การประยุกต์ใช้แบบจำลองพืชเพื่อประเมินอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว

APPLICATION OF CROP GROWTH MODEL FOR EVALUATING THE EFFECT OF NITROGEN FERTILIZER SOURCES ON PHYSIOLOGICAL TRAITS, YIELD, CHEMICAL COMPOSITION AND GLYCEMIC INDEX OF RICE

สโรชา โพธิ์ไพจิตร์

SAROCHA PHOPAIJIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-AG-M-065-407

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF CROP GROWTH MODEL FOR EVALUATING THE EFFECT OF NITROGEN FERTILIZER SOURCES ON PHYSIOLOGICAL TRAITS, YIELD, CHEMICAL COMPOSITION AND GLYCEMIC INDEX OF RICE

SAROCHA PHOPAIJIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

KMITL-2023-AG-M-065-407

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แบบจำลองพืชเพื่อประเมินอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว
นักศึกษา	นางสาวสโรชา โพธิ์ไพจิตร์
รหัสประจำตัว	62604052
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.นิตยา ผกามาศ

บทคัดย่อ

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว ดำเนินงานที่แปลงทดลองพืชไร่ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2564 - มีนาคม 2565 วางแผนการทดลองแบบ 2 x 4 Factorial experiment in CRD มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย โดยปัจจัยแรก คือ พันธุ์ข้าว ได้แก่ กข43 และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ปัจจัยที่สอง คือ ชนิดปุ๋ย ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย 2) ใส่ปุ๋ยเคมี (46-0-0) อัตรา 20 กก.N/ไร่ 3) ใส่ปุ๋ยปอเทือง อัตรา 20 กก.N/ไร่ และ 4) ปุ๋ยปอเทือง อัตรา 10 กก.N/ไร่ + ปุ๋ยเคมี อัตรา 10 กก.N/ไร่ บันทึกข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ปรกอบทางเคมี ผลผลิต และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของข้าว จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี DMRT พบว่าที่ระยะเก็บเกี่ยวข้าวไรซ์เบอร์รี่มีดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) พื้นที่ใบเฉพาะ (SLA) อัตราการเจริญเติบโต (CGR) จำนวนหน่อต่อกอ น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน จำนวนรวงต่อกอ ผลผลิต ปริมาณอะไมโลเพกติน การดูดใช้ไนโตรเจน (N-uptake) ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (NUE) อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน (NTR) และค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าพันธุ์กข43 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนข้าวพันธุ์กข43 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณอะไมโลส เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน พบว่าที่ระยะเก็บเกี่ยวข้าวที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีมีค่า LAI CGR จำนวนหน่อต่อกอ น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ผลผลิต และ N-uptake สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และมีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ดพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีให้ค่าสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนแตกต่างกัน สำหรับจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์อะไมโลเพกติน เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ด

การศึกษาส่วนที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice ประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว โดยอาศัยข้อมูลดิน ข้อมูลอากาศ และข้อมูลการจัดการจากการศึกษาส่วนที่ 1 มาประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (Genetic coefficient; GCs) ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ด้วยโปรแกรม GLUE Estimator โดยทำการปรับค่าจนกว่าจะได้ค่าทำนายที่มีความสอดคล้องกับค่าสังเกตมากที่สุด จากนั้นนำค่า GCs ที่ได้ไปประเมินลักษณะระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต ผลผลิต เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ด พิจารณาความสอดคล้องระหว่างค่าทำนายและค่าสังเกตโดยค่า RMSEn พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินอายุวันกำเนิดช่อรวง วันออกดอก และวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวได้ดีมากในทุกกรรมวิธี โดยมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 0.0 – 2.1%, 0.0 – 6.6% และ 0.0 – 3.9% ตามลำดับ โดยแบบจำลองประเมินอายุวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ต่ำกว่าค่าสังเกตประมาณ 5 วัน สำหรับผลการประเมินลักษณะการเจริญเติบโต พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินค่า LAI (RMSEn = 0.0 – 2.8%) SLA (RMSEn = 6.6 – 30.1%) น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน (RMSEn = 10.4 – 26.5%) ดัชนีเก็บเกี่ยว (RMSEn = 0.0 – 14.6%) และผลผลิต (RMSEn = 1.3 – 23.1%) ของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ดีถึงดีมาก และโดยภาพรวมประเมินได้ดีในทุกกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย แต่สำหรับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด พบว่าแบบจำลองทำนายได้ดีเฉพาะพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ โดยมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 3.1 – 9.9%

การศึกษาส่วนที่ 3 ทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อมโดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice พบว่าค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตจากแบบจำลองสามารถนำมาใช้ทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อมได้ โดยสมการทำนายที่ดีที่สุด คือ $y = 0.0022x + 59.099$ และ $y = 0.0050x + 59.212$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าหากน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และผลผลิตเพิ่มขึ้น 1 กก. จะส่งผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.0022 และ 0.0050 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าทำนายน้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินไปทำนายค่าดัชนีน้ำตาลจากค่าอ้างอิงของข้าวกข43 (GI = 57.5) และข้าวไรซ์เบอร์รี่ (GI =62.0) โดยมีการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีของการศึกษาส่วนที่ 1 พบว่าสมการสามารถทำนายค่าดัชนีน้ำตาลได้ค่าอยู่ระหว่าง 57.5 – 59.5 และ 62.0 - 64.9 ตามลำดับ หากใช้ผลผลิตทำนายจะได้ค่าอยู่ระหว่าง 57.5 – 59.4 และ 62.0 - 64.3 ตามลำดับ จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าค่าทำนายน้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินและผลผลิตจากแบบจำลองสามารถมาใช้ทำนายค่า GI ของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ มีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.0 – 8.0%

คำสำคัญ: ค่าดัชนีน้ำตาล (GI) สมการถดถอยอย่างง่าย แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Application of crop growth model for evaluating the effect of nitrogen fertilizer sources on physiological traits, yield, chemical composition and glycemic index of rice
Student	Miss Sarocha Phopaijit
Student ID	62604052
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Nittaya Phakamas

Abstract

This study was divided into three parts. The objective of the first part was to determine the effects of nitrogen fertilizer source on physiological characteristics, grain yield, chemical composition and the glycemic index of rice. The experiment was carried out in the agronomy farm at the school of agricultural technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, during November 2021 – March 2022. A 2x4 factorial experiment in CRD with four replications was laid out. Factor A had two rice varieties including RD43 and Riceberry, and factor B had four types of fertilizers consisting of unfertilized control, 2) urea (46-0-0) at the rate of 20 kg N/Rai 3) Sunn hemp green manure at the rate of 20 kg N/Rai and 4) Sunn hemp at the rate of 10 kg N/Rai + urea at the rate of 10 kg N/Rai. Data were recorded for physiological traits, chemical composition, grain yield and nitrogen use efficiency of rice. The data were subjected to analysis of variance, and means were separated by DMRT. At harvest, Riceberry was significantly higher (P≤0.05) than RD43 for leaf area index (LAI), specific leaf area (SLA), crop growth rate (CGR), tiller number per plant, biomass, spikelet per plant, yield, amylopectin content, nitrogen uptake (N-uptake), nitrogen use efficiency (NUE), nitrogen translocation ratio (NTR) and harvest index, whereas RD43 was significantly higher (P≤0.05) than Riceberry for 1,000-grain weight, amylose content, the percentage of nitrogen and protein in grains. In comparison of nitrogen fertilizer application methods, all nitrogen treatments were significantly higher (P≤0.05) than unfertilized control for lea area index, crop, tiller number per plant, biomass, percentage of filled grain, 1,000-grain weight, harvest index (HI), grain yield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and nitrogen uptake (N-uptake). Application of urea (alone) had a tendency to produce the highest growth and yield. Sunn hemp green manure with urea and the application of urea alone had the percentages of nitrogen and protein in grains. The results indicated that rice varieties responded differently to nitrogen fertilizer for spikelet number per plant, 1,000-grain weight, amylopectin concentration, nitrogen and protein percentage in grains.

The objective of second part was to evaluate the effects of nitrogen fertilizer on the phenology, growth and grain yield of rice by using CSM-CERES-Rice model. The GLUE Estimator program was used to assess the genetic coefficient (GCs) of RD43 and Riceberry using soil data, weather data, and management data from the first section. The calibration process was adjusted until the simulated data matched well with the observed values. Phenological characters, growth characters, grain yield, nitrogen percentage and protein percentage in grains were then evaluated using the GCs. RMSEn was used to determine the agreement between the simulated data and observed values. The model was able to very well predict days to panicle initiation, days to anthesis and days to physiological maturity of rice in all treatments with RMSEn values ranging from 0.0 – 2.1%, 0.0 – 6.6% and 0.0 – 3.9%, respectively. The predicted value of days to physiological maturity of the Riceberry was 5 days earlier than the observed value. The model performed well to very well in estimating LAI (RMSEn = 0.0 – 2.8%), SLA (RMSEn = 6.6 – 30.1%), biomass (RMSEn = 10.4 – 26.5%), harvest index (RMSEn = 0.0 – 14.6%) and grain yield (RMSEn = 1.3 – 23.1%) for both rice varieties. In general, the model could effectively assess most nitrogen parameters for all methods of applying fertilizer. For the percentage of nitrogen in grains, the model could predict well only in Riceberry with RMSEn values ranging from 3.1 - 9.9%.

The objective of the third part was to indirectly predict the glycemic index of rice by the CSM-CERES-Rice model. The simulated values of biomass and grain yield were able to be used to indirectly predict the glycemic index of rice. The most accurate prediction equations for biomass and grain yield were $y = 0.0022x + 59.099$ and $y = 0.0050x + 59.212$, respectively. The results indicated that an increase in biomass and yield of 1 kg would cause an increase in the glycemic index of 0.0022 and 0.0050, respectively. The use of predicted values for biomass to calculate the glycemic index based on the reference values of RD43 (GI = 57.5) and Riceberry (GI = 62.0) with application of fertilizer methods in the first part showed that the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

equation could calculate the glycemic indexes ranging between 57.5 and 59.5 for RD43 and 62.0 and 64.9 for Riceberry, respectively, whereas the use of predicted values for grain yield could estimate the glycemic indexes ranging between 57.5 and 59.4 for RD43 and 62.0 and 64.3 for Riceberry, respectively. The results showed that the GI of both rice varieties could be predicted using the simulated data of biomass and yield from the model with low errors between 0.0 and 8.0%.

Keywords: Glycemic index (GI), Simple regression, CSM-CERES-Rice model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาโท ที่มีความสำคัญยิ่งทำให้นักศึกษาได้รับประสบการณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการฝึกฝนในการใช้สติปัญญา การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในการทำงาน อีกทั้งยังสามารถนำความรู้และประสบการณ์ที่ได้ไปใช้ในอนาคต

ขอขอบคุณทุนโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 รหัสโครงการ 2564-02-04-015 ที่สนับสนุนงบประมาณค่าวัสดุในการทำงานทดลองส่วนที่ 1

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี พ.ศ. 2563 รหัสโครงการ KREF016303 ที่สนันสนุนงบประมาณค่าวัสดุในการทำวิจัย และสนับสนุนค่าธรรมเนียมการศึกษาเป็นระยะเวลา 3 ปี

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.นิตยา ผกามาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เป็นบุคคลผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในการทำวิทยาพนธ์ ถ่ายทอดความรู้ และให้คำแนะนำ อีกทั้งยังคอยอบรมให้มีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ในการทำงาน มีความกระตือรือร้น ชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องไม่ว่าจะเป็นในส่วนของตัวนักศึกษา หรือแม้กระทั่งงานวิจัย ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ และลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผศ.ดร.สุกัญญา แย้มประชา และนักศึกษาปริญญาโท ประจำห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา สำหรับความช่วยเหลือ และอนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดิน และในต้นพืช

ขอขอบคุณผศ.ดร.พจนา สีขาว และนักศึกษาปริญญาโทประจำห้องปฏิบัติการควบคุมเมล็ดพันธุ์สำหรับความช่วยเหลือและอนุเคราะห์ตู้ควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการแก้ไข จนทำให้วิยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาตรี เกษตรเจ้าคุณรุ่นที่ 61 ทุกคนที่มีร่วมในการช่วยเหลือในการทำงานทดลองในส่วนต่าง ๆ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่สนับสนุนค่าเล่าเรียน ส่งเสริม และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

สโรชา โพธิ์ไพจิตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	X
สารบัญภาพ	XIII
สารบัญภาคผนวก	XIV
สารบัญภาพผนวก	XV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้าว (*Oryza sativa* L.)	4
2.1.1 ข้าวพันธุ์ กข43 (RD43)	4
2.1.2 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry)	5
2.2 ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index: GI)	5
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำตาล	7
2.3.1 กลไกของการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าดัชนีน้ำตาล	9
2.4 อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบทางเคมี และผลผลิตของข้าว	9
2.5 แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช (Crop simulation model)	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.1 สถานที่ดำเนินงาน	15
3.2 ระยะเวลาทำการทดลอง	15
3.3 วิธีการดำเนินการ และการวิเคราะห์ข้อมูล	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 การศึกษาส่วนที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว..... 16

3.3.2 การศึกษาส่วนที่ 2 การประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อระยะพัฒนาการ ลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES Rice..... 21

3.3.3 การศึกษาส่วนที่ 3 การทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Ric..... 26

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... 28

4.1 การศึกษาส่วนที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว..... 28

4.1.1 สภาพภูมิอากาศ..... 28

4.1.2 คุณสมบัติของดินก่อนปลูกข้าว..... 29

4.1.3 การย่อยสลายไนโตรเจนในดินหลังหมักปอเทือง..... 30

4.1.4 การเจริญเติบโตของข้าว..... 31

4.1.5 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว..... 39

4.1.6 องค์ประกอบทางเคมีและค่าดัชนีน้ำตาล..... 42

4.1.7 อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน การดูดใช้ไนโตรเจน และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของข้าว..... 44

4.1.8 ผลวิเคราะห์ดินหลังปลูกข้าว..... 55

4.2 การศึกษาส่วนที่ 2 การประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อระยะพัฒนาการ ลักษณะทางสรีรวิทยา การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice..... 57

4.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว (Genetic coefficient; GCs)..... 57

4.2.2 ความสอดคล้องของระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว.. 58

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว..... 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การศึกษาส่วนที่ 3 การทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice 70

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 75

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 81

5.1 สรุปผลการวิจัย 81

5.2 ข้อเสนอแนะ 82

เอกสารอ้างอิง 83

ภาคผนวก 92

ประวัติผู้เขียน 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 แสดงคำนิยามของค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว..... 24

4.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินก่อนปลูกข้าว 30

4.2 ปริมาณแอมโมเนียไอออนในดินหลังหมักปอเทืองเป็นระยะเวลา 14 วัน..... 31

4.3 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อจำนวนหน่อต่อกอของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 32

4.4 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อดัชนีพื้นที่ใบของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 34

4.5 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อพื้นที่ใบเฉพาะของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 35

4.6 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่ออัตราการเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ.. 37

4.7 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 38

4.8 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว 40

4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และเปอร์เซ็นต์เมล็ดเสียของข้าวเพื่อสุขภาพเมื่อได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน..... 41

4.10 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน โปรตีน ดัชนีน้ำตาล อะไมโลส และอะไมโลเพกติน ของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ระยะเก็บเกี่ยว 43

4.11 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่ออัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนของข้าวที่ระยะออกดอก 45

4.12 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในใบของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 47

4.13 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในต้นของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 48

4.14 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว 49

4.15 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในใบของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 51

4.16 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในต้นของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 52

4.17 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ระยะเก็บเกี่ยว .....

4.18 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดินหลังปลูกข้าว..... 54

4.19 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังปลูกข้าว..... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.19 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังปลูกข้าว..... 56

4.20 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดินหลังปลูกข้าว..... 56

4.21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ 57

4.22 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันกำเนิดช่อรวง (Panicle initiation day) ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน 58

4.23 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันออกดอก (Anthesis day) ของข้าวกข43และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน..... 59

4.24 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity day) ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน..... 60

4.25 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index) ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน..... 61

4.26 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายพื้นที่ใบเฉพาะ (Specific leaf area) ของข้าวกข43และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน 62

4.27 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าวกข43และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน 63

4.28 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายผลผลิตของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน 64

4.29 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน 65

4.30 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน..... 66

4.31 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิด..... 67

4.32 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้นของข้าวกข43และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน 68

4.33 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี (ค่าทำนาย) และค่าดัชนีน้ำตาล (ค่าสังเกต)..... 70

4.35 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสมการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวที่ใช้ค่าดัชนีน้ำตาลจากการวิเคราะห์และค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิงเป็นฐานในการคำนวณ..... 74

4.36 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลจากน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองตามกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ โดยใช้ค่า GI อ้างอิงเป็นฐานการคำนวณ 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 16

3.2 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 2..... 21

3.3 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 3..... 27

4.1 แสดงอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณน้ำฝน และค่ารังสีดวงอาทิตย์ ตั้งแต่วันปลูก (วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ 2564) จนถึงวันเก็บเกี่ยว (วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ.2565)..... 29

4.2 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าทำนาย (Simulated) และค่าสังเกต (Observed) ของดัชนีพื้นที่ใบ (a) พื้นที่ใบเฉพาะ (b) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (c) ดัชนีเก็บเกี่ยว (d) ผลผลิต (e) และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ด (f)..... 71

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตดัชนีน้ำตาล (GI Observed) กับค่าทำนายน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (a) และค่าทำนายผลผลิต (b) โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากข้าวทั้งสองพันธุ์..... 72

4.4 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวกข43 จากค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (a) และผลผลิต (b) ที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิง (reference GI) เป็นฐานในการคำนวณ..... 73

4.5 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (a) และผลผลิต (b) ที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิง (reference GI) เป็นฐานในการคำนวณ..... 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาคผนวก

ตารางผนวกที่ **หน้า**

1 วิธีการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาล 93
2 วิธีวิเคราะห์อะไมโลสและอะไมโลเพกติน 94
3 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับผลผลิตของข้าวกข43 และไรซ์เบอร์รี่ 95
4 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับผลผลิตของของแต่ละชนิดปุ๋ย 96
5 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน การดูดใช้ไนโตรเจน และการดูดใช้ไนโตรเจนกับผลผลิต ของข้าวกข43 และไรซ์เบอร์รี่ 97
6 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน การดูดใช้ไนโตรเจน และการดูดใช้ไนโตรเจนกับผลผลิต ของข้าวแต่ละชนิดปุ๋ย 98
7 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายของวันกำเนิดช่อรวง (Panicle initiation day) วันออกดอก (Anthesis date) วันสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity date) 99
8 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายของดัชนีเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และผลผลิต 100
9 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบผลิตกับผลผลิตของข้าวกข43 และไรซ์เบอร์รี่ 101
10 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบผลิตกับผลผลิตของแต่ละชนิดปุ๋ย 102
11 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลดิน 103
12 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศ 104
13 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว 105
14 ไฟล์ข้อมูลการจัดการ (File X) 106
15 ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File T) 108
16 ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File A) 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพผนวก

ตารางผนวกที่ **หน้า**

1 การเตรียมปอเทือง (การปลูก - เก็บเกี่ยว)..... 110
2 การเตรียมดิน และหมักปอเทืองก่อนปลูกข้าว..... 110
3 การปลูก และการดูแลรักษา..... 110
4 การเก็บตัวอย่างที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ 111
5 การอบตัวอย่างโดยตู้อบลมร้อน (Hot air oven)..... 111
6 การเตรียมตัวอย่างพืชก่อนวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน และองค์ประกอบทางเคมี..... 111
7 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีในห้องปฏิบัติการ 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคเบาหวานเป็นโรคชนิดหนึ่งที่เกิดจากพันธุกรรมหรือสิ่งแวดล้อม จากรายงานสถิติพบว่าคนไทยป่วยเป็นโรคเบาหวานมากเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก โดยจากรายงานปี พ.ศ. 2562 พบว่ามีผู้ป่วยโรคเบาหวาน 4.8 ล้านคน และคาดการณ์ว่าในปีพ.ศ. 2583 จะมีผู้ป่วยโรคเบาหวานเพิ่มขึ้นสูงมากถึง 5.3 ล้านคน (สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย. 2562) อย่างไรก็ตามแม้ไม่สามารถรักษาให้หายขาด แต่ผู้ป่วยสามารถที่จะดูแลสุขภาพโดยการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ด้วยการระมัดระวังเรื่องการรับประทานอาหาร เนื่องจากอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index: GI) สูง จะมีคาร์โบไฮเดรตจำพวกน้ำตาลและแป้งในปริมาณมาก ส่งผลให้น้ำตาลกลูโคสถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็ว ซึ่งข้าวจัดว่าเป็นอาหารหลักที่สำคัญของคนไทย โดยพันธุ์ที่คนไทยนิยมบริโภค คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีคุณภาพการหุงต้มดี อ่อนนุ่ม มีกลิ่นหอม แต่จะมีค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวขาวสูงประมาณ 63.2 ส่วนข้าวขาวที่ขายตามท้องตลาดทั่วไปจะมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงถึงประมาณ 69.1 ในปัจจุบันผู้บริโภคมีทางเลือกมากขึ้น เนื่องจากนักวิจัยได้มีการพัฒนาพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองต่อคนรักสุขภาพ เช่น ข้าวพันธุ์กข43 ที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำเพียง 57.5 ซึ่งปริมาณน้ำตาลกลูโคสและอะไมโลส ต่ำกว่าข้าวชนิดอื่น หรือข้าวไรซ์เบอร์รี่แม้ว่าจะมีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลางประมาณ 62 แต่ก็เป็นข้าวที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ เช่น มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง จึงเหมาะสำหรับกลุ่มคนรักสุขภาพ

สำหรับค่าระดับดัชนีน้ำตาลในข้าวจะมากหรือน้อยอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สถานที่ปลูก และสายพันธุ์ข้าว (Miller,B. et.al. 1992) ปริมาณอะไมโลส และปริมาณอะไมโลเพกติน (Zhu,J. et.al. 2011) และคุณสมบัติอื่น ๆ ของแป้งข้าว รูปทรงของเม็ดแป้ง องค์ประกอบของเม็ดแป้ง ขนาดของเม็ดแป้ง รวมถึงอัตราและขอบเขตการย่อยแป้ง (Bird,R. et.al. 2009) ซึ่งค่า GI จะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณโปรตีน (Jenkins,A. et.al. 1981) จากงานวิจัยดังกล่าวนี้ทำให้เกิดสมมติฐานที่ว่าหากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวสามารถจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวก็น่าจะส่งผลถึงค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเช่นกัน

ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นปัจจัยการผลิตข้าวที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากโดยปกติแล้วข้าวจะมีความต้องการธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต โดยมีรายงานว่าปุ๋ยไนโตรเจนมีส่วนสำคัญต่อการสร้างกรดอะมิโนไลซีน (lysine) และโปรตีนกลุ่มกลูเตลิน (glutelin) ในเมล็ดข้าว (Leesawatwong,M. et.al. 2005) แสดงให้เห็นว่าปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวจะสูงขึ้นหากมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (Tumanain,N. et.al. 2020) นอกจากจะส่งผลต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวแล้วมีรายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวมีค่าดัชนีการเจริญเติบโตต่าง ๆ สูงขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าว (Azarpour,E. et.al. 2014) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบการผลิตข้าวนั้นเกษตรกรสามารถใส่ได้ทั้งในรูปของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์แต่ก็ควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสม การปลูกข้าวเพื่อสุขภาพหากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้ข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น ภาสินี สืบสวน (2562) ทำการศึกษาศักยภาพในการย่อยสลายไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด คือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด พบว่าการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองมีปริมาณสะสมไนโตรเจนและมีศักยภาพในการย่อยสลายได้สูงสุด นอกจากนี้เกษตรกรสามารถปลูกและเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองได้อีกด้วย

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการผลิตข้าว เพราะนอกจากปุ๋ยไนโตรเจนจะมีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และปริมาณโปรตีน ก็น่าจะมีความเกี่ยวข้องกับค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเช่นกัน สำหรับการประเมินค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น Enzymatic method เป็นการวัดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด (สุนันทา วงศ์ปิยชน และคณะ. 2558) และ *In vitro rapidly available glucose* (RAG) เป็นการเลียนแบบการย่อยการดูดซึมน้ำตาลในหลอดทดลอง (สุนีย์ สหัสโพธิ์ และคณะ. 2558) ซึ่งมีความยุ่งยากและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่างค่อนข้างสูง ดังนั้นการหาแนวทางในการประเมินค่าดัชนีน้ำตาลด้วยวิธีการอื่น ๆ ซึ่งอาจจะประเมินโดยตรงหรือประเมินทางอ้อม หรือวิธีการที่ทำให้สามารถทราบได้อย่างคร่าว ๆ ว่าข้าวที่ปลูกในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีการจัดการปัจจัยการผลิตต่างกันจะส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลหรือไม่อย่างไร ข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ทั้งต่อกลุ่มนักวิชาการและตัวเกษตรกรผู้ผลิตเอง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตข้าวให้มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำตอบสนองต่อกลุ่มคนรักสุขภาพ

ในปัจจุบันมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เรียกว่า โปรแกรม DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Jones,W. et.al. 2003) ที่สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวได้ โดยที่ไม่จำเป็นต้องไปปลูกทดสอบจริง ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองสามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยด้านพันธุกรรม สภาพแวดล้อม และการจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เพื่อดูการตอบสนองด้านการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดข้าวได้ แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CSM-CERES-Rice) เป็นแบบจำลองพืชชนิดหนึ่งที่บรรจุอยู่ในโปรแกรม DSSAT ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อการจัดการในแปลงปลูก การตอบสนองต่อปัจจัยการผลิต และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เป็นต้น (Vilayvong. 2012) นอกจากนี้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice สามารถนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงธาตุไนโตรเจนในดินที่ปลูกภายใต้ระบบการปลูกพืชหมุนเวียน (Hasegawa,G. et.al. 2000) ดังนั้นแบบจำลองน่าจะสามารถนำมาใช้ในการประเมินการเจริญเติบโต ผลผลิต และเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณโปรตีนในเมล็ดทางอ้อม ดังนั้นแบบจำลองก็น่าจะนำมาใช้ในการประเมินค่าดัชนีน้ำตาลทางอ้อมได้เช่นกัน ถึงแม้จะไม่ได้ค่าดัชนีน้ำตาลที่แม่นยำ แต่ก็น่าจะบอกเป็นแนวโน้มได้ว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูกข้าวในสภาพที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจากแหล่งที่แตกต่างกัน จะมีแนวโน้มส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลอย่างไร

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว

1.2.2 เพื่อประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

1.2.3 เพื่อทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

แบบจำลองสามารถนำมาประเมินอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อความสัมพันธ์ของลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวได้ หากทราบว่าลักษณะที่แบบจำลองสามารถประเมินได้มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีน้ำตาล น่าจะทำให้สามารถใช้แบบจำลองทำนายค่าดัชนีน้ำตาลทางอ้อมได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้จะมีการปลูกข้าวในแปลงเพื่อบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ข้อมูลดิน ข้อมูลอากาศ และข้อมูลการจัดการ เพื่อนำมาใช้ในการประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อความสัมพันธ์ของลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว (*Oryza sativa* L.)

