างๆ พบว่า LAI ที่ได้จากการจำลองมีความสัมพันธ์กับค่าสังเกตจริงในทั้ง 3 วันปลูก ($R^2 = 0.52^{**}$, $R^2 = 0.42^{**}$ และ $R^2 = 0.63^{**}$ ตามลำดับ) ซึ่งให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการประเมิน LAI ของข้าวได้ค่อนข้างดีในทั้ง 3 วันปลูก

ความสัมพันธ์ระหว่าง SLA ที่ได้จากการจำลองและการสังเกตจริง

ภาพที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SLA ที่ได้จากการสังเกตและการจำลองในวันปลูกต่างๆ พบว่า SLA ที่ได้จากการจำลองมีความสัมพันธ์กับค่าสังเกตจริงในทั้ง 3 วันปลูก ($R^2 = 0.37^{**}$, $R^2 = 0.69^{**}$ และ $R^2 = 0.80^{**}$ ตามลำดับ) ซึ่งให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการประเมิน SLA ของข้าวได้ค่อนข้างดีในทั้ง 3 วันปลูก

ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ของข้าวใน 3 วันปลูก

พันธุ์	วันปลูก	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)		RMSEn (%)	<i>d</i>
		Mean Obs. ^a	Mean Sim. ^a		
ชัยนาท 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	8.79	11.50	32.77	0.92
	2 (15 สิงหาคม 2553)	11.50	12.10	9.12	0.99
	3 (16 มกราคม 2554)	11.53	9.47	26.36	0.92
สุพรรณบุรี 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	8.37	9.21	15.06	0.98
	2 (15 สิงหาคม 2553)	9.73	9.48	27.04	0.88
	3 (16 มกราคม 2554)	10.43	7.06	49.67	0.75
สุพรรณบุรี 2	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	8.65	11.93	59.62	0.57
	2 (15 สิงหาคม 2553)	12.72	12.46	11.27	0.98
	3 (16 มกราคม 2554)	15.15	11.26	36.19	0.83
สุพรรณบุรี 3	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	5.94	9.02	67.49	0.73
	2 (15 สิงหาคม 2553)	10.43	10.29	35.20	0.84
	3 (16 มกราคม 2554)	11.23	7.25	49.17	0.74
ปทุมธานี 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	4.80	9.41	132.75	0.09
	2 (15 สิงหาคม 2553)	7.92	9.71	26.17	0.92
	3 (16 มกราคม 2554)	10.91	7.58	35.55	0.89
ปทุมธานี 80	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	7.58	9.76	66.88	0.46
	2 (15 สิงหาคม 2553)	11.07	10.16	34.33	0.81
	3 (16 มกราคม 2554)	11.11	7.17	47.15	0.81
พิษณุโลก 2	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	6.11	8.33	61.41	0.66
	2 (15 สิงหาคม 2553)	9.70	9.78	36.96	0.77
	3 (16 มกราคม 2554)	9.03	6.54	50.93	0.73

^a ค่าเฉลี่ยจาก 3 ระยะการเจริญเติบโต

ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว

พันธุ์	ระยะการเจริญเติบโต	CGR ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)		RMSEn (%)	<i>d</i>
		Mean Obs. ^a	Mean Sim. ^a		
ชัยนาท 1	ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	5.09	5.65	32.36	0.69
	30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	16.31	16.62	17.93	0.04
	45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	9.93	11.37	14.81	0.93
สุพรรณบุรี 1	ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	4.83	2.66	53.22	0.42
	30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	14.55	12.37	34.61	0.03
	45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	9.14	10.72	20.00	0.83
สุพรรณบุรี 2	ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	4.60	6.23	56.98	0.08
	30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	17.79	16.58	39.63	0.00
	45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	14.13	12.84	10.30	0.92
สุพรรณบุรี 3	ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	4.59	2.96	65.41	0.00
	30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	14.14	12.51	46.45	0.00
	45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	8.86	6.36	57.00	0.46
ปทุมธานี 1	ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	4.61	2.42	54.57	0.45
	30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	8.36	12.19	95.88	0.00
	45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	10.65	12.09	24.27	0.83
ปทุมธานี 80	ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	5.61	2.42	69.72	0.53
	30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	12.75	14.54	60.97	0.09
	45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	11.40	10.13	11.80	0.87
พิษณุโลก 2	ปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ	5.46	2.02	75.56	0.44
	30 ถึง 45 วันหลังปักดำ	10.89	12.88	59.15	0.09
	45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว	8.50	9.74	18.99	0.76

^a ค่าเฉลี่ยจาก 3 วันปลูก

ตารางที่ 4.34 ค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ของข้าวใน 3 วันปลูก

พันธุ์	วันปลูก	LAI		RMSEn (%)	<i>d</i>
		Mean Obs. ^a	Mean Sim. ^a		
ชัยนาท 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	2.69	3.35	27.79	0.87
	2 (15 สิงหาคม 2553)	6.57	3.24	52.13	0.52
	3 (16 มกราคม 2554)	5.36	2.43	61.41	0.61
สุพรรณบุรี 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	2.75	2.12	31.83	0.81
	2 (15 สิงหาคม 2553)	4.77	2.07	70.37	0.55
	3 (16 มกราคม 2554)	4.03	1.28	78.27	0.52
สุพรรณบุรี 2	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	1.99	2.88	48.65	0.67
	2 (15 สิงหาคม 2553)	4.60	2.95	43.39	0.66
	3 (16 มกราคม 2554)	4.75	2.28	57.18	0.60
สุพรรณบุรี 3	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	1.99	2.21	23.67	0.90
	2 (15 สิงหาคม 2553)	3.88	2.33	27.22	0.86
	3 (16 มกราคม 2554)	4.38	1.43	72.82	0.51
ปทุมธานี 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	2.12	2.16	12.50	0.96
	2 (15 สิงหาคม 2553)	3.92	1.97	35.83	0.77
	3 (16 มกราคม 2554)	4.16	1.24	74.74	0.55
ปทุมธานี 80	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	2.38	2.33	2.67	1.00
	2 (15 สิงหาคม 2553)	4.49	2.08	38.86	0.78
	3 (16 มกราคม 2554)	4.25	1.47	74.41	0.57
พิษณุโลก 2	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	2.54	1.86	30.54	0.81
	2 (15 สิงหาคม 2553)	5.71	1.71	50.29	0.69
	3 (16 มกราคม 2554)	4.03	1.14	75.64	0.52

^a ค่าเฉลี่ยจาก 3 ระยะการเจริญเติบโต

ตารางที่ 4.35 ค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว

พันธุ์	ระยะการเจริญเติบโต	LAI		RMSEn (%)	<i>d</i>
		Mean Obs. ^a	Mean Sim. ^a		
ชัยนาท 1	30 วันหลังปักดำ	2.73	2.01	53.88	0.38
	45 วันหลังปักดำ	6.70	3.94	51.65	0.39
	เก็บเกี่ยว	5.18	3.06	57.79	0.48
สุพรรณบุรี 1	30 วันหลังปักดำ	2.00	0.89	70.35	0.30
	45 วันหลังปักดำ	6.03	2.35	70.73	0.37
	เก็บเกี่ยว	3.52	2.22	38.19	0.09
สุพรรณบุรี 2	30 วันหลังปักดำ	2.08	1.88	51.37	0.00
	45 วันหลังปักดำ	5.52	3.58	51.75	0.44
	เก็บเกี่ยว	3.75	2.65	46.32	0.45
สุพรรณบุรี 3	30 วันหลังปักดำ	2.05	0.97	76.89	0.34
	45 วันหลังปักดำ	4.80	2.57	64.06	0.38
	เก็บเกี่ยว	3.40	2.44	38.41	0.44
ปทุมธานี 1	30 วันหลังปักดำ	2.01	0.87	72.69	0.38
	45 วันหลังปักดำ	4.39	2.39	60.33	0.31
	เก็บเกี่ยว	3.81	2.12	56.80	0.43
ปทุมธานี 80	30 วันหลังปักดำ	2.37	0.96	77.71	0.48
	45 วันหลังปักดำ	5.36	2.51	65.18	0.34
	เก็บเกี่ยว	3.39	2.41	41.64	0.46
พิษณุโลก 2	30 วันหลังปักดำ	2.60	0.72	89.21	0.45
	45 วันหลังปักดำ	5.25	2.06	70.89	0.35
	เก็บเกี่ยว	4.44	1.93	60.36	0.37

^a ค่าเฉลี่ยจาก 3 วันปลูก

ตารางที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ของข้าวใน 3 วันปลูก

พันธุ์	วันปลูก	SLA (cm ² g ⁻¹)		RMSEn (%)	<i>d</i>
		Mean Obs. ^a	Mean Sim. ^a		
ชัยนาท 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	227.21	149.53	35.27	0.54
	2 (15 สิงหาคม 2553)	348.89	145.63	58.55	0.33
	3 (16 มกราคม 2554)	344.49	145.60	58.29	0.39
สุพรรณบุรี 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	208.03	147.77	30.06	0.34
	2 (15 สิงหาคม 2553)	276.79	145.63	51.12	0.57
	3 (16 มกราคม 2554)	298.82	143.63	54.18	0.51
สุพรรณบุรี 2	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	196.05	156.93	23.06	0.62
	2 (15 สิงหาคม 2553)	295.75	151.43	53.53	0.54
	3 (16 มกราคม 2554)	300.31	151.00	49.84	0.31
สุพรรณบุรี 3	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	202.81	152.13	25.61	0.50
	2 (15 สิงหาคม 2553)	242.73	148.03	33.81	0.77
	3 (16 มกราคม 2554)	294.62	148.77	50.90	0.44
ปทุมธานี 1	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	221.61	144.03	37.66	0.21
	2 (15 สิงหาคม 2553)	286.05	140.17	39.62	0.78
	3 (16 มกราคม 2554)	301.61	141.17	54.33	0.46
ปทุมธานี 80	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	201.13	147.93	26.61	0.61
	2 (15 สิงหาคม 2553)	233.76	145.70	33.87	0.77
	3 (16 มกราคม 2554)	296.48	146.53	54.73	0.54
พิษณุโลก 2	1 (13 กุมภาพันธ์ 2553)	236.30	147.20	37.76	0.40
	2 (15 สิงหาคม 2553)	313.63	144.60	42.21	0.62
	3 (16 มกราคม 2554)	296.30	146.77	51.86	0.48