ข้าวจัดว่าเป็นอาหารหลักที่สำคัญของคนไทย โดยประชากรส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากมีคุณภาพการหุงต้มดี อ่อนนุ่ม มีกลิ่นหอม แต่มีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index: GI) สูงประมาณ 63.2 ส่วนข้าวขาวพันธุ์อื่น ๆ ที่ขายตามท้องตลาดทั่วไปจะมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงมากถึงประมาณ 69.1 อย่างไรก็ตามในปัจจุบันผู้บริโภคมีทางเลือกมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน ซึ่งนับว่าเป็นโรคอันดับต้น ๆ ที่พบในประเทศไทย โดยจากรายงานปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีผู้ป่วยโรคเบาหวานประมาณ 4.4 ล้านคน ต่อในปี พ.ศ. 2562 พบว่ามีผู้ป่วยโรคเบาหวานเพิ่มขึ้นเป็น 4.8 ล้านคน และคาดการณ์ว่าในปีพ.ศ. 2583 จะมีผู้ป่วยโรคเบาหวานเพิ่มขึ้นสูงมากถึง 5.3 ล้านคน (สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย. 2562) สำหรับลักษณะบ่งชี้ของโรคเบาหวาน คือ ผู้ป่วยมีน้ำตาลสูง ทำให้การทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายผิดปกติและเกิดมีสภาวะแทรกซ้อนตั้งแต่ระยะเฉียบพลันถึงระยะเรื้อรัง ซึ่งการเกิดโรคเบาหวานส่วนหนึ่งอาจเกิดจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ (แป้ง) ที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในทางเดินอาหารของมนุษย์ซึ่งจะส่งผลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูง (Tamura,M. et.al. 2017) อย่างไรก็ตามแม้ไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ แต่ผู้ป่วยสามารถที่จะดูแลสุขภาพโดยการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ด้วยตนเองด้วยการระมัดระวังเรื่องรับประทานอาหารที่มีน้ำตาลสูง เนื่องจากอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงจะมีคาร์โบไฮเดรตจำพวกน้ำตาลและแป้งในปริมาณสูง ส่งผลให้น้ำตาลกลูโคสถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็ว ดังนั้นนักวิจัยจึงได้มีการพัฒนาพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองต่อคนรักสุขภาพ เช่น ข้าวพันธุ์กข 43 ที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำเพียง 57.5 มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส และ อะมิโลส ต่ำกว่าข้าวชนิดอื่น เนื่องจากแป้งในข้าวพันธุ์นี้มีโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ เมื่อรับประทานเข้าไปจะเกิดการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลช้ากว่า จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการรักษาระดับน้ำตาลในเลือดเช่นผู้ป่วยโรคเบาหวาน หรือข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีแม้ว่าจะมีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลางคือประมาณ 62 แต่ก็เป็นข้าวที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ เช่น มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคสมองเสื่อม โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง และโรคเบาหวาน ซึ่งข้าวทั้ง 2 พันธุ์นี้จัดว่าเป็นข้าวเพื่อสุขภาพ

2.1.1 ข้าวพันธุ์ กข43 (RD43)

เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสงที่ได้จากการผสมเดี่ยวระหว่างพันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี (พันธุ์แม่) และ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 (พันธุ์พ่อ) ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2542 คัดเลือกได้สายพันธุ์ SPR99007-22-1-2-2-1 ปลูกทดสอบผลผลิตในศูนย์วิจัยข้าวและในนาเกษตรกรตั้งแต่ปี 2456 จนถึงปี 2551 ข้าว กข43 ควรปลูกในพื้นที่นาชลประทาน พื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน หรือพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกษตรกรมีเวลาทำนาน้อยกว่าพื้นที่ปลูกข้าวอื่น ๆ รวมไปถึงพื้นที่ที่มีปัญหาวัชพืชระบาดในนาข้าว เนื่องจากเป็นข้าวที่มีลักษณะเด่นอยู่ที่อายุการเก็บเกี่ยวสั้นเพียง 95 วัน ปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม ความสูงประมาณ 103 เซนติเมตร ทรงกอตั้ง ต้นค่อนข้างแข็ง ใบสีเขียวจาง ใบธงตั้งปานกลาง ข้าวเปลือกสีฟาง น้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด 30.35 กรัม ข้าวกล้องสีขาว ยาว 7.59 มิลลิเมตร รูปร่างเมล็ดยาวเรียว ท้องไข่น้อย มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (18.82%) ค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ที่ 57.5 คุณภาพของเมล็ดทางการหุงต้มรับประทาน ดี ข้าวสุก นุ่ม เหนียว มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ (ใกล้เคียงข้าวหอมดอกมะลิ 105) มีระยะพักตัว 5 สัปดาห์ ผลผลิตประมาณ 561 กก./ไร่ และยังมีความต้านทานต่อโรคใบไหม้และปัญหาเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในระดับปานกลาง ในพื้นที่ที่มีปัญหาเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจึงสามารถปลูกข้าว กข43 ได้ (กรมการข้าว. 2560ก)

2.1.2 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry)

เป็นข้าวเจ้าพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์จากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมมือจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โดยเป็นการคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์ขึ้นโดยการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่าง ข้าวเจ้าหอมนิล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พันธุ์พ่อ) ข้าวไม่ไวแสง กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากสถาบันวิจัยข้าว (พันธุ์แม่) ข้าวไวแสง โดยเริ่มผสมพันธุ์เมื่อปี พ.ศ. 2545 ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เป็นข้าวเจ้าสีม่วง ซึ่งสีม่วงเข้มที่พบในข้าวไรซ์เบอรี่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีส่วนประกอบเป็นสารแอนโทไซยานิน ซึ่งก็คือรงควัตถุหรือสารสี ที่สามารถละลายน้ำได้ดี และจัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์หรือสารต้านอนุมูลอิสระ อุดมไปด้วยโฟเลตในปริมาณสูง นอกจากนั้นยังอุดมไปด้วยสารอาหารอื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากมายหลายชนิด ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอไรซานอล วิตามินอี วิตามินบี 1 ลูทีน แทนนิน สังกะสี โอเมก้า 3 ธาตุเหล็ก โพลีฟีนอล และเส้นใย ที่มีประสิทธิภาพสูง มีเมล็ดเรียวยาว ผิวมันวาว มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ รสชาติกลมกล่อมชวนรับประทานเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ต้นสูง 105-110 เซนติเมตร โดยมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 130 วัน ให้ผลผลิต 300-500 กก./ไร่ มีปริมาณอะไมโลสต่ำ 15.6% ค่าดัชนีน้ำตาล 62 และมีความสามารถต้านทานต่อโรคไหม้ แต่ไม่ต้านทานโรคหลาว จึงแนะนำให้เปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ทุกรอบของการปลูก (กรมการข้าว. 2560ข) นอกจากนี้รำข้าวและน้ำมันรำข้าวจากข้าวไรซ์เบอรี่ยังมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งทางการแพทย์นิยมนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารโภชนาบำบัดด้วย (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. 2553)

2.2 ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index: GI)

ค่าดัชนีน้ำตาล เป็นค่าบ่งบอกอัตราการย่อยสลายสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต (แป้ง) ที่มีผลต่อระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด (Jenkins,A. et.al. 1981 ; Wolever,S. et.al. 2013) โดยค่าดัชนีน้ำตาล หรือ ค่า GI จะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (Low glycemic) จะมีระดับน้ำตาลอยู่ที่ ≤ 55 2) ค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง (Medium glycemic) จะมีระดับน้ำตาลอยู่ระหว่าง 56-69 และ 3) ค่าดัชนีน้ำตาลสูง (High glycemic) จะมีค่าระดับน้ำตาล ≥ 70 (สุนันทา วงศ์ปิยชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคณะ. 2558) สำหรับการวัดค่าดัชนีน้ำตาลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธี Enzymatic method ที่เป็นการวัดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด (สุนันทา วงศ์ปิยชน และคณะ. 2558) และ *In vitro rapidly available glucose* ที่เป็นการเลียนแบบการย่อยและการดูดซึมน้ำตาลในหลอดทดลอง (สุนีย์ สหัสโพธิ์ และคณะ. 2558) หรือการวัดการเลียนแบบการย่อยและการดูดซึมน้ำตาลโดยอาศัยเครื่อง Nutriscan GI Analyser (Chandel,G. et.al. 2016) เป็นต้น

การวัดค่าดัชนีน้ำตาลโดยวิธีการวัดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด (Enzymatic method) เช่น สุนันทา วงศ์ปิยชน และคณะ (2558) ให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานบริโภคข้าวสุกจากข้าวจำนวน 8 พันธุ์ ประกอบด้วย กข6 ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 ทับทิมชุมแพ มะลินิลสุรินทร์ ขาวตาแห้ง 17 เจ๊กเชย 1 และเหลืองประทิว 123 ที่มีปริมาณอะไมโลส แตกต่างกัน ทั้งในรูปของข้าวขาว ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก เพื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยระดับน้ำตาลและอินซูลินหลังบริโภคสารละลายกลูโคสที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240 นาที จากนั้นคำนวณค่าดัชนีน้ำตาล และดัชนีอินซูลิน ผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีน้ำตาลในข้าวกล้อง (48.6, 49.1 และ 41.4) และข้าวกล้องงอก (51.0, 47.3 และ 45.2) ของข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 เจ๊กเชย 1 และเหลืองประทิว 123 ตามลำดับ ซึ่งจัดว่ามีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวทั้งสามพันธุ์มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 23.96 - 26.32% ในขณะที่ข้าวพันธุ์อื่นมีค่าประมาณ 5.30 - 17.72% และพบว่าข้าวขาวในข้าวทุกพันธุ์จะมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงกว่าข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก Chan,S. et.al. (2001) ศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนีน้ำตาลในอาหาร 9 ชนิด ได้แก่ ข้าว 3 ชนิด ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว 3 ชนิด และอาหารหวาน 3 ชนิด โดยมีการเจาะเลือดเพื่อวัดระดับน้ำตาลในเลือดภายหลังที่กลุ่มตัวอย่างบริโภคอาหารเป็นระยะเวลา 0, 15, 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที พบว่าข้าวทั้ง 3 ชนิดมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงที่สุดเท่ากับ 86 - 109 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำประมาณ 39 - 61 ส่วนอาหารหวานมีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลางประมาณ 54 - 79

การเลียนแบบการย่อยและการดูดซึมน้ำตาลในหลอดทดลอง (*In vitro rapidly available glucose*) เช่น สุนีย์ สหัสโพธิ์ และคณะ (2558) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า RAG กับปริมาณอะไมโลส และค่า RAG กับอัตราส่วนระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลเพกติน ในข้าวพันธุ์พื้นเมือง 31 สายพันธุ์ พบว่าในข้าวสุกค่า RAG มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณอะไมโลส นั่นหมายความว่าถ้าข้าวมีปริมาณอะไมโลสสูงก็จะมีความสามารถในการย่อยและดูดซึมน้ำตาลตาลเข้าสู่กระแสเลือดได้ช้า นอกจากนี้ยังพบว่าค่า RAG ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยจากผลการศึกษาครั้งนี้แนะนำว่าข้าวพื้นเมืองพันธุ์ข้าวเจ้าแดงและข้าวมะลิแดงซึ่งมีค่า RAG ต่ำ เป็นพันธุ์ที่เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน Al-Mssallem,M. et.al. (2009) วัดค่าดัชนีน้ำตาลและดัชนีอินซูลินผ่านการเลียนแบบการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยวัดค่า rapidly available glucose (RAG) และ slowly available glucose (SAG) ในข้าว 2 ชนิด คือ Hassawi rice และ Uncle Ben’s rice ผลการศึกษาพบว่า ข้าว Uncle Ben’s rice มีค่า RAG และ SAG ต่ำกว่าข้าว Hassawi rice อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าข้าว Uncle Ben’s rice มีค่าดัชนีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 54 ซึ่งต่ำกว่าข้าว Hassawi rice ที่มีค่าเท่ากับ 59 แสดงให้เห็นว่าค่า RAG มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีน้ำตาล อย่างไรก็ตามการวัดค่าดัชนีน้ำตาลตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้นอาจมีข้อจำกัด ทั้งในเรื่องของการต้องหากลุ่มตัวอย่างผู้ป่วยเพื่อมาบริโภคข้าวก่อนที่จะมีการเจาะเลือดไปตรวจหาค่าดัชนีน้ำตาล หรือการหาค่าดัชนีน้ำตาลโดยวิธีการเลียนแบบการย่อยและดูดซึมน้ำตาล ต้องอาศัยเทคนิคเครื่องมือ และความชำนาญในการวิเคราะห์ ซึ่งอาจจะมีความยุ่งยากและต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง Chandel,G. et.al. (2016) วิเคราะห์การย่อยแป้งในหลอดทดลอง (*In vitro*) เพื่อประเมินค่าดัชนีน้ำตาลในเลือดโดยอาศัยเครื่อง Nutriscan GI Analyser ซึ่งวิธีการนี้สามารถประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายมากกว่าการวัดค่าดัชนีน้ำตาลแบบ *In vivo*

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีน้ำตาล

ระดับดัชนีน้ำตาลในข้าวจะมากหรือน้อยอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สถานที่ปลูก และสายพันธุ์ข้าว (Miller,B. et.al. 1992 ; Chandel,G. et.al. 2016) ปริมาณอะไมโลส และปริมาณอะไมโลเพกติน (Zhu,J. et.al. 2011) และคุณสมบัติอื่น ๆ ของแป้งข้าว รูปทรงของเม็ดแป้ง องค์ประกอบของเม็ดแป้ง ขนาดของเม็ดแป้ง รวมถึงอัตราและขอบเขตการย่อยแป้ง (Bird,R. et.al. 2009) ในปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศก่อให้เกิดปัญหาสภาพแห้งแล้งในหลายพื้นที่ของโลก ซึ่ง Kumar,A. et.al. (2020) รายงานว่าการปลูกข้าวในสภาวะแห้งแล้งจะทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณอะไมโลสลดลงและส่งผลทำให้มีค่าดัชนีน้ำตาลเพิ่มขึ้น แต่ก็พบว่ามีข้าวบางพันธุ์ที่มีการตอบสนองต่อสภาพแห้งแล้งน้อย นั่นแสดงว่าข้าวพันธุ์นั้นอาจจะเหมาะสำหรับนำไปใช้การปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะต้านทานต่อสภาพแห้งแล้งและไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะไมโลสและค่าดัชนีน้ำตาล โดยปกติข้าวแต่ละพันธุ์จะมีค่า GI ที่แตกต่างกันและค่า GI จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ซึ่งระดับของอะไมโลสในข้าวจะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลส 0 - 2% กลุ่มข้าวที่มีอะไมโลสต่ำมาก 5 - 12% กลุ่มที่มีอะไมโลสต่ำ 12 - 20% กลุ่มที่มีอะไมโลสปานกลาง 20 - 25% และ กลุ่มที่มีอะไมโลสสูง 25 - 33% (Kaur,B. et.al. 2016) นอกจากนี้มีรายงานว่าข้าวพันธุ์ Purnendu และ Shashi จะมีปริมาณอะไมโลส และปริมาณแป้งทนการย่อย (Resistant starch; RS) ลดลงเมื่อปลูกในสภาพความเข้มแสงต่ำ แต่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า GI (Kumar,A. et.al. 2019)

โดยปกติปริมาณอะไมโลสจะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับการดูดซึมน้ำ การขยายปริมาตรของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้ม และความสำคัญต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวสุกหลังจากการหุงต้ม นอกจากนี้สัดส่วนระหว่างปริมาณอะไมโลสกับอะไมโลเพกติน ยังมีส่วนสำคัญต่อคุณภาพการหุงต้มของข้าว และมีรายงานว่าสัดส่วนระหว่างปริมาณอะไมโลสกับอะไมโลเพกติน สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาอัตราการย่อยแป้ง การดูดซึมน้ำตาลกลูโคสและอินซูลินในข้าวได้ Goddard,S. et.al. (1984) ศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินต่อการตอบสนองของกลูโคสและอินซูลินในข้าวเมล็ดยาว เมล็ดปานกลาง และเมล็ดสั้น (ข้าวโมจิ) พบว่ามีปริมาณอะไมโลสเท่ากับ 23 - 25, 14 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17 และ 0% ตามลำดับ และปริมาณอะไมโลเพกตินเท่ากับ 75 - 77, 83 - 86 และ 100% ตามลำดับ ถึงแม้ว่าองค์ประกอบทางโภชนาการ เช่น โปรตีน ไขมัน และเส้นใย ในเมล็ดข้าวทั้ง 3 ชนิดจะใกล้เคียงกัน แต่ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีการตอบสนองของกลูโคสและอินซูลินต่ำ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Juliano and Goddard (1986) ที่พบว่าหากข้าวมีปริมาณอะไมโลสสูง (≥ 24%) จะทำให้มีการตอบสนองของกลูโคสและอินซูลินต่ำที่สุด ในขณะที่ Miller,B. et.al. (1992) ศึกษาหาค่า GI ในข้าวขาวและข้าวกล้อง ของข้าวพันธุ์ Doongara, Calrose และ Pelde พบว่าข้าวพันธุ์ Doongara ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสสูงเท่ากับ 28% ซึ่งส่งผลทำให้มีค่า GI ต่ำที่สุดทั้งในชนิดข้าวขาว (GI = 64) และข้าวกล้อง (GI = 66) ส่วนพันธุ์ Calrose และ Pelde ที่มีปริมาณอะไมโลส ปานกลาง ประมาณ 20% มีค่า GI ในข้าวขาวเท่ากับ 83 และ 93 ตามลำดับ ในข้าวกล้องมีค่าเท่ากับ 87 และ 76 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม Holt and Miller (1995) พบว่าข้าวพันธุ์ Doongara มีค่า GI เพียง 54 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแม้ว่าจะมีการหุงต้มข้าวโดยใช้เวลา 14 นาทีเหมือนกัน แต่ข้อแตกต่างคือในการศึกษานี้มีได้การเก็บข้าวที่หุงต้มแล้วค้างคืนไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งความเย็นไปเพิ่มปริมาณแป้งทนการย่อย (Resistant starch) จึงมีผลทำให้ค่า GI ลดลง ในอาหารและพืชหลาย ๆ ชนิด เช่น อาหารเช้าที่ทำจากธัญพืช เมล็ดธัญพืช เมล็ดถั่วแห้ง ผัก ผลไม้ และผลิตภัณฑ์น้ำนม เป็นต้น ค่าดัชนีน้ำตาลจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณโปรตีน (Jenkins,A. et.al. 1981) สอดคล้องกับรายงานของ Trout,L. et.al. (1993) ที่พบว่าปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) และกรดไฟติก (phytic acid) ในอาหารจำพวกธัญพืชและเมล็ดถั่วหลายชนิดมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่า GI แต่ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์กับไขมัน Amin,T. et.al. (2017) ทำการศึกษาโดยการเพิ่มปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวให้สูงขึ้นเป็น 3.5 เท่าเมื่อเทียบกับแป้งข้าวปกติ พบว่าหากแป้งข้าวมีปริมาณโปรตีนสูงจะส่งผลทำให้มีค่า GI ต่ำลง Meera,T. et.al. (2019) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีน อะไมโลส ฟีนอลรวม ฟลาโวนอยด์รวม และ DPPH กับค่า GI ในเมล็ดข้าวที่มีเมล็ดสีแตกต่างกัน ได้แก่ เมล็ดสีน้ำตาล เมล็ดสีแดง เมล็ดสีดำ และเมล็ดสีขาว ผลการศึกษาพบว่าข้าวที่เมล็ดสีน้ำตาลจะมีค่าอะไมโลสและโปรตีนสูงส่งผลให้มีค่า GI ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเมล็ดสีแดง เมล็ดสีขาว และเมล็ดสีดำ Anhar,A. et.al. (2016) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนีน้ำตาลและปริมาณโปรตีนของข้าวท้องถิ่นจำนวน 6 พันธุ์ ในประเทศอินโดนีเซีย พบว่าค่าดัชนีน้ำตาลมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าว โดยพบว่าข้าวพันธุ์ Randah Putiah และ Mundam ที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 7.6 และ 7.4% ก็จะมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำที่สุดเท่ากับ 63 และ 65 ในขณะที่พันธุ์ Bakwan ที่มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดเท่ากับ 5.9% ก็จะพบว่าให้ค่าดัชนีน้ำตาลสูงที่สุดเท่ากับ 77 จากงานวิจัยดังกล่าวนี้ทำให้เกิดสมมติฐานที่ว่าหากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวสามารถจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกติน และโปรตีนในเมล็ดข้าวก็น่าจะส่งผลถึงค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเช่นกัน โดยโปรตีนเป็นสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ โปรตีนประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 44 - 55% ไฮโดรเจน 6 - 8% ออกซิเจน 19 - 25% และไนโตรเจน 14 - 20% พืชสามารถสังเคราะห์โปรตีนได้โดยรับไนโตรเจนจากไนเตรทและแอมโมเนียมที่มีอยู่ในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กลไกการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าดัชนีน้ำตาล

กลุ่มอาหารหลักที่ให้พลังงาน คือ กลุ่มคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ข้าว แป้งต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์จากข้าว ขนม และผลไม้ รวมทั้งน้ำตาลด้วย โดยข้าวให้พลังงานมากกว่าร้อยละ 60 ของพลังงานทั้งหมดที่ได้รับจากอาหาร ร่างกายจะนำคาร์โบไฮเดรตไปใช้ได้ต้องถูกย่อยให้เป็นน้ำตาล หากคาร์โบไฮเดรตถูกย่อยเร็วก็จะได้น้ำตาลเร็ว ซึ่งการที่เซลล์จะนำน้ำตาลไปใช้เป็นพลังงานได้ดีนั้น เนื่องจากอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น ดังนั้นการเลือกชนิดและปริมาณของคาร์โบไฮเดรตจึงมีความสำคัญในการทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสมดุล ได้มีการใช้ดัชนีน้ำตาลหรือ Glycemic index (GI) เป็นดัชนีวัดคุณภาพของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. ม.ป.ป) ปัจจัยที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ค่าดัชนีน้ำตาลในข้าว ได้แก่ ปริมาณอะไมโลส โดยค่าดัชนีน้ำตาลจะแปรผกผันกับปริมาณอะไมโลส คือ ถ้าข้าวมีอะไมโลสต่ำจะให้ค่าดัชนีน้ำตาลสูง ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพ โดยข้าวกลุ่มนี้ ได้แก่ ข้าวที่เมื่อนำไปหุงแล้วมีลักษณะเหนียว นุ่ม เช่น ข้าวเหนียวและข้าวหอมมะลิ เป็นต้น (ปริมาณอะไมโลสของข้าวกลุ่มนี้อยู่ในช่วง 0 - 19%) ในทางตรงกันข้ามข้าวที่เมื่อนำไปหุงแล้วมีลักษณะแข็ง ร่วน จะมีปริมาณอะไมโลสสูง จึงให้ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่า แต่ข้าวประเภทนี้มักไม่เป็นที่นิยมในการบริโภค (Frei,M. et.al. 2003) นอกจากปริมาณอะไมโลสแล้วประเภทของแป้งก็ส่งผลต่ออัตราการย่อยแป้งและค่าดัชนีน้ำตาล ข้าวที่มีแป้งต้านทานการย่อยในปริมาณมากจะมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ทั้งนี้ประเภทของแป้งที่แตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุ์ และสภาวะการแปรรูป โดยข้าวกล้องเป็นข้าวที่ไม่ผ่านการขัดขาวยังมีส่วนประกอบของชั้นรำอยู่อุดมไปด้วยสารอาหารสำคัญหลายชนิด และมีเส้นใยอาหารซึ่งช่วยลดอัตราการย่อย แป้งและค่าดัชนีน้ำตาล นอกจากนั้นข้าวมีสียังมีประโยชน์อย่างมากในแง่ของการเป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชันซึ่งส่งผลต่อการช่วยลดค่าดัชนีน้ำตาล

2.4 อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีวิทยา องค์ประกอบทางเคมี และผลผลิตของข้าว

ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นปัจจัยการผลิตข้าวที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากโดยปกติแล้วข้าวจะมีความต้องการธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เพื่อนำไปใช้ตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญเติบโต มีส่วนสำคัญต่อการแตกกอ การสร้างรวง การสร้างเมล็ด และการให้ผลผลิต (Tayefe,M. et.al. 2014) ตลอดจนส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนในใบที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์คาร์โบไฮเตรตที่เก็บสะสมไว้ในส่วนของลำต้นและใบ (Mae. 1997) ไนโตรเจนเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักและส่วนประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์สำคัญในส่วนต่าง ๆ ของเซลล์พืชที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในพืชซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช (The,Y. et.al. 2016) ทั้งในระยะการเจริญเติบโตทางราก ลำต้น ใบ (vegetative growth) และการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductivegrowth) (Slocum. 1991) มีบทบาทในการสังเคราะห์และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีนและนิวคลีอิคในพืช โดยสารประกอบทั้งสองนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการแบ่งเซลล์และการถ่ายทอดพันธุกรรมของพืช (Stocking and Ongum.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1962) ซึ่งรูปที่พืชดูดใช้ส่วนมาก คือ แอมโมเนียม ไนเตรท และยูเรีย นอกจากนั้นเซลล์พืชยังดูดกรดอะมิโนได้ด้วยในที่นี้จะกล่าวถึงโปรตีนพาหะสำหรับการดูดแอมโมเนียมไอออน และไนเทรตไอออน (ยงยุทธ โอสถสภา. 2558) อีกทั้งโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักของโปรโตพลาสซึมเอนไซม์และโคเอนไซม์ ที่มีหน้าที่ในการควบคุมและเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในต้นพืช (Watanabe and Tensho. 1970) นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ ที่เป็นรงควัตถุสำคัญมีบทบาทในการสังเคราะห์แสงของพืช รวมถึงในข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงติดเมล็ด ทำให้ผลผลิตเมล็ดของข้าวสูงขึ้น (Yoshida. 1981) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของไนโตรเจนในดินในพื้นที่นั้นๆ และความแตกต่างในการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนในพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์

ดังนั้นการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมจึงมีส่วนสำคัญต่อระบบการผลิตข้าว มีรายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ข้าวมีค่าดัชนีการเจริญเติบโตต่าง ๆ เช่น ค่าดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งรวม สูงขึ้นซึ่งลักษณะเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของข้าว (Azarpour,E. et.al. 2014) โดยปกติแล้วหากข้าวมีลักษณะทางสรีรวิทยาที่ดีก็จะมีส่วนสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าว เช่น Yoshida (1981) รายงานว่าหากข้าวมีความสามารถในการสะสมน้ำหนักแห้ง หรือมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index; HI) หรือมีค่าทั้งสองอย่างสูงจะส่งผลทำให้ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Kropff,J. et.al. (1994) รายงานว่าจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตรมีความสัมพันธ์กันสูงกับการสะสมน้ำหนักแห้งในช่วงกำเนิดช่อดอกถึงช่วงออกดอก แต่อย่างไรก็ตามการเติมเต็มเมล็ดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการสะสมน้ำหนักแห้งในช่วงออกดอกถึงเก็บเกี่ยว (Yoshida. 1981) โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของอายุการเจริญเติบโต (crop growth duration; CGD) หรืออัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR) หรือทั้งสองอย่าง (Yoshida. 1983) เพราะ CGR จะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการหายใจของทรงพุ่มของพืช ซึ่งมีรายงานว่า CGR ในระยะก่อนกำเนิดช่อรวงมีความสำคัญต่อศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าว และมีรายงานว่าลักษณะทางสรีรวิทยาอย่างค่า CGR ที่ระยะ 45 วันหลังปักดำถึงเก็บเกี่ยวของข้าวมีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงหลาย ๆ พันธุ์ ที่นิยมปลูกในประเทศไทย (พรเพ็ญ สมจิตร์ และนิตยา ผกามาศ. 2555) ซึ่งค่า CGR ที่ระยะหลังออกดอก และค่าดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) ที่ระยะออกดอกจะมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อการให้ผลผลิตของข้าว (Raju,S. et.al. 2003) ในขณะที่ Dingkuhn,M. et.al. (2001) รายงานว่าค่าพื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area; SLA) เป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแตกกอของข้าว โดยพบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่าง SLA กับความสามารถในการแตกกอ (tillering ability) ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) และความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืช (weed competitive)

นอกจากนี้มีรายงานว่าปุ๋ยไนโตรเจนมีส่วนสำคัญต่อการสร้างกรดอมิโนไลซีน (lysine) และโปรตีนกลุ่มกลูเตลิน (glutelin) ในเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 คลองหลวง 1 และชัยนาท 1 (Leesawatwong,M. et.al. 2005) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นข้าวนาปรังของประเทศไทย ในทำนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกัน Ning,H. et.al. (2009) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาและระดับปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณกรดไฟติก (phytic acid) และโปรตีนกลุ่ม albumin, globulin, prolamin และ glutelin ในข้าวจาโปนิกาจำนวน 31 สายพันธุ์ พบว่าปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อความเข้มข้นของกรดไฟติกและปริมาณโปรตีนมากกว่าอิทธิพลของสายพันธุ์ โดยหากมีเพิ่มปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้ข้าวมีความเข้มข้นของกรดไฟติกลดลงอย่างต่อเนื่องในขณะที่มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ชี้ให้เห็นว่าระดับของปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อคุณภาพทางโภชนาการของข้าว คล้ายกับผลการศึกษาของ Tumanain,N. et.al. (2020) พบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตั้งแต่ 90 - 120 กก./เฮกตาร์ จะทำให้ข้าวทุกพันธุ์มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นประมาณ 0.03 - 0.56% และมีปริมาณอะไมโลสลดลงประมาณ 0.2 - 0.7% Samonte,P. et.al. (2006) ศึกษาความพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen content) ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (Nitrogen use efficiency; NUE) อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน (Nitrogen translocation rate; NTR) และความเข้มข้นของโปรตีน (Protein content) กับปริมาณผลผลิตของข้าวจำนวน 15 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณไนโตรเจนไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิการใช้ไนโตรเจนของข้าว แต่ทั้งสองลักษณะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณผลผลิต และสัดส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนมีความสัมพันธ์ทั้งกับปริมาณผลผลิตและความเข้มข้นของโปรตีน

สำหรับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบการผลิตข้าวนั้นเกษตรกรสามารถใส่ได้ทั้งในรูปของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์แต่ก็ควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสม Mahmud,J. et.al. (2016) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีองค์ประกอบของ N-P-K-S ในระดับปานกลาง คือเท่ากับ 100-16-66-12 กก./เฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 4 กก./เฮกตาร์ จะทำให้ข้าวมีผลผลิตสูง แต่หากใส่ปุ๋ยเคมีในระดับที่สูงขึ้นกว่านี้ก็จะทำให้ผลผลิตข้าวลดลงได้ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ว่าจะใส่ในรูปแบบใดก็ตามควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสมต่อความต้องการของข้าว Kakar,K. et.al. (2019) เปรียบเทียบการตอบสนองของข้าวญี่ปุ่นที่มีการใส่ปุ๋ยพืชสด (Italain ryegrass) ปุ๋ยหมักชีวภาพ (Bokashi) และปุ๋ยเคมี ที่ปลูกภายใต้ความหนาแน่นของประชากรต่างกัน พบว่าการปลูกโดยใช้ความหนาแน่นของประชากรสูงจะทำให้ข้าวมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด จำนวนรวงต่อตารางเมตร และผลผลิตสูงกว่าการการปลูกโดยใช้ความหนาแน่นของประชากรปกติ นอกจากนี้มีรายงานว่าการใช้ปุ๋ยเคมีต่างชนิดกันก็อาจจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลิตของข้าวต่างกัน เช่น การศึกษาของ Chaturvedi (2005) เปรียบเทียบผลของการใส่ปุ๋ยแคลเซียมแอมโมเนียมไนเตรต (calcium ammonium nitrate) ยูเรีย (urea) ซุปเปอร์เนต (supper net) แอมโมเนียมซัลเฟตไนเตรต (ammonium sulphate nitrate) ปุ๋ยผสม 20:10:12 N:P:K ในข้าวลูกผสมพันธุ์ Proagro 6207 ของประเทศอินเดีย โดยทำการทดลองจำนวน 2 ปี พบว่าข้าวพันธุ์ Proagro 6207 มีการตอบสนองด้านผลผลิตและปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดจากการใส่ปุ๋ยซุปเปอร์เนตและแอมโมเนียมซัลเฟตไนเตรตดีกว่าการใส่ปุ๋ยในรูปแบบอื่น ๆ การใช้ปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยหมักจะทำให้ปริมาณโปรตีนและอะไมโลสลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี กิตติพงศ์ ก่อการ และคณะ (2563) ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยพืชสดจากปอเทืองในอัตราไนโตรเจนที่แตกต่างกัน คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 กก.N/ไร่ หมักทิ้งไว้ 15 วัน พบว่าใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองที่ 20 กก.N/ไร่ มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทำให้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีอัตราการเจริญเติบโตตั้งแต่ปลูกถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตเท่ากับ 6.70 กรัม/ตร.ม./วัน และมีค่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด สูงที่สุดเท่ากับ 28.51 กรัม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sharma and Mittra (1988) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยพืชสดจากปอเทือง (*Crotalaria juncea*) และโสน (*Sesbania aculeata*) สามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวที่ปลูกได้ดีขึ้น โดยการใส่ปุ๋ยพืชสดในอัตรา 15 กก.N/เฮกตาร์ หรือ ใส่ 15 กก.N ร่วมกับ 30 กก. P_2O_5 /เฮกตาร์ ทำให้ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น และจากงานวิจัยของ สมพร ดำยศ (2556) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยพืชสดจากปอเทืองในอัตราเมล็ดที่แตกต่างกัน คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 กก./ไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 8-10-0 กก. N-P_2O_5-K_2O /ไร่ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวสังข์หยดพัทลุงในดินชุดพัทลุง พบว่าการใช้ปอเทืองอัตราเมล็ด 15-25 กก./ไร่ ข้าวให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปอเทืองในอัตรา 5-10 กก./ไร่ และเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 409.5 กก./ไร่ จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการนำปุ๋ยปอเทืองมาใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง มีธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่สูงประมาณ 4.28 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้เกษตรกรสามารถปลูกและเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้เองได้อีกด้วย

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการผลิตข้าว เพราะนอกจากปุ๋ยไนโตรเจนจะมีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และปริมาณโปรตีน ก็น่าจะมีความเกี่ยวข้องกับค่าดัชนีน้ำตาลด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลตามวิธีที่นิยมทำกันในปัจจุบันมีความยุ่งยากและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่างค่อนข้างสูง ดังนั้นการหาแนวทางในการประเมินค่าดัชนีน้ำตาลด้วยวิธีการอื่น ๆ ซึ่งอาจจะประเมินโดยตรงหรือประเมินทางอ้อม หรือวิธีการที่ทำให้สามารถทราบได้อย่างคร่าว ๆ ว่าข้าวที่ปลูกในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีการจัดการปัจจัยการผลิตต่างกันจะส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลหรือไม่อย่างไร ข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ทั้งต่อกลุ่มนักวิชาการและตัวเกษตรกรผู้ผลิตเอง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตข้าวให้มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ ตอบสนองต่อกลุ่มคนรักสุขภาพ

2.5 แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช (Crop simulation model)

แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช เป็นการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระบบการเจริญเติบโต การพัฒนาการตลอดจนการทำนายผลผลิตของพืช โดยรวบรวมเอาข้อมูลพื้นฐาน (input) ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกมาคำนวณในรูปของสมการต่อเนื่องทางคณิตศาสตร์ และแสดงผลลัพธ์ (output) ในรูปของตัวเลขโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Penning de Vries,T. et.al. 1989)

สำหรับโปรแกรม Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) หรือระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Jones,W. et.al. 2003) เป็นโปรแกรมแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นจากกลุ่มนักวิจัยในประเทศสหรัฐอเมริกา (Hoogenboom,G. et.al. 2004) และได้รับการยอมรับจากนักวิจัยมากกว่า 14,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คน จาก 150 ประเทศทั่วโลก ซึ่งกลุ่มนักพัฒนาแบบจำลองได้มีการปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องของโปรแกรมอย่างต่อเนื่อง และใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ DSSAT version 4.8 ซึ่งได้มีการบรรจุแบบจำลองพืชมากกว่า 40 ชนิดเข้าไว้ในโปรแกรม (Hoogenboom,G. et.al. 2021) ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวจะทำงานได้ต้องอาศัยข้อมูลตัวป้อน (input) 4 ชนิด ประกอบด้วย ข้อมูลดิน (soil data) ข้อมูลสภาพอากาศ (weather data) ข้อมูลด้านการจัดการ (management data) และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืช (genetic coefficient; GCs) เพื่อนำมาใช้จำลองสถานการณ์เลียนแบบระยะพัฒนาการ ระบบการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช

แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว (CSM-CERES-Rice) นับเป็นแบบจำลองที่ถูกบรรจุไว้ในโปรแกรม DSSAT ตั้งแต่เวอร์ชั่นแรก ๆ และมีการใช้งานมายาวนานกว่า 30 ปี (Basso,B. et.al. 2016) และมีการนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย เช่น การจัดการผลิตพืช การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ การวิเคราะห์ช่องว่างผลผลิต การจัดการธาตุอาหารในดิน เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัย เช่น Shrestha,P. et.al. (2017) ศึกษาด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณการใช้น้ำของข้าวโครงการนาชลประทานน้ำอุ่น ทางแถบบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือที่เป็นแหล่งผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพสูงของประเทศไทยตั้งแต่ปี 1976 - 2015 โดยใช้แบบจำลอง CERES-Rice ประเมินปริมาณการใช้และการระเหยของน้ำในช่วงฤดูปลูก พบว่าข้าวมีปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นระหว่าง 56.5 ถึง 92.2 เปอร์เซ็นต์ และ 27.5 ถึง 29.7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข6 ตามลำดับ และจะมีปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวจะเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนการใช้น้ำในระบบการผลิตข้าวในอนาคต Timsina,J. et.al. (2004) ใช้แบบจำลอง CERES-Rice วิเคราะห์ช่องว่างผลผลิตข้าวในภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตการดูดใช้ไนโตรเจน การจัดการไนโตรเจนในทั้ง 3 สภาพแวดล้อมได้ดี และมีช่องว่างผลผลิตขนาดใหญ่ระหว่างแปลงเกษตรกรและสถานีวิจัย โดยช่องว่างของผลผลิตในแปลงเกษตรกรอาจจะลดลงได้หากเกษตรกรมีการปรับปรุงด้านการจัดการ เพื่อมุ่งเน้นให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแบบจำลองสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดนโยบาย เพื่อระบบการปลูกพืชที่ยั่งยืนได้ เป็นต้น Ahmad,S. et.al. (2012) ใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice จำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพันธุ์ข้าวหอม (aromatic rice) ที่ปลูกภายใต้ระบบชลประทานในเขตกึ่งแห้งแล้งของประเทศปากีสถาน และเพื่อดูผลกระทบของความหนาแน่นประชากรและอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตและความคุ้มทุนของการผลิตข้าว พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลผลิตได้แตกต่างจากค่าสังเกตจริงในแปลง 11% และผลการจำลองพบว่าการปลูกด้วยอัตราความหนาแน่นของประชากรจำนวน 2 ต้นต่อหลุม และใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 200 กก. N/เฮกตาร์ จะทำให้ข้าวมีผลผลิตและมีความคุ้มทุนมากที่สุด

นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช สามารถนำมาใช้ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนในดิน ปริมาณไนโตรเจนในพืช และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพืชได้ เช่น Dusserre,J. et.al. (2020) ใช้แบบจำลองสามารถการประเมินประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของข้าวที่ปลูกสภาพการจัดการที่แตกต่างกัน พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งในระยะออกดอกและเก็บเกี่ยวในข้าวได้ดี Osman,R. et.al. (2020) เปรียบเทียบแบบจำลอง DSSAT-CERES-Wheat, DSSAT-Nwheat, WheatGrow และ APSIM-Wheat ในการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และผลผลิตโปรตีนในข้าวสาลี พบว่าแบบจำลองส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงจะส่งผลกระทบต่อระยะการสร้างเมล็ด (grain filling) มากกว่าระยะออกดอก (anthesis) แต่พบว่าในสภาพอุณหภูมิต่ำจะมีผลกระทบต่อระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่แบบจำลอง โดยเฉพาะผลผลิตโปรตีน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาผลของความเครียดจากสภาพอุณหภูมิสูงที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดของข้าวสาลีได้

จากรายงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวได้ โดยที่ไม่จำเป็นต้องไปปลูกทดสอบจริง ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองสามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยด้านพันธุกรรม สภาพแวดล้อม และการจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เพื่อดูการตอบสนองด้านการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดข้าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สถานที่ดำเนินงาน

3.1.1 โรงเรือนทดลอง ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.1.2 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

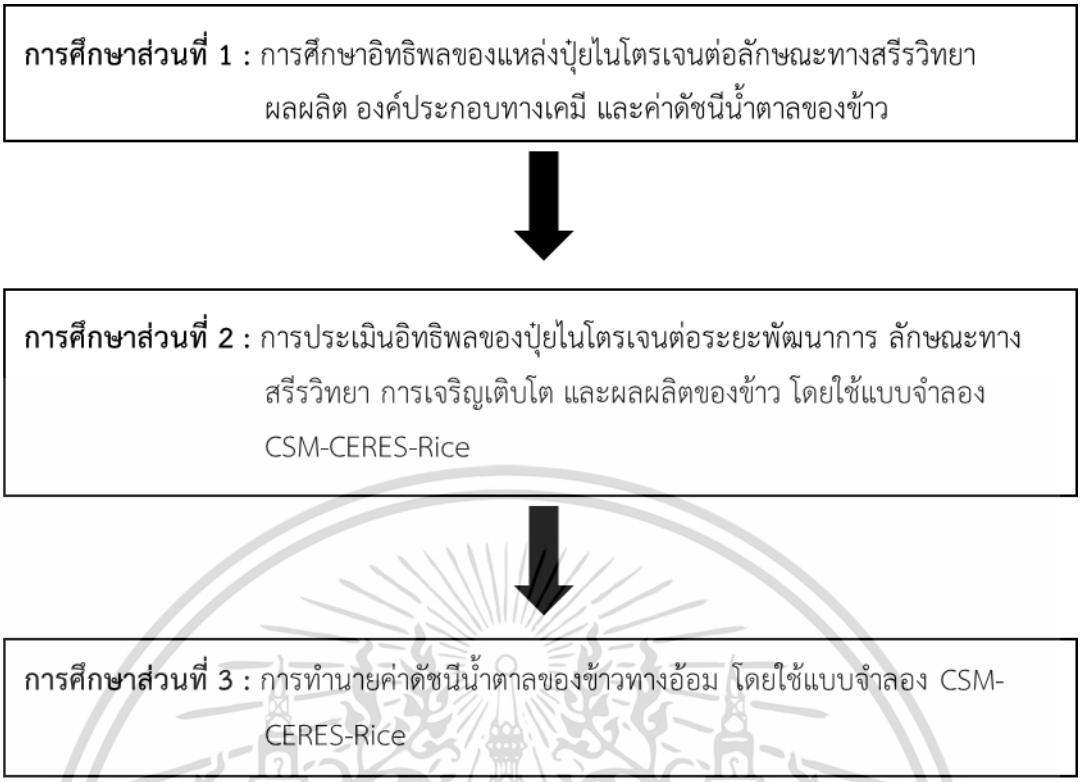
3.2 ระยะเวลาทำการทดลอง

ทำการทดลองระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2564 ถึง มีนาคม 2565

3.3 วิธีการดำเนินการ และการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน โดยที่ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว ส่วนที่ 2 เป็นการประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อความสัมพันธ์ของลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice ส่วนที่ 3 เป็นการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice ดังแผนผังการดำเนินงานใน**ภาพที่ 3.1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การศึกษาส่วนที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว

การวางแผนการทดลอง

การศึกษานี้จัดสิ่งทดลองแบบ 2x4 Factorial experiment in CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 2 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 คือ พันธุ์ข้าวเพื่อสุขภาพ

1. ข้าวกข43
2. ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดของปุ๋ยไนโตรเจน

1. ไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีควบคุม)
2. ใส่ปุ๋ยเคมี (46-0-0) 100% (อัตรา 20 กก.N/ไร่)
3. ใส่ปุ๋ยปอเทือง 100% (อัตรา 20 กก.N/ไร่)
4. ใส่ปุ๋ยปอเทือง 50% (อัตรา 10 กก.N/ไร่) + ปุ๋ยเคมี 50% (อัตรา 10 กก.N/ไร่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมดินและกระถางปลูก

ก่อนปลูกสุ่มเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter : OM) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter ในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากัน 1:1 วิเคราะห์สภาพการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical conductivity : EC) วัดด้วยเครื่อง EC meter อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 วิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Corporation. 2016) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โดยใช้น้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz. 1945) วิเคราะห์โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, Ca และ Mg) วิเคราะห์เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) และทองแดง (Cu) ที่สกัดได้ (Excretable Fe, Zn, Mn และ Cu) โดยสกัดด้วย Diethylenetriaminezpenta-acetic acid (DTPA pH 7.3) (Lindsay and Norvell. 1978)

จากนั้นทำการเตรียมดิน โดยการนำดินผึ่งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ระหว่างการผึ่งดินควรหมั่นพลิกดินจากด้านล่างสลับขึ้นมาด้านบนเพื่อให้ดินมีความแห้งที่สม่ำเสมอกัน และทำการย่อยดินให้ละเอียดนำดินที่ผ่านการย่อยแล้วมาใส่กระถางซีเมนต์ขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 30 x 100 x 30 ซม. จำนวน 64 กระถาง กระถางละ 60 กก.

การหมักปุ๋ยปอเทือง

ทำการหว่านเมล็ดปอเทืองในขณะดินมีความชื้นอยู่ หลังการหว่านเมล็ดปอเทืองประมาณ 3–5 วัน ปอเทืองจะงอกโดยอาศัยความชื้นที่มีอยู่ในดิน เมื่อครบ 50 วัน หรือที่ระยะออกดอกตัดปอเทืองมาผึ่งให้แห้งและย่อยมวลชีวภาพในอัตรา 20 กก.N /ไร่ ลงกระถางที่ระดับความลึก 15 ซม. (สมพร ดำยศ. 2556) หมัก 14 วัน เมื่อครบระยะเวลาหมักจะทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนก่อนปลูก ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละกระถางที่ระดับความลึก 0 - 15 ซม. เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในดินโดยการใช้ดินสดนำมาสกัดด้วย 2N KCl แล้วนำไปกลั่น (Kjeldhal distillation) (จำเป็น อ่อนทอง และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2565)

การปลูกข้าวและการดูแลรักษา

ทำการเพาะข้าวก่อนวันครบกำหนดขังน้ำ 4 วัน โดยนำเมล็ดข้าวจำนวน 2 พันธุ์ แช่น้ำไว้ 1 คืน และนำไปผึ่งไว้ในร่มเป็นระยะเวลา 3 วัน นำมาเพาะในกระถางเป็นเวลา 25 วัน จากนั้นทำการย้ายไปปักดำลงในกระถางที่ได้เตรียมไว้ ขณะที่ต้นข้าวยังอ่อนใส่น้ำไม่ให้เยอะเกินไป รักษาระดับน้ำจนข้าวสามารถตั้งตัวได้ และใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่กำหนด คือ กรรมวิธีที่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีควบคุม) กรรมวิธีที่ 2) ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 ในอัตรา 20 กก.N/ไร่ โดยทำการแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งแรกหลังข้าวปักดำ 7 วัน หรือระยะแตกกอ ครั้งที่ 2 ใส่เมื่อข้าวอายุ 60 วันหรือระยะกำเนิดช่อรวง กรรมวิธีที่ 3) ใส่ปุ๋ยปอเทืองในอัตรา 20 กก.N/ไร่ ก่อนปลูกข้าวหมักปอเทืองทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 14 วัน กรรมวิธีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ใส่ปุ๋ยปอเทืองในอัตรา 10 กก.N/ไร่ ก่อนปลูกข้าวหมักทิ้งไว้ 14 วัน จากนั้น ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 10 กก.N/ไร่ โดยทำการแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกหลังข้าวปักดำ 7 วัน หรือระยะแตกกอ (5 กก.N/ไร่) ครั้งที่ 2 ใส่เมื่อข้าวอายุ 60 วันหรือระยะกำเนิดช่อรวง (5 กก.N/ไร่) จากนั้นเพิ่มระดับน้ำให้ถึง 10 ซม. จนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ และรักษาระดับน้ำให้คงที่

การเก็บบันทึกข้อมูล

การย่อยสลายไนโตรเจนในดิน หลังจากเก็บเกี่ยวข้าว ทำการเก็บตัวอย่างดินทุกกระถางที่ระดับความลึก 0 - 15 ซม. เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในดินโดยวิธี Kjeldahl Method (Aoac. 2006) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz. 1945) และวิเคราะห์โพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์โดยวิธีของ Jackson (Jackson. 1973)

ข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ 1) ระยะแตกกอ 2) ระยะกำเนิดช่อรวง 3) ระยะออกดอก และ 4) ระยะเก็บเกี่ยว โดยการสุ่มตัวอย่างครั้งที่ 1 - 3 จะสุ่มเก็บกระถางละ 1 กอ นำต้นข้าวมาล้างทำความสะอาด นับจำนวนหน่อต่อกอ หลังจากนั้นแยกต้น ใบเพื่อนำใบไปวัดพื้นที่ใบ โดยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (Leaf area; LA) โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบแบบตั้งโต๊ะ (รุ่น Li-3100 ยี่ห้อ Licor) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าพื้นที่ใบ (leaf area) ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) และพื้นที่ใบเฉพาะ (specific leaf area; SLA) ตามสูตรดังนี้

การคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index; LAI) คำนวณได้จากสูตร

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

เมื่อ LA = พื้นที่ใบ (ตร.ซม.)
GA = พื้นที่ดิน (ตร.ซม.)

การคำนวณหาพื้นที่ใบเฉพาะ (Specific leaf area; SLA) คำนวณได้จากสูตร

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

เมื่อ LA = พื้นที่ใบ (ตร.ซม.)
LW = น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)

หลังจากนั้นนำต้นข้าวที่แยกส่วนของต้น และใบ ชั่งน้ำหนักสด แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ แล้วนำออกจากตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาชั่งน้ำหนักแห้งและบันทึกผลทันที จากนั้นนำน้ำหนักแห้งไปคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; CGR) ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต ตามสูตรดังนี้

$$\text{Crop growth rate} = \frac{1}{GA} \times \left[\frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}\right]$$

เมื่อ GA = พื้นที่ดิน (ตร.ม.)

W_1 = น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่ระยะเวลา T1 (กรัม)

W_2 = น้ำหนักแห้งทั้งหมดที่ระยะเวลา T2 (กรัม)

T_1 = ระยะเวลาในการวัดน้ำหนักแห้งทั้งหมด ครั้งที่ 1 (วัน)

T_2 = ระยะเวลาในการวัดน้ำหนักแห้งทั้งหมด ครั้งที่ 2 (วัน)

สำหรับการสุ่มครั้งที่ 4 ที่ระยะเก็บเกี่ยว มีการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับการสุ่มตัวอย่างครั้งที่ 1-3 และทำการเก็บข้อมูลผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต น้ำหนักเมล็ดดี น้ำหนักเมล็ดเสีย เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี เปอร์เซ็นต์เมล็ดเสีย สุ่มเมล็ดเพื่อนำไปคำนวณหาน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และคำนวณค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index; HI) ตามสูตรดังนี้

$$\text{Harvest Index} = \frac{\text{Economic yield}}{\text{Biological yield}}$$

เมื่อ Economic yield = น้ำหนักเมล็ดดี (กก./ไร่)

Biological yield = น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กก./ไร่)

จากนั้นแบ่งเมล็ดออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในเมล็ด ส่วนที่ 2 นำไปวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาล ส่วนที่ 3 นำไปวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของข้าว นำไปบดเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนโตเจน แล้วนำมาคำนวณหาการดูดใช้ไนโตรเจน และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (Dobermann. 2005) จากสมการ

การดูดใช้ไนโตรเจน (N-uptake)

$$\text{N-uptake} = \frac{\text{ผลผลิตน้ำหนักแห้ง (กก./ไร่)} \times \text{ปริมาณไนโตรเจนในต้นพืช (\%)}}{100}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (Nitrogen use efficiency; NUE)

$$\text{NUE} = \frac{\text{ผลผลิตน้ำหนักแห้ง (กก./ไร่)}}{\text{ปริมาณ N ที่ใส่ (กก./ไร่)}}$$

สำหรับที่ระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยวจะทำการสุ่มตัวอย่างต้นแห้ง และใบแห้งนำไปบด เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน แล้วนำมาคำนวณหาอัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน จากสมการ

อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน (Nitrogen translocation ratio; NTR)

$$\text{NTR} = \frac{\text{ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ด (กก.N/ไร่)}}{\text{ปริมาณไนโตรเจนในต้นที่ระยะออกดอก (กก.N/ไร่)}}$$

ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาล

นำเมล็ดส่วนที่ 1 ไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (N) เพื่อนำมาหาปริมาณโปรตีน จากนั้นนำปริมาณ N มาคำนวณหาปริมาณโปรตีน (Amin and Thakur. 2014) ตามสูตรดังนี้

% Protein = % ความเข้มข้นของ N ในเมล็ด x ค่าแฟคเตอร์ 5.95

ส่วนที่ 2 นำไปวิเคราะห์หาค่าดัชนีน้ำตาลด้วยวิธี “*In vitro* rapidly available glucose (RAG) and slowly available glucose (SAG)” (Phimolsiripol,Y. et.al. 2017) โดยส่วนที่ 2 ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์นวัตกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

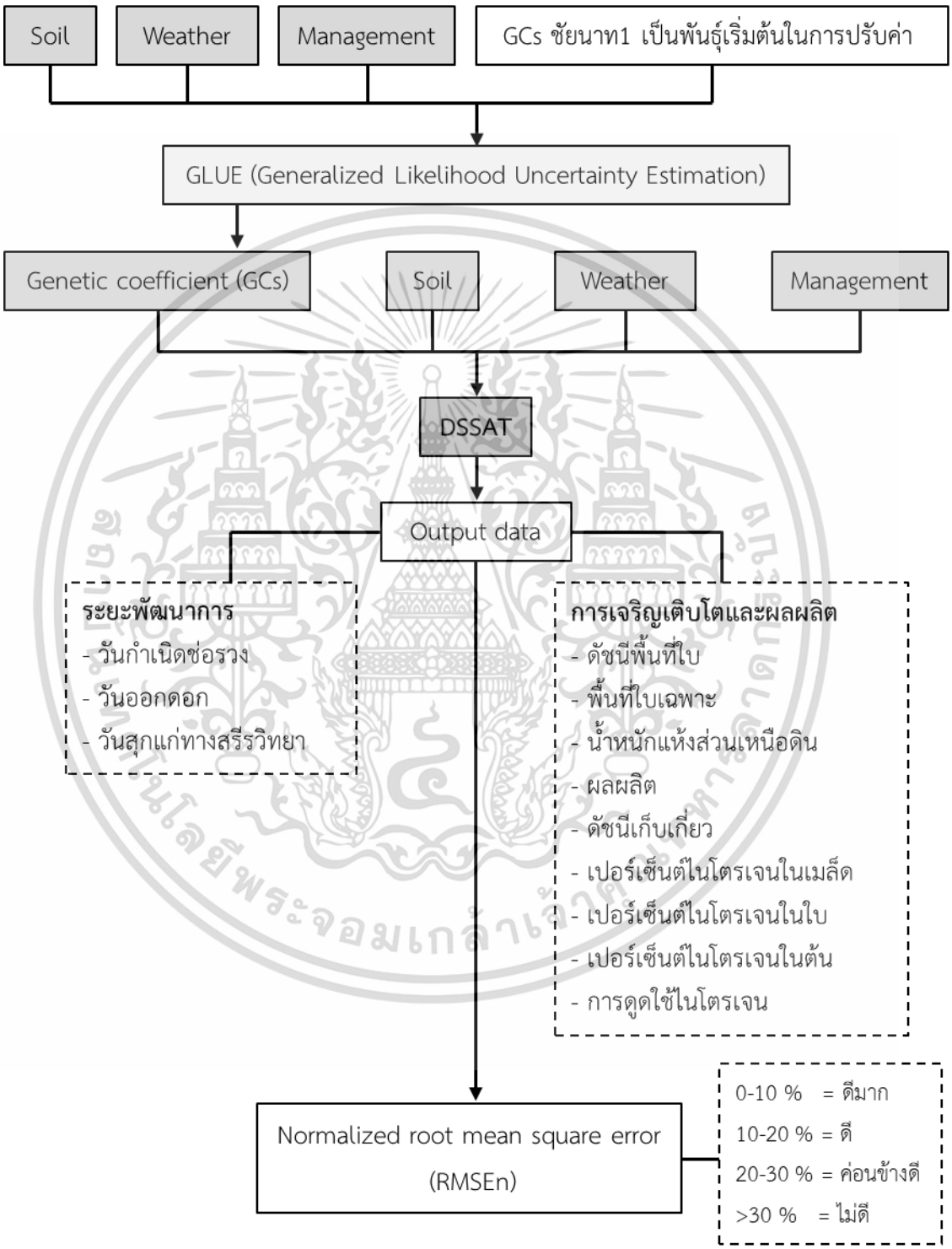
ส่วนที่ 3 วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (Juliano. 1971) ส่งวิเคราะห์ที่วิทยาลัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่เก็บบันทึกได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธีโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้ โปรแกรม M-STATC ของ Michigan State University) (Bricker. 1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การศึกษาส่วนที่ 2 การประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อระยะพัฒนาการ ลักษณะทางสรีรวิทยา การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice



ภาพที่ 3.2 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (Genetic coefficient; GCs)

การศึกษานี้จะนำข้อมูลระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิตที่บันทึกไว้จากการศึกษาส่วนที่ 1 มาใช้ในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวพันธุ์กข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ด้วยโปรแกรม GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) ดังแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานใน**ภาพที่ 3.2**

การเตรียมข้อมูลตัวป้อน 4 ชนิด ประกอบด้วย

ไฟล์ข้อมูลการจัดการ (xxxxxxxx.RIX) เป็นข้อมูลด้านการจัดการงานทดลอง ประกอบด้วย วันปลูก การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ จำนวนประชากร เป็นต้น

ไฟล์ข้อมูลดิน (SOIL.SOL) ประกอบด้วย คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีประกอบด้วย สีของดิน ความสามารถในการระบายน้ำ ความหนาแน่นของดิน (bulk density) คุณลักษณะของเนื้อดิน (% sand, silt และ clay) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก CEC (cation exchange capacity) ของดิน

ไฟล์ข้อมูลอากาศ (xxxxxxxx.WTH) สำหรับข้อมูลสภาพอากาศรายวัน ใช้ข้อมูลย้อนหลังจาก The Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) project (NASA Langley Research Center. 2021) ประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด (°C) อุณหภูมิต่ำสุด (°C) ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.) และค่าปริมาณความเข้มแสง (เมกาจูล/ตร.ม.วัน)

ไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (RICER048.CUL) ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของระยะพัฒนาการและการเจริญเติบโต โดยจะใช้ข้อมมูลของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นพันธุ์เริ่มต้นในการปรับค่า

นอกจากนี้ยังมีการจัดเตรียมชุดข้อมูลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงจากแปลงทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการทำนาย ได้แก่

ไฟล์ xxxxxxxx.RIA ประกอบด้วย รายละเอียดวันออกดอก วันเก็บเกี่ยว ผลผลิต น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน เป็นต้น

ไฟล์ xxxxxxxx.RIT ประกอบด้วย รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงค่าที่ตรวจวัดในแต่ละระยะเวลา เช่น ผลผลิต น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ดัชนีพื้นที่ใบ พื้นที่ใบเฉพาะ และน้ำหนักเมล็ดในแต่ละอายุของการเจริญเติบโตของข้าว เป็นต้น

การปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (Model calibration) โดยนำไฟล์ข้อมูลต่าง ๆ เข้าสู่โปรแกรม GLUE เพื่อทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม (Genetic coefficient; GCs) ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ภายใต้ช่วงค่าข้อมูลสูงสุดและค่าต่ำสุดที่กำหนดของสัมประสิทธิ์แบบสุ่ม โดยสามารถเลือกให้ปรับค่าพัฒนาการ (Phenology) หรือค่าการเจริญเติบโตหรือผลผลิต (Growth) หรือทั้งสองอย่างพร้อมกันได้ โดยใช้จำนวนรอบในการปรับเพื่อให้ได้ค่า GCs ที่เหมาะสมตามคำแนะนำของ Buddhaboon,G. et.al. (2018) สำหรับจำนวนรอบในการปรับเพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมนั้น ผู้พัฒนาโปรแกรมแนะนำให้เริ่มต้นที่ 6,000 ซึ่งหมายถึง 12,000 รอบ (6,000 รอบของค่าพัฒนาการ และ 6,000 รอบของค่าการเจริญเติบโต) แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ประเมินได้ไปจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของแต่ละวันปลูก พิจารณาความสอดคล้องระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าสังเกตจริงด้วยค่าทางสถิติ ได้แก่ root mean square error (RMSE), normalized root mean square error (RMSEn) หากมีค่าต่ำแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการจำลองและข้อมูลค่าสังเกตจากแปลงปลูกจริงมีความใกล้เคียงกัน โดยหากค่า RMSEn น้อยกว่า 10% แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดีมาก เมื่อค่าอยู่ระหว่าง 10 - 20% แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดี เมื่อค่าอยู่ระหว่าง 20 - 30% แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ค่อนข้างดี และหากมีค่ามากกว่า 30% แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี (Rinaldi,M. et.al. 2003) สำหรับการปรับค่า GCs ของข้าวพันธุ์กข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในการศึกษานี้ใช้จำนวนรอบเท่ากับ 25,000 รอบ (12,500 รอบของค่าพัฒนาการ และ 12,500 รอบของค่าการเจริญเติบโต) ซึ่งเป็นชุดที่ให้ค่า GCs ใกล้เคียงกับค่าสังเกตมากที่สุด

ข้อมูลเฉพาะพันธุ์ข้าวที่ได้อธิบายไว้ในไฟล์สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม RICER048.CUL ของแบบจำลอง CSM-CERES-Rice ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของระยะพัฒนาการ (development coefficients) ซึ่งเป็นตัวแปรที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าว มีทั้งหมด 4 ค่า (P1, P2O, P2R และ P5) และค่าสัมประสิทธิ์ของการเจริญเติบโต (growth coefficients) ที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณหรือการสร้างผลผลิตข้าว 4 ค่า (G1, G2, G3 และ G4) ซึ่งมีนิยามค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ดังแสดงใน**ตารางที่ 3.1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงคำนิยามของค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว

ลักษณะพันธุ์	ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว
<u>ค่าสัมประสิทธิ์ของระยะพัฒนาการ</u>	
1. ระยะเวลา growing degree days; GDD (°C) ที่เกินจาก อุณหภูมิพื้นฐาน (base temperature) เท่ากับ 9 °C ตั้งแต่ระยะกล้างอกจนถึงระยะสิ้นสุดการเจริญพื้นฐาน (basic vegetative phase) หรือเป็นระยะที่ข้าวไม่ตอบสนองต่อช่วงความยาวแสง	P1
2. ค่าความยาววันวิกฤติ (critical photoperiod) หรือช่วงเวลากลางวันที่ยาวที่สุด (ชั่วโมง) ที่ทำให้การกำเนิดช่อรวงเกิดขึ้นในอัตราสูงสุด ถ้าค่าความยาววันมากกว่า P2O อัตราการ พัฒนาจะลดลง	P2O
3. ระยะเวลาที่มีการชะลอการเกิดช่อรวง (panicle initiation, PI) (GDD เป็น °C) ต่อเวลา 1 ชั่วโมงของความยาววันที่เกิน P2O	P2R
<u>ค่าสัมประสิทธิ์ของการเจริญเติบโต</u>	
4. ระยะเวลาเป็น GDD (°C) ตั้งแต่เริ่มสะสมน้ำหนักเมล็ด (grain filling) (3 - 4 วันหลังจากออกดอก) จนสุกแก่ทางสรีรวิทยาที่มี base temperature เท่ากับ 9 °C	P5
5. จำนวน Potential spikelet ที่ประมาณจากจำนวนดอกย่อย (spikelet) ต่อน้ำหนักแห้งของต้นแม่ (main culm) 1 ก. (โดยที่ไม่รวมแผ่นใบและกาบใบและ spikes) ในช่วง anthesis ค่าต้นแบบ (typical value) คือ 55	G1
6. น้ำหนักเมล็ดหนึ่งเมล็ด (g) ภายใต้สภาพการปลูกแบบ ideal growing condition หมายถึงไม่มีข้อจำกัดทางแสง น้ำ ธาตุอาหาร และไม่มีแมลงศัตรูพืชและโรค	G2
7. ค่าสัมประสิทธิ์การแตกกอ Tillering coefficient (scaler value) โดยเทียบกับพันธุ์ IR64 ภายใต้สภาพไม่มีข้อจำกัดของสภาพแวดล้อม พันธุ์ที่มีการแตกกอสูงกว่าพันธุ์ดังกล่าว จะมี ค่าสัมประสิทธิ์มากกว่า 1.0	G3
8. สัมประสิทธิ์ความทนทานเชิงอุณหภูมิ ค่าปกติ 1.0 สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในสภาพปกติ ค่า G4 สำหรับข้าวชนิด Japonica ที่ปลูกในสภาพที่ร้อนจะเท่ากับหรือมากกว่า 1.0 และค่า G4 สำหรับข้าวชนิด Indica ในสภาพอากาศเย็นมากจะน้อยกว่า 1.0	G4

ที่มา: ดัดแปลงจาก Singh,U. et.al. (2002)

การประเมินความสอดคล้องของลักษณะทางสรีรวิทยา และผลผลิตของข้าว

นำค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ประเมินได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาใช้เพื่อเป็นข้อมูลตัวป้อนสำหรับการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าทำนายและค่าสังเกตของลักษณะทางสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าว สำหรับข้อมูลดินและข้อมูลอากาศใช้ชุดเดียวกันกับข้อมูลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ส่วนข้อมูลด้านการจัดการ เช่น วันปลูก วิธีการปลูก ระยะปลูก การใส่ปุ๋ย และการให้น้ำ กำหนดให้โปรแกรมจำลองเหมือนกับสภาพจริงทุกประการ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลประกอบด้วย วันกำเนิดช่อรวง (Panicle initiation day) วันออกดอก (Antheis date) วันสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity date) ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) พื้นที่ใบเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Specific leaf area; SLA) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (Biomass) ผลผลิต (Yield) ดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index; HI) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบ ต้น เมล็ด (%N) การดูดใช้ไนโตรเจน (N-Uptake) ดังแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานใน**ภาพที่ 3.2**

สำหรับการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตจากแปลงทดลองจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ค่า Normalized root mean square error (RMSEn) โดยหาก RMSEn มีค่าต่ำแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการจำลองและข้อมูลค่าสังเกตจากแปลงปลูกจริงมีความใกล้เคียงกัน โดยหากค่า RMSEn น้อยกว่า 10% แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดีมาก เมื่อค่าอยู่ระหว่าง 10-20% แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดี เมื่อมีค่าอยู่ระหว่าง 20-30% แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ค่อนข้างดี และหากมีค่ามากกว่า 30% แสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี (Rinaldi,M. et.al. 2003) ซึ่งสูตรคำนวณมีดังนี้

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

เมื่อ n = จำนวนของค่าสังเกต

Pi = ค่าที่ได้จากการจำลองของการวัดครั้งที่ i

Oi = ค่าที่ได้จากการสังเกตของการวัดครั้งที่ i

$$\mathrm{RMSEn} = \frac{\mathrm{RMSE} \times 100}{\overline{O}}$$

เมื่อ RMSE = ค่า root mean square error

$\overline{O}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต

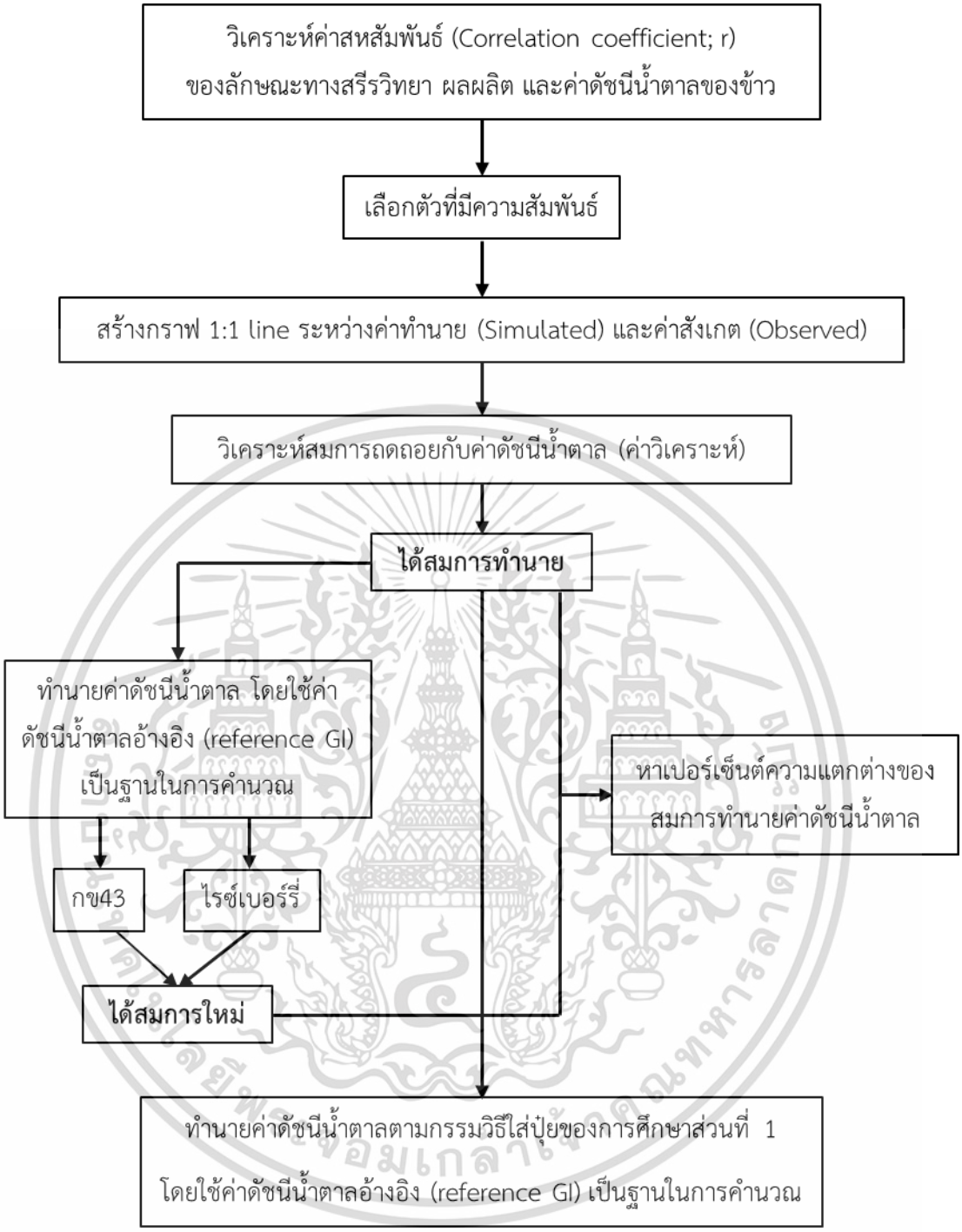
จากนั้นนำข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต และค่าดัชน้ำตาลของข้าว มาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; r) โดยใช้แกรม Statixtix 8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การศึกษาส่วนที่ 3 การทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

สำหรับขั้นตอนการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice เริ่มจากการนำข้อมูลค่าสังเกตและค่าทำนายของลักษณะดัชนีพื้นที่ใบ พื้นที่ใบเฉพาะ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ดัชนีเก็บเกี่ยว ผลผลิต และโปรตีน มาสร้างกราฟ 1:1 line และวิเคราะห์สมการถดถอย ซึ่งหากลักษณะใดมีความสัมพันธ์กันทางสถิติ แสดงว่าค่าสังเกตและค่าทำนายมีความแตกต่างกันน้อย จึงนำเอาลักษณะดังกล่าวมาวิเคราะห์สมการถดถอยกับค่าสังเกตของดัชนีน้ำตาล เพื่อพิจาณาว่าหากค่าลักษณะเหล่านั้นเปลี่ยนไป 1 หน่วยจะมีผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลเปลี่ยนไปเท่าไหร่ เมื่อได้สมการทำนายแล้ว จากนั้นนำสมการดังกล่าวไปทำนายค่าดัชนีน้ำตาล โดยใช้ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิงจากกรมการข้าวเป็นฐานในการคำนวณ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทำนายจากดัชนีน้ำตาลที่วัดได้ในการศึกษานี้ ว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ ดังแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานใน**ภาพที่ 3.3**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยส่วนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

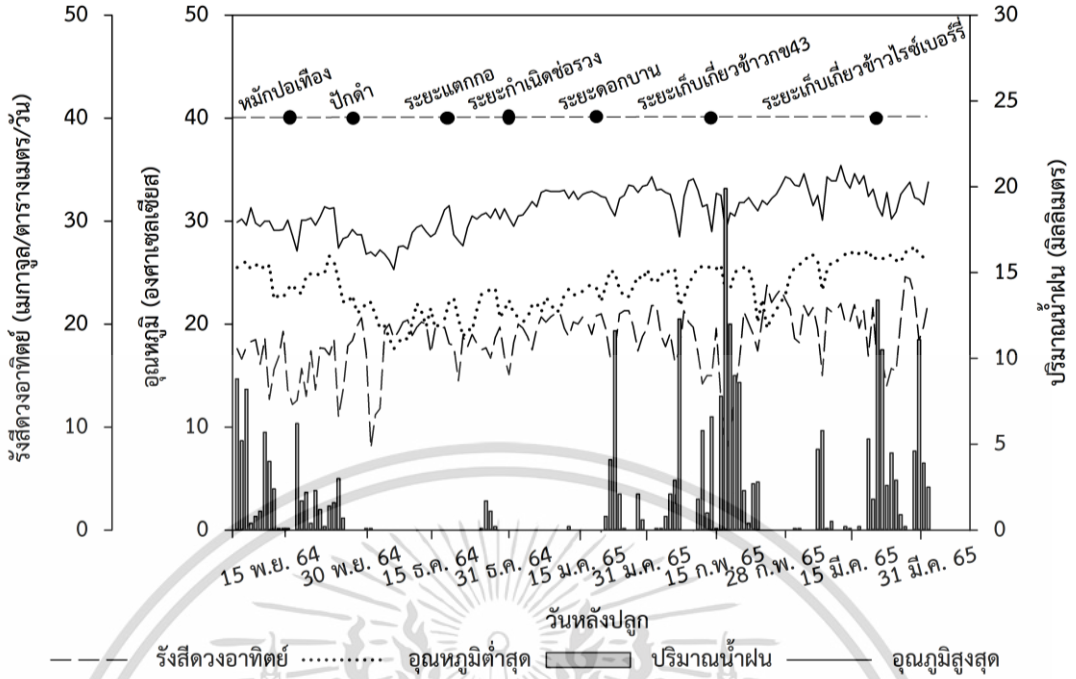
บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาส่วนที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบทางเคมี ผลผลิต และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว

4.1.1 สภาพภูมิอากาศ

สภาพอากาศตลอดระยะเวลาทำงานทดลองตั้งแต่วันปลูก (3 พฤศจิกายน 2564) จนถึงวันเก็บเกี่ยว (20 มีนาคม 2565) ตลอดทั้งฤดูปลูกมีอากาศร้อนและหนาวเป็นช่วง ๆ สลับกับมีฝนตกเป็นระยะ พบว่าอุณหภูมิและความเข้มแสงค่อนข้างแปรปรวน ช่วงประมาณต้นเดือนพฤศจิกายน 2564 เริ่มมีอากาศหนาวเป็นระยะ ๆ มีฝนตกประปราย ในช่วงหมักปอเทืองก่อนการปักดำข้าว (15 - 28 พฤศจิกายน 2564) พบว่ามีอุณหภูมิต่ำอยู่ระหว่าง 21.1 - 26.6 °C หลังจากปักดำข้าวเป็นช่วงต้นเดือนธันวาคม 2564 (1 - 14 ธันวาคม 2564) ซึ่งเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูหนาวซึ่งอุณหภูมิลดลงค่อนข้างมาก มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 17.6 - 21.5 °C แต่เมื่อเข้าสู่ระยะกำเนิดช่อรวงจนถึงระยะเก็บเกี่ยว พบว่ามีอุณหภูมิสูงขึ้นอยู่ระหว่าง 30.5 - 34.3 °C อีกทั้งยังพบว่าช่วงเวลาการหมักปอเทืองและช่วงปักดำมีค่ารังสีดวงอาทิตย์ต่ำกว่าช่วงระยะแตกกอจนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยมีค่าตั้งแต่ 8.0 - 20.2 เมกาจูล/ตร.ม./วัน ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆครึ้มเป็นบางเวลาเนื่องจากมีฝนตกประปราย ปริมาณน้ำฝนรวมในเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 58 มม. และในช่วงเดือนมกราคม - มีนาคม 2565 ซึ่งเป็นช่วงระยะออกดอกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว พบว่ามีฝนตกบ่อยขึ้นโดยมีปริมาณน้ำฝนรวมเท่ากับ 153 มม. **(ภาพที่ 4.1)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณน้ำฝน และค่ารังสีดวงอาทิตย์ ตั้งแต่วันปลูก (วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ 2564) จนถึงวันเก็บเกี่ยว (วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2565)

4.1.2 คุณสมบัติของดินก่อนปลูกข้าว

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของดินก่อนปลูกข้าวที่ระดับความลึก 0-15 ซม. พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพมีลักษณะเป็นดินเหนียว ซึ่งเป็นดินที่เหมาะสมกับการปลูกข้าว ส่วนคุณสมบัติทางเคมีพบว่าดินมีเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ (Organic matter) เท่ากับ 3.16% มีค่า pH เท่ากับ 3.92 (กรดรุนแรงมาก) สภาพการนำไฟฟ้าของดิน (EC) เท่ากับ 0.29 มิลลิซีเมนต์/ซม. (ไม่มีความเค็ม) ผลจากการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักมีปริมาณไนโตรเจน (N) เท่ากับ 0.19% ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เท่ากับ 11.68 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) เท่ากับ 9.05 มก./กก. และโพแทสเซียม (K) เท่ากับ 141 มก./กก. เมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) ที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, Ca และ Mg) เท่ากับ 943, 316 และ 152 มก./กก. ตามลำดับ ค่าวิเคราะห์ปริมาณจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ที่สกัดได้ (Excretable Fe, Zn, Mn และ Cu) มีค่าเท่ากับ 87.55, 6.61, 0.91 และ 0.46 มก./กก. ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินก่อนปลูกข้าว

คุณสมบัติของดิน	ปริมาณ
คุณสมบัติทางกายภาพ	
Sand (%)	4.95
Clay (%)	64.44
Silt (%)	30.6
Texture	Clay
คุณสมบัติทางเคมี	
pH	3.92
EC (mS/cm)	0.29
Organic matter (%)	3.16
Total C (%)	2.19
Total N (%)	0.19
Total S (%)	0.5
C/N	11.68
Available P (mg/kg)	9.05
Exchangeable K (mg/kg)	141
Exchangeable Ca (mg/kg)	1,943
Exchangeable Mg (mg/kg)	316
Exchangeable Na (mg/kg)	152
Extractable Fe (mg/kg)	87.55
Extractable Mn (mg/kg)	6.61
Extractable Zn (mg/kg)	0.91
Extractable Cu (mg/kg)	0.46

*วิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

4.1.3 การย่อยสลายไนโตรเจนในดินหลังหมักปอเทือง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการหมักปุ๋ยปอเทืองอัตราที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 14 วัน ต่อปริมาณแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในดินก่อนปลูกข้าว ในดินปลูกข้าวกข43 ที่หมักปุ๋ยปอเทือง (467.3 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่) พบว่ามีปริมาณแอมโมเนียมไอออนมากกว่าดินที่หมักปุ๋ยปอเทือง (233.6 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่) โดยมีค่าเท่ากับ 125.0 และ 202.2 มก./กก. ตามลำดับ เช่นเดียวกับดินที่ปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังจากหมักปุ๋ยปอเทือง 467.3 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่ และ 233.6 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่ พบว่าปริมาณแอมโมเนียมไอออนมีค่าเท่ากับ 225.0 และ 203.7 มก./กก. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณแอมโมเนียมไอออนก่อนปลูกสูงกว่าดินที่จะปลูกข้าวพันธุ์กข 43 ตั้งแต่ก่อนที่จะเริ่มมีการปักดำข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณแอมโมเนียไอออนในดินหลังหมักปอเทืองเป็นระยะเวลา 14 วัน

ชนิดดิน	แอมโมเนียมไอออน (มก./กก.)	
	ปุ๋ยปอเทือง (467.3 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่)	ปุ๋ยปอเทือง (233.6 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่)
ดินปลูกข้าวพันธุ์กข43	125.0	202.2
ดินปลูกข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่	225.0	203.7

*วิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

4.1.4 การเจริญเติบโตของข้าว

ตารางที่ 4.3 แสดงผลวิเคราะห์จำนวนหน่อต่อกอของข้าว พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีจำนวนหน่อต่อกอแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ที่ระยะแตกกอ กำเนิดช่อรวง ออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีจำนวนหน่อต่อกอเท่ากับ 8.44, 11.31, 11.38 และ 13.38 หน่อ ตามลำดับ ซึ่งมีการแตกกอดีกว่าพันธุ์กข43 ที่มีจำนวนหน่อต่อกอเท่ากับ 6.94, 7.88, 8.69 และ 8.44 หน่อ ตามลำดับ ชนิดปุ๋ยที่ต่างกันมีผลทำให้ข้าวมีจำนวนหน่อต่อกอแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวมีจำนวนหน่อต่อสูงที่สุดเท่ากับ 11.25, 12.38 และ 13.00 หน่อ ที่ระยะกำเนิดช่อรวง ออกดอก และเก็บเกี่ยว ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 6.75, 7.13 และ 7.13 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการตอบสนองของพันธุ์ข้าวที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน พบว่าที่ระยะแตกกอและระยะเก็บเกี่ยวข้าวมีการตอบสนองไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่ระยะกำเนิดช่อรวงและออกดอกมีการตอบสนองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการตอบสนองต่อกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ทำให้มีจำนวนหน่อต่อกอเท่ากับ 15.25 และ 15.00 หน่อ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อจำนวนหน่อต่อกอของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ปัจจัย	จำนวนหน่อต่อกอ[1/] ที่ระยะ			
	แตกกอ	กำเนิดช่อรวง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	6.94[b]	7.88[b]	8.69[b]	8.44[b]
ไรซ์เบอร์รี่	8.44[a]	11.31[a]	11.38[a]	14.00[a]
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	5.63[b]	6.75[b]	7.13[c]	7.13[b]
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	8.13[ab]	11.25[a]	12.38[a]	14.25[a]
ปุ๋ยปอเทือง	8.38[a]	9.50[a]	10.13[b]	11.00[a]
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	8.63[a]	10.88[a]	10.50[b]	12.50[a]
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	5.25	6.00[e]	6.25[g]	6.50
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	7.00	7.25[d]	9.75[d]	9.75
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	8.25	9.00[c]	9.75[d]	8.50
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	7.25	9.25[c]	9.00[e]	9.00
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	6.00	7.50[d]	8.00[f]	7.75
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	9.25	15.25[a]	15.00[a]	18.75
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	8.50	10.00[c]	10.50[c]	13.50
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	10.00	12.50[b]	12.00[b]	16.00
F-test				
พันธุ์ข้าว	*	**	**	**
ชนิดปุ๋ย	**	**	**	**
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	**	*	ns
C.V. (%)	23.45	16.52	13.07	22.67

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

1/ = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ใบของข้าวเมื่อได้รับการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิด แสดงดัง**ตารางที่ 4.4** พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีค่าดัชนีพื้นที่ใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.01) ที่ระยะกำเนิดช่อรวง ออกดอก และเก็บเกี่ยว ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 2.23, 1.49 และ 0.93 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์กข43 ที่มีค่าเท่ากับ 1.42, 1.04 และ 0.44 ตามลำดับ ส่วนที่ระยะแตกกอพบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีค่าดัชนีพื้นที่ใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ การใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีผลทำให้ข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยวมีค่าดัชนีพื้นที่ใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.01) โดยทุกกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยจะทำให้ข้าวมีค่าดัชพื้นที่ใบแตกต่างจากกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย แต่หากพิจารณาระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยปอเทือง และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีมีค่าดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 0.87, 0.68 และ 0.76 ตามลำดับ ผลวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างข้าวและการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิด พบว่าที่ทุกระยะการเจริญเติบโตข้าวทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นที่ระยะกำเนิดช่อรวงพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยมากกว่าข้าวพันธุ์ กข43 โดยเฉพาะเมื่อมีการใส่ปุ๋ยปอเทืองจะทำให้ข้าวมีค่าดัชนีพื้นที่ใบได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ

การวิเคราะห์พื้นที่ใบเฉพาะของข้าว แสดงดัง**ตารางที่ 4.5** ผลการวิเคราะห์พบว่าที่ระยะเก็บเกี่ยวข้าวมีพื้นที่ใบเฉพาะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีค่าพื้นที่ใบเฉพาะเท่ากับ 57.00 ตร.ซม./กรัม ซึ่งสูงกว่าพันธุ์กข43 ที่มีค่าเท่ากับ 35.29 ตร.ซม./กรัม กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีผลทำให้ข้าวมีค่าพื้นที่ใบเฉพาะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.01) ที่ระยะกำเนิดช่อรวงและระยะออกดอก โดยกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าพื้นที่ใบเฉพาะสูงที่สุดเท่ากับ 395.40 และ 280.07 ตร.ซม./กรัม ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยทุกชนิดให้ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ระยะกำเนิดช่อรวงมีค่าอยู่ระหว่าง 206.11 - 253.39 ตร.ซม./กรัม ส่วนที่ระยะออกดอกมีค่าอยู่ระหว่าง 151.83 - 179.80 ตร.ซม./กรัม ผลวิเคราะห์พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างข้าวและกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเกิดขึ้นที่ระยะกำเนิดช่อรวง โดยข้าวกข43 มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยปอเทืองสูงกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีค่าเท่ากับ 282.7 และ 254.6 ตร.ซม./กรัม ตามลำดับ ส่วนที่ระยะการเจริญเติบโตอื่น ๆ พบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อดัชนีพื้นที่ใบของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

ปัจจัย	ดัชนีพื้นที่ใบ[1/] ที่ระยะ			
	แตกกอ	กำเนิดช่อรวง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	0.97	1.42[b]	1.04[b]	0.44[b]
ไรซ์เบอร์รี่	0.92	2.23[a]	1.49[a]	0.93[a]
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.75	1.83	1.33	0.43[b]
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.97	1.75	1.14	0.87[a]
ปุ๋ยปอเทือง	1.10	1.95	1.33	0.68[a]
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.93	1.78	1.26	0.76[a]
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	0.81	1.00[e]	1.14	0.25
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.96	1.36[d]	1.00	0.56
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	1.10	1.66[c]	1.10	0.47
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.00	1.68[c]	0.97	0.46
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	0.69	2.66[a]	1.51	0.61
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.00	2.13[b]	1.33	1.18
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	1.18	2.23[b]	1.57	0.88
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.88	1.89[c]	1.55	1.06
F-test				
พันธุ์ข้าว	ns	**	**	**
ชนิดปุ๋ย	ns	ns	ns	**
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	**	ns	ns
C.V. (%)	37.00	18.18	25.15	20.99

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อพื้นที่ใบเฉพาะของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

ปัจจัย	พื้นที่ใบเฉพาะ (ตร.ซม./กรัม)[1/] ที่ระยะ			
	แตกกอ	กำเนิดช่อรวง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	327.7	252.3	204.9	35.29[b]
ไรซ์เบอร์รี่	367.3	289.6	177.4	57.00[a]
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	371.1	395.4[a]	280.1[a]	47.68
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	307.3	229.0[b]	151.8[b]	50.15
ปุ๋ยปอเทือง	371.7	253.4[b]	179.8[b]	46.86
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	339.9	206.1[b]	153.2[b]	39.88
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	353.1	251.2[bc]	257.0	32.33
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	326.0	282.7[b]	172.2	37.72
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	299.1	252.2[bc]	198.9	41.16
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	332.7	223.3[cd]	182.7	29.96
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	389.2	539.6[a]	294.2	63.03
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	288.6	175.3[d]	131.5	62.59
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	444.4	254.6[bc]	160.7	52.57
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	347.1	188.9[d]	123.3	49.80
F-test				
พันธุ์ข้าว	ns	ns	ns	*
ชนิดปุ๋ย	ns	**	**	ns
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	**	ns	ns
C.V. (%)	24.62	24.89	23.88	37.09

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าอัตราการเจริญเติบโตของข้าวที่ช่วงระยะต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีอัตราการเจริญเติบโตในช่วงแรก ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่จะแตกต่างกันที่ระยะออกดอกถึงเก็บเกี่ยว โดยข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 12.31 กรัม/ตร.ม./วัน ซึ่งสูงกว่าข้าวพันธุ์ กข 43 ที่มีค่าเท่ากับ 10.53 กรัม/ตร.ม./วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีผลทำให้ข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะแตกกอถึงกำเนิดช่อรวง ระยะกำเนิดช่อรวงถึงออกดอก และระยะออกดอกถึงเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนับสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยจะทำให้ข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 9.8 – 12.65, 12.94 – 13.98 และ 14.71 – 12.85 กรัม/ตร.ม./วัน ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีแนวโน้มว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยปอเทืองสูงกว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยแบบอื่น ๆ

ตารางที่ 4.7 แสดงน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าว พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เกือบทุกระยะการเจริญเติบโต ยกเว้นที่ระยะแตกกอ โดยข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่ระยะกำเนิดช่อรวง ออกดอก และเก็บเกี่ยว เท่ากับ 392.8, 571.9 และ 1,209.9 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์กข43 ที่มีค่าเท่ากับ 245.9, 339.7 และ 926.6 กก./ไร่ ตามลำดับ กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยละชนิดมีผลทำให้ข้าวที่ระยะกำเนิดช่อรวง และระยะออกดอก มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 380.8 และ 555.1 กก./ไร่ ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีค่าเท่ากับ 330.5 และ 481.1 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงที่สุดเท่ากับ 1,268.2 กก./ไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยปอเทือง และการไม่ใส่ปุ๋ยมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเท่ากับ 1,241, 1,144.6 และ 618.4 กก./ไร่ ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองด้านการสะสมน้ำหนักแห้งต่อการใส่ปุ๋ยแต่ะชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่โดยภาพรวมพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยดีกว่าพันธุ์กข43 ที่ทุกระยะการเจริญเติบโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่ออัตราการเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ปัจจัย	อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตร.ม./วัน)[1/] ที่ระยะ			
	ปักดำถึงแตกกอ	แตกกอถึงกำเนิดช่อรวง	กำเนิดช่อรวงถึงออกดอก	ออกดอกถึงเก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	0.72	10.52	11.72	10.53[b]
ไรซ์เบอร์รี่	0.64	9.87	11.20	12.31[a]
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.53	7.90[b]	6.45[b]	5.17[b]
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.77	9.88[ab]	12.94[a]	14.71[a]
ปุ๋ยปอเทือง	0.73	10.37[ab]	12.48[a]	12.93[a]
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.69	12.65[a]	13.98[a]	12.85[a]
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	0.60	8.04	6.44	4.00
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.68	9.11	14.12	13.89
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	0.89	11.62	13.11	12.55
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.70	13.32	13.23	11.67
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	0.45	7.76	6.46	6.36
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.86	10.65	11.77	15.53
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	0.57	9.11	11.84	13.31
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.68	11.97	14.73	14.03
F-test				
พันธุ์ข้าว	ns	ns	ns	*
ชนิดปุ๋ย	ns	**	**	**
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	28.43	23.90	17.89	16.30

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ปัจจัย	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กก./ไร่)[1/] ที่ระยะ			
	แตกกอ	กำเนิดช่อรวง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	77.54	245.9[b]	339.7[b]	926.6[b]
ไรซ์เบอร์รี่	76.90	392.8[a]	571.9[a]	1,209.9[a]
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	58.40	246.8[b]	324.2[b]	618.4[b]
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	87.24	330.5[a]	481.1[a]	1,268.2[a]
ปุ๋ยปอเทือง	80.50	319.3[ab]	466.4[a]	1,144.6[a]
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	82.74	380.8[a]	551.5[a]	1,241.8[a]
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	62.44	191.0	242.4	475.4
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	71.00	216.7	329.7	1,100.4
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	92.60	278.5	383.4	1,069.1
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	84.12	297.3	403.1	1,061.5
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	54.36	302.6	405.9	761.4
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	103.48	444.2	632.4	1,436.1
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	68.40	360.0	549.5	1,220.0
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	81.36	464.3	699.9	1,422.1
F-test				
พันธุ์ข้าว	ns	**	**	**
ชนิดปุ๋ย	ns	*	**	**
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	28.14	23.03	15.61	9.20