^a ค่าเฉลี่ยจาก 3 ระยะการเจริญเติบโต

ตารางที่ 4.37 ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว

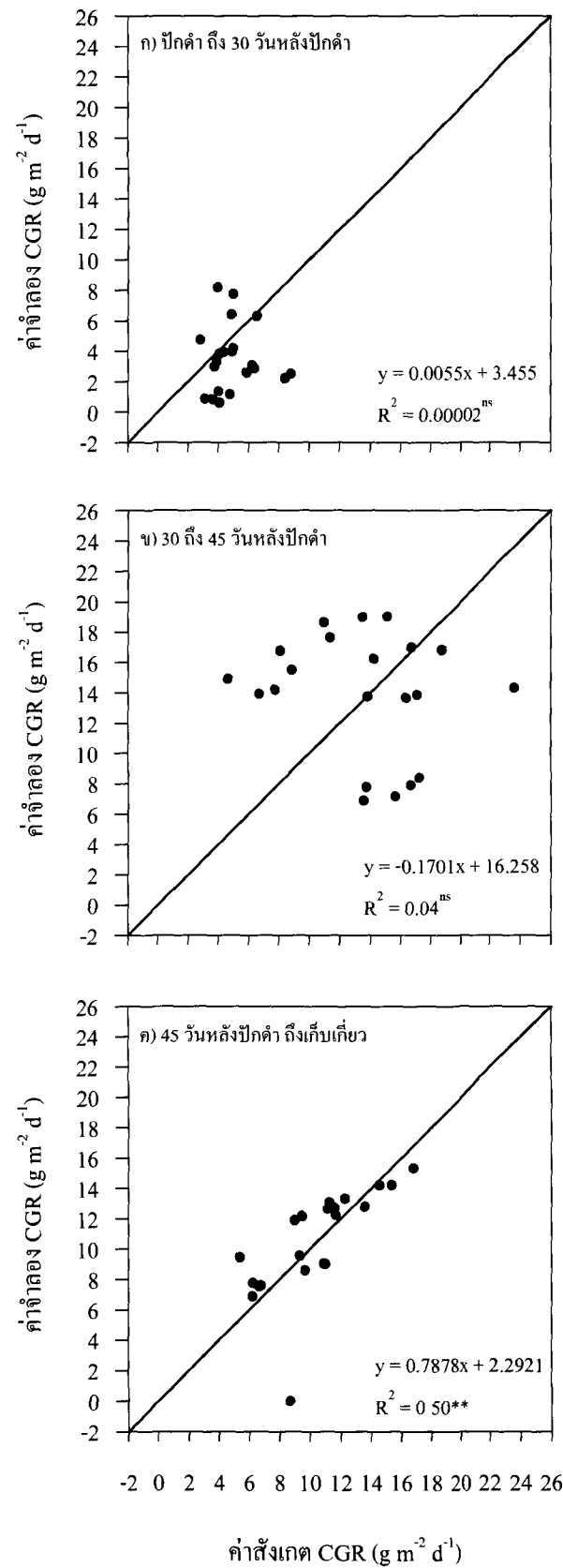
พันธุ์	ระยะการเจริญเติบโต	SLA (cm ² g ⁻¹)		RMSEn (%)	<i>d</i>
		Mean Obs. ^a	Mean Sim. ^a		
ชยันต 1	30 วันหลังปักดำ	333.51	163.10	55.67	0.40
	45 วันหลังปักดำ	344.43	169.20	52.94	0.33
	เก็บเกี่ยว	242.65	108.47	59.38	0.35
สุพรรณบุรี 1	30 วันหลังปักดำ	291.57	163.43	49.72	0.42
	45 วันหลังปักดำ	307.02	170.27	48.62	0.40
	เก็บเกี่ยว	185.05	103.33	44.68	0.25
สุพรรณบุรี 2	30 วันหลังปักดำ	285.55	165.80	49.82	0.43
	45 วันหลังปักดำ	308.52	171.07	47.18	0.37
	เก็บเกี่ยว	198.05	122.50	45.41	0.42
สุพรรณบุรี 3	30 วันหลังปักดำ	284.36	162.57	48.60	0.42
	45 วันหลังปักดำ	275.64	171.13	39.83	0.34
	เก็บเกี่ยว	180.16	115.23	40.21	0.42
ปทุมธานี 1	30 วันหลังปักดำ	287.02	160.93	48.63	0.41
	45 วันหลังปักดำ	324.17	170.10	50.95	0.38
	เก็บเกี่ยว	198.08	94.33	54.01	0.34
ปทุมธานี 80	30 วันหลังปักดำ	288.32	159.30	49.14	0.39
	45 วันหลังปักดำ	288.36	169.43	45.29	0.40
	เก็บเกี่ยว	154.69	111.43	29.95	0.42
พิษณุโลก 2	30 วันหลังปักดำ	305.61	160.13	49.21	0.32
	45 วันหลังปักดำ	319.73	171.13	48.73	0.35
	เก็บเกี่ยว	220.89	107.30	52.58	0.24

^a ค่าเฉลี่ยจาก 3 วันปลูก

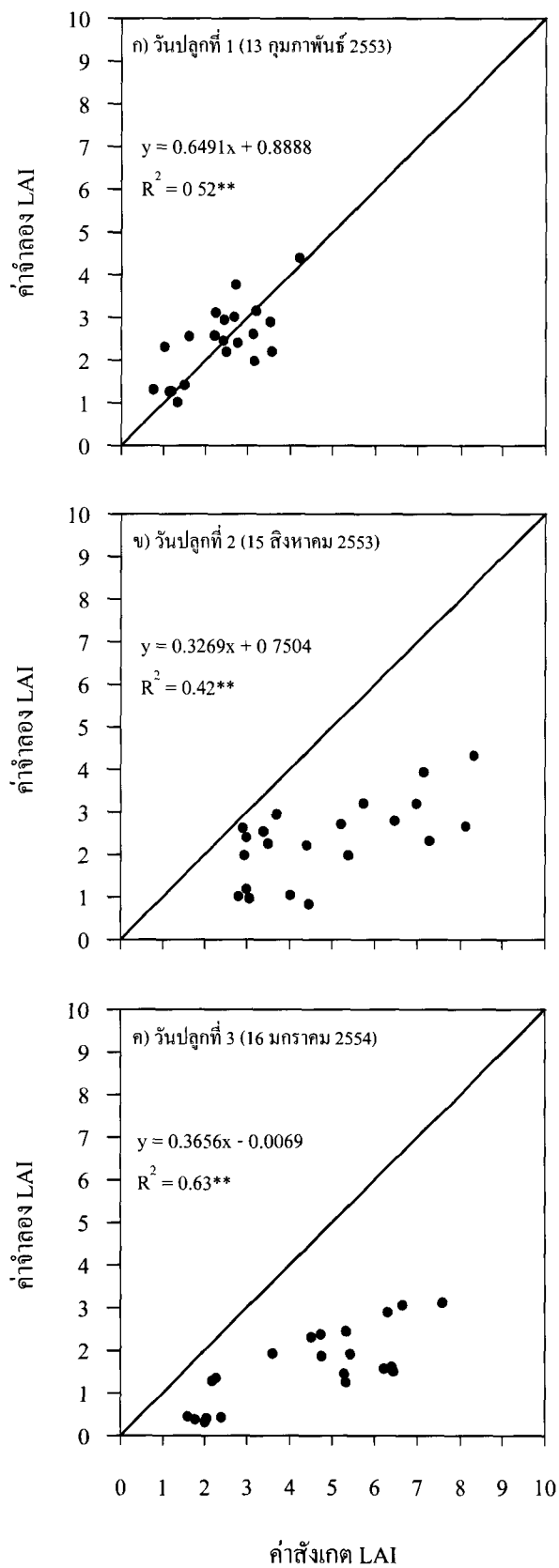
ตารางที่ 4.38 ค่าเฉลี่ยของดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ที่ได้จากการสังเกต (Mean Obs.) และค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง (Mean Sim.) ของข้าว

พันธุ์	HI		RMSEn (%)	<i>d</i>
	Mean Obs. ^a	Mean Sim. ^a		
ชัยนาท 1	0.39	0.49	23.89	0.18
สุพรรณบุรี 1	0.37	0.49	38.22	0.40
สุพรรณบุรี 2	0.44	0.59	37.09	0.30
สุพรรณบุรี 3	0.34	0.56	75.66	0.42
ปทุมธานี 1	0.35	0.43	28.08	0.35
ปทุมธานี 80	0.38	0.57	51.68	0.20
พิษณุโลก 2	0.35	0.51	48.29	0.30

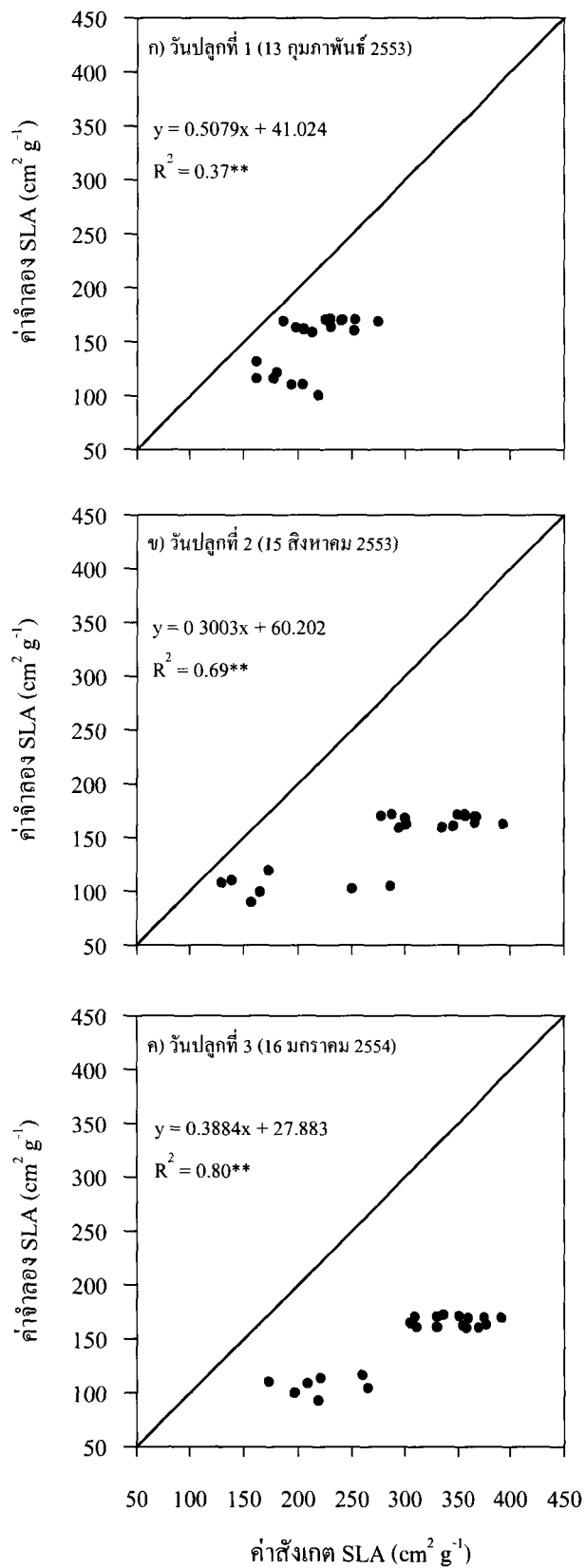
^a ค่าเฉลี่ยจาก 3 วันปลูก



ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบระหว่าง CGR ที่ได้จากการสังเกตและการจำลองที่ระยะปักดำถึง 30 วันหลังปักดำ (ก), 30 ถึง 45 วันหลังปักดำ (ข) และที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว (ค) ของข้าว 7 พันธุ์



ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบระหว่าง LAI ที่ได้จากการสังเกตและการจำลองของวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค) ของข้าว 7 พันธุ์



ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบระหว่าง SLA ที่ได้จากการสังเกตและการจำลองของวันปลูกที่ 1 (ก) วันปลูกที่ 2 (ข) และวันปลูกที่ 3 (ค) ของข้าว 7 พันธุ์

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว

จากผลการทดลองซึ่งให้เห็นว่าลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวมีหลายลักษณะ โดยการปลูกเปรียบเทียบทั้งในสภาพแปลงทดลองและในสภาพกระถางทดลอง พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดและมีอัตราการเจริญเติบโตในช่วง 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวสูง ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นช่วงปลายของระยะสืบพันธุ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Horie *et al.* (2003) ที่ศึกษาการสะสมน้ำหนักรากในระยะเวลาเจริญเติบโตต่างๆ ต่อความแตกต่างของผลผลิตข้าว พบว่าข้าวจะให้ผลผลิตสูงหากข้าวมี CGR ในช่วงปลายของระยะสืบพันธุ์สูง อย่างไรก็ตามพืชจะมี CGR สูงหรือไม่ ขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสง และอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ใบหรือดัชนีพื้นที่ใบที่ใช้ในการรับแสง เพราะพืชจะเจริญเติบโตได้ต้องอาศัยใบเป็นอวัยวะสำคัญที่ทำหน้าที่รับแสงและสังเคราะห์แสง หากใบพืชสามารถรับแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะทำให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น (เฉลิมพล แซมเพชร. 2542) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และ SLA ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำ โดยที่ระยะดังกล่าวข้าวทุกพันธุ์มีค่า SLA สูงที่สุด และ SLA จะมีค่าลดลงเมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Dingkuhn *et al.* (1998) ที่พบว่า SLA จะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ LAI เนื่องจากข้าวที่มี SLA สูงจะสามารถทำให้พัฒนาพื้นที่ใบได้อย่างรวดเร็ว แต่หลังจากข้าวเข้าสู่ระยะสืบพันธุ์แล้วค่า SLA ก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว

สำหรับผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 แม้ว่าจะเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดแต่กลับพบว่าเป็นพันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ ซึ่งสามารถอธิบายในแง่ของการให้ผลผลิตได้ว่าอาจมีการชดเชยกันระหว่าง sink size กล่าวคือ ขนาดเมล็ดเล็กของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 อาจถูกชดเชยด้วยจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรที่มีจำนวนมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรนั้นถือว่าเป็นตัวกำหนดผลผลิตของพืชในกลุ่มธัญพืชที่ปลูกในสภาพที่ปราศจากความเครียด (Fischer. 1983; Kropff *et al.* 1994) และการเพิ่ม sink size ของข้าวอาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนช่อดอก หรือขนาดช่อดอก หรือทั้งสองอย่าง เพราะองค์ประกอบของผลผลิตทั้งสองอย่างนี้มีกลไกที่สามารถชดเชยกันได้ (Ying *et al.* 1998) นอกจากนี้ข้อมูลจากการศึกษารุ่นนี้ยังสนับสนุนผลการศึกษาของ Saitoh *et al.* (1993) และ Murchie *et al.* (2002) ที่ระบุว่าความสำคัญของการสะสมน้ำหนักรากที่ระยะหลังออกรวงมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าว ดังนั้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับนักปรับปรุงพันธุ์พืชที่จะพิจารณาใช้ลักษณะดังกล่าวในการคัดเลือกพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทางอ้อมได้ตั้งแต่ช่วงแรกๆ

5.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว

จากการศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว ใน 3 วันปลูก ได้แก่ วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าวันปลูกมีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยว จะเห็นว่าการเจริญเติบโตของพืชอยู่ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่และฤดูปลูกซึ่งต่างก็มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชทั้งสิ้น (Gomez and Gomez, 1984) และผลการศึกษาพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์ที่ปลูกในวันปลูกที่แตกต่างกันจะมีอายุเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละวันปลูก ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวได้เนื่องจากข้าวพันธุ์ที่มีอายุยาวจะมีช่วงเวลาในการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักแห้งได้มากกว่าพันธุ์ที่มีอายุสั้น แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าข้าวที่ปลูกในวันปลูกที่ 1 มีผลผลิตต่ำกว่าวันปลูกอื่นๆ อาจเนื่องมาจากได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิต่ำในระยะต้นกล้า จึงทำให้ข้าวงอกและตั้งตัวได้ช้า และสภาพอากาศที่แปรปรวนในช่วง 42 ถึง 44 วันหลังปักดำ ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นช่วงการพัฒนาช่อรวงของข้าว โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 24.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 32.8 องศาเซลเซียส และรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 13.6 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทำนองเดียวกับการศึกษาของ Gunawardena *et al.* (2003) ที่พบว่าถ้าข้าวได้รับอุณหภูมิต่ำ (18 องศาเซลเซียส) หรืออุณหภูมิสูง (28 องศาเซลเซียส) ในระหว่างการพัฒนาช่อรวง จะทำให้ข้าวเป็นหมันเพิ่มขึ้น และทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดต่อรวงลดลง 9.7-12.3 เปอร์เซ็นต์ (กมิตา ธนเจริญชนภาส และ โอโรส รักษาดี, 2552) ซึ่งแม้ว่าอุณหภูมิในช่วงของวันดังกล่าวอาจจะไม่ต่ำขนาดทำให้ข้าวเป็นหมันแต่สันนิษฐานว่าน่าจะมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเกสรตัวผู้ที่อาจจะทำให้เกิดการผสมได้น้อยลง แต่ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดในช่วงดังกล่าวพบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 32.8 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าการศึกษาของ Gunawardena *et al.* (2003) จึงอาจส่งผลกระทบต่อพัฒนาช่อรวงของข้าวได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะมีรายงานว่าถ้าข้าวได้รับอุณหภูมิสูงในช่วงประมาณ 32-40 องศาเซลเซียส จะทำให้มีน้ำหนักเมล็ดต่อรวงลดลงและมีจำนวนเมล็ดลึบต่อรวงสูงขึ้น (ร่วมจิตร นกเขา, 2554) และเมื่อต้นข้าวได้รับอุณหภูมิสูงในช่วง 1-2 สัปดาห์ก่อนดอกบาน จะทำให้ข้าวมีเมล็ดเล็ก หรือมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดต่ำ (Sato, 1979)

นอกจากสภาพอากาศที่แปรปรวนในระหว่างทำการทดลองซึ่งไม่สามารถควบคุมได้แล้ว อีกสาเหตุหนึ่งที่น่าจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว คือ การกำหนดวันปลูกที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากข้าวแต่ละพันธุ์มีช่วงวันปลูกที่เหมาะสมแตกต่างกันออกไป โดยข้าว

พันธุ์พืชโลก 2 เหมาะสำหรับปลูกในเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และพันธุ์ปทุมธานี 1 เหมาะสำหรับปลูกต้นเดือนพฤศจิกายน (Buddhaboon *et al.* 2011) แต่ในการทดลองกำหนดให้ข้าวที่ใช้ในการทดลองทุกพันธุ์ ปลูกในวันปลูกเดียวกันทั้งหมดเพื่อให้สะดวกต่อการจัดการ จึงอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว และวันปลูกที่ไม่เหมาะสมยังทำให้เกิดการระบาดของโรคและแมลงซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ผลผลิตของข้าว ซึ่งถึงแม้ว่าในระหว่างการทดลองนั้นจะพยายามควบคุมการเข้าทำลายของศัตรูพืชแต่ก็ไม่สามารถควบคุมโรคและแมลงศัตรูข้าวได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในวันปลูกที่ 1 รวมทั้งผลผลิตของข้าวเกิดความเสียหายจากการทำลายของนกซึ่งควบคุมได้ค่อนข้างยากเพราะทำการทดลองในแปลงและงานทดลองมีขนาดใหญ่ จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

5.3 การทดลองที่ 3 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้ากับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

ผลการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโดยใช้โปรแกรม GLUE ที่บรรจุอยู่ใน DSSAT version 4.5 package ซึ่งให้เห็นว่าข้าวทั้ง 7 พันธุ์ มีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่เฉพาะเจาะจงของแต่ละพันธุ์ และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ที่ประเมินได้ประกอบกับนิยามและค่าสัมประสิทธิ์ตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในไฟล์ RICER045.CUL จะเห็นว่าข้าวทุกพันธุ์มีค่า G4 เท่ากับ 1.00 เนื่องจากเมื่อพิจารณานิยามของค่า G4 คือ สัมประสิทธิ์ความทนทานเชิงอุณหภูมิ ค่าปกติ 1.00 สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในสภาพปกติ ค่า G4 สำหรับข้าวชนิด Japonica ที่ปลูกในสภาพที่ร้อนจะเท่ากับหรือมากกว่า 1.00 และค่า G4 สำหรับข้าวชนิด Indica ในสภาพอากาศเย็นมากจะน้อยกว่า 1.00 (Singh *et al.* 2002) ซึ่งพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลองปลูกในสภาพปกติจึงกำหนดให้มีค่า G4 เท่ากับ 1.00 และเมื่อพิจารณาค่า G3 พบว่าการประเมินค่าสัมประสิทธิ์โดยใช้โปรแกรม GLUE สามารถปรับค่า G3 ให้อยู่ในระดับต่างๆ ได้เพื่อที่จะให้อัตราการแตกกอใกล้เคียงกับที่วัดจริงรวมทั้งไม่ทำให้การคำนวณผลผลิตคลาดเคลื่อนมากเกินไปเหมือนใน DSSAT ที่ต่ำกว่า version 3.5 ซึ่งไม่สามารถปรับค่า G3 ให้อยู่ในระดับต่างๆ ได้เนื่องจากค่า G3 ที่ต่ำลงนั้นมีผลทำให้ได้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจนคลาดเคลื่อนมากเกินไป (จิรวัดน์ เวชแพศย์ และคณะ. 2543)

จากผลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (model calibration) โดยอาศัยข้อมูลของวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ประเมินได้สามารถจำลองลักษณะด้านพัฒนาการของข้าวทุกพันธุ์ได้ดี สำหรับลักษณะด้านการเจริญเติบโตพบว่าแบบจำลองทำนายน้ำหนัก 1 เมล็ด จำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร และผลผลิตได้ค่อนข้างดี ส่วนน้ำหนักแห้งรวมพบว่าแบบจำลองทำนายได้ต่ำกว่าค่าที่สังเกตได้จากแปลงทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Tongyai (1994) ที่พบว่าแบบจำลองทำนายมวลชีวภาพได้ต่ำกว่าข้อมูลจริงประมาณ

0.8-1.0 ตันต่อเฮกตาร์ (10 - 12 เปอร์เซ็นต์) แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวที่ประเมินได้สามารถทำนายลักษณะพัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสังเกตจริงจากแปลงทดลองในทั้ง 2 วันปลูก

สำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (model validation) โดยอาศัยข้อมูลของวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายลักษณะด้านพัฒนาการของข้าวทุกพันธุ์ได้ค่อนข้างดีสอดคล้องกับการศึกษาของ Jintrawet (1995) ที่รายงานว่าแบบจำลอง CERES-Rice สามารถทำนายระยะพัฒนาการของข้าวพันธุ์ไม่ไวแสงได้อย่างแม่นยำ เป็นไปในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาลักษณะด้านการเจริญเติบโตพบว่าแบบจำลองทำนายน้ำหนัก 1 เมล็ดได้ค่อนข้างดี ซึ่งก็สอดคล้องกับการศึกษาของ Jintrawet (1995) ที่พบว่าแบบจำลอง CERES-Rice สามารถทำนายน้ำหนักเมล็ดได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อนำแบบจำลองมาทำนายผลผลิตและน้ำหนักแห้งรวมพบว่าแบบจำลองทำนายผลผลิตและน้ำหนักแห้งรวมได้สูงกว่าค่าสังเกตจริงจากแปลงทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Tongyai (1994) ที่พบว่าแบบจำลอง CERES-Rice ทำนายผลผลิตเมล็ดได้สูงกว่าข้อมูลจริงประมาณ 0.2-0.4 ตันต่อเฮกตาร์ (4.5 - 9 เปอร์เซ็นต์) และแบบจำลองให้ค่าน้ำหนักมวลชีวภาพสูงกว่าค่าจากแปลงทดลอง ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากแบบจำลองไม่สามารถจำลองกระบวนการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืชได้ และการเก็บตัวอย่างอาจมีใบข้าวที่แก่และย่อยสลายไปก่อนการสุ่มเก็บตัวอย่างจึงทำให้ค่าที่ได้จากการสังเกตต่ำกว่าค่าที่ได้จากการจำลอง (ชิษณุชา บุคคาบุญ และคณะ. 2554) และอีกประการหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตที่ได้จากแปลงทดลองต่ำกว่าผลผลิตที่ได้จากการจำลอง คือ ในระหว่างการทดลองนั้นไม่สามารถควบคุมโรคและแมลงศัตรูข้าวได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมทั้งผลผลิตของข้าวเกิดความเสียหายจากการทำลายของนกซึ่งควบคุมได้ค่อนข้างยาก จึงอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง และเมื่อพิจารณาสภาพอากาศของวันปลูกที่ 1 พบว่าสภาพอากาศมีความแปรปรวนอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว นอกจากนี้ ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว ซึ่งให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมมีผลต่อการทำนายลักษณะต่างๆ ดังนั้นเพื่อให้การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมครอบคลุมสภาพแวดล้อมมากขึ้นควรจะมีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม โดยอาศัยข้อมูลจากหลายวันปลูกในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ต่อไป

5.4 การทดลองที่ 4 การประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวโดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

จากการประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว 7 พันธุ์ ใน 3 วันปลูก ได้แก่ วันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) วันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) โดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CSM-CERES-Rice) พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินอัตราการเจริญเติบโต (CGR) ของข้าวทุกพันธุ์ได้ค่อนข้างดี โดยเฉพาะวันปลูกที่ 2 เนื่องมาจากค่าที่ได้จากการสังเกตและการจำลองมีความแตกต่างกันน้อย อีกทั้งยังประเมิน CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวได้ดี ซึ่งในระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว คือระยะที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ไม่วางแสงมากที่สุด สำหรับการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และพื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) พบว่าแบบจำลองสามารถประเมิน LAI และ SLA ได้ค่อนข้างดีในทั้ง 3 วันปลูก สอดคล้องกับการศึกษาของ Mall and Aggarwal (2002) ที่พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายดัชนีพื้นที่ใบระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองและค่าที่ได้จากการสังเกตได้ดี ส่วนดัชนีเก็บเกี่ยวพบว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการสังเกตและการจำลองค่อนข้างมาก โดยความแตกต่างระหว่างข้อมูลอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความแปรปรวนของค่าสังเกตจากแปลงทดลอง ซึ่งเกิดจากผลผลิตของข้าวได้รับความเสียหายจากการทำลายของนกซึ่งควบคุมได้ค่อนข้างยาก โดยเฉพาะการทำงานทดลองในสภาพแปลง การระบาดของโรคและแมลงซึ่งแม้ว่าจะพยายามควบคุมอย่างเต็มที่แต่ก็ไม่สามารถควบคุมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งการร่วงหล่นของเมล็ดข้าวซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการสุ่มเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ยังมีใบข้าวบางส่วนที่แก่และร่วงหล่นจนย่อยสลายไปก่อนการสุ่มเก็บตัวอย่าง จึงทำให้เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณดัชนีเก็บเกี่ยวแล้วทำให้ค่าที่ได้จากการสังเกตต่ำกว่าค่าที่ได้จากการจำลองค่อนข้างมาก แต่สำหรับแบบจำลองผลการประเมินที่ได้ไม่มีผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการทำลายของโรคและแมลง (ชิษณุชา บุคคาบุญ และคณะ. 2554)

แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CSM-CERES-Rice สามารถนำมาใช้ในการประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวได้ โดยเฉพาะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นช่วงที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าว ดังนั้นความรู้ดังกล่าวนี้ น่าจะเป็นประโยชน์ที่จะเปิดโอกาสให้สามารถนำเอาแบบจำลองไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยสำหรับการดำเนินการวิจัยได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องไปปลูกทดสอบจริง

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวทั้งในสภาพแปลงทดลองและสภาพกระถางทดลอง สรุปได้ว่าอัตราการเจริญเติบโต (CGR) เป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว โดยข้าวที่มี CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวสูงก็จะมีผลผลิตสูง สำหรับ SLA และ LAI พบว่ามีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าวทางอ้อม กล่าวคือ SLA จะมีความสัมพันธ์กับ LAI โดยข้าวที่มี SLA สูงก็จะทำให้มีค่า LAI สูงขึ้นด้วย โดยข้าวพันธุ์ที่มี LAI สูงจะมีพื้นที่ในการรับแสงมากทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสูง เห็นได้จากข้าวพันธุ์สุวรรณบุรี 2 และชัยนาท 1 มีอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวสูง ก็เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเช่นกัน

การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของวันปลูกต่อลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวใน 3 วันปลูก ได้แก่ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553, 15 สิงหาคม 2553 และ 16 มกราคม 2554 สรุปได้ว่าวันปลูกมีผลต่อการตอบสนองของ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งรวม ดัชนีเก็บเกี่ยว และผลผลิตของข้าว โดยข้าวที่ปลูกในวันที่ 16 มกราคม 2554 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าวันปลูกที่ 13 กุมภาพันธ์ 2553 และ 15 สิงหาคม 2553 นอกจากนี้ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าข้าวพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดก็จะเป็นพันธุ์ที่มี CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวสูงที่สุดด้วยเช่นกัน ซึ่งผลการศึกษามีความสอดคล้องกันทั้งในสภาพแปลงทดลองและกระถางทดลอง

การทดลองที่ 3 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว จากผลการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว (model calibration) โดยอาศัยข้อมูลการทดลองของวันปลูกที่ 2 (15 สิงหาคม 2553) และวันปลูกที่ 3 (16 มกราคม 2554) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าข้าวทั้ง 7 พันธุ์ มีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่เฉพาะเจาะจงของแต่ละพันธุ์ และค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ สามารถจำลองลักษณะพัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 7 พันธุ์ได้ค่อนข้างดีในทั้ง 2 วันปลูก สำหรับผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ (model validation) โดยอาศัยข้อมูลการทดลองของวันปลูกที่ 1 (13 กุมภาพันธ์ 2553) ชี้ให้เห็นว่ามีความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการสังเกตและการจำลองสำหรับบางลักษณะและบางพันธุ์ ซึ่งความแตกต่างระหว่างข้อมูลเกิดขึ้นเนื่องจากความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากแปลงทดลองและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวในขณะทำการทดลอง

การทดลองที่ 4 การประเมินลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าว โดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว สรุปว่าแบบจำลองสามารถประเมิน CGR, LAI และ SLA ซึ่งเป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของข้าวได้ค่อนข้างดีในทั้ง 3 วันปลูก โดยเฉพาะ CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยว ซึ่งระยะดังกล่าวมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวมากที่สุด สำหรับดัชนีเก็บเกี่ยวพบว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว ดังนั้นจึงควรกำหนดวันปลูกให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวแต่ละพันธุ์ นอกจากนี้ควรจะมีการป้องกันนกกในระยะที่ข้าวออกรวงโดยใช้ตาข่ายดักนกคลุมให้ทั่วทั้งพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองเพื่อป้องกันไม่ให้นกเข้าทำลายผลผลิตของข้าวในกรณีที่จะทำงานทดลองด้านการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม

สำหรับการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว นั้น เพื่อให้การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวครอบคลุมการตอบสนองของข้าวต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลายมากขึ้น ควรจะประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากหลายๆ วันปลูก รวมทั้งต้องมีการคัดเลือกทริตเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม กล่าวคือ ต้องเป็นทริตเมนต์ที่มีการวางแผนในการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี และข้อมูลที่ได้ไม่เกิดจากความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นที่แบบจำลองไม่สามารถประเมินได้ เช่น การทำลายของโรคและแมลง การทำลายของนก การหักล้ม รวมทั้งการร่วงหล่นของเมล็ดข้าวในขณะที่ทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง ซึ่งจะส่งผลต่อการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ต่อไป อย่างไรก็ตามก่อนการนำค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลอง CSM-CERES-Rice ในการจำลองศักยภาพผลผลิตของข้าวภายใต้สภาพแวดล้อมและเงื่อนไขของการจัดการที่แตกต่างกัน ควรทำการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ด้วยข้อมูลที่ได้จากการทดลองอื่น ที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

- กณิตา ธนเจริญชนภาส และ โอรส รักชาติ. 2552. “ผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในฤดูกาลปลูกที่มีต่อผลผลิตและอนุภาคเมล็ดแป้งของข้าวหอมไทย (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.” ใน เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. กรุงเทพฯ. 17-20 มีนาคม 2552. 361 หน้า.
- จินตนา ทยาธรรม เรวัต ภัทรสุทธิ วันทนา ศรีรัตนศักดิ์ และสมใจ สาลีโท. 2548. “อิทธิพลของระยะเวลาปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ระยะปักดำแตกต่างกันต่อการทำลายของแมลงบัว.” ใน เอกสารการประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาวประจำปี 2548. วันที่ 7-8 มีนาคม 2548. หน้า 87-91.
- จิรวัดน์ เวชแพศย์ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และอานันท์ ผลวัฒน์. 2543. “การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวสำหรับแบบจำลอง CERES-Rice.” หน้า 141-165. ใน เมธี เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่วนที่ 1 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชิษณุชา บุคคาบุญ อรรถชัย จินตะเวช และเกอร์ริต ฮูเกนบูม. 2554. “การปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโดยใช้ GENCALC และ GLUE.” ใน เอกสารการประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7. วันที่ 8-10 สิงหาคม 2554. หน้า 219-226.
- ร่วมจิตร นกเขา. 2554. “ผลของอุณหภูมิสูงต่อการเป็นหมันและการพัฒนาของเมล็ดข้าว.” วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 29(2): 108-114.
- ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา จิรวัดน์ เวชแพศย์ และอานันท์ ผลวัฒน์. 2542. “การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโดยการใช้ Genotype Coefficient Calculator (GENCALC).” หน้า 84-111. ใน เมธี เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 4 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา จิรวัดน์ เวชแพศย์ อานันท์ ผลวัฒน์ และทฤษัณส์ ปาละ. 2543ก. “การทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว CERES-Rice ภายใต้การจัดการน้ำและระดับปุ๋ยในโตรเจนที่ต่างกัน.” หน้า 167-189. ใน เมธิ เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่วนที่ 1 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา จิรวัดน์ เวชแพศย์ อานันท์ ผลวัฒน์ และทฤษัณส์ ปาละ. 2543ข. “การทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว CERES-Rice ภายใต้วิธีการเพาะปลูกแบบปักดำและนาหว่านน้ำตามที่อัตราเมล็ดพันธุ์ต่างกัน.” หน้า 191-211. ใน เมธิ เอกะสิงห์ และคณะ (บรรณาธิการ). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ส่วนที่ 1 โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุรจิต ภูภักดี และ บาส เบาว์แมน. 2551. “การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการปลูกข้าวหน้าน้ำฝนโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช.” วารสารวิชาการข้าว 2(1): 13-25.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2552. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เถาหศิริวงศ์ เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง และศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2540. “การประมาณผลผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองพัฒนาการและการเจริญเติบโตของอ้อย.” รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยการพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร และองค์การนานาชาติในการวิจัยเชิงระบบ (ICASA).

Aggarwal, P.K., Kropff, M.J., Matthews, R.B. and McLaren, C.G. 1996. “Using simulation model to design new plant types and to analyse genotype by environment interaction in rice.” pp. 403-418. In Cooper, M. and Hammer, G.L. (eds). **Plant adaptation and crop improvement**. CAB International, Wallingford, U.K.

Akita, S. 1989. “Improving yield potential in tropical rice.” pp. 41-73. In: **Progress in the irrigated rice research**. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Alam, M.M., Hasanuzzaman, M. and Nahar, K. 2009. “Growth pattern of three high yielding rice varieties under different phosphorus levels.” **Advan. Biol. Res.** 3(3-4): 110-116.

- Amano, T., Zhu, Q., Wang, Y., Inoue, N. and Tannaka, H. 1993. "Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu Province, China: I. Characteristics of grain production." **Jpn. J. Crop Sci.** 62(2): 267-274.
- Amgain, L.P., Devkota, N.R., Timsina, J. and Singh, B. 2006. "Effect of climate change and CO₂ concentration on growth and yield of rice and wheat in Punjab: simulations using CSM-CERES-Rice and CSM-CERES-Wheat models." **J. Inst. Agric. Anim. Sci.** 27:103-110.
- Anothai, J., Patanothai, A., Jogloy, S., Pannangpetch, K., Boote, K.J. and Hoogenboom, G. 2008. "A sequential approach for determining the cultivar coefficients of peanut lines using end-of-season data of crop performance trials." **Field Crops Res.** 108: 169 - 178.
- Austin, R.B., Bingham, J., Blackwell, R.D., Evans, L.T., Ford, M.A., Morgan, C.L. and Taylor, M. 1980. "Genetic improvements in winter wheat yields since 1990 and associated physiological changes." **J. Agric. Sci. (Camb.)** 94: 675-689.
- Banternng, P., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S. and Hoogenboom, G. 2003. "Applicability of the CROPGRO-Peanut model in assisting multi-location evaluation of peanut breeding lines." **Thai J. Agric. Sci.** 37: 407 - 418.
- Banternng, P., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S. and Hoogenboom, G. 2006. "Yield stability evaluation of peanut breeding lines: A comparison of an experimental versus a simulation approach." **Field Crop Res.** 96: 168 - 175.
- Boonjung, H. and Fukai, S. 1996. "Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. 2. Phenology, biomass production and yield." **Field Crop Res.** 48: 47-55.
- Boote, K.J., Jones, J.W., Hoogenboom, G., Wilkerson, G.G. and Jagtap, S.S. 1989. **PNUTGRO V 1.02: Peanut crop growth simulation model user's guide.** University of Florida and International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer.
- Buddhaboon, C., Jintrawet, A. and Hoogenboom, G. 2011. "Effects of planting date and variety on flooded rice production in the deepwater area of Thailand." **Field Crops Res.** 124: 270-277.
- Cheyglinted, S., Ranamukhaarachchi, S.L. and Singh, G. 2001. "Assessment of the CERES-Rice model for rice production in the Central Plain of Thailand." **J. Agric Sci.** 137: 289-298.

- Dingkuhn, M., Jones, M.P., Johnson, D.E. and Sow, A. 1998. "Growth and yield potential of *Oryza sativa* and *O. glaberrima* upland rice cultivar and their interspecific progenies." **Field Crops Res.** 57: 57-69.
- Dingkuhn, M., Tivet, F., Siband, P., Asch, F., Audebert, A. and Sow, A. 2001. "Varietal differences in specific leaf area: a common physiological determinant of tillering ability and early growth vigor." pp. 95–108. In: Peng, S. and Hardy, B. (eds.). **Rice research for food security and poverty alleviation**. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Evans, L.T., Visperas, R.M. and Vergara, B.S. 1984. "Morphological and physiological changes among rice varieties used in the Philippines over the last seventy years." **Field Crops Res.** 8: 105-125.
- Fischer, R.A. 1983. Wheat. pp. 129-154. In: Smith, W.H. and Banta, S.J. (eds.). **Potential productivity of field crops under different environments**. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Fukai, S. 1999. "Phenology in rainfed lowland rice." **Field Crop Res.** 64: 51-60.
- Ghosh, M., Mandal, B.K., Mandal, B.B., Lodh, S.B. and Dash, A.K. 2004. "The effect of planting date and nitrogen management on yield and quality of aromatic rice (*Oryza sativa*)." **J. Agric. Sci.** 142: 183-191.
- Godwin, D.C., Singh, U., Buresh, R.J. and De Datta, S.K. 1990. "Modelling N dynamics in relation to rice growth and yield." In Transaction of the 14th Int. Cong. Soil Sci., Kyoto, **Japan. Int. Soc. Soil Sci.**, Japan, pp. 320-325.
- Gomez, K. A. and Gomez, A. A. 1984. **Statistical procedures for agricultural research**. New York: John Wiley and Sons.
- Gunawardena, T.A., Fukai, S. and Blamey, F.P.C. 2003. "Low temperature induced spikelet sterility in rice. I. Nitrogen fertilization and sensitive reproductive period." **Aust J. Agric Res.** 54: 937-946.
- Hoogenboom, G., Wilkens, P. W. and Tsuji, G. Y. (eds.). 1999. **DSSAT version 3, Volume 4**. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

- Horie, T., Lubis, I., Takai, T., Ohsumi, A., Kuwasaki, K., Katsura, K. and Nii, A. 2003. "Physiological traits associated with high yield potential in rice." pp. 117-145. In: Mew, T.W., Brar, D.S., Peng, S., Dawe, D. and Hardy, B. (eds.). **Rice science: Innovations and impact for livelihood**. IRRI, Los Baños, Philippines.
- Jiang, C.Z., Hirasawa, T. and Ishihara, K. 1988. "Physiological and ecological characteristics of high yielding varieties in rice plants: I. Yield and dry matter production." **Jpn. J. Crop Sci.** 57 (1): 132-138.
- Jintrawet, 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., Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Thornton, P.K., Wilkens, P.W., Imamura, D.T., Bowen, W.T. and Singh, U. 1998. "Decision Support System for Agrotechnology Transfer: DSSAT v3." pp.157-177. In Tsuji, G.Y. *et al.* (eds.). **Understanding options for agricultural production**. Kluwer Academic Publishers.
- Katsura, K., Maeda, S., Horie, T. and Shiraiwa, T. 2007. "Analysis of yield attributes and crop physiological traits of Liangyoupeijiu a hybrid rice recently bred in China." **Field Crops Res.** 103: 170-177.
- Kerdsuk, V. 2002. "**Application of crop modeling and GIS for agroclimatic of KDML 105 in Tung Samrit, Nakhon Rachasima, Thailand.**" Ph.D Thesis, Suranaree University of Technology.
- Kropff, M.J., Cassman, K.G., Peng, S., Matthews, R.B. and Setter, T.L. 1994. "Quantitative understanding of yield potential." pp. 21-38. In: Cassman, K.G. (eds.). **Breaking the yield barrier**. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Mahmood, R., Legates, D.R. and Meo, M. 2004. "The role of soil water availability in potential rainfed rice productivity in Bangladesh: applications of the CERES-Rice model." **Applied Geography.** 24: 139-159.
- Mall, R.K., and Aggarwal, P.K., 2002. "Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. I. Evaluation of impact assessment models." **Ecol. Model.** 106: 201-212.