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ดัชนีเก็บเกี่ยว และผลผลิตของข้าว พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีจำนวนรวงต่อกอและผลผลิตเท่ากับ 13.13 รวงต่อกอ และ 474.8 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์กข43 ที่มีค่าเท่ากับ 7.56 รวงต่อกอ และ 344.2 กก./ไร่ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์น้ำหนัก 1,000 เมล็ด พบว่าข้าวพันธุ์กข43 มีค่าสูงกว่าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ โดยมีค่าเท่ากับ 25.22 และ 21.72 กรัม ตามลำดับ สำหรับผลการวิเคราะห์จำนวนเมล็ดต่อรวงและดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวทั้งสองพันธุ์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ผลการวิเคราะห์พบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีผลทำให้ข้าวมีจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ผลผลิต และค่าดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.01) โดยภาพรวมพบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยทุกชนิดทำให้ข้าวมีองค์ประกอบผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย และแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวมีจำนวนรวงต่อกอ (13.25 รวงต่อกอ) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (25.67 กรัม) ผลผลิต (533.4 กก./ไร่) และดัชนีเก็บเกี่ยว (0.41) สูงกว่าการใส่ปุ๋ยปอเทือง และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดแตกต่างกันสำหรับลักษณะจำนวนรวงต่อกอและน้ำหนัก 1,000 เมล็ด โดยพบว่าข้าวไรซ์เบอรรี่มีการตอบสนองด้านจำนวนรวงต่อกอสูงกว่าข้าวพันธุ์กข43 เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 17.00 และ 16.00 รวงต่อกอ ตามลำดับ ส่วนข้าวพันธุ์กข43 มีการตอบสนองด้านน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูงกว่าพันธุ์ไรซ์เบอรรี่ เมื่อมีการใส่ปุ๋ยปอเทืองและการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 28.64 และ 28.78 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวที่ได้รับการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิด พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวพันธุ์กข43 มีค่าเท่ากับ 92.14 และ 7.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีค่าเท่ากับ 92.43 และ 7.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรรมวิธีใส่ใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าว โดยพบว่าหากมีการใส่ปุ๋ยจะทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีอยู่ระหว่าง 92.78-94.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) ที่มีค่าเพียง 88.74 เปอร์เซ็นต์ การใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีจะทำให้ข้าวมีการเกิดเมล็ดลีบลดลงเมื่อเทียบกับกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย ผลการวิเคราะห์พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

ปัจจัย	รวงต่อกอ[1/]	เมล็ดต่อรวง[1/]	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม) [1/]	ดัชนีเก็บเกี่ยว[1/]	ผลผลิต (กก./ไร่)[1/]
พันธุ์ข้าว					
กข43	7.56^{b}	114.6	25.22^{a}	0.35	344.2^{b}
ไรซ์เบอร์รี่	13.13^{a}	124.5	21.72^{b}	0.37	474.8^{a}
ชนิดปุ๋ย					
ไม่ใส่ปุ๋ย	6.88^{c}	110.1	18.03^{b}	0.25^{b}	160.9^{b}
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	13.25^{a}	116.6	25.67^{a}	0.41^{a}	533.4^{a}
ปุ๋ยปอเทือง	9.75^{bc}	126.4	24.28^{a}	0.37^{a}	434.4^{a}
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	11.50^{ab}	122.1	25.91^{a}	0.39^{a}	509.3^{a}
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย					
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	6.50^{d}	112.4	17.45^{e}	0.24	124.6
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	9.50^{c}	115.3	26.43^{b}	0.41	458.8
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	7.25^{d}	122.0	28.64^{a}	0.37	404.7
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	7.00^{d}	108.6	28.78^{a}	0.36	388.8
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	7.25^{d}	107.8	18.62^{de}	0.25	197.3
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	17.00^{a}	124.0	24.92^{bc}	0.42	607.9
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	12.25^{b}	130.8	19.32^{d}	0.37	464.2
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	16.00^{a}	135.6	23.44^{c}	0.43	629.8
F-test					
พันธุ์ข้าว	**	ns	**	ns	**
ชนิดปุ๋ย	**	ns	**	**	**
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	**	ns	*	ns	ns
C.V. (%)	22.17	12.28	13.75	16.71	24.75

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และเปอร์เซ็นต์เมล็ดเสียของข้าวเมื่อได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ปัจจัย	เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี[1/]	เปอร์เซ็นต์เมล็ดเสีย[1/]
พันธุ์ข้าว		
กข43	92.14	7.86
ไรซ์เบอร์รี่	92.43	7.57
ชนิดปุ๋ย		
ไม่ใส่ปุ๋ย	88.74[b]	11.26[a]
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	93.27[a]	6.73[b]
ปุ๋ยปอเทือง	94.37[a]	5.63[b]
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	92.78[a]	7.23[b]
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย		
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	87.67	12.33
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	93.90	6.11
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	94.11	5.89
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	92.90	7.10
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	89.81	10.19
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	92.65	7.35
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	94.62	5.38
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	92.65	7.35
F-test		
พันธุ์ข้าว	ns	ns
ชนิดปุ๋ย	**	**
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	ns
C.V. (%)	2.39	28.54

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 องค์ประกอบทางเคมีและค่าดัชนีน้ำตาล

ตารางที่ 4.10 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) ข้าวพันธุ์กข43 มีปริมาณอะไมโลสเท่ากับ 18.27% ซึ่งสูงกว่าข้าวไรเบอร์รี่ ที่มีค่าเท่ากับ 15.78% ตามลำดับ ในทางกลับกันพบว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงกว่าพันธุ์ กข43 โดยมีค่าเท่ากับ 84.22 และ 81.73% ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์พบข้าวพันธุ์กข43 มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเท่ากับ 1.70% ซึ่งสูงกว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่มีค่าเท่ากับ 1.62% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ในทำนองเดียวกันพบว่าข้าวพันธุ์ กข43 มีปริมาณโปรตีนในเมล็ดสูงกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยมีค่าเท่ากับ 10.10 และ 9.63% ตามลำดับ สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเท่ากับ 63.65 ซึ่งสูงกว่าข้าวกข43 ที่มีค่าเท่ากับ 59.00 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของชนิดปุ๋ย พบว่าปุ๋ยทุกชนิดไม่มีผลทำให้ข้าวมีปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกติน และดัชนีน้ำตาลแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีผลทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) ซึ่งกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.88 และ 11.16% ตามลำดับ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยพืชสดจากปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีเท่ากับ 1.81 และ 10.76% ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 1.64 และ 9.73% ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.31 และ 7.80% ตามลำดับ ผลวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดปุ๋ยกับพันธุ์ข้าว พบว่าข้าวมีการตอบสนองด้านปริมาณอะไมโลเพกติน เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในเมล็ด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) สำหรับปริมาณอะไมโลแพกตินพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยทุกชนิดดีกว่าพันธุ์กข43 โดยมีค่าประมาณ 84.23 และ 81.74% สำหรับพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และกข43 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในเมล็ด พบว่าข้าวพันธุ์กข43 ที่ได้รับการใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.98 และ11.77% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน โปรตีน อะไมโลส อะไมโลเพกติน และดัชนีน้ำตาลของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ปัจจัย	อะไมโลส (%)[1/]	อะไมโลเพกติน (%)[1/]	ไนโตรเจนในเมล็ด (%)[1/]	โปรตีน (%)[1/]	ดัชนีน้ำตาล[1/]
พันธุ์ข้าว					
กข43	18.27[a]	81.73[b]	1.70[a]	10.10[a]	59.00[b]
ไรซ์เบอร์รี่	15.78[b]	84.22[a]	1.62[b]	9.63[b]	63.65[a]
ชนิดปุ๋ย					
ไม่ใส่ปุ๋ย	17.03	82.98	1.31[b]	7.80[c]	60.00
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	17.03	82.98	1.88[a]	11.16[a]	61.75
ปุ๋ยปอเทือง	17.02	82.98	1.64[ab]	9.73[b]	62.00
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	17.03	82.98	1.81[a]	10.76[a]	61.50
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย					
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	18.27	81.74[b]	1.28[d]	7.57[f]	58.00
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	18.28	81.73[b]	1.98[a]	11.77[a]	58.50
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	18.27	81.73[b]	1.61[c]	9.56[d]	61.00
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	18.28	81.73[b]	1.93[a]	11.51[a]	58.50
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	15.79	84.22[a]	1.35[d]	8.04[e]	62.00
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	15.78	84.22[a]	1.78[b]	10.56[b]	65.00
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	15.78	84.23[a]	1.67[bc]	9.90[c]	63.00
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	15.79	84.22[a]	1.69[bc]	10.01[c]	64.50
F-test					
พันธุ์ข้าว	**	**	*	*	*
ชนิดปุ๋ย	ns	ns	**	**	ns
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	*	*	*	ns
C.V. (%)	0.04	0.00	3.96	3.98	2.67

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน การดูดใช้ไนโตรเจน และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของข้าว

ตารางที่ 4.11 แสดงผลวิเคราะห์อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนของข้าวที่ระยะออกดอก พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีอัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีอัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนอยู่ที่ 3.29 กก.N/ไร่ สูงกว่าข้าวพันธุ์กข43 มีค่าอยู่ที่ 1.83 กก.N/ไร่ ผลการวิเคราะห์พบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยทุกชนิดมีผลทำให้ข้าวมีอัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยการใส่ปุ๋ยปอเทืองมีอัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนอยู่ที่ 3.15 กก.N/ไร่ รองลงมาคือไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าอยู่ที่ 3.04 ใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีอยู่ที่ 2.18 กก.N/ไร่ และใส่ปุ๋ยเคมีมีอัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนน้อยที่สุดอยู่ที่ 1.86 กก.N/ไร่ ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับชนิดของปุ๋ยพบว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีอัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยปอเทืองได้สูงที่สุดเท่ากับ 4.65 กก.N/ไร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่ออัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนของข้าวที่ระยะออกดอก

ปัจจัย	อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน (กก.N/ไร่)[1/]
พันธุ์ข้าว	
กข43	1.83[b]
ไรซ์เบอร์รี่	3.29[a]
ชนิดปุ๋ย	
ไม่ใส่ปุ๋ย	3.04[a]
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.86[b]
ปุ๋ยปอเทือง	3.15[a]
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.18[ab]
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย	
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	2.90[b]
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.38[d]
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	1.66[d]
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.38[d]
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	3.18[b]
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.35[c]
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	4.65[a]
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.98[b]
F-test	
พันธุ์ข้าว	**
ชนิดปุ๋ย	**
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	**
C.V. (%)	18.69

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงผลวิเคราะห์การดูดใช้ไนโตรเจนในใบของข้าว พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีการดูดใช้ไนโตรเจนในใบไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ทุกระยะการเจริญเติบโต แต่มีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีการดูดใช้ไนโตรเจนที่ระยะแตกกอ กำเนิดช่อรวง และระยะเก็บเกี่ยว สูงกว่าข้าวพันธุ์กข 43 ส่วนที่ระยะออกดอกมีแนวโน้วว่าข้าวพันธุ์กข43 มีการดูดใช้ไนโตรเจนได้ดีกว่าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ผลการวิเคราะห์พบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยทุกชนิดมีผลทำให้ข้าวดูดใช้ไนโตรเจนในใบแตกต่างจากกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ที่ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยที่ระยะแตกกอมีค่าอยู่ระหว่าง 1.68 - 1.89 กก.N/ไร่ ระยะกำเนิดช่อรวงมีค่าอยู่ระหว่าง 2.52 - 3.38 กก.N/ไร่ ระยะออกดอกมีค่าอยู่ระหว่าง 1.93 - 2.76 กก.N/ไร่ และที่ระยะเก็บเกี่ยวมีค่าอยู่ระหว่าง 1.50 - 1.97 กก.N/ไร่ ผลการวิเคราะห์ไม่พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับชนิดของปุ๋ยที่ระยะแตกกอ ออกดอก และเก็บเกี่ยว แต่พบว่าที่ระยะกำเนิดช่อรวงข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยเคมีได้สูงที่สุดเท่ากับ 4.35 กก.N/ไร่

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการดูดใช้ไนโตรเจนในต้นของข้าว พบว่าข้าวมีการดูดใช้ไนโตรเจนในต้นที่ระยะแตกกอ ออกดอก และเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ดูดใช้ได้เท่ากับ 3.90, 2.26 และ 3.46 กก.N/ไร่ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์กข43 มีค่าเท่ากับ 0.43, 2.89 และ 2.48 กก.N/ไร่ การใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีอิทธิพลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในต้นที่ระยะแตกกอ กำเนิดช่อรวง และออกดอกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 4.81, 2.42 และ 3.76 กก.N/ไร่ ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.28 0.76 และ 1.09 กก.N/ไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการตอบสนองข้าวทั้งสองพันธุ์ต่อการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดปุ๋ย พบว่าข้าวการดูดใช้ไนโตรเจนในต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ที่ระยะแตกกอและระยะออกดอก โดยระยะแตกกอพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 9.39 กก.N/ไร่ ส่วนที่ระยะออกดอกพบว่าพันธุ์ข้าวกข43 ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีสูงที่สุดเท่ากับ 4.48 กก.N/ไร่

ตารางที่ 4.14 แสดงผลวิเคราะห์การดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความสามารถดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดได้สูงกว่าข้าวพันธุ์กข43 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ 7.39 และ 5.49 กก.N/ไร่ ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดมีผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดเช่นกัน โดยการใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 9.32 กก.N/ไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 8.14 กก.N/ไร่ ผลการวิเคราะห์ไม่พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และชนิดปุ๋ยเกิดขึ้นสำหรับการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ด แต่มีแนวโน้มว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยทุกชนิดดีกว่าข้าวพันธุ์กข43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในใบของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ปัจจัย	การดูดใช้ไนโตรเจนในใบ (กก.N/ไร่)[1/] ที่ระยะ			
	แตกกอ	กำเนิดช่อรวง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	1.49	2.33	2.18	1.26
ไรซ์เบอร์รี่	1.61	2.69	1.99	1.76
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.96[b]	0.80[b]	0.91[b]	0.73[b]
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.89[a]	3.35[a]	2.74[a]	1.97[a]
ปุ๋ยปอเทือง	1.68[a]	2.52[a]	1.93[a]	1.50[a]
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.69[a]	3.38[a]	2.76[a]	1.86[a]
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	0.97	0.85[e]	1.07	0.47
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.49	2.35[d]	2.78	1.97
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	1.79	2.53[d]	2.20	1.03
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.73	3.59[b]	2.67	1.72
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	0.95	0.75[e]	0.74	0.98
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.30	4.35[a]	2.70	2.10
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	1.56	2.50[d]	1.67	1.96
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.66	3.17[c]	2.86	2.01
F-test				
พันธุ์ข้าว	ns	ns	ns	ns
ชนิดปุ๋ย	**	**	**	*
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	**	ns	ns
C.V. (%)	18.59	13.91	18.66	29.69

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในต้นของข้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ปัจจัย	การดูดใช้ไนโตรเจนในต้น (กก.N/ไร่)[1/] ที่ระยะ			
	แตกกอ	กำเนิดช่อรวง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	0.43[b]	1.67	2.89[a]	2.48[b]
ไรซ์เบอร์รี่	3.90[a]	1.89	2.26[b]	3.46[a]
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.28[c]	0.76[b]	1.09[c]	2.25
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.47[bc]	2.30[a]	3.51[a]	3.14
ปุ๋ยปอเทือง	2.11[b]	1.64[ab]	2.12[b]	3.38
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	4.81[a]	2.42[a]	3.76[a]	3.11
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	0.42[d]	0.63	0.77[e]	1.00
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.50[d]	2.00	3.44[b]	3.06
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	0.59[d]	1.64	2.88[c]	2.75
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.23[d]	2.43	4.48[a]	3.10
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	0.14[d]	0.89	1.42[d]	3.49
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.45[c]	2.61	3.58[b]	3.21
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	3.64[b]	1.65	3.56[d]	4.02
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	9.39[a]	2.41	2.68[c]	3.13
F-test				
พันธุ์ข้าว	**	ns	*	*
ชนิดปุ๋ย	**	**	**	ns
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	**	ns	**	ns
C.V. (%)	24.04	26.30	15.00	28.41

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

ปัจจัย	การดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ด (กก.N/ไร่)[1/]
พันธุ์ข้าว	
กข43	5.49[b]
ไรซ์เบอร์รี่	7.39[a]
ชนิดปุ๋ย	
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.73[c]
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	9.32[a]
ปุ๋ยปอเทือง	6.58[b]
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	8.14[ab]
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย	
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	1.25
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	8.33
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	5.91
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	6.50
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	2.21
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	10.31
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	7.25
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	9.78
F-test	
พันธุ์ข้าว	**
ชนิดปุ๋ย	**
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns
C.V. (%)	16.52

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในใบ พบว่าที่ระยะกำเนิดช่อรวงและออกดอก ข้าวมีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 8.56 และ 9.36 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิด พบว่าข้าวมีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าข้าวมีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีที่ระยะแตกกอ ระยะกำเนิดช่อรวง ระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยวได้สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.45, 7.05, 7.82 และ 12.27 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ไม่พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และชนิดปุ๋ยเกิดขึ้นสำหรับประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในใบของข้าว

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในต้นของข้าว พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์ มีประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) ที่ทุกระยะการเจริญเติบโต โดยข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีค่าเท่ากับ 1.97, 12.53, 22.01 และ 29.57 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ส่วนพันธุ์กข43 ที่ค่าเท่ากับ 1.59, 8.15, 14.18 และ 23.88 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ ที่ระยะแตกกอ ระยะกำเนิดช่อรวง ระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยต่างชนิดกันมีผลทำให้ข้าวมีประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) ที่ระยะออกดอก โดยการใส่ปุ๋ยปอเทืองมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 19.73 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 17.72 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ และการใส่ปุ๋ยปอเทืองมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 16.83 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวและชนิดปุ๋ย พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดปุ๋ยได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) ที่ระยะแตกกอและออกดอก โดยข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยเคมีที่ระยะแตกกอสูงที่สุดเท่ากับ 2.47 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ ส่วนที่ระยะออกดอกพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนจากการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับเคมีสูงที่สุดเท่ากับ 23.62 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ แต่ก็ไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีค่าเท่ากับ 23.49 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในใบของข้าวที่ระยะการเจริญ เติบโตต่าง ๆ

ปัจจัย	ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในใบ (กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่)[1/] ที่ระยะ			
	แตกกอ	กำเนิดช่อรวง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	2.38	5.01[b]	4.36[b]	11.27
ไรซ์เบอร์รี่	2.25	8.56[a]	9.36[a]	11.75
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	-	-	-	-
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.33	6.94	6.31	11.99
ปุ๋ยปอเทือง	2.17	6.36	6.46	10.27
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.45	7.05	7.82	12.27
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	-	-	-	-
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.95	3.88	4.48	11.74
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	2.33	5.21	4.36	9.40
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.87	5.96	4.25	12.67
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	-	-	-	-
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.71	10.01	8.14	12.25
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	2.01	7.52	8.57	11.14
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.04	8.14	11.39	11.87
F-test				
พันธุ์ข้าว	ns	**	**	ns
ชนิดปุ๋ย	ns	ns	ns	ns
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.91	15.72	20.52	11.99

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในต้นของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ปัจจัย	ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในต้น (กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่)[1/] ที่ระยะ			
	แตกกอ	กำเนิดช่อรวง	ออกดอก	เก็บเกี่ยว
พันธุ์ข้าว				
กข43	1.59[b]	8.15[b]	14.18[b]	23.88[b]
ไรซ์เบอร์รี่	1.97[a]	12.53[a]	22.01[a]	29.57[a]
ชนิดปุ๋ย				
ไม่ใส่ปุ๋ย	-	-	-	-
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.85	9.53	17.72[ab]	26.36
ปุ๋ยปอเทือง	1.59	9.55	16.83[b]	26.95
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.90	11.94	19.73[a]	26.86
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย				
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	-	-	-	-
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.23[d]	6.93	11.95[d]	22.18
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	1.77[bc]	8.68	14.76[c]	25.85
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.78[bc]	8.86	15.84[c]	23.61
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	-	-	-	-
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.47[a]	12.13	23.49[a]	30.55
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	1.41[cd]	10.43	18.91[b]	28.06
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	2.03[b]	15.02	23.62[a]	30.12
F-test				
พันธุ์ข้าว	*	**	**	**
ชนิดปุ๋ย	ns	ns	*	ns
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	**	ns	*	ns
C.V. (%)	13.28	19.67	6.78	7.99

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าว พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 26.65 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ ส่วนข้าวพันธุ์กข43 ที่ค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 18.71 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ ผลการวิเคราะห์พบว่าการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าว แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 25.06 รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยปอเทืองมีค่าเท่ากับ 22.96 และ 20.01 กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ไม่พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และชนิดปุ๋ยเกิดขึ้นสำหรับประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลของการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดต่อประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ปัจจัย	ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในเมล็ด (กก.น้ำหนักแห้ง/กก.Nที่ใส่)[1/]
พันธุ์ข้าว	
กข43	18.71[b]
ไรซ์เบอร์รี่	26.65[a]
ชนิดปุ๋ย	
ไม่ใส่ปุ๋ย	-
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	25.06
ปุ๋ยปอเทือง	20.01
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	22.96
พันธุ์ข้าว x ชนิดปุ๋ย	
กข43 x ไม่ใส่ปุ๋ย	-
กข43 x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	21.11
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง	18.21
กข43 x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	16.80
ไรซ์เบอร์รี่ x ไม่ใส่ปุ๋ย	-
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	29.01
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง	21.82
ไรซ์เบอร์รี่ x ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	29.12
F-test	
พันธุ์ข้าว	**
ชนิดปุ๋ย	ns
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย	ns
C.V. (%)	15.03

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

[1/] = ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 ผลการวิเคราะห์ดินหลังปลูกข้าว

ตารางที่ 4.18 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดินหลังปลูกข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่าชนิดดินและวิธีการใส่ปุ๋ยไม่มีผลทำให้ดินหลังปลูกมีปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าในดินหลังปลูกข้าวทั้งสองพันธุ์มีปริมาณไนโตรเจนลดลงจากดินก่อนปลูกเล็กน้อย ซึ่งก่อนปลูกมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ประมาณ 0.19% และหลังปลูกมีปริมาณไนโตรเจนเหลืออยู่ระหว่าง 0.14-0.18% ซึ่งมีแนวโน้มว่าในดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ (0.15%) มีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในดินเหลืออยู่น้อยกว่าดินที่ปลูกข้าวพันธุ์กข43 (0.17%)

ตารางที่ 4.18 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดินหลังปลูกข้าว

ปัจจัย	ปริมาณไนโตรเจนในดินหลังปลูก (%)		
	พันธุ์กข43	พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่	*เฉลี่ย*
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.16	0.17	*0.16*
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.18	0.14	*0.16*
ปุ๋ยปอเทือง	0.17	0.15	*0.16*
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.18	0.14	*0.16*
เฉลี่ย	*0.17*	*0.15*	
พันธุ์		ns	
ชนิดปุ๋ย		ns	
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย		ns	
C.V. (%)		9.96	

*วิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.19 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังปลูกข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่าในดินหลังปลูกข้าวทั้งสองพันธุ์มีปริมาณฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากดินก่อนปลูก โดยก่อนปลูกมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ที่ 9.05 มก./กก. ภายหลังจากการปลูกข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินเท่ากับ 11.27 มก./กก. และข้าวพันธุ์กข 43 มีค่าเท่ากับ 10.16 มก./กก. ส่วนอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยต่างชนิดกันไม่มีผลทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9.24 – 12.58 มก./กก. ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังปลูก

ปัจจัย	ปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังปลูก (มก./กก.)		
	กข43	ไรซ์เบอร์รี่	*เฉลี่ย*
ไม่ใส่ปุ๋ย	12.11	13.05	*12.58*
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	9.90	12.75	*11.32*
ปุ๋ยปอเทือง	9.49	9.97	*9.73*
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	9.15	9.33	*9.24*
เฉลี่ย	*10.16*	*11.27*	
พันธุ์		ns	
ชนิดปุ๋ย		ns	
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย		ns	
C.V. (%)		19.43	

*วิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4.20 ผลวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดินหลังปลูกข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่าในดินหลังปลูกข้าวทั้งสองพันธุ์มีปริมาณโพแทสเซียมไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก โดยก่อนปลูกมีปริมาณโพแทสเซียมในดินปรมาณ 141 มก./กก. ภายหลังจากปลูกข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ในดินมีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยเท่ากับ 177.9 มก./กก. ซึ่งมากกว่าดินปลูกข้าวพันธุ์กข 43 ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 163.6 มก./กก. การใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดกันไม่มีผลทำให้ดินปริมาณโพแทสเซียมแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 153.7 – 178.6 มก./กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดินหลังปลูก

ปัจจัย	ปริมาณโพแทสเซียมในดินหลังปลูก (มก./กก.)		
	กข43	ไรซ์เบอร์รี่	*เฉลี่ย*
ไม่ใส่ปุ๋ย	182.3	175.0	*178.6*
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	159.4	194.9	*177.1*
ปุ๋ยปอเทือง	167.8	179.5	*173.7*
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	145.1	162.2	*153.7*
เฉลี่ย	*163.6*	*177.9*	
พันธุ์		ns	
ชนิดปุ๋ย		ns	
พันธุ์ x ชนิดปุ๋ย		ns	
C.V. (%)		19.63	

*วิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาส่วนที่ 2 การประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อระยะพัฒนาการ ลักษณะทางสรีรวิทยา การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

4.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว (Genetic coefficient; GCs)

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยการนำเอาข้อมูลการทดลองส่วนที่ 1 มาปรับค่าระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิต โดยใช้โปรแกรม GLUE จนได้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกับค่าสังเกตจริงมากที่สุด ผลการปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านพัฒนาการ พบว่าข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอรรี่มีค่า P1 เท่ากับ 493.3 และ 531.0 ตามลำดับ ค่า P2R เท่ากับ 157.5 และ 63.8 ตามลำดับ สำหรับค่า P5 ข้าวกข43 มีค่าเท่ากับ 153.7 ซึ่งน้อยกว่าค่า P5 ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีค่าเท่ากับ 707.6 ส่วนค่า P2O พบว่าข้าวทั้งสองพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 12.0 - 12.8 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านการเจริญเติบโต พบว่าข้าวกข43 มีค่า G1 เท่ากับ 50.5 ซึ่งน้อยกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีค่าเท่ากับ 68.3 สำหรับค่า G2 ของข้าวกข43 เท่ากับ 0.0150 ซึ่งต่ำกว่าข้าวไรซ์เบอรร์รี่ที่มีค่าเท่ากับ 0.0240 ส่วนค่า G3 และ G4 พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าเท่ากันคือ 0.70 และ 1.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่

พันธุ์	P1	P2R	P5	P2O	G1	G2	G3	G4
กข43	493.3	157.5	153.7	12.0	50.5	0.0150	0.70	1.0
ไรซ์เบอร์รี่	531.0	63.8	707.6	12.8	68.3	0.0240	0.70	1.0

* คำอธิบายรายละเอียดของค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมแสดงในตารางที่ 3.1

4.2.2 ความสอดคล้องของระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

ตารางที่ 4.22 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันกำเนิดช่อรวง โดยใช้ค่า GCs ปรับค่าได้ พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยต่อวันกำเนิดช่อรวงได้ดีมากทั้งสองพันธุ์ โดยข้าวกข43 มีค่าทำนายและค่าสังเกตอยู่ระหว่าง 45 – 49 วัน เท่ากัน มีค่า RMSEn เท่ากับ 0.0% สำหรับข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พบว่าแม้แบบจำลองจะประเมินวันกำเนิดช่อรวงในกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยปอเทือง และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมี ได้ดีกว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีและกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย แต่ก็ยังถือว่าแบบจำลองสามารถประเมินได้ดีมากในทุกกรรมวิธี โดยมีอายุวันกำเนิดช่อรวงของค่าสังเกตและค่าทำนายอยู่ระหว่าง 45 – 50 และ 46 – 50 วัน มีค่า RMSEn เท่ากับ 0.0 และ 2.1% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันกำเนิดช่อรวง (Panicle initiation day) ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	วันกำเนิดช่อรวง (Panicle initiation day)			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	45	45	0	0.0
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	45	45	0	0.0
ปุ๋ยปอเทือง	49	49	0	0.0
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	49	49	0	0.0
เฉลี่ย	*47*	*47*	*0*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	45	46	+1	2.1
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	45	46	+1	2.1
ปุ๋ยปอเทือง	50	50	0	0.0
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	50	50	0	0.0
เฉลี่ย	*48*	*48*	*+ 0.5*	

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.22 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันออกดอก โดยภาพรวมพบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยปอเทือง และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์มีอายุวันออกดอกช้ากว่า กรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีและกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามนับว่าแบบจำลองสามารถประเมินวันออกดอกของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ดีมากในทุกกรรมวิธี โดยข้าวกข43 มีค่าสังเกตและค่าทำนาย อยู่ระหว่าง 75 – 80 และ 76 – 80 วันตามลำดับ มีค่า RMSEn ระหว่าง 0.0 - 1.3% ส่วนโดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ดูเหมือนจะมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยมากกว่า โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนาย อยู่ระหว่าง 75 – 80 และ 77 – 81 วันตามลำดับ มีค่า RMSEn ระหว่าง 1.3 -6.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันออกดอก (Anthesis day) ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	วันออกดอก (Anthesis day)			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	75	76	+ 1	1.3
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	75	76	+ 1	1.3
ปุ๋ยปอเทือง	80	80	0	0.0
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	80	80	0	0.0
เฉลี่ย	*78*	*78*	*+ 0.5*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	75	77	+ 2	2.6
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	75	77	+ 2	2.6
ปุ๋ยปอเทือง	80	81	+ 1	1.3
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	75	80	+ 5	6.6
เฉลี่ย	*76*	*79*	*+ 6.2*	

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันสุกแก่ทางสรีรวิทยา พบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือกรรมวิธีการการใส่ปุ๋ยปอเทือง และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์มีอายุวันสุกแก่ทางสรีรวิทยานานกว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีและกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย แบบจำลองประเมินวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวได้ดีมากทั้งสองพันธุ์และทุกกรรมวิธี โดยข้าวกข43 มีค่าสังเกตและค่าทำนาย อยู่ระหว่าง 90 – 95 และ 93 – 96 วัน ตามลำดับ มีค่า RMSEn ระหว่าง 0.0 – 3.2% ส่วนโดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ดูเหมือนจะมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยมากกว่า โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนาย อยู่ระหว่าง 125 – 130 และ 121 – 125 วัน ตามลำดับ มีค่า RMSEn ระหว่าง 3.1 – 3.9%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายวันสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity day) ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	วันสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity day)			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	90	93	+ 3	3.2
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	93	93	0	0.0
ปุ๋ยปอเทือง	95	96	+ 1	1.1
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	95	96	+ 1	1.1
เฉลี่ย	*93*	*95*	*+ 1.2*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	125	121	- 4	3.1
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	125	121	- 4	3.1
ปุ๋ยปอเทือง	130	125	- 5	3.9
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	130	125	- 5	3.9
เฉลี่ย	*128*	*123*	*- 4.5*	

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายดัชนีพื้นที่ใบของข้าว พบว่าแบบจำลองทำนายค่าดัชนีพื้นที่ใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ดีมาก ในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยทุกชนิด โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนายอยู่ระหว่าง 1.47 – 1.55 และ 1.51 – 1.56 มีค่า RMSEn ระหว่าง 0.0 – 2.8% สำหรับกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยแบบจำลองทำนายได้ไม่ดีและมีค่าทำนาย (1.25) ต่ำกว่าค่าสังเกต (0.28) ค่า RMSEn เท่ากับ 66.9% สำหรับข้าวกข43 พบว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดีในทุกกรรมวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index) ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index)			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.91 ±0.03	0.32	- 0.59	51.3
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.15 ±0.15	1.71	+ 0.56	48.7
ปุ๋ยปอเทือง	1.29 ±0.08	1.65	+ 0.36	31.3
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.25 ±0.09	1.65	+ 0.40	34.8
เฉลี่ย	*1.15*	*1.33*	*+ 0.18*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.25 ±0.06	0.28	- 0.97	66.9
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.53 ±0.31	1.56	+ 0.03	2.1
ปุ๋ยปอเทือง	1.55 ±0.02	1.55	0.00	0.0
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.47 ±0.16	1.51	+ 0.04	2.8
เฉลี่ย	*1.45*	*1.22*	*- 0.22*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายพื้นที่ใบเฉพาะของข้าว พบว่าแบบจำลองทำนายค่าพื้นที่ใบเฉพาะของข้าวกข43 ได้ค่อนข้างดี ในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยทุกชนิด โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนายอยู่ระหว่าง 203.5 – 211.2 และ 163.5 – 165.1 มีค่า RMSEn ระหว่าง 18.7 – 21.9% สำหรับกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี มีค่า RMSEn เท่ากับ 49.6% สำหรับข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่าแบบจำลองทำนายได้ดีมากในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยปอเทือง โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนายอยู่ระหว่าง 162.8 – 176.1 และ 148.9 – 154.4 มีค่า RMSEn ระหว่าง 6.6 – 10.4% ส่วนกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยปอเทืองและไม่ใส่ปุ๋ยแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายพื้นที่ใบเฉพาะ (Specific leaf area) ของข้าวกข43และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	พื้นที่ใบเฉพาะ (Specific leaf area) (ตร.ซม./กรัม)			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	232.1 ±8.2	125.7	- 106.4	49.6
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	211.2 ±11.5	164..3	- 46.9	21.9
ปุ๋ยปอเทือง	210.8 ±7.9	165.1	- 45.7	21.3
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	203.5 ±9.1	163.5	- 40.0	18.7
เฉลี่ย	*214.4*	*154.6*	*- 59.7*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	280.8 ±14.6	116.8	- 164	78.4
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	162.8 ±33.0	148.9	- 14	6.6
ปุ๋ยปอเทือง	216.8 ±27.1	153.8	+ 63	30.1
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	176.1 ±30.3	154.4	- 22	10.4
เฉลี่ย	*209.1*	*143.5*	*-34.2*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าว พบว่าแบบจำลองทำนายน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของพันธุ์กข43 ได้ดีกว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ในทุกกรรมวิธี มีค่าสังเกตและค่าทำนายอยู่ระหว่าง 465 – 1,069 และ 350 – 1,272 กก./ไร่ ตามลำดับ มีค่า RMSEn ระหว่าง 10.6 – 18.5% ส่วนพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินได้ดีเฉพาะกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมี มีค่าสังเกตเท่ากับ 1,422 กก./ไร่ ค่าทำนายเท่ากับ 1,693 กก./ไร่ และมีค่า RMSEn เท่ากับ 10.4%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าวกข 43และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กก./ไร่)			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	465 ±52.6	350	- 115	12.4
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1,101 ±121.1	1,272	+ 171	18.5
ปุ๋ยปอเทือง	1,069 ±74.3	1,166	+ 98	10.6
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1,062 ±60.0	1,167	+ 105	11.4
เฉลี่ย	*924.3*	*988.5*	*+ 64.7*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	762 ±105.3	441	- 321	26.5
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1,437 ±121.6	1,747	+ 311	25.7
ปุ๋ยปอเทือง	1,219 ±90.7	1,684	+ 465	36.1
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1,422 ±128.6	1,693	+ 271	10.4
เฉลี่ย	*1,210.0*	*1,391*	*+ 181*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.28 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายผลผลิตของข้าว พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินได้ดีถึงดีมากในทุกกรรมวิธีและทั้งสองพันธุ์ โดยข้าวกข43 มีค่าสังเกตและค่าทำนาย อยู่ระหว่าง 125 – 459 และ 120 – 463 กก./ไร่ ตามลำดับ มีค่า RMSEn ระหว่าง 1.3 – 9.2% ส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าสังเกตและค่าทำนาย อยู่ระหว่าง 218 – 758 และ 195 – 651 กก./ไร่ ตามลำดับ มีค่า RMSEn ระหว่าง 3.8 – 23.1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายผลผลิตของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	ผลผลิต (กก./ไร่)			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	125 ±15.2	120	- 5	1.3
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	459 ±84.8	463	+ 4	1.4
ปุ๋ยปอเทือง	405 ±65.4	373	- 32	9.2
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	389 ±79.4	374	- 15	4.4
เฉลี่ย	*344.2*	*332.0*	*- 12.0*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	218 ±21.7	195	- 23	3.8
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	758 ±64.3	617	- 141	23.1
ปุ๋ยปอเทือง	731 ±110.5	651	- 80	13.1
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	732 ±217.8	641	- 90	14.9
เฉลี่ย	*3810.2*	*3302.0*	*- 83.6*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.29 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าว พบว่าแบบจำลองทำนายค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวกข43 ได้ดี ส่วนพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่แบบจำลองทำนายได้ดีมากในทุกกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ย โดยข้าวกข43 มีค่าสังเกตและค่าทำนายอยู่ระหว่าง 0.36 – 0.41 และ 0.32 – 0.36 มีค่า RMSEn ระหว่าง 11.6 – 14.5% สำหรับกรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี มีค่า RMSEn เท่ากับ 34.8% ผลการประเมินในข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่าแบบจำลองทำนายได้ดีถึงดีมากในทุกกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ย โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนายอยู่ระหว่าง 0.38 – 0.43 และมีค่า RMSEn ระหว่าง 0.0 – 14.6% ส่วนกรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี มีค่า RMSEn เท่ากับ 65.9%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	ดัชนีเก็บเกี่ยว			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.24 ±0.02	0.36	+ 0.12	34.8
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.41 ±0.03	0.36	- 0.05	13.3
ปุ๋ยปอเทือง	0.37 ±0.04	0.32	- 0.05	14.5
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.36 ±0.07	0.32	- 0.04	11.6
เฉลี่ย	*0.34*	*0.34*	*- 0.005*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.25 ±0.04	0.49	+ 0.24	65.9
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.42 ±0.05	0.43	+ 0.01	3.8
ปุ๋ยปอเทือง	0.38 ±0.07	0.43	+ 0.05	14.6
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.43 ±0.11	0.43	0.00	0.0
เฉลี่ย	*0.37*	*0.44*	*+ 0.07*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.30 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าว พบว่าแบบจำลองทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ดีมากในทุกกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ย โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนายอยู่ระหว่าง 1.35 – 1.78 และ 1.30 – 1.62 มีค่า RMSEn ระหว่าง 3.1 – 9.0% สำหรับข้าวกข43 พบว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดีในทุกกรรมวิธียกเว้นกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยที่แบบจำลองทำนายได้ดี โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนายเท่ากับ 1.28 และ 1.05 ตามลำดับ มีค่า RMSEn เท่ากับ 13.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.28 ±0.03	1.05	- 0.23	13.5
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.98 ±0.06	1.12	- 0.86	50.6
ปุ๋ยปอเทือง	1.61 ±0.15	1.10	- 0.51	30.0
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.93 ±0.06	1.11	- 0.82	48.2
เฉลี่ย	*1.70*	*1.01*	*- 0.60*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.35 ±0.04	1.30	- 0.05	3.1
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.78 ±0.04	1.62	- 0.16	9.9
ปุ๋ยปอเทือง	1.67 ±0.03	1.61	- 0.06	3.7
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.69 ±0.04	1.61	- 0.08	4.9
เฉลี่ย	*1.62*	*1.53*	*- 0.09*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.31 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบของข้าว พบว่าแบบจำลองทำนายได้ไม่ดีทั้งสองพันธุ์และทุกกรรมวิธี และดูเหมือนว่าส่วนใหญ่แบบจำลองจะทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบของพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ได้ต่ำว่าค่าสังเกตค่อนข้างมาก ในทางกลับกันพบว่าข้าวกข43 แบบจำลองทำนายสูงกว่าค่าสังเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบ			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.66 ±0.00	1.16	+ 0.50	44.8
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.46 ±0.51	1.74	+ 0.28	25.4
ปุ๋ยปอเทือง	1.03 ±0.19	1.79	+ 0.76	68.5
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.27 ±0.04	1.78	+ 0.51	45.9
เฉลี่ย	*1.10*	*1.62*	*+ 0.51*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.16 ±0.00	0.61	- 0.55	36.7
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.61 ±0.04	0.90	- 0.71	47.5
ปุ๋ยปอเทือง	1.64 ±0.48	0.78	- 0.86	57.4
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.57 ±0.45	0.81	- 0.76	50.9
เฉลี่ย	*1.49*	*0.77*	*- 0.72*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.32 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้นของข้าว พบว่าแบบจำลองทำนายค่าของข้าวกข43 ได้ไม่ดีในทุกกรรมวิธี ส่วนพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่แบบจำลองทำนายได้ดีมากในทุกกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าสังเกตและค่าทำนายเท่ากับ 1.01 และ 0.90% ตามลำดับ ค่า RMSEn เท่ากับ 9.0% และทำนายได้ดีในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยมีค่าสังเกตและค่าทำนายเท่ากับ 0.98 และ 0.81% ตามลำดับ ค่า RMSEn เท่ากับ 14.0% ส่วนกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยปอเทืองและไม่ใส่ปุ๋ย แบบจำลองทำนายได้ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.32 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้นของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้น			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	0.76 ±0.00	1.16	+ 0.40	37.1
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.29 ±0.25	1.74	+ 0.45	42.4
ปุ๋ยปอเทือง	1.00 ±0.11	1.79	+ 0.79	74.1
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.23 ±0.04	1.78	+ 0.55	51.6
เฉลี่ย	*1.07*	*1.61*	*+ 0.55*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.49 ±0.23	0.61	- 0.88	73.4
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1.01 ±0.47	0.90	- 0.11	9.0
ปุ๋ยปอเทือง	1.32 ±0.34	0.78	- 0.54	44.8
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	0.98 ±0.28	0.81	- 0.17	14.0
เฉลี่ย	*1.20*	*0.77*	*- 0.42*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

ตารางที่ 4.33 แสดงผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าว พบว่าแบบจำลองทำนายได้ดีเฉพาะในกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยทั้งสองพันธุ์ โดยพันธุ์กข43 มีค่าสังเกตและค่าทำนายมีค่าเท่ากับ 2.7 และ 3.6 กก./ไร่ ตามลำดับ ค่า RMSEn เท่ากับ 9.0 % ส่วนพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีค่าสังเกตและค่าทำนายมีค่าเท่ากับ 6.7 และ 4.2 กก./ไร่ ตามลำดับ ค่า RMSEn เท่ากับ 18.4 % ส่วนกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยทุกชนิดแบบจำลองทำนายได้ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับปุ๋ยต่างชนิดกัน

ชนิดปุ๋ย	การดูดใช้ไนโตรเจน (กก./ไร่)			
	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	กข43			
ไม่ใส่ปุ๋ย	2.7 ±0.05	3.6	+0.8	9.0
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	13.3 ±2.93	16.7	+3.4	36.4
ปุ๋ยปอเทือง	9.7 ±2.12	15.6	+5.9	64.3
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	11.3 ±0.30	15.6	+4.3	46.8
เฉลี่ย	*9.3*	*12.9*	*+ 3.6*	
	ไรซ์เบอร์รี่			
ไม่ใส่ปุ๋ย	6.7 ±0.48	4.2	-2.4	18.4
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	16.4 ±3.02	21.6	+5.2	39.0
ปุ๋ยปอเทือง	13.6 ±0.48	19.9	+6.3	47.5
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	16.2 ±3.64	20.2	+4.0	30.2
เฉลี่ย	*13.2*	*16.2*	*+ 3.2*	

± = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน

RMSEn = Normalized root mean square error

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว

การศึกษาส่วนนี้มีแนวความคิดในการนำเอาค่าทำนายลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบทางเคมี และผลผลิตจากแบบจำลองมาหาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีน้ำตาล (ค่าสังเกต) โดยเป็นค่าที่เฉลี่ยมาจากทุกกรรมวิธีทั้งสองพันธุ์ ดังแสดงใน **ตารางที่ 4.34** พบว่าค่า GI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับทุกลักษณะที่ประเมินได้จากแบบจำลอง โดยมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.97* - 0.98* ส่วนลักษณะอื่น ๆ ก็พบว่ามีความสัมพันธ์กันทั้งหมดโดยมีค่า R^2 ตั้งแต่ 0.96* - 0.99**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา ผลผลิต องค์ประกอบทางเคมี (ค่าทำนาย) และค่าดัชนีน้ำตาล (ค่าสังเกต)

	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r)					
	Baiomass (S)	LAI (S)	SLA (S)	% Grain N (S)	% Protein (S)	GI (O)
LAI (S)	0.96*					
SLA (S)	0.99**	0.98*				
% Grain N (S)	0.99**	0.96*	0.99**			
% Protein (S)	0.99**	0.96*	0.99**	0.99**		
GI (O)	0.97*	0.98*	0.97*	0.97*	0.97*	
Yield (S)	0.99**	0.96*	0.99*	0.99**	0.99**	0.97*

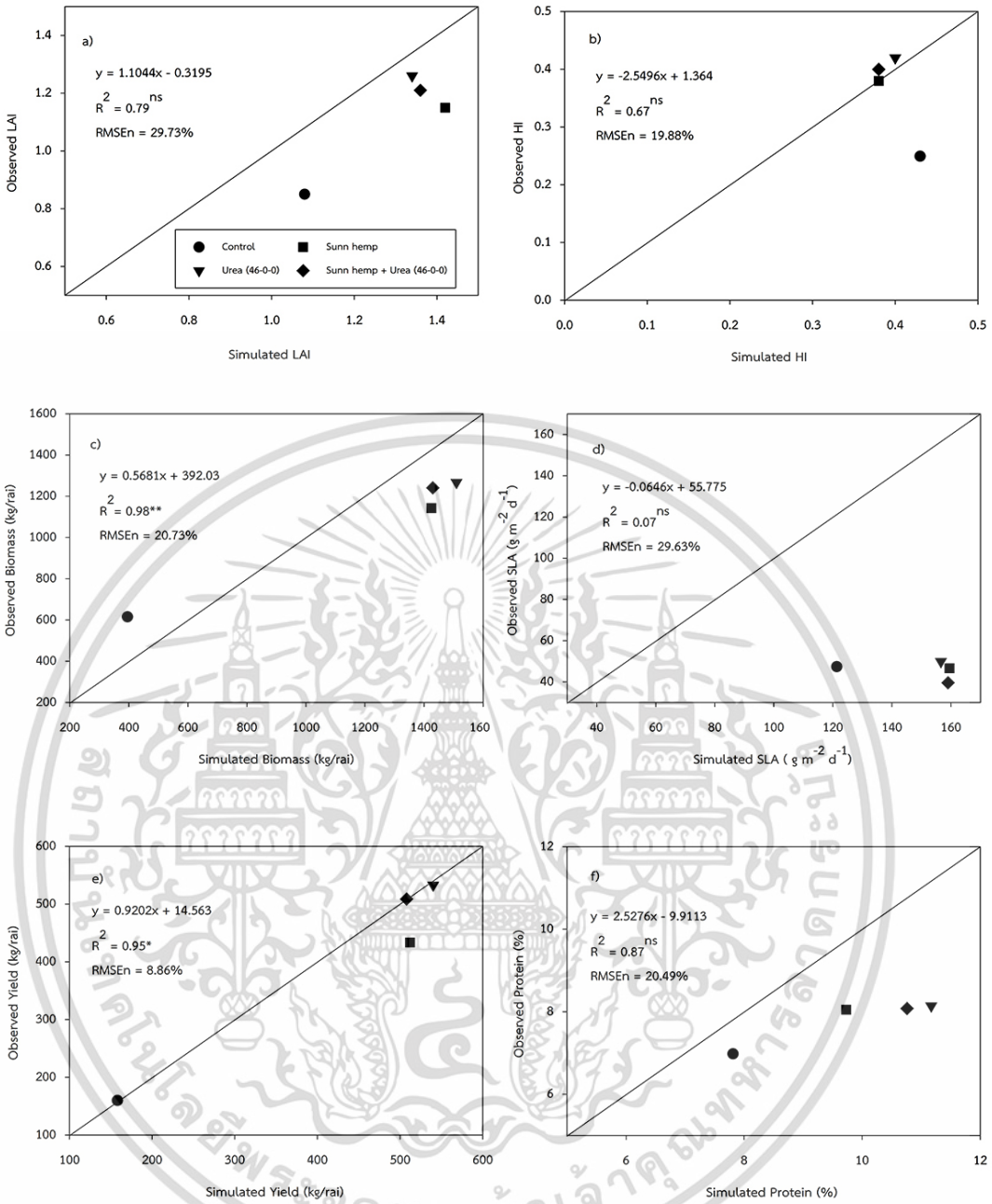
n = 4, * = P≤0.01 และ ** = P≤0.05

O = ค่าสังเกตจริงจากแปลงทดลอง S = ค่าทำนายที่ได้จากแบบจำลอง

4.3 การศึกษาส่วนที่ 3 การทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

สำหรับการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลเริ่มโดยการสร้างกราฟ 1:1 line ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.2** เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตกับค่าทำนายว่าแบบจำลองสามารถนำมาทำนายลักษณะทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ได้แม่นยำหรือไม่ โดยใช้ค่า R^2 บ่งบอกความสัมพันธ์ทางสถิติ และค่า RMSEn บ่งชี้ความสอดคล้อง ซึ่งหากลักษณะใดมีความแม่นยำจะนำไปใช้ในการทำนายค่าดัชนีน้ำตาล ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายอิทธิพลแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตได้อย่างแม่นยำ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.98** และ 0.95* ตามลำดับ มีค่า RMSEn เท่ากับ 20.83 และ 8.86% ตามลำดับ (**ภาพที่ 4.2c และ ภาพที่ 4.2d**) ส่วนลักษณะอื่นๆ เช่น ดัชนีพื้นที่ใบ พื้นที่ใบเฉพาะ ดัชนีเก็บเกี่ยว และเปอร์เซ็นต์โปรตีน พบว่าแบบจำลองทำนายกรรมวิธีใส่ปุ๋ยได้ไม่ดี ดังนั้นจึงนำเอาเพียงน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตไปใช้ในการทำนายค่าดัชนีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

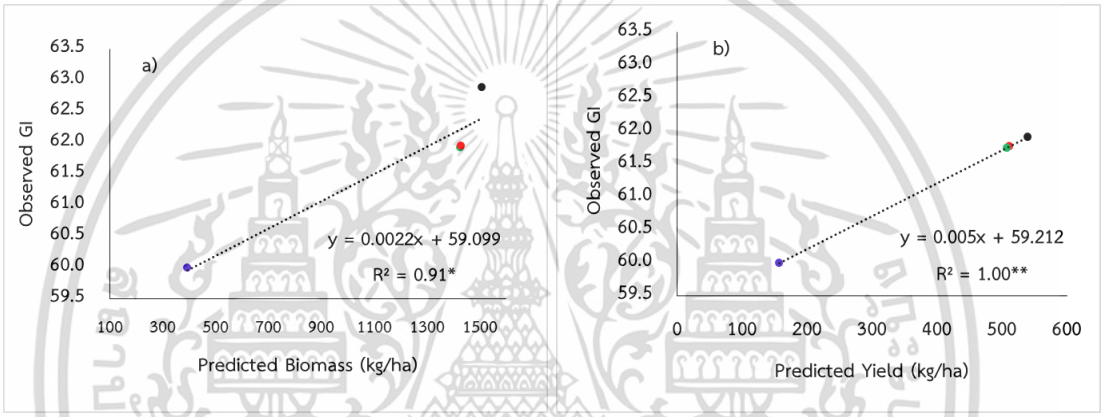


ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟ 1:1 line ระหว่างค่าทำนาย (Simulated) และค่าสังเกต (Observed) ของดัชนีพื้นที่ใบ (a) พื้นที่ใบเฉพาะ (b) น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (c) ดัชนีเก็บเกี่ยว (d) ผลผลิต (e) และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ด (f)

ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตดัชนีน้ำตาล (observed GI) กับค่าทำนายน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและค่าทำนายผลผลิต โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากข้าวทั้งสองพันธุ์ พบว่าการนำเอาข้อมูลค่าดัชนีน้ำตาลที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยกับน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่ทำนายได้จากแบบจำลองได้สมการผลการทำนาย คือ y = 0.0022x + 59.099 และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.91* แสดงว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

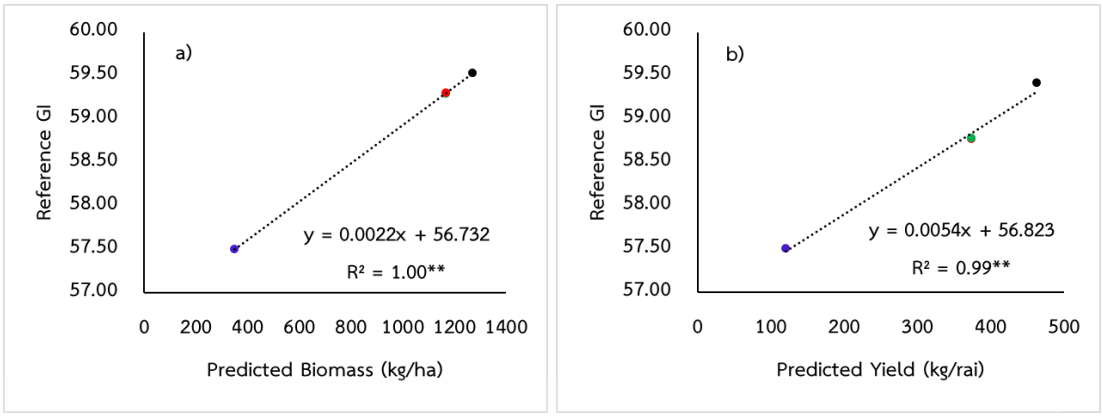
ค่าทำนายน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าดัชนีน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยหากข้าวมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น 1 กก. จะทำให้ข้าวมีค่าดัชนีน้ำตาลเพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.0022 (**ภาพที่ 4.3a**) ในทำนองเดียวกันพบว่าค่าทำนายผลผลิตจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าดัชนีน้ำตาลที่การวิเคราะห์ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยสมการที่ได้จากผลการทำนาย คือ y = 0.0050x + 59.212 มีค่า R^2 เท่ากับ 1.00** โดยหากข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 1 กก. จะทำให้ข้าวมีค่าดัชนีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.0050 (**ภาพที่ 4.3b**) จากข้อมูลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองน่าจะสามารถนำไปใช้ประเมินค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวที่ได้รับการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธีที่แตกต่างกันได้



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตดัชนีน้ำตาล (observed GI) กับค่าทำนายน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (a) และค่าทำนายผลผลิต (b) โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากข้าวทั้งสองพันธุ์

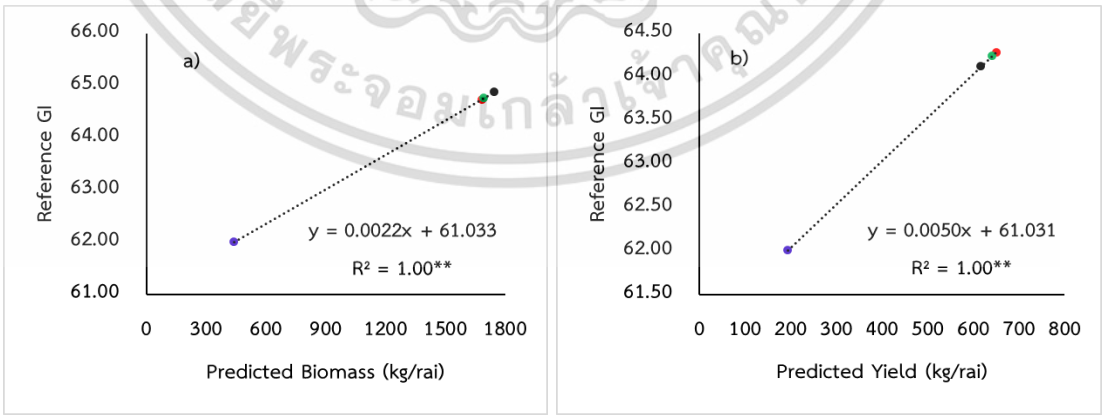
ภาพที่ 4.4 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวกข43 จากค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และผลผลิตที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิง (reference GI) เป็นฐานในการคำนวณ พบว่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำมาทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวกข43 ได้ จะได้สมการในการทำนาย คือ y = 0.0022x + 56.732 มีค่า R^2 เท่ากับ 1.00** แสดงว่ามีความแม่นยำ (**ภาพที่ 4.4a**) ส่วนการใช้ผลผลิตได้จากแบบจำลองสามารถมาทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวกข43 พบว่าการใช้ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิงจากกรมการข้าวเป็นฐานในการคำนวณจะได้สมการ คือ y = 0.0054x + 56.823 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.99** แสดงว่ามีความแม่นยำทั้งสองวิธีเช่นเดียวกัน (**ภาพที่ 4.4b)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวกข43 จากค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (a) และผลผลิต (b) ที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิง (reference GI) เป็นฐานในการคำนวณ

ภาพที่ 4.5 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และผลผลิตที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิง (reference GI) เป็นฐานในการคำนวณ พบว่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำมาทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ โดยหากใช้ค่าดัชนีน้ำตาลและค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิงจากกรมการข้าวเป็นฐานในการคำนวณจะได้สมการเดียวกัน คือ $y = 0.0022x + 61.003$ มีค่า R^2 เท่ากับ 1.00** (**ภาพที่ 4.5a**) เป็นไปในทำนองเดียวกับการใช้ผลผลิตได้จากแบบจำลองสามารถมาทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าการใช้ค่าดัชนีน้ำตาลจากการวิเคราะห์และค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิงจากกรมการข้าวเป็นฐานในการคำนวณจะได้สมการเดียวกัน คือ $y = 0.0050x + 61.031$ มีค่า R^2 เท่ากับ 1.00** แสดงว่ามีความแม่นยำทั้งสองวิธีเช่นเดียวกัน (**ภาพที่ 4.5b**)



ภาพที่ 4.5 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (a) และผลผลิต (b) ที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิง (reference GI) เป็นฐานในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.35 แสดงความแตกต่างของการนำเอาสมการที่ดีที่สุดไปทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวแต่ละพันธุ์ พบว่าการใช้ค่าทำนายน้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินจากแบบจำลองข้าวทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวได้สมการทำนาย คือ y = 0.0022x + 59.099 และเมื่อนำไปทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวแต่ละพันธุ์จากฐานค่าดัชนีอ้างอิงจากกรมการข้าวสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำทั้งสองพันธุ์ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.0% สำหรับการใช้ผลผลิตจากแบบจำลองข้าวทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวได้สมการทำนาย คือ y = 0.0050x + 59.212 และเมื่อนำไปทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวแต่ละพันธุ์จากฐานค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิงจากกรมการข้าวสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำทั้งสองพันธุ์ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ระหว่าง 0.0 – 8.0%

ตารางที่ 4.35 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสมการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวที่ใช้ค่าดัชนีน้ำตาลจากดัชนีน้ำตาลอ้างอิงเป็นฐานในการคำนวณ

ค่าดัชนีน้ำตาล (GI)	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กก./ไร่)	ผลต่าง (%)	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลต่าง (%)
สมการที่ได้จากแบบจำลอง	y = 0.0022x + 59.099		y = 0.0050x + 59.212	
ข้าวกข43				
57.5 (ค่าอ้างอิง)[1/]	y = 0.0022x + 56.732	0.0	y = 0.0054x + 56.823	8.0
ข้าวไรซ์เบอร์รี่				
62.0 (ค่าอ้างอิง)[1/]	y = 0.0022x + 61.003	0.0	y = 0.0050x + 61.031	0.0

[1/] = ทำนายค่าดัชนีน้ำตาลโดยใช้ค่า GI อ้างอิงตามลักษณะประจำพันธุ์จากกรมการข้าว (กรมการข้าว, 2560) เป็นค่าเริ่มต้น

ตารางที่ 4.36 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลจากน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองตามกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ โดยใช้ค่า GI อ้างอิงเป็นฐานการคำนวณ พบว่าทำนายน้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินไปทำนายค่าดัชนีน้ำตาลจากค่าอ้างอิงของข้าวกข43 (GI = 57.5) และข้าวไรซ์เบอร์รี่ (GI =62.0) โดยมีการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีของการศึกษาส่วนที่ 1 พบว่าสมการสามารถทำนายค่าดัชนีน้ำตาลได้ค่าอยู่ระหว่าง 57.5 – 59.5 และ 62.0 - 64.9 ตามลำดับ หากใช้ผลผลิตทำนายจะได้ค่าอยู่ระหว่าง 57.5 – 59.4 และ 62.0 - 64.3 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่ากรรมวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยข้าวทั้งสองพันธุ์จะมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ย และการใส่ปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มทำให้ข้าวมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงกว่าการใส่ปุ๋ยปอเทือง และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.36 แสดงผลการทำนายค่าดัชนีน้ำตาลจากน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองตามกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ โดยใช้ค่า GI อ้างอิงเป็นฐานการคำนวณ

	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (กก./ไร่)	ค่า GI ทำนาย	ผลผลิต (กก./ไร่)	ค่า GI ทำนาย
	ข้าวกข43			
ค่า GI เริ่มต้น	57.5 (อ้างอิง) [1/]		57.5 (อ้างอิง) [1/]	
สมการที่ใช้ทำนาย	y = 0.0022x + 59.099		y = 0.0050x + 59.212	
ไม่ใส่ปุ๋ย	350	57.5	120	57.5
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1,272	59.5	463	59.4
ปุ๋ยปอเทือง	1,166	59.3	373	58.8
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1,167	59.3	374	58.8
	ข้าวไรซ์เบอร์รี่			
ค่า GI เริ่มต้น	62 (อ้างอิง) [1/]		62 (อ้างอิง) [1/]	
สมการที่ใช้ทำนาย	y = 0.0022x + 59.099		y = 0.0050x + 59.212	
ไม่ใส่ปุ๋ย	441	62.0	195	62.0
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1,747	64.9	617	64.0
ปุ๋ยปอเทือง	1,684	64.7	651	64.3
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)	1,693	64.8	641	62.2