- Mankeb, P. 1993. “**Calibration of genetic coefficients of paddy rice (*Oryza sativa* L.) for validation of the CERES-Rice model in northern Thailand.**” Master of Science (Agriculture) in Agricultural system. Graduate School, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
- Matsui, T., Omasa, K. and Horie, T. 1997. “High temperature-induced spikelet sterility of Japonica rice at flowering in relation to air temperature, humidity and wind velocity conditions.” **Jpn. J. Crop Sci.** 66(3): 449-455.
- Matsui, T., Omasa, K. and Horie, T. 2000. “High temperature at flowering inhibits swelling of pollen grains, a driving force for thecae dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.)” **Plant Prod. Sci.** 3(4): 430-434.
- Matthews, R. and Stephens, W. 2002. **Crop-soil simulation models: Applications in developing countries.** CABI Publishing, New York.
- Murchie, E.H., Yang, J., Hubbart, S., Horton, P. and Peng, S. 2002. “Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice.” **J. Exp. Bot.** 53: 2217-2224.
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M. and Majumder, R.R. 2009. “Effect of low temperature stress in transplanted Aman rice varieties mediated by different transplanting dates.” **Acad. J. Plant Sci.** 2(3): 132-138.
- Ni, H., Moody, K., Robles, R.P., Paller Jr, E.C. and Lales, J.S. 2000. “*Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds.” **Weed Sci.** 48: 200-204.
- Penning de Vries, F., Teng, P. and Metselaar, K. (eds.). 1993. **Systems approaches for agricultural development.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Phakamas, N., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S. and Hoogenboom, G. 2008. “Dynamic patterns of components of genotype × environment interaction for pod yield of peanut over multiple years: a simulation approach.” **Field Crops Res.** 106: 9 - 21.
- Phakamas, N., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S. and Hoogenboom, G. 2010. “Determination of adaptive responses of peanut genotypes and patterns of genotype × location interaction using the CSM-CROPGRO-Peanut model.” **Int. J. of Plant Production.** 4(3): 223-234.
- Pinnschmidt, H.O., Batchelor, W.D. and Teng, P.S. 1995. “Simulation of multiple species pest damage in rice using CERES-Rice.” **Agric. Syst.** 48: 193-222.

- Putto, C., Patanothai, A., Jogloy, S., Pannangpetch, K., Boote, K.J. and Hoogenboom, G. 2009. "Determination of efficient test sites for evaluation of peanut breeding lines using the CSM-CROPGRO-Peanut model." **Field Crops Res.** 110: 272 - 281.
- Radford, P.J. 1967. "Growth analysis formulae their use and abuse." **Crop Sci.** 7: 171-175.
- Raju, CH.S., Rao, M.V.B. and Sudarshanam, A. 2003. "Associations in physiological growth parameters of rice hybrids." **Madras Agric. J.** 90(10-12): 621-624.
- Rinaldi, M., Losavio, N. and Flagella, Z. 2003. "Evaluation and application of the OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy." **Agric. Syst.** 78: 17-30.
- Roy, B.C., Leihner, D.E., Hilger, T.H. and Steinmueller, N. 2003. "Effect of nitrogen rate and its application schedule on leaf area development and crop growth of local and modern rice varieties." **Pak. J. Biol Sci.** 6(22): 1864-1871.
- Saitoh, K., Shimoda, H. and Ishihara, K. 1993. "Characteristics of dry matter production process in high-yield rice varieties. VI. Comparisons between new and old rice varieties." **Jpn. J. Crop Sci.** 62: 509-517. (in Japanese, with English abstract).
- Saitoh, K., Muraki, T., Doi, T. and Kuroda, T. 2000. "Effect of dark respiration on dry matter production of field-grown rice cultivars-comparison of growth efficiency between Nipponbare and Takanari." **Jpn. J. Crop Sci.** 69(2): 194-200.
- Sato, K. 1979. "High temperature damage to ripening in rice plant." **JARQ** 13(2): 90-95.
- Singh, U., Ritchie, J.T. and Godwin, D.C. 1993. **A user's guide to CERES Rice – V2.10.** 131p.
- Singh, U., Timsina, J. and Godwin, D. 2002. "Testing and application of CERES-rice and CERES-wheat models for rice-wheat cropping systems." **Proceeding of a workshop at CSIRO Land and Water, Griffith.** 25-28 February 2002. pp. 17-32.
- Song, X.F., Agata, W. and Kawamitsu, Y. 1990. "Studies on dry matter and grain production of F₁ hybrid rice in China: I. Characteristic of dry matter production." **Jpn. J. Crop Sci.** 59: 19-28.
- Suriharn, B., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S. and Hoogenboom, G. 2008. "Yield performance and stability evaluation of peanut breeding lines with the CSM-CROPGRO Peanut model." **Crop Sci.** 48: 1365 - 1372.
- Swain, D.K. and Yadav, A. 2009. "Simulating the impact of climate change on rice yield using CERES-Rice model." **J. Env. Inform.** 13(2): 104-110.

- Takai, T., Matsuura, S., Nishio, T., Ohsumi, A., Shiraiwa, T. and Horie, T. 2006. "Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period." **Field Crops Res.** 96: 328-335.
- Takeda, T., Oka, M. and Agata, W. 1983. "Studies on the dry matter and grain production of rice cultivars in the warm area of Japan: I. Comparison of the dry matter production between old and new types of rice cultivars." **Jpn. J. Crop Sci.** 52: 299-306.
- Timsina, J. and Humphreys, E. 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, Australia, 57 p.
- Tongyai, C. 1994. "Impact of climate change on simulated rice production in Thailand." In Rosenzweig, C. and Iglesias, A. (eds.). **Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modelling Study.** US Environmental Protection Agency. EPA 230-B-94-003, Washington DC.
- Uehara, G. and Tsuji, G.Y. 1998. Overview of IBSNAT. pp.1-7. In Tsuji, G.Y. *et al.* (eds.). **Understanding options for agricultural production.** Kluwer Academic Publishers.
- Wikampapraharn, C. and Kositsakulchai, E. 2010. "Evaluation of ORYZA2000 and CERES-Rice models under potential growth condition in the central plain of Thailand." **Thai J. Agric. Sci.** 43(1): 17-29.
- Yamauchi, M. 1994. "Physiological bases of higher yield potential in F₁ hybrids." pp. 71-80. In: Virmani, S.S. (eds). **Hybrid rice technology: New developments and future prospects.** International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Ying, J., Peng, S., He, Q., Yang, H., Yang, C., Visperas, R.M. and Cassman, K.G. 1998. "Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments I. Determinants of grain and dry matter yields." **Field Crops Res.** 57: 71-84.
- Yoshida, S. 1981. **Fundamentals of rice crop science.** International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 296 p.
- Yoshida, S. 1983. Rice. pp. 103-127. In: Smith, W.H. and Banta, S.J. (eds.). **Potential productivity of field crops under different environments.** International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ไฟล์ข้อมูลดินจากแปลงทดลอง

*SOILS: General DSSAT Soil Input File
! DSSAT v4.5; 05/06/2010

! Standard Soil Profiles

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

- 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 (Dalglish 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 Gijsman et al., 2002.
- The root growth distribution function SRGF was calculated as: $SRGF = 1 * EXP(-0.02 * \text{LAYER_CENTER})$; 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 Gijsman:

- LL, DUL are according to the Nearest Neighbor method (Jagtap et al, 2004)
- Ksat at -99
- BD according to Gijsman et al (2002)
- SAT based on the APSRU manual (Dalglish 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
- ! Dalglish, 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.
- ! Gijsman 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., Gijsman 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

```
*IBRI910027 LADKRABANG C 30 Bangkok
@SITE COUNTRY TH LAT LONG SCS FAMILY
BK 13.690 100.857 -99
@ SCOM SALB SLU1 SLDR SLRO SLNF SLPF SMHB SMPX SMKE
BL 0.09 7.5 0.05 60.0 1.00 0.80 IB001 IB001 IB001
@ SLB SLMH SLLL SDUL SSAT SRGF SSKS SBDM SLOC SLCL SLSI SLCF SLNI SLHW SLHB SCEC SADC
15 -99 0.245 0.332 0.398 1.000 0.23 1.41 5.78 62.3 35.3 2.3 0.350 6.0 -99 30.7 -99
30 -99 0.245 0.332 0.398 1.000 -99 1.41 3.52 65.4 32.5 2.1 0.180 6.2 -99 31.0 -99
@ SLB SLPX SLPT SLPO SLCA SLAL SLFE SLMN SLBS SLPA SLPB SLKE SLMG SLNA SLSU SLEC
15 -99 -99 -99 4.8 -99 -99 -99 -99 25.2 -99 -99 -99 -99 -99 -99
30 -99 -99 -99 3.8 -99 -99 -99 -99 11.4 -99 -99 -99 -99 -99 -99
```


ตารางภาคผนวกที่ 3 ไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว

*RICE GENOTYPE COEFFICIENTS: RICER045 MODEL

```

!
! COEFF      DEFINITIONS
! =====
! VAR#       Identification code or number for a specific cultivar.
! VAR-NAME   Name of cultivar.
! EXPNO      Number of experiments used to estimate cultivar parameters
! 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..... EXPNO  ECO#   P1    P2R    P5    P20    G1    G2    G3    G4
!            1      2      3      4      5      6      7      8
! TR0006 CHAINAT 1(cal.) . IB0001 592.2 112.1 345.7 11.9 51.0 .0240 0.97 1.00
! TR0007 SUPANBURI 1 . IB0001 629.7 153.6 403.8 12.2 51.1 .0230 0.60 1.00
! TR0008 SUPANBURI 2 . IB0001 408.5 154.2 332.7 11.5 74.0 .0210 0.96 1.00
! TR0009 SUPANBURI 3 . IB0001 516.4 91.8 332.8 10.6 53.4 .0250 0.58 1.00
! TR0010 PATHUMTHANI 1 . IB0001 610.7 90.8 480.4 11.3 47.7 .0240 0.59 1.00
! TR0011 PATHUMTHANI 80 . IB0001 711.0 148.7 338.4 12.9 55.5 .0250 0.63 1.00
! TR0012 PHITSANULOK 2 . IB0001 661.3 36.0 392.7 12.9 50.7 .0240 0.56 1.00

```


*CHEMICAL APPLICATIONS

@C CDATE CHCOD CHAMT CHME CHDEP CHT..CHNAME
 1 10227 -99 -99 -99 -99 -99 -99

*TILLAGE AND ROTATIONS

@T TDATE TIMPL TDEP TNAME
 1 10227 -99 -99 -99

*ENVIRONMENT MODIFICATIONS

@E ODATE EDAY ERAD EMAX EMIN ERAIN ECO2 EDEW EWIND ENVNAME
 1 10227 A 0 A 0 A 0 A 0 A 0.0 A 0 A 0 A 0

*HARVEST DETAILS

@H HDATE HSTG HCOM HSIZE HPC HBPC HNAME
 1 10227 GS000 -99 -99 -99 -99 Rice

*SIMULATION CONTROLS

@N GENERAL NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME..... SMODEL
 1 GE 1 1 S 10227 2150 DEFAULT SIMULATION CONTR
 @N OPTIONS WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES CHEM TILL CO2
 1 OP N Y N N N N N N Y M
 @N METHODS WTHR INCON LIGHT EVAPO INFIL PHOTO HYDRO NSWIT MESOM MESEV MESOL
 1 ME M M E R S C R 1 G S 2
 @N MANAGEMENT PLANT IRRIG FERTI RESID HARVS
 1 MA R A R N M
 @N OUTPUTS FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT VBOSE CHOUT OPOUT
 1 OU N Y Y 1 Y N Y Y N N Y N N

@ AUTOMATIC MANAGEMENT

@N PLANTING PFRST PLAST PH2OL PH2OU PH2OD PSTMX PSTMN
 1 PL 10001 10001 40 100 30 40 10
 @N IRRIGATION IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
 1 IR 30 50 100 GS000 IR001 10 1
 @N NITROGEN NMDEP NMTHR NAMNT NCODE NAOFF
 1 NI 30 50 25 FE001 GS000
 @N RESIDUES RIPCN RTIME RIDEP
 1 RE 100 1 20
 @N HARVEST HFRST HLAST HPCNP HPCNR
 1 HA 0 01001 100 0

ตารางภาคผนวกที่ 5 ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File T)

*EXP.DATA (T)KMIT1002 forecasting rice yield

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

!!

@TRNO	DATE	T#AD	LAI	RWAD	SWAD	GWAD	LWAD	CWAD
1	10240	156	1.01	186	251	-99	252	503
1	10254	330	4.40	645	852	-99	1107	1960
1	10268	380	8.32	1085	2101	-99	2249	4350
1	10282	298	8.32	1539	3143	-99	2515	5658
1	10314	304	6.98	1809	4714	4569	2441	12126
2	10240	162	0.99	206	322	-99	301	623
2	10254	308	2.80	709	987	-99	924	1911
2	10268	374	8.13	1341	2145	-99	2188	4333
2	10282	320	7.30	1809	3650	-99	2645	6309
2	10320	310	3.39	1857	4394	4328	2050	11180
3	10240	160	0.65	126	167	-99	173	340
3	10254	296	2.94	612	696	-99	765	1461
3	10268	358	7.16	941	2080	-99	2007	4087
3	10282	306	6.08	1250	3581	-99	2032	6255
3	10307	344	3.69	1536	4755	5816	2151	13118
4	10240	126	0.83	129	252	-99	240	493
4	10254	254	2.99	617	928	-99	941	1869
4	10268	298	5.73	1008	2196	-99	1963	4159
4	10282	320	9.20	1756	4693	-99	3330	8049
4	10317	269	2.91	2572	3765	4566	2082	10761
5	10240	178	0.92	241	253	-99	245	498
5	10254	352	3.06	709	887	-99	869	1756
5	10268	358	5.22	917	1362	-99	1442	2804
5	10282	334	8.26	1844	2796	-99	2402	5444
5	10320	318	3.49	2284	4766	3988	2192	11315
6	10240	152	0.96	177	320	-99	278	599
6	10254	392	4.01	1086	1280	-99	1361	2642
6	10268	366	6.48	1498	2648	-99	2346	4994
6	10282	338	7.87	2179	3633	-99	2695	6454
6	10318	286	2.99	2117	5465	5183	2278	13286
7	10240	238	1.56	351	402	-99	429	832
7	10254	370	4.45	909	1192	-99	1327	2519
7	10268	308	7.29	1145	2106	-99	2074	4180
7	10282	348	6.81	1832	3062	-99	2430	6274
7	10311	321	5.38	2379	3844	3892	2128	10623

ตารางภาคผนวกที่ 6 ไฟล์แสดงค่าเฉลี่ยผลการทดลอง (File A)

*EXP.DATA (A): KMIT1002 forecasting rice yield

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

!

@TRNO	HWAM	HWUM	H#AM	H#UM	LAIX	CWAM	BWAH	ADAT	MDAT	GN%M	CNAM	SNAM	GNAM	HIAM	IDAT	LNAD
1	4569	0.024	19117	300	6.98	12126	-99	290	314	1.35	-99	0.73	-99	0.38	263	1.76
2	4328	0.024	18041	313	3.39	11180	-99	290	320	1.32	-99	0.82	-99	0.39	263	1.81
3	5816	0.020	28873	344	3.69	13118	-99	283	307	1.46	-99	0.88	-99	0.45	256	1.64
4	4566	0.024	18764	370	2.91	10761	-99	290	317	1.41	-99	0.91	-99	0.42	262	1.41
5	3988	0.025	15850	391	3.49	11315	-99	293	320	1.26	-99	0.79	-99	0.35	266	1.46
6	5183	0.027	19458	376	2.99	13286	-99	288	318	1.26	-99	0.82	-99	0.39	261	1.32
7	3892	0.025	15780	344	5.38	10623	-99	283	311	1.43	-99	0.82	-99	0.36	256	1.46

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว (Overview output file)

*SIMULATION OVERVIEW FILE

*DSSAT Cropping System Model Ver. 4.5.0.047 JUL 26, 2012; 21:55:17

```
*RUN 1 : CHAINAT 1 (cal.) RICER045 KMIT1002 1
MODEL : RICER045 - Rice
EXPERIMENT : KMIT1002 RI KMIT1002 FORECASTING RICE YIELD
DATA PATH : C:\DSSAT45\rice\
TREATMENT 1 : CHAINAT 1 (cal.) RICER045

CROP : Rice CULTIVAR : CHAINAT 1(cal.) ECOTYPE : IB0001
STARTING DATE : AUG 15 2010
PLANTING DATE : AUG 15 2010 PLANTS/m2 : 16.0 ROW SPACING : 25.cm
WEATHER : KMIT 2010
SOIL : IBRI910027 TEXTURE : SIC - Bangkok
WATER BALANCE : NOT SIMULATED ; NO H2O-STRESS
IRRIGATION :
NITROGEN BAL. : NOT SIMULATED ; NO N-STRESS
N-FERTILIZER :
RESIDUE/MANURE :
ENVIRONM. OPT. : DAYL= 0.00 SRAD= 0.00 TMAX= 0.00 TMIN= 0.00
RAIN= 0.00 CO2 = 0.00 DEW = 0.00 WIND= 0.00
SIMULATION OPT : WATER :N NITROGEN:N N-FIX:N PHOSPH :N PESTS :N
PHOTO :C ET :R INFIL:S HYDROL :R SOM :G
CO2 387ppm NSWIT :1 EVAP :S SOIL :2
MANAGEMENT OPT : PLANTING:R IRRIG :A FERT :R RESIDUE:N HARVEST:M
WEATHER :M TILLAGE :Y
```

*SUMMARY OF SOIL AND GENETIC INPUT PARAMETERS

```
Rice CULTIVAR :TR0006-CHAINAT 1(cal.) ECOTYPE :IB0001
P1 : 592.2 P2R : 112.1 P5 : 345.7 P20 : 11.9
G1 : 51.0 G2 : 0.0240 G3 : 0.97 G4 : 1.00
```

*SIMULATED CROP AND SOIL STATUS AT MAIN DEVELOPMENT STAGES

```
RUN NO. 1 CHAINAT 1 (cal.)
```

DATE	CROP AGE	GROWTH STAGE	BIOMASS kg/ha	LAI	LEAF NUM	CROP N kg/ha %	STRESS H2O	STRESS N	STRESS P1	STRESS P2	RSTG
15 AUG	0	Transplant	142	0.17	4.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	1
15 AUG	0	Start Sim	142	0.17	4.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	1
2 SEP	18	End Juveni	826	1.14	9.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	2
15 SEP	31	Pan Init	2696	2.82	12.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	3
15 OCT	61	Heading	8211	5.51	16.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	4
22 OCT	68	Beg Gr Fil	9361	4.89	16.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	5
7 NOV	84	End Mn Fil	11534	3.46	16.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	5
11 NOV	88	End Ti Fil	11644	3.19	16.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	6
12 NOV	89	Maturity	11644	3.19	16.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	20
12 NOV	89	Harvest	11644	3.19	16.0	0 0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	20