[1/] = ทำนายค่าดัชนีน้ำตาลโดยใช้ค่า GI อ้างอิงตามลักษณะประจำพันธุ์จากกรมการข้าว (กรมการข้าว, 2560) เป็นค่าเริ่มต้น

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาส่วนที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบทางเคมี ผลผลิต และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว

แหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ ประกอบด้วยปุ๋ยเคมีและปุ๋ยปอเทือง โดยกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยปอเทืองจะใส่ในอัตรา 20 กก.N/ไร่ และ 10 กก.N/ไร่ มาหมักในดินก่อนการปลูกข้าวเป็นระยะเวลา 14 วัน หลังจากหมักทำการสุ่มดินมาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) พบว่าดินก่อนปลูกมีปริมาณ NH_4^+ อยู่ระหว่าง 125.0 – 225 และ 202.2 – 203.7 มก./กก. ตามลำดับ จะเห็นว่าดินมีปริมาณ NH_4^+ แตกต่างกันเล็กน้อย โดยพบว่าในดินก่อนปลูกข้าวกข43 ที่หมักด้วยปุ๋ยปอเทือง มีปริมาณ NH_4^+ เท่ากับ 125.0 มก./กก. ส่วนดินก่อนปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเท่ากับ 225 มก./กก. ทั้ง ๆ ที่มีการใส่ปุ๋ยปอเทืองในอัตราที่เท่ากัน คือ 20 กก.N/ไร่ ทั้งนี้สัณนิษฐานว่าค่า pH ของดินน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยแอมโมเนียมในดินภายใต้สภาวะของการขังน้ำ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกพบว่าเป็นกรดรุนแรงมากมีค่า pH เท่ากับ 3.92 ซึ่งอาจส่งผลต่อกระบวนการ ammonification ทำให้มีการปลดปล่อยแอมโมเนียมในดินได้ต่ำ สอดคล้องกับผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาของสโรชา โพธิ์ไพจิตร์ และนิตยา ผกามาศ (2565) ซึ่งรายงานว่าการหมักปอเทืองในดินที่มีค่า pH 4.04 ซึ่งมีความเป็นกรดจัดทำให้มีการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนได้น้อยลง ปกติค่า pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายปอเทืองควรอยู่ระหว่าง 7.0 – 7.4 (ภาสินี สืบสวน. 2562)

ผลการศึกษานี้พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 474.8 กก.N/ไร่ ซึ่งสูงกว่าข้าวกข43 ที่มีผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 344.2 กก.N/ไร่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวไรซ์เบอรี่มีการดูดใช้ไนโตรเจนไปสะสมในลำต้นได้สูงตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญเติบโต จึงทำให้ข้าวมีการแตกกอดี สังเกตได้จากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีจำนวนหน่อต่อกอสูง เมื่อข้าวมีการแตกกอดีจะทำให้ข้าวมีการพัฒนาพื้นที่ใบในระยะกำเนิดช่องรวงและระยะออกดอกได้มาก และหากปลูกในระยะที่เหมาะสมไม่เกิดการบังใบจะทำให้ข้าวมีพื้นที่ในการรับแสงได้มาก โดย Raja,S. et.al. (2003) รายงานว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ระยะออกดอกมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการให้ผลผลิตของข้าว ซึ่งผลจากการศึกษานี้บ่งชี้ว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงมีค่าเท่ากับ 2.23 ในขณะที่ข้าวกข43 มีค่าเพียง 1.42 แสดงว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่น่าจะมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่ากข43 เนื่องจากมีพื้นที่ใบในการรับแสงมาก ส่งผลทำให้ข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีในช่วงระยะออกดอกถึงเก็บเกี่ยว ซึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่าข้าวกข43 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ พรเพ็ญ สมจิตร์ และนิตยา ผกามาศ (2555) ที่รายงานว่าหากข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตในช่วงปลายระยะสืบพันธุ์ดี ข้าวจะมีการสะสมน้ำหนักแห้งได้มากและให้ผลผลิตสูง ส่วน Yoshida (1981) รายงานว่าหากข้าวมีความสามารถในการสะสมน้ำหนักแห้ง หรือมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยว หรือมีค่าทั้งสองอย่างสูงจะทำให้ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น และ Yoshida (1983) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งพืช จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของอายุการเจริญเติบโต (crop growth duration) หรืออัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate) หรือทั้งสองอย่าง

การเปรียบเทียบอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจน พบว่าการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดไม่ได้ส่งผลทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์มีค่าดัชนีพื้นที่ใบ อัตราการเจริญเติบโต จำนวนหน่อต่อกอ น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ผลผลิต และการดูดใช้ไนโตรเจนแตกต่างกันทางสถิติ แต่จะแตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ด พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีให้ค่าสูงกว่ากรรมวิธีการอื่น ๆ ซึ่ง Ning,H. et.al. (2009) รายงานว่าปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อความเข้มข้นของกรดไฟติกและปริมาณโปรตีนมากกว่าอิทธิพลของสายพันธุ์ การเพิ่มปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้ข้าวมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Shijie,S. et.al. (2022) รายงานว่าเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นปริมาณโปรตีนของข้าวเพิ่มขึ้นและปริมาณอะไมโลสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนใบข้าวมีแนวโน้มที่จะเป็นสีเขียวมากขึ้น และมีการถ่ายเทไนโตรเจนไปยังเมล็ดข้าวมากขึ้น ดังนั้นปริมาณโปรตีนในเมล็ดจึงสูงขึ้น (Kashiwagi. 2021) หลังจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณอะไมโลสของข้าวลดลง อาจเป็นเพราะการลดลงของกิจกรรมของการสังเคราะห์แป้งที่ยึดเกาะกับเม็ดแป้งหลังการใช้ไนโตรเจน (Jiang, D. et.al. 2003) จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยเคมีและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี จะทำให้ข้าวมีปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดและปริมาณโปรตีนสูง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี และการใช้ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมี เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดินจะทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นตัวช่วยจุลินทรีย์ในการย่อยอินทรียวัตถุ โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายคาร์บอนขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนที่มีให้ใช้ (Osotspa,A. et. al. 2011) ทำให้มีสัดส่วน mineralization มากกว่า immobilization ซึ่งจากผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกพบว่าดินมีปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 3.16% จัดว่ามีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง จึงอาจทำให้ดินมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ค่อนข้างมาก ข้าวจึงมีการดูดใช้ไนโตรเจนจากกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีสูงกว่าการใส่ปุ๋ยปอเทืองเพียงอย่างเดียว สังเกตได้จากค่าการดูดใช้ไนโตรเจนในเมล็ดที่มีค่าเท่ากับ 9.32, 8.14 และ 6.58 กก.N/ไร่ ตามลำดับ และข้าวมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดเท่ากับ 1.88, 1.81 และ 1.64% ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ดเท่ากับ 11.16, 10.76 และ 9.73% ตามลำดับ

ผลการศึกษาอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกติน และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว พบว่าการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดไม่มีผลทำให้ข้าวมีค่าเหล่านี้แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ามีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เท่ากัน คือ 20 กก.N/ไร่ อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้าว 2 พันธุ์พบว่าข้าวกข43 จะมีปริมาณอะไมโลสสูง ในขณะที่ข้าวไรซ์เบอร์รี่จะมีปริมาณอะไมโลเพกตินและค่าดัชนีน้ำตาลสูง Anhar,A. et.al. (2016) รายงานว่าค่าดัชนีน้ำตาลมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าว โดยพบว่าข้าวพันธุ์ Randah Putiah และ Mundam ที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 7.6 และ 7.4% ก็จะมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำที่สุดเท่ากับ 63 และ 65 ในขณะที่พันธุ์ Bakwan ที่มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดเท่ากับ 5.9% ก็จะพบว่าให้ค่าดัชนีน้ำตาลสูงที่สุดเท่ากับ 77 สอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าข้าวกข43 มีปริมาณโปรตีนในเมล็ดสูงเท่ากับ 10.10% จะมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำเท่ากับ 59.00 ส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโปรตีนในเมล็ดต่ำกว่า โดยมีค่าเท่ากับ 9.63% ก็จะมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงเท่ากับ 63.65 เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจน พบว่าไม่มีผลทำให้ข้าวมีค่าดัชนีน้ำตาลแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ย จะทำให้ข้าวมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ระหว่าง 61.50 – 62.00 ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ยที่มีค่าเพียง 60.00 อย่างไรก็ตามพบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีจะทำให้ข้าวมีปริมาณโปรตีนในเมล็ดสูงกว่าการใส่ปุ๋ยปอเทืองเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาของนันท์นพิน ปันธิ และคณะ (2022) ทำการศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณสารโพรลีน ผลผลิตองค์ประกอบผลผลิต คุณภาพเมล็ด และการแสดงออกของยีนในข้าวหอมพันธุ์พื้นเมืองไทย พบว่าคุณภาพด้านการบริโภคของข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญภายใต้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินไปเป็นผลจากความเหนียว (stickiness) ที่ลดลงและเสื่อมสภาพ (retrogradation) ของข้าวหุงสุก ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น และโครงสร้างของอะไมโลเพกติน (amylopectin) ที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้การสังเคราะห์อะไมโลเพกตินยังได้รับอิทธิพลมาจากปุ๋ยไนโตรเจนและลักษณะพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาส่วนที่ 2 การประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อระยะพัฒนาการ ลักษณะทางสรีรวิทยา และผลผลิตของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CSM-CERES-Rice สามารถประเมินอายุวันกำเนิดช่อรวง วันออกดอก และวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์กข43 และข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้ดีมากในทุกกรรมวิธี โดยมีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 0.0 -2.1%, 0.0 – 2.6% และ 0.0 – 3.9% สอดคล้องกับผลการศึกษาของสิรวิชญ์ จำปาเงิน (2565) นำเอาแบบจำลอง CSM-CERES-Rice มาประเมินอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินความสอดคล้องของวันกำเนิดช่อรวง วันออกดอก และวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 80 ได้ดี เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Suanphrom,N et.al. (2023) พบว่าแบบจำลองสามารถประเมินระยะพัฒนาการ ประกอบด้วย วันกำเนิดช่อรวง วันออกดอก และวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวไม่ไวแสงพันธุ์ กข41 กข43 กข47 กข49 กข57 และ กข71 ได้ดีมาก

สำหรับผลการประเมินด้านการเจริญเติบโตพบว่า พบจำลองสามารถประเมินน้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน ผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ในระดับค่อนข้างดีถึงดีมาก มีค่า RMSEn อยู่ระหว่าง 10.6 – 26.5, 1.3 – 23.1 และ 0.0 – 14.6% ตามลำดับ ซึ่งขัดแย้งกับงานของสิรวิชญ์ จำปาเงิน (2565) ที่รายงานว่าแบบจำลองสามารถประเมินได้ดีเฉพาะน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และค่าดัชนีเก็บเกี่ยว ส่วนผลผลิตแบบจำลองประเมินได้ไม่ค่อยดี และพบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยพืชสดจากปอเทือง ปุ๋ยหมักมูลวัวและฟางข้าว แบบจำลองประเมินได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยคอกมูลวัว สำหรับค่าดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิต แบบจำลองประเมินได้ไม่ดีในทุกกรรมวิธีที่ศึกษา สำหรับการศึกษาครั้งนี้ แบบจำลองหลายลักษณะได้ค่อนข้างดีถึงดีมาก อาจเป็นเพราะผู้วิจัยมีการวางแผนการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ทั้งข้อมูลดิน ข้อมูลอากาศ ข้อมูลการจัดการ จดบันทึกระยะพัฒนาการ การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์ เพื่อนำมาใช้ประเมินค่า GCs (Model calibration) ซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกับค่าสังเกตจริง จึงอาจทำให้แบบจำลองสามารถประเมินได้ดี แต่ก็มีข้อควรระวัง คือ หากมีผู้ต้องการจะนำค่า GCs ของข้าวกข43 และข้าวไรซ์เบอรรี่จากการศึกษานี้ไปใช้กับข้อมูลชุดอื่น อาจจะได้ผลการทำนายที่แตกต่างไป ในขณะที่สิรวิชญ์ จำปาเงิน (2565) ทำการประเมินโดยอาศัยข้อมูลค่า GCs พันธุ์ชัยนาท 1 จาก default ของโปรแกรม DSSAT ส่วนพันธุ์ปทุมธานี 80 นำมาจากข้อมูลของ พรเพ็ญ สมจิตร์ (2555) ซึ่งค่า GCs ของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ได้มีการตรวจสอบความสอดคล้องกับชุดข้อมูลอื่น ๆ มาแล้ว (Model validation) ดังนั้นเมื่อนำมาประเมินจึงอาจมีความแม่นยำน้อยกว่า เนื่องจากมีปัจจัยสภาพแวดล้อม และการจัดการที่แตกต่างกันออกไป จึงอาจส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ อีกประการหนึ่งเนื่องจากข้อจำกัดของแบบจำลองที่อาจจะไม่สามารถประเมินเรื่องการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืชได้ และการเก็บตัวอย่างอาจมีใบข้าวที่แก่ และย่อยสลายไปก่อนการสุ่มเก็บตัวอย่างจึงทำให้ค่าที่ได้จากการสังเกตต่ำกว่าค่าที่ได้จากการจำลอง (ชิษณุชา บุดดาบุญ และคณะ, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาส่วนที่ 3 การทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice

ค่าดัชนีน้ำตาล (GI) เป็นค่าบ่งบอกอัตราการย่อยสลายสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต (แป้ง) ที่มีผลต่อระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด (Jenkins,A et.al. 1981 ; Wolever,S. et.al. 2013) สำหรับการประเมินค่า GI ในข้าวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น Enzymatic method เป็นการวัดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด (สุนันทา วงศ์ปิยชน และคณะ. 2558) และ *In vitro* rapidly available glucose (RAG) เป็นการเลียนแบบการย่อยการดูดซึมน้ำตาลในหลอดทดลอง (สุนีย์ สหัสโพธิ์ และคณะ. 2558) ซึ่งมีความยุ่งยากและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่างค่อนข้างสูง ดังนั้นแนวความคิดในการนำเอาแบบจำลองมาใช้ประเมินค่า GI ทางอ้อม เนื่องจากสามารถทำได้สะดวก มีค่าใช้จ่ายน้อย และจากรายงานวิจัยต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และปริมาณโปรตีนก็น่าจะมีความเกี่ยวข้องกับค่า GI เช่นกัน

โดยผลจากการศึกษานี้ พบว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ประเมินอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อ GI ทางอ้อมของข้าวได้ สำหรับการประเมินโดยใช้น้ำหนักแห้งจากแบบจำลองจะใช้สมการ $y = 0.0022x + 59.099$ แต่หากใช้ผลผลิตจากแบบจำลองจะใช้สมการ $y = 0.0050x + 59.212$ ซึ่งเป็นสมการที่ทำนายได้ ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการนำเอาค่า GI ที่วิเคราะห์ได้จากห้องปฏิบัติการมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินและผลผลิตที่ทำนายได้จากแบบจำลอง ภายหลังจากได้สมการชุดดังกล่าวนี้แล้ว ก่อให้เกิดคำถามว่าหากจะนำเอาสมการชุดนี้ไปทำนายค่า GI จากการปลูกข้าวอื่น ๆ จะสามารถทำนายได้หรือไม่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทดสอบสมมติฐาน โดยอาศัยหลักการจากสมการทำนายคือ หากน้ำหนักแห้งหรือผลผลิตเปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 1 กก. จะทำให้ข้าวมีค่า GI เปลี่ยนไปเท่ากับ 0.0022 และ 0.0050 หน่วยตามลำดับ และจากสมการชี้ให้เห็นว่าค่า GI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งและผลผลิต ผู้วิจัยจึงนำเอาสมการชุดดังกล่าวไปประเมินโดยใช้ดัชนีน้ำตาลจากค่าอ้างอิงของข้าวกข43 (GI = 57.5) และข้าวไรซ์เบอร์รี่ (GI =62.0) จากกรมการข้าวเป็นฐานในการคำนวณ พบว่าสมการสามารถทำนายค่า GI ได้ค่าอยู่ระหว่าง 57.5 – 59.3 และ 62.0 - 64.9 ตามลำดับ และหากใช้ผลผลิตในการทำนายจะได้ค่าอยู่ระหว่าง 57.5 – 59.4 และ 62.0 - 64.3 ตามลำดับ จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าทั้งค่าทำนายน้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดินและผลผลิตจากแบบจำลองสามารถมาใช้ทำนายค่า GI ของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้อย่างแม่นยำ มีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.0 – 8.0% ซึ่งนับว่าแบบจำลองทำนายได้ดีเนื่องจากค่า GI ที่ทำนายได้จากชุดสมการดังกล่าวยังจัดอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งค่า GI จะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (Low glycemic) จะมีระดับน้ำตาลอยู่ที่ ≤ 55 2) ค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง (Medium glycemic) จะมีระดับน้ำตาลอยู่ระหว่าง 56-69 และ 3) ค่าดัชนีน้ำตาลสูง (High glycemic) จะมีค่าระดับน้ำตาล ≥ 70 (สุนันทา วงศ์ปิยชน และคณะ. 2558)

จากผลการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ประเมินอิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษระทางสรีรวิทยา ผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของข้าวได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ประเมินค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อมได้ โดยไม่ไปปลูกทดสอบจริงซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดงบประมาณและทรัพยากรลงได้ ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองสามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยด้านพันธุกรรม สภาพแวดล้อม และการจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เพื่อดูการตอบสนองด้านการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิต ของข้าวได้ และแม้ว่าค่าดัชนีน้ำตาลที่ทำนายได้จะมีความคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อย แต่ก็น่าจะบอกเป็นแนวโน้มได้ว่าการปลูกข้าวในสภาพต่างๆ จะมีแนวโน้มส่งผลต่อค่าดัชนีน้ำตาลอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาส่วนที่ 1 อิทธิพลของแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนต่อลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบทางเคมี ผลผลิต และค่าดัชนีน้ำตาลของข้าว สรุปได้ว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบ พื้นที่ใบเฉพาะ อัตราการเจริญเติบโต จำนวนหน่อต่อกอ น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน จำนวนรวงต่อกอ ผลผลิต ปริมาณอะไมโลเพกติน การดูดใช้ไนโตรเจน ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน อัตราส่วนการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน และค่าดัชนีสูงกว่าพันธุ์กข43 ส่วนข้าวพันธุ์กข43 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ปริมาณอะไมโลส เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ข้าวที่ได้รับการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีมีค่าดัชนีพื้นที่ใบ อัตราการเจริญเติบโต จำนวนหน่อต่อกอ น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ผลผลิต และการดูดใช้ไนโตรเจน สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ดพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยปอเทืองร่วมกับปุ๋ยเคมีให้ค่าสูงกว่ากรรมวิธีการอื่น ๆ และข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกันสำหรับ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์อะไมโลเพกติน เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ด

การศึกษาส่วนที่ 2 การประเมินอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อระยะพัฒนาการ ลักษณะทางสรีรวิทยา และผลผลิตของข้าว โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice สรุปได้ว่าแบบจำลองสามารถประเมินอายุวันกำเนิดช่อรวง วันออกดอก และวันสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวได้ดีมากในทุกกรรมวิธี แบบจำลองสามารถประเมินค่าดัชนีพื้นที่ใบ พื้นที่ใบเฉพาะ น้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน ดัชนีเก็บเกี่ยว และผลผลิต ของข้าวทั้งสองพันธุ์ได้ดีถึงดีมากในทุกกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย แต่สำหรับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด พบว่าแบบจำลองทำนายได้ดีเฉพาะพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่

การศึกษาส่วนที่ 3 การทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อม โดยใช้แบบจำลอง CSM-CERES-Rice สรุปได้ว่า น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและผลผลิตจากแบบจำลองสามารถนำมาใช้ทำนายค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวทางอ้อมได้ โดยสมการทำนายที่ดีที่สุด คือ $y = 0.0022x + 59.099$ และ $y = 0.0050x + 59.212$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าหากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่างชนิดกันทำให้ข้าวมีแนวโน้มของการเจริญเติบโต ผลผลิต ค่าดัชนีน้ำตาล และองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน สำหรับการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลควรปลูกมากกว่า 1 ฤดู และมีตัวอย่างการทำซ้ำที่มากกว่า 2 ซ้ำ เพื่อลดความแปรปรวนของค่าวิเคราะห์ และการนำแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำแบบจำลองมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยประเมินค่าดัชนีน้ำตาลทางอ้อมได้โดยประเมินได้จากน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และผลผลิต อย่างไรก็ตามค่าดัชนีน้ำตาลที่ได้เป็นค่าดัชนีน้ำตาลโดยประมาณ แต่ก็น่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์เพื่อการศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2560ก. **องค์ความรู้เรื่องข้าว ข้าวกข43**. [Online]. Available: https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=27 สืบค้นเมื่อ 14 มิถุนายน 2563.

กรมการข้าว. 2560ข. **องค์ความรู้เรื่องข้าว ข้าวไรซ์เบอรี่**. [Online]. Available: https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=15 สืบค้นเมื่อ 14 มิถุนายน 2563.

กิตติพงศ์ ก่อการ สิรวิชญ์ จำปาเงิน และนิตยา ผกามาศ. 2563. “ผลของการใส่ปุ๋ยพืชสดปอเทืองในอัตราไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1”. **วารสารแก่นเกษตร**. 48(1) : 541-546.

จำเป็น อ่อนทอง และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2565. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. สงขลา : คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชิษณุชา บุดดาบุญ อรรถชัย จินตะเวช และเกอร์ริต ฮูเกนบูม. 2554. “การปรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโดยใช้ GENCALC และ GLUE”. หน้า 219-226. **การประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7**. คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ชุติวัฒน์ วรรณสาย. 2547. **การจัดการธาตุอาหารหลักในนาข้าว**. พิษณุโลก : ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2.

นันท์นพิน ปันธิ ศันสนีย์ จำจด ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์ และต่อนภา ผุสดี. 2565. “ผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณสารโพรลีน ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต คุณภาพเมล็ด และการแสดงออกของยีนในข้าวหอมพันธุ์พื้นเมืองไทย”. **วารสารเกษตร** 38(2) : 265–277.

พรเพ็ญ สมจิตร์. 2555. “ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตและการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

พรเพ็ญ สมจิตร์ และนิตยา ผกามาศ. 2555. “ความสัมพันธ์ระหว่าอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะต่าง ๆ และผลผลิตในข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง”. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**. 29(3) : 51-57.

ภาสินี สืบสวน. 2562. “อิทธิพลของชนิดและช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวและความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินที่ใช้ปลูกข้าว.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 4 สานักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. 2553. **รำข้าวสีดำคือแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ**. [Online]. Available: http://www.dna.kps.ku.ac.th/index.php/article-rice-rsc-rgdu/82-riceberry-rice สืบค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2563.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. ม.ป.ป. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). **ข้าวดัชนีน้ำตาลต่ำ ดัชนีน้ำตาล คืออะไร ?**. [Online]. Available: http://www. https://dna.kps.ku.ac.th/index.php/research-develop/rice-research-and-knowledge/300-low-glycemic-index-pinkaset-4 สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2566.

สมพร ดำยศ. 2556. “ผลของอัตราเมล็ดปอเทืองที่มีต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และปริมาณไนโตรเจนของข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ปลูกในดินนาชุดดินพัทลุง”. หน้า 214-221. **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51: สาขาพืช**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย. 2560. [Online]. Available: https://www.dmthai.org/index. php/knowledge/the-chart/the-chart-1/549-2018-02-08-14-52-46. สืบค้นเมื่อ 11 มิถุนายน 2563.

สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย. 2562. [Online]. Available:https://www.hfocus.org/content/2019/11/18031. สืบค้นเมื่อ 11 มิถุนายน 2563.

สโรชา โพธิ์ไพจิตร์ และนิตยา ผกามาศ. 2565. “ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยพืชสดปอเทืองในระยะแตกกอของข้าว.” **วารสารแก่นเกษตร**. (ฉบับพิเศษ 1): 457-462.

สิรวิชญ์ จำปาเงิน. 2565. “การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อประเมินผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวไม่ไวแสง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

สุนันทา วงศ์ปิยชน ศรีวัฒนา ทรงจิตสมบูรณ์ อังศุธรย์ วสุสัณห์ วัชรี สุขวิวัฒน์ ปราณี มรีนิล และกัญญา เชื้อพันธุ์. 2558. “ดัชนีน้ำตาลของข้าวไทย 8 พันธุ์”. **กระทรวงเกษตรและสหกรณ์**, กรมการข้าว. หน้า 27-41.

สุนีย์ สหัสโพธิ์ ริญ เจริญศรี และรัชนี คงคาฉุยฉาย. 2558. “ดัชนีน้ำตาลในข้าวเหนียวและข้าวเจ้าพันธุ์พืชเมือง โดยใช้วิธี การเลียนแบบการย่อยการดูดซึมน้ำตาลในหลอดทดลอง”. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**. 20(2) : 1-13.

Ahmad, S., Ahmad, A., Soler, C.M.T.H., Ali, H., Zia-Ul-Haq, M., Anotha, J., Hussain, A., Hoogenboom, G., and Hasanuzzaman, M. 2012. “Application of the CSM-CERES-Rice model for evaluation of plant density and nitrogen management of fine transplanted rice for an irrigated semiarid environment”. **Precision Agric**. 13 : 200–218.

AL-MSSALLEM, Q.M., FROST, S.G., HAMPTON, M.S., and BROWN, E.J. 2009. “Glycaemic and Insulinaemic Indices of Hassawi Rice (Oryza sativa L.) in Comparison with in vitro Carbohydrate Hydrolysis measurements” The 3 rd Saudi International Conference (SIC-09). Guildford, UK. 1-5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Amin, T. and Thakur, M.A. 2014. “Comparative study on proximate composition, phytochemical screening, antioxidant and antimicrobial activities of Linum usitatisimum L. (flaxseeds)”. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. 3 (4), 465–481.

Amin, T., Naik, H.R., Hussain, S.Z., Rather, A.H., Murtaza, I., and Dar, B.N. 2017. “Structural properties of high-protein, low glycemic index (GI) rice flour”. **International Journal of Food Properties**. 20(11), 2793–2804.

Anhar, A., Ramadhan, S., and Zainul, R. 2016. “Measurement of glycemic index of West Sumatera local rice genotypes for healthy food selection”. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**. 8(8) :1035-1040.

AOAC. 2006. “Chapter 17 AOAC official method 966”. In Official methods of analysis of AOAC international. Maryland.

Azarpour, E., Moraditochaee, M., and Bozorg, H.R. 2014. “Effect of nitrogen fertilizer management on growth analysis of rice cultivars”. **Int. J. Biosci.** 4(5) : 35-47.

Basso, B., Liu, L., and Rictchie, J.T. 2016. “A comprehensive review of the CERES-Wheat, -Maize and –Rice models’ performance”. **Advancces in Agronomy**. 136 : 27-132.

Bird, A.R., Lopez-Rubio, A., Shrestha, A.K., and Gidley, M.J. 2009. “Resistant Starch *in Vitro* and *in Vivo*: Factors Determining Yield, Structure, and Physiological Relevance”. **Elsevier ltd**. 449–510.

Bray, R.H., and Kurtz, L.T. 1945. “Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils”. **Soil science**. 59(1) : 39-46.

Bricker, A.A. 1989. **MSTAT-C User’s Guide**. MI : Michigan State University, East Lansing.

Buddhaboon, C., Jintrawet, A., and Hoogenboom, G. 2018. Methodology to estimate rice genetic coefficients for the CSM-CERES-Rice model using GENCALC and GLUE genetic coefficient estimators. **The Journal of Agricultural Science.** 156(4) : 482–492.

Chan, H.M.S., Miller, J.C. B., Holt, S.H.A., Wilson, D., Rozman, M., and Petocz, P. 2001. “The glycaemic index values of Vietnamese foods”. **European Journal of Clinical Nutrition**. 55 : 1076–1083.

Chandel, G., Premi, V., Kumar, V., Kaliyari, A., Shrivastava, P., Sahu, V.K., and Sahu, G. 2016. “*In Vitro* Identification of Low Glycemic Index (GI) White Rice using Nutriscan GI Analyzer”. **Advances in Life Sciences**. 5(23): 11090-11098.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chaturvedi, I. 2005. “Effect of nitrogen fertilizers on growth, yield and quality of hybrid rice (*Oryza sativa*)”. **Journal Central European Agriculture**. 6(4) : 611-618.

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 carly growth vigor”. In: Peng, S. and Hardy, B. (eds.). pp. 95-108. **Rice research for food security and poverty alleviation**. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

Dobermann, A.R. 2005. “Nitrogen use efficiency: State of the art”. **Agronomy and Horticulture-Faculty Publications**. Agronomy and Horticulture, of Nebraska – Lincoln University, Nebraska, Lincoln. 1-16.

Dusserre, J., Autfray, P., Rakotoarivelo, M., Rakotoson, T., and Raboin, L.M. 2020. “Effects of contrasted cropping systems on yield and N balance of upland rainfed rice in Madagascar: Inputs from the DSSAT model”. **Experimental Agriculture**. 1–16.

Frei, M., Siddhuraju, P. and Becker, K. 2003. “Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines”. **Food Chemistry**. 83(3) : 395-402

Goddard, M.S., Gloria, R.D., Young, M.T., and Marcus, R. 1984. “The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice”. **The American Journal of Clinical Nutrition**. 39 : 388-392.

Hasegawa, H., D. C. Bryant and Denison, R. F. 2000. “Testing CERES model predictions of cropgrowth and N dynamics, in cropping systems with leguminous green manures in a Mediterranean climate”. **Field Crops Research**. 67(3) : 239-255.

Holt, S.H.A., and Miller, J.B. 1995. “Increased insulin responses to ingested foods are associated with lessened satiety”. **Appetite**. 24 : 43–54.

Hoogenboom, G., Jones, J.W., Wilkens, P.W., Porter, C.H., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Boote, K.J., Singh, U., Uryasev, O., Bowen, W.T., Gijsman, A.J., Du-Toit, A.S., White, J.W., and Tsuji, G.Y. 2004. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. [CD-ROM]**. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Hoogenboom, G., Porter, C.H., Shelia, V., Boote, K.J., Singh, U., White, J.W., Pavan, W., Oliveira, F.A.A., Moreno-Cadena, L.P., Lizaso, J.I., Asseng, S., Pequeno, D.N.L., Kimball, B.A., Alderman, P.D., Thorp, K.R., Jones, M.R., Cuadra, S.V., Vianna, M.S., Villalobos, F.J., Ferreira, T.B., Batchelor, W.D., Koo, J., Hunt, L.A., and Jones, J.W.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2021. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.8 (DSSAT.net)**. USA : DSSAT Foundation, Gainesville, Florida.