*MAIN GROWTH AND DEVELOPMENT VARIABLES

@	VARIABLE	SIMULATED	MEASURED
	Panicle Initiation day (dap)	31	36
	Anthesis day (dap)	61	63
	Physiological maturity day (dap)	89	87
	Yield at harvest maturity (kg [dm]/ha)	5602	4569
	Unit wt at maturity (g [dm]/unit)	0.0240	0.024
	Number at maturity (no/m2)	23343	19117
	Pod or panicle number (no/m2)	414.93	-99
	Leaf area index, maximum	5.60	6.98
	Tops weight at anthesis (kg [dm]/ha)	8092	-99
	Tops N at anthesis (kg/ha)	0	-99
	Tops weight at maturity (kg [dm]/ha)	11644	12126
	By-product produced (stalk) at maturity (kg[dm]/ha)	6042	-99
	Harvest index at maturity	0.481	0.38
	Leaf number per stem at maturity	16	-99
	Grain N at maturity (kg/ha)	0	-99
	Tops N at maturity (kg/ha)	0	-99
	Stem N at maturity (kg/ha)	0	0.73
	Grain N at maturity (%)	0.00	1.35

*ENVIRONMENTAL AND STRESS FACTORS

Development Phase				Environment								
Stress				Average			Cumulative		(0=Min, 1=Max Stress)			
Nitrogen	Phosphorus	Photo	Photo	Time Span	Temp Max	Temp Min	Solar Rad	Photop [day]	Rain mm	Evapo Trans mm	Water Photo synth	Growth
0.000	0.000	0.000	0.000	days	°C	°C	MJ/m2	hr	mm	mm	synth	Growth
0.000	0.000	0.000	0.000	18	32.4	25.7	14.3	12.36	205.3	0.0	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	13	32.8	26.0	14.4	12.18	135.0	0.0	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	30	32.8	25.8	14.5	11.90	259.6	0.0	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	7	29.9	24.6	10.7	11.67	46.7	0.0	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	20	30.8	24.4	12.7	11.52	4.5	0.0	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	89	32.0	25.4	13.7	11.93	651.1	0.0	0.000	0.000

Rice YIELD : 5602 kg/ha [Dry weight]

ตารางภาคผนวกที่ 8 ข้อมูลต่ำสุดและสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวแต่ละตัวที่
บรรจุอยู่ในไฟล์ ParameterProperty.xls

Coefficient	Minimum	Maximum	Flag
RI	8	8	8
RI_P1	210	900	1
RI_P2R	30	200	1
RI_P5	330	580	1
RI_P20	10.4	13	1
RI_G1	50	80	2
RI_G2	0.02	0.03	2
RI_G3	0.3	1	2
RI_G4	0.8	1.25	0



ภาพผนวกที่ ผ.1 การเก็บตัวอย่างดิน (ภาพบน) และการเตรียมดิน (ภาพล่าง)



ภาพผนวกที่ ผ.2 การเตรียมแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง) สำหรับปักดำ



ภาพผนวกที่ ผ.3 การปักดำข้าวในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง)



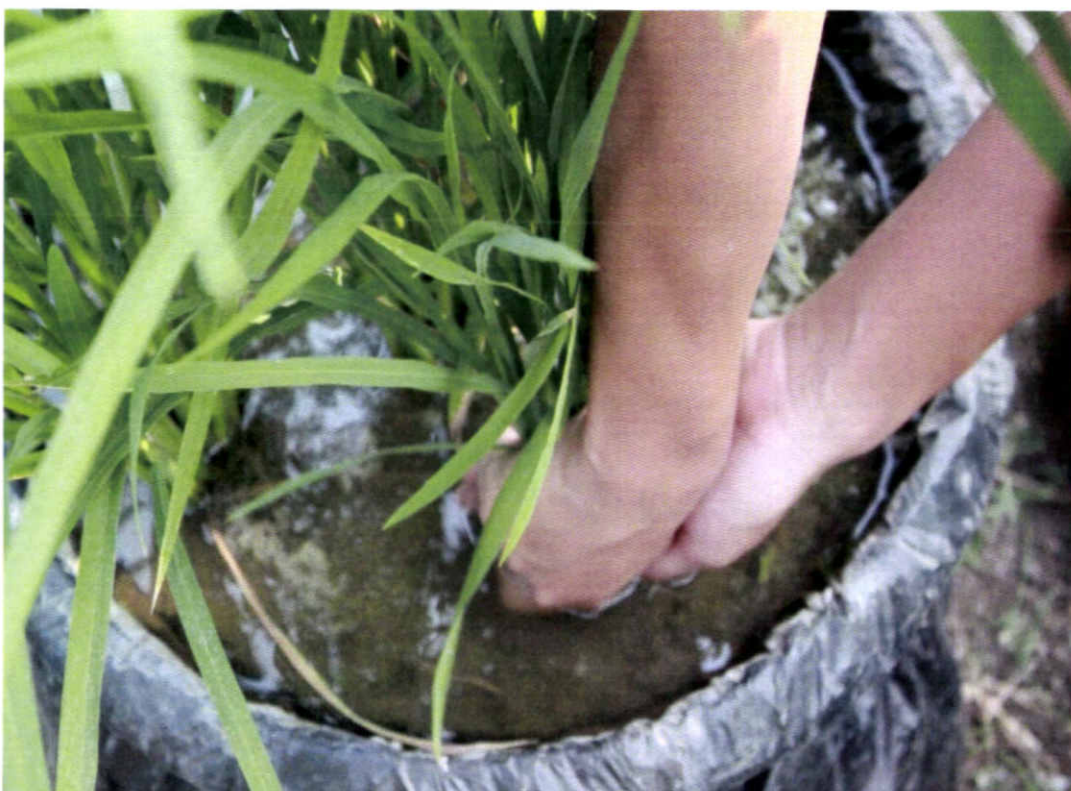
ภาพผนวกที่ ผ.4 ข้าวอายุ 30 วันหลังปักดำในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง)



ภาพผนวกที่ ๕.๕ การดูแลรักษาในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง)



ภาพผนวกที่ ผ.6 การใส่ปุ๋ยเคมีในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง)



ภาพผนวกที่ ผ.7 การเก็บตัวอย่างในแปลง (ภาพบน) และกระถาง (ภาพล่าง)



ภาพผนวกที่ ผ.8 การวัดความสูงของต้นข้าว



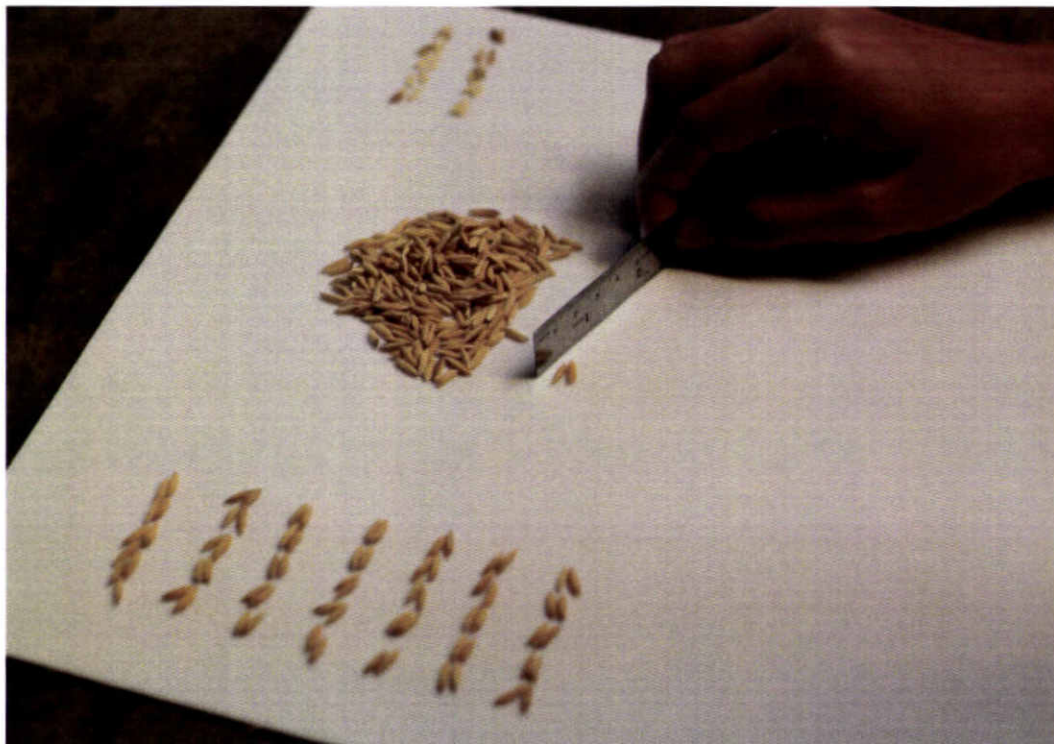
ภาพผนวกที่ ผ.9 การเจาะใบข้าวเพื่อนำไปหาพื้นที่ใบ



ภาพผนวกที่ ผ.10 การตัดรากเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก



ภาพผนวกที่ ผ.11 การตัดลำต้นและใบข้าวเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก



ภาพผนวกที่ ผ.12 การคัดแยกเมล็ดดีและเมล็ดเสียพร้อมทั้งนับจำนวนเมล็ด



ภาพผนวกที่ ผ.13 การชั่งน้ำหนักแห้ง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวพรเพ็ญ สมจิตร
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 12 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529
ที่อยู่ปัจจุบัน	159 ถนนชุมทอง-ลำด้อยตั้ง แขวงชุมทอง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 เบอร์ติดต่อ 087-9186496
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2551 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่ (เกียรตินิยมอันดับ 2) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2552 ถึงปัจจุบัน กำลังศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
งานวิจัย	ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตของข้าวและการประเมิน ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวเพื่อใช้ในแบบจำลองการ เจริญเติบโตของพืช
งานตีพิมพ์	พรเพ็ญ สมจิตร และ นิตยา ผกามาศ. 2554. “ความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา การเจริญเติบโตที่ระยะต่างๆ และผลผลิตในข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อ ช่วงแสง.” วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 29(3): 51-57. พรเพ็ญ สมจิตร และ นิตยา ผกามาศ. 2555. “ผลของวันปลูกต่ออัตราการ เจริญเติบโตในระยะการสืบพันธุ์และผลผลิตของข้าวพันธุ์ไม่ไว แสง.” วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 30(1): 62-70. พรเพ็ญ สมจิตร และ นิตยา ผกามาศ. 2555. “การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CERES-Rice สำหรับการประเมินอัตราการเจริญเติบโตของ ข้าว.” หน้า 248-254. ใน การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50 สาขาพืช. กรุงเทพฯ