Jackson, M.L. **Soil chemical analysis**. Prentice Hall of India Private Limited. New Delhi. 1973.

Jenkins, D.J.A, Wolever, T.M.S., aylor, T., Barker, R.H., Fielden, H., Baldwin, J.M., and Goff, D.V. 1981. "Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange". **The American Journal of Clinical Nutrition**. 34(3) : 362–366.

Jiang, D. Cao, W. Dai, T. and Jing, Q. 2003. "Activities of key enzymes for starch synthesis in relation to growth of superior and inferior grains on winter wheat (Triticum aestivum L.) spike". **Plant Growth Regul**. 41 : 247–257.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H.K., Boote, J., Batchelor, W.D.L., Hunt, A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., and Ritchie, J.T., 2003. "DSSAT Cropping System Model". **European Journal of Agronomy**. 18 : 235-265.

Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Sci**. Today 16 : 334-360.

Juliano, B.O., and Goddard, M.S. 1986. "Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice". **Qual Plant Plant Foods Hum Nutr**. 36 : 35-41.

Kakar, K., Nitta, Y., Asagi, N., Komatsuzaki, M., Shiotsu, F., Kokubo, T., and Xuan, T.D. 2019. "Morphological analysis on comparison of organic and chemical fertilizers on grain quality of rice at different planting densities". **Plant Production Science**. 22(4) : 510-518.

Kashiwagi, T. 2021. "Effects of rice grain protein QTL, TGP12, on grain composition, yield components, and eating quality with different nitrogen applications". **Field Crops Res**. 263, 108051.

Kaur, B., Ranawana, V., and Henry, J. 2016. "The glycemic index of Rice and rice products: A Review, and Table of GI Values". **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 56(2): 215–236.

Kropff, M.J., Cassman, K.G., Matthews, S., and Setter, T.L. 1994. Quantitative understanding of yield potential. In: Cassman, K.G. (eds.). pp. 21-38. **Breaking the yield barrier. International Rice Research Institute**, Los Banos, Philippines.

Kumar, A., Dash, G.K., Barik, M., Panda, P.A., Lal, M.K., Baig, M.J., and Swain, P. 2020. "Effect of Drought stress on Resistant starch content and Glycemic index of rice *(Oryza sativa L.)".* Research article. **Advanced science new**. 1-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kumar, A., Panda, D., Biswal, M., Dey, P., Behera, L., Baig, J.M., Nayak, L., Ngangkham, U., and Sharma, S. 2019. “Low Light Stress Influences Resistant Starch Content and Glycemic Index of Rice (*O. sativa* L)”. Research article. **Advanced science new.** 1-8.

LECO Corporation. 2016. “Operation” 1-56. In: **Trumac CNS/NS Carbon/Nitrogen/ Sulfur Determinators Instruction Manual**. U.S. : LECO Europe B.V.

Leesawatwong, M., Jamjod, S., Kuo, J., Dell, B., and Rerkasem, B. 2005. “Nitrogen fertilizer increases seed protein and milling quality of rice”. **Cereal Chemistry Journal**. 82(5) : 588–593.

Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. “Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper”. **Soil Science Society of America Journal**. 42 : 421-428.

Mae, T. 1997. “Physiological nitrogen efficiency in rice: Nitrogen utilization, photosynthesis, and yield potential”. **Plant and Soil**. 196 : 201-210.

Mahmud, A.J., Shamsuddoha, A.T.M., and Haque, M.d.N. 2016. “Effect of organic and inorganic fertilizer on the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.)”. **Nature and Science**. 14(2) : 45-54.

Meera K., Smita, M., Sundaramoorthy, H., and Sen, S. 2019. “Varietal influence on antioxidant properties and glycemic index of pigmented and non-pigmented rice”. **Journal of Cereal Science**. 87 : 202–208.

Miller, J.B., Pang, E., and Bramall, L. 1992. “Rice: a high or low glycemic index food?”. ***Am J Clin Nutr***. 56(6) : 1034–1036.

NASA Langley Research Center (LaRC). 2021. **The Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) project**. [Online]. Available https://power.larc.nasa.gov/ data-access-viewer/

Nattawut Suanphrom, Lampan Khurnpoon and Nittaya Phakamas. 2023. Small scale method for estimation of genetic coefficients of photoperiod-insensitive rice using generalized likelihood uncertainty estimation. **Agricul Ture and Natural Resources**. 57(2023) : 211-222.

Ning, H., Liu, Z., Wang, Q., Lin, Z., Chen, S., Li, G., and Ding, Y. 2009. “Effect of nitrogen fertilizer application on grain phytic acid and protein concentrations in japonica rice and its variations with genotypes”. **Journal of Cereal Science**. 50(1) : 49–55.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Osman, R., Zhu, Y., Ma, W. Zhang, D., Ding Z., Liu, L., and Cao W. 2020. "Comparison of wheat simulation models for impacts of extreme temperature stress on grain quality". **Agricultural and Forest Meteorology**. 288-289.

Osotspa, Y., A. Wongmaneeroj, and C. Hongprayun. **Fertilizer for Sustainable Agriculture**. 2nd ed. Bangkok: Kasetsart University Press. 2011.

Penning de Vries, F.W.T., Jansen, D.M., Ten Berge, H.F.M. and Bakema, A. 1989. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops**. Pudoc, P. O. Wageningen. Netherlands : Pudoc, P. O. Wageningen.

Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Teekachunhatean, S., Wangtueai, S., Seesuriyachan, P., Surawang, S., Laokuldilok, T., Regenstein, M.J., and Henry, J.C. 2017. Technological properties, in vitro starch digestibility and in vivo glycaemic index of bread containing crude malva nut gum. **International Journal of Food Science and Technology**. 1-7.

Raju, C.H.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.

Samonte, S.O.P., Wilson, L.T., Medley, J.C., Pinson, S.R.M., McClung, A.M., and Lales, J.S. 2006. "Nitrogen utilization efficiency". **Agronomy Journal**. 98(1) : 168-176.

Sharma, A.R., and Mittra, B.N. 1988. "Effect of green manuring and mineral fertilizer on growth and yield of crop in rice-based cropping on acid lateritic soil". **The Journal of Agricultural Science**. 110(3) : 605-608.

Shijie, S., Gaoyu, Z., Lina, L., Dandan, C., Juan, L., Cougui, C., and Yang, J. 2022. "Effects of Nitrogen Fertilizer on the Starch Structure, Protein Distribution, and Quality of Rice". ***ACS Food Sci***. 2 : 1347–1354.

Shrestha, S., Chapagain, R., and Babel, M.S. 2017. "Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint of rice in the Nam Oon Irrigation Project, Thailand". **Science of the Total Environment**. 599-600 : 689-699.

Singh, U., Timsina, J., and Godwin, D. 2002. Testing and application of CERES-rice and CERES-wheat models for rice-wheat cropping systems. **In *Proceeding of a workshop at CSIRO land and water***. griffith.17-32.

Slocum, R.D. 1991. Polyamine biosynthesis in plants. In: R.D. Slocum and H.E. Flores (eds.). Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants. CRC Press, Boca Raton. 23-40.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sopade, P.A. & Gidley, M.J. (2009). A rapid in-vitro digestibility assay based on glucometry for investigating kinetics of starch digestion. **Starch – Starke**. 61 : 245–255.

Stocking, C. R., and A. Ongum. 1962. "The intercellular distribution of some metallic element in leaves". **Amer. J. Bot**. 49: 284-289.

Suanphrom, N., Khurnpoon, L. and Phakamas, N. 2023. "Small scale method for estimation of genetic coefficients of photoperiodinsensitive rice using generalized likelihood uncertainty estimation." **Agriculture and Natural Resources**. 57 : 211-222.

Tamura, M., Okazaki, Y., Kumagai, C., and Ogawa, Y. 2017. "The importance of an oral digestion step in evaluating simulated in vitro digestibility of starch from cooked rice grain". **Food Research International**. 94 : 6–12.

Tayefe, M., Gerayzade, A., Amiri, E., and Zade, A.N. 2014. "Effect of nitrogen on rice yield, yield components and quality parameters". **African Journal of Biotechnology**. 13(1) : 91-105.

Teh, C.Y., N.A. Shaharuddin, C.L. Ho and M. Mahmood. 2016. "Exogenous proline significantly affects the plant growth and nitrogen assimilation enzymes activities in rice (Oryza sativa) under salt stress". **Acta Physiologiae Plantarum.** 38 : 151.

Timsina, J., Pathak, H., Humphreys, E., Godwin, D., Singh, B., Shukla, A.K., and Singh, U. 2004. Evaluation of and yield gap analysis in rice using, CERES Rice ver. 4.0 in northwest India. **New directions for a diverse planet: Proceedings of the 4th International Crop Science**. Congress, Brisbane, Australia. 26 Sep - 1 Oct 2004.

Trout, D.L., Behall, K.M., and Osilesi, O. 1993. "Prediction of glycemic index for starchy foods". ***Am J Clin Nutr***. 58(6) : 873–878.

Tumanian, N., Kumejko, T., Chizhikova, S., Papulova, E., and Garkusha, S. 2020. Impact of nitrogen fertilizers on protein and amylose content in grain of rice varieties grown in different agrolandscapes of Krasnodar region. In: D. Rudoy and S. Ignateva, (eds.). 1-9. **Interagromash 2020**. E3S Web of Conferences. 175. February 26-28, 2020. Rostovon-Don, Russia.

Vilayvong, S., Banterng, P., Patanothai, A., and Pannangpetch, K. 2012. "Evaluation of CSM-CERESRice in simulating the response of lowland rice cultivars to nitrogen application". **Australian journal of crop science**. 6(11) : 1534-1541.

Watanabe, I., and K. Tensho. 1970. "Further study on iodine toxicity in relation to Reclamation Akagare disease of lowland rice". **Soil Sci. Plant Nuts**. 16: 192-194.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wolever, T.M.S. 2013. “Is glycemic index (GI) a valid measure of carbohydrate quality”. **European Journal of Clinical Nutrition**. 67(5) : 522–531.

Yoshida, S. 1981. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Philippines : International Rice Research Institute.

Yoshida, s. 1983. Potential productivity of crops under different environments. Rice In: Smith, W.H. and Banta, S.J. (eds.). **International Rice Research Institute**. Los Banos, Philippines. 103-127.

Zhu, L.J., Liu, Q.Q., Wilson, J.D., Gu, M.H., and Shi, Y.C. 2011. “Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa L.)* flours and starches differing in amylose content”. ***Carbohydrate Polymers***. 86(4) : 1751-1759.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

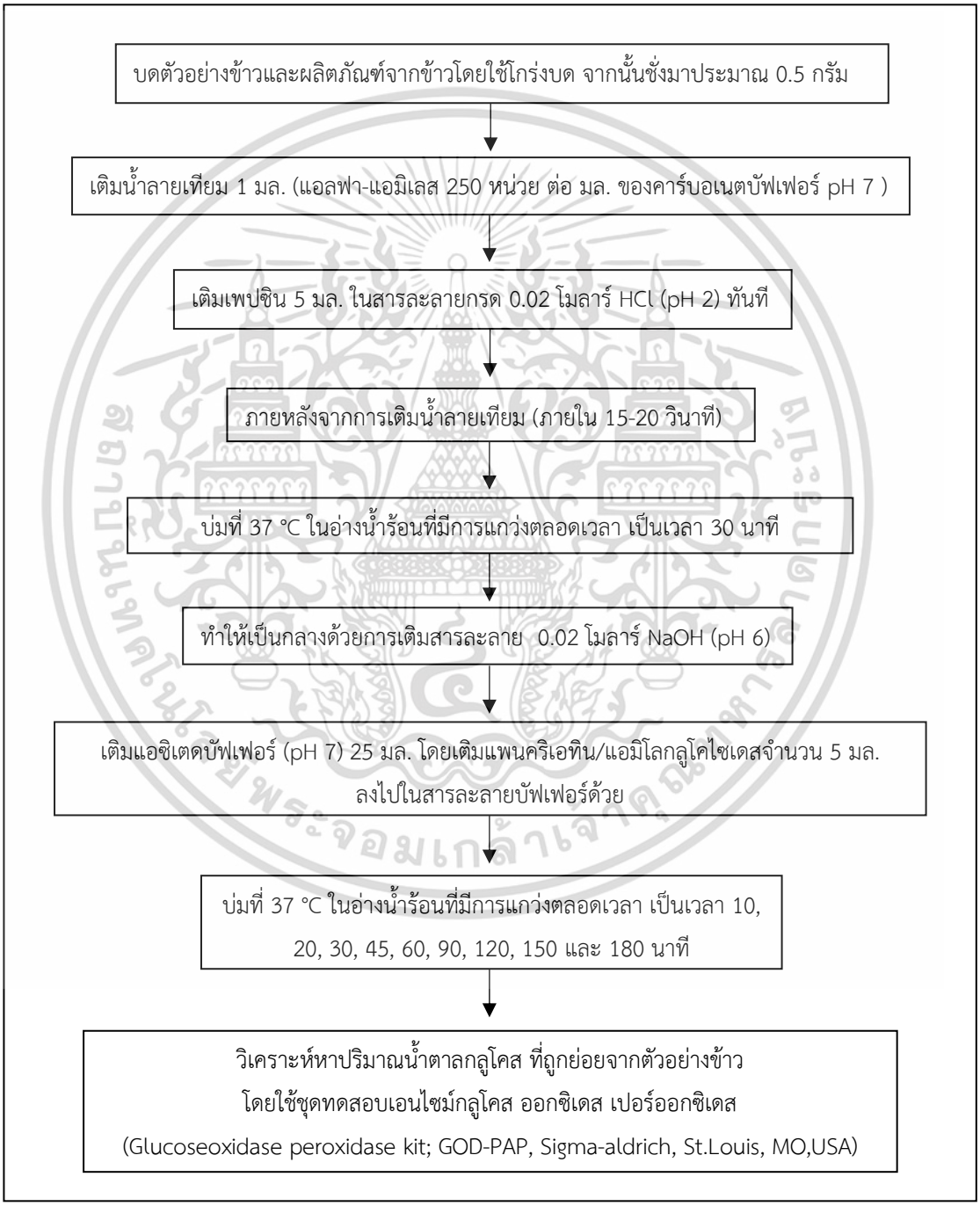
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 วิธีการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาล (Phimolsiripol, Y. et.al. 2017)

วิธีการวิเคราะห์ค่าดัชนีน้ำตาลในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี "*In vitro* rapidly available glucose (RAG) and slowly available glucose (SAG)"

สำหรับการหาค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวในหลอดทดลองโดยดัดแปลงจากวิธีของ Sopade & Gidley (2009) and Mahasukhonthachat et al. (2010)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (Juliano. 1971)

บดเมล็ดข้าวเพื่อนาตัวอย่างมาวิเคราะห์ จำนวน 0.1 กรัม เติมสารละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มล. แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มล. เขย่า 10 นาที แล้วปริมาตรให้เป็น 100 มล. แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าอะไมโลสต่อไป หลังจากได้ตัวอย่างสารละลายแล้ว ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้การเตรียวตัวอย่างข้างต้น ปริมาตร 5 มล. ใส่ขวดปรับปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่น 70 มล. เขย่าให้เข้ากัน ปิเปตสารละลายอะซิติดเข้มข้น 1 โมลาร์ 1 มล. ปิเปตสารละลายไอโอดีน 2 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มล. เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที นำไปวัดความเข้มสีของสารละลายโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาปริมาณอะไมโลสโดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบผลิตกับผลผลิตของข้าวกข43 และไรซ์เบอร์รี่

	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r)					
	LAI	SLA	CGR	HI	Biomass	1,000 Grain weight
กข43						
SLA	0.49^{ns}					
CGR	0.98*	0.51^{ns}				
HI	0.98*	0.46^{ns}	1.00**			
Baiomass	0.96*	0.42^{ns}	0.99*	1.00**		
1,000 Grain weight	0.86^{ns}	0.36^{ns}	0.93^{ns}	0.95^{ns}	0.97*	
Yield	0.98*	0.48^{ns}	1.00**	1.00**	0.99*	0.93^{ns}
ไรซ์เบอร์รี่						
SLA	0.98*					
CGR	0.95*	0.89^{ns}				
HI	0.96*	0.89^{ns}	0.96*			
Baiomass	0.97*	0.90^{ns}	0.98*	1.00**		
1,000 Grain weight	0.94^{ns}	0.97*	0.79^{ns}	0.85^{ns}	0.85^{ns}	
Yield	0.96*	0.89^{ns}	0.96*	1.00**	1.00**	0.86^{ns}

n = 4, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * = P≤0.01 และ ** = P≤0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยา องค์ประกอบผลิตกับผลผลิตของแต่ละชนิดปุ๋ย

	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r)					
	LAI	SLA	CGR	HI	Biomass	1,000 Grain weight
ไม่ใส่ปุ๋ย						
SLA	0.98*					
CGR	0.97*	0.92^{ns}				
HI	0.48^{ns}	0.57^{ns}	0.36^{ns}			
Baiomass	1.00**	0.98*	0.98*	0.41^{ns}		
1,000 Grain weight	0.42^{ns}	0.53^{ns}	0.25^{ns}	0.19^{ns}	0.44^{ns}	
Yield	0.97*	0.99**	0.90^{ns}	0.65^{ns}	0.95*	0.51^{ns}
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)						
SLA	0.96*					
CGR	0.67^{ns}	0.52^{ns}				
HI	-0.07^{ns}	0.16^{ns}	-0.15^{ns}			
Baiomass	0.95^{ns}	0.94^{ns}	0.75^{ns}	0.19^{ns}		
1,000 Grain weight	-0.50^{ns}	-0.24^{ns}	-0.66^{ns}	0.84^{ns}	-0.32^{ns}	
Yield	0.72^{ns}	0.84^{ns}	0.48^{ns}	0.63^{ns}	0.88^{ns}	0.16^{ns}
ปุ๋ยปอเทือง						
SLA	0.93^{ns}					
CGR	0.56^{ns}	0.73^{ns}				
HI	0.03^{ns}	0.36^{ns}	0.77^{ns}			
Baiomass	0.98*	0.90^{ns}	0.65^{ns}	0.08^{ns}		
1,000 Grain weight	-0.98*	-0.95^{ns}	-0.51^{ns}	-0.05^{ns}	-0.94^{ns}	
Yield	0.63^{ns}	0.84^{ns}	0.94^{ns}	0.79^{ns}	0.66^{ns}	-0.63^{ns}
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)						
SLA	0.98*					
CGR	0.77^{ns}	0.66^{ns}				
HI	0.61^{ns}	0.47^{ns}	0.74^{ns}			
Baiomass	0.86^{ns}	0.75^{ns}	0.93^{ns}	0.89^{ns}		
1,000 Grain weight	-0.97*	-0.98*	-0.73^{ns}	-0.41^{ns}	-0.75^{ns}	
Yield	0.80^{ns}	0.68^{ns}	0.86^{ns}	0.96*	0.98*	-0.65^{ns}

n = 4, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * = P≤0.01 และ ** = P≤0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับผลผลิตของข้าวกข43 และไรซ์เบอร์รี่

	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r)				
	Amylopectin	Amylose	Biomass	GI	Protein
กข43					
Amylose	-0.98*				
Biomass	-1.00**	0.98*			
GI	-0.49^{ns}	0.34^{ns}	0.47^{ns}		
Protein	-0.86^{ns}	0.93^{ns}	0.87^{ns}	-0.01^{ns}	
Yield	-0.98*	0.98*	0.99*	0.43^{ns}	0.89^{ns}
ไรซ์เบอร์รี่					
Amylose	-0.34^{ns}				
Biomass	0.02^{ns}	-0.95^{ns}			
GI	-0.32^{ns}	-0.78^{ns}	0.94^{ns}		
Protein	0.17^{ns}	-0.97*	0.97*	0.89^{ns}	
Yield	-0.03^{ns}	-0.93^{ns}	1.00**	0.94^{ns}	0.95^{ns}

n = 4, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * = P≤0.01 และ ** = P≤0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับผลผลิตของแต่ละชนิดปุ๋ย

	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r)				
	Amylopectin	Amylose	Biomass	GI	Protein
ไม่ใส่ปุ๋ย					
Amylose	-0.56^{ns}				
Biomass	1.00**	-0.56^{ns}			
GI	1.00**	-0.56^{ns}	1.00**		
Protein	0.86^{ns}	-0.77^{ns}	0.85^{ns}	0.86^{ns}	
Yield	0.95*	-0.27^{ns}	0.95*	0.95*	0.70^{ns}
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)					
Amylose	-1.00**				
Biomass	0.94^{ns}	-0.94^{ns}			
GI	0.97*	-0.97*	0.92^{ns}		
Protein	-0.95^{ns}	0.95^{ns}	-1.00**	-0.91^{ns}	
Yield	0.83^{ns}	-0.83^{ns}	0.88^{ns}	0.93^{ns}	-0.85^{ns}
ปุ๋ยปอเทือง					
Amylose	-1.00**				
Biomass	0.92^{ns}	-0.92^{ns}			
GI	0.82^{ns}	-0.82^{ns}	0.53^{ns}		
Protein	0.35^{ns}	-0.35^{ns}	0.68^{ns}	0.25^{ns}	
Yield	0.54^{ns}	-0.54^{ns}	0.66^{ns}	0.12^{ns}	0.60^{ns}
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)					
Amylose	-1.00**				
Biomass	0.97*	-0.97*			
GI	0.82^{ns}	-0.83^{ns}	0.94^{ns}		
Protein	-0.97^{ns}	0.97*	-1.00**	-0.94^{ns}	
Yield	0.93^{ns}	-0.93^{ns}	0.98*	0.95*	-0.97*

n = 4, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * = P≤0.01 และ ** = P≤0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน การดูดใช้ไนโตรเจน และประสิทธิภาพใช้ไนโตรเจนกับผลผลิต ของข้าวกข43 และไรซ์เบอร์รี่

	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r)		
	NTR	NUE	N-uptake
ข้าวกข43			
NUE	-0.98*		
N-uptake	-0.99**	0.95^{ns}	
Yield	-0.97*	0.97*	0.95^{ns}
ข้าวไรซ์เบอร์รี่			
NUE	0.62^{ns}		
N-uptake	1.00**	0.59^{ns}	
Yield	0.42^{ns}	0.97*	0.39^{ns}

RMSEn = Normalized root mean square error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน การดูดใช้ไนโตรเจน และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนกับผลผลิต ของข้าวแต่ละชนิดปุ๋ย

	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r)		
	NTR	NUE	N-uptake
ไม่ใส่ปุ๋ย			
NUE	-		
N-uptake	0.46^{ns}	-	
Yield	0.01^{ns}	-	0.84^{ns}
ปุ๋ยเคมี (46-0-0)			
NUE	0.88^{ns}		
N-uptake	0.42^{ns}	0.17^{ns}	
Yield	0.87^{ns}	0.87^{ns}	0.62^{ns}
ปุ๋ยปอเทือง			
NUE	0.99*		
N-uptake	0.82^{ns}	0.83^{ns}	
Yield	0.57^{ns}	0.45^{ns}	0.12^{ns}
ปุ๋ยปอเทือง + ปุ๋ยเคมี (46-0-0)			
NUE	0.84^{ns}		
N-uptake	0.08^{ns}	0.59^{ns}	
Yield	0.86^{ns}	0.99**	0.57^{ns}

n = 4, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * = P≤0.01 และ ** = P≤0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 9 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายของวันกำเนิดช่อรวง (Panicle initiation day) วันออกดอก (Anthesis date) วันสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity date)

พันธุ์ข้าว	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	วันกำเนิดช่อรวง (Panicle initiation day)			
กข43	45	45	0	0.0
ไรซ์เบอร์รี่	45	46	+ 1	2.2
	วันออกดอก (Anthesis date)			
กข43	75	76	+ 1	1.33
ไรซ์เบอร์รี่	75	77	+ 2	2.7
	วันสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity date)			
กข43	93	93	0	0.0
ไรซ์เบอร์รี่	125	121	- 4	3.2

RMSEn = Normalized root mean square error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 10 ความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายของดัชนีเก็บเกี่ยว น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และผลผลิต

พันธุ์ข้าว	ค่าสังเกต (O)	ค่าทำนาย (S)	ผลต่าง (S-O)	RMSEn (%)
	ดัชนีเก็บเกี่ยว			
กข43	0.41	0.36	- 0.05	12.7
ไรซ์เบอร์รี่	0.42	0.43	+ 1	2.4
	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน			
กข43	6880	7949	- 1069	15.5
ไรซ์เบอร์รี่	8980	10921	+ 1941	21.6
	ผลผลิต			
กข43	4740	3858	+ 882	16.6
ไรซ์เบอร์รี่	2868	2897	+ 29	1.0

RMSEn = Normalized root mean square error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลดิน

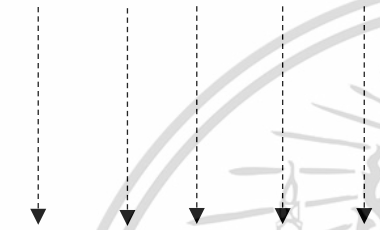
```
*SOILS: General DSSAT Soil Input File

================================================================================================================
*KMITL21001  KMITL           C      15  SAROCHA KMITL
@SITE        COUNTRY          LAT     LONG SCS FAMILY
 Generic     Generic         13.73  100.78 Generic
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
    BL   .09     6    .6    87     1     1 IB001 IB001 IB001
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
    15     A   .08   .23  .359     1   .06   1.5  2.19  64.4  30.6     5   .19   3.9   -99   -99   -99
    30     A   .08   .23  .359     1   .06   1.5  2.19  64.4  30.6     5   .19   3.9   -99   -99   -99
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศ

```
WEATHER  DATA :KMITL
@ INSI      LAT     LONG  ELEV   TAV   AMP REFHT WNDHT
 -99.0   13.731  100.785   8.0  24.9   5.2   2.0   2.0
@DATE  SRAD  TMAX  TMIN  RAIN
21001  19.7  27.2  16.3   0.0
21002  20.1  28.2  16.8   0.0
21003  20.3  30.9  18.4   0.0
21004  19.4  31.0  20.0   0.0
21005  15.6  31.8  21.0   0.0
21006  19.2  32.8  22.3   0.0
21007  19.9  32.7  22.1   0.0
21008  19.4  31.9  22.5   0.0
21009  20.4  29.6  19.0   0.0
21010  21.0  29.8  18.2   0.0
```



```
21361  18.7  31.2  23.4   0.2
21362  19.7  30.2  20.6   0.0
21363  16.8  31.2  21.4   0.0
21364  15.1  30.3  22.3   0.0
21365  18.2  29.5  21.0   0.0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าว

```
*RICE GENOTYPE COEFFICIENTS: RICER040 MODEL

@VAR#  VAR-NAME........ EXPNO   ECO#    P1   P2R    P5   P2O    G1    G2    G3    G4 PHINT    G5
!                                      1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
TR0006 RD43                . IB0001 493.3 157.5 153.7  12.0  50.5 .0150  0.70   1.0  83.0   1.0
TR0007 RICEBERRY           . IB0001 531.0  63.8 707.6  12.8  68.3 .0240  0.70   1.0  83.0   1.0
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 14 ไฟล์ข้อมูลการจัดการ (File X)

```
*EXP.DETAILS: SPIR2101RI RICE LKB

*GENERAL
@PEOPLE
Phophaijit S
@ADDRESS
LKB, Thailand
@SITE
LKB, Thailand
@ PAREA  PRNO  PLEN  PLDR  PLSP  PLAY HAREA  HRNO  HLEN  HARM.........
    -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99

*TREATMENTS                        -------------FACTOR LEVELS------------
@N R O C TNAME..................... CU FL SA IC MP MI MF MR MC MT ME MH SM
 1 1 1 0 RDxcontrol                 1  1  0  1  1  1  0  0  0  0  0  0  1
 2 1 1 0 RDxurea                    1  1  0  1  1  1  1  0  0  0  0  0  1
 3 1 1 0 RDxsunnhemp                1  1  0  1  1  1  0  1  0  0  0  0  2
 4 1 1 0 RDxsunnhemp+urea           1  1  0  1  1  1  2  2  0  0  0  0  2
 5 1 1 0 RBxcontrol                 2  1  0  1  1  1  0  0  0  0  0  0  1
 6 1 1 0 RBxurea                    2  1  0  1  1  1  1  0  0  0  0  0  1
 7 1 1 0 RBxsunnhemp                2  1  0  1  1  1  0  1  0  0  0  0  2
 8 1 1 0 RBxsunnhemp+urea           2  1  0  1  1  1  2  2  0  0  0  0  2

*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
 1 RI TR0012 RD4325
 2 RI TR0014 RICEBERRY25

*FIELDS
@L ID_FIELD WSTA....  FLSA  FLOB  FLDT  FLDD  FLDS  FLST SLTX  SLDP  ID_SOIL    FLNAME
 1 LKBT2021 KMIT       -99   -99   -99   -99   -99   -99 C      -99  KMITL21001 LKB, TH
@L ............XCRD ............YCRD .....ELEV .............AREA .SLEN .FLWR .SLAS FLHST FHDUR
 1             -99            -99         -99                -99   -99   -99   -99   -99   -99

*SOIL ANALYSIS
@A SADAT  SMHB  SMPX  SMKE  SANAME
 1 21331   -99   -99   -99  -99
@A  SABL  SADM  SAOC  SANI SAPHW SAPHB  SAPX  SAKE  SASC
 1    15   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99

*INITIAL CONDITIONS
@C   PCR ICDAT  ICRT  ICND  ICRN  ICRE  ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIP ICRID ICNAME
 1    RI 21001   500   -99     1     1     1   500   .19  9.05   100    15 15-30 cm
@C  ICBL  SH2O  SNH4  SNO3
 1    15   .23   2.2    20
 1    30   .23   2.2    20

*PLANTING DETAILS
@P PDATE EDATE  PPOP  PPOE  PLME  PLDS  PLRS  PLRD  PLDP  PLWT  PAGE  PENV  PLPH  SPRL  PLNAME
 1 21332   -99    10   -99     N     H    30   -99     1   -99   -99   -99   -99   -99    -99

*IRRIGATION AND WATER MANAGEMENT
@I  EFIR  IDEP  ITHR  IEPT  IOFF  IAME  IAMT IRNAME
 1    .8    30    50   100 GS000 IR001    10 -99
@I IDATE  IROP IRVAL
 1 21332 IR010    15
 1 21338 IR010    15
 1 21343 IR010    50
 1 21351 IR009    50
 1 21361 IR003   100
 1 22005 IR003   100
 1 22013 IR003   100
 1 22020 IR003   100
 1 22027 IR003   100
 1 22034 IR008     5
 1 22042 IR010     0

*FERTILIZERS (INORGANIC)
@F FDATE  FMCD  FACD  FDEP  FAMN  FAMP  FAMK  FAMC  FAMO  FOCD FERNAME
 1 21347 FE005 AP016     1   136   -99   -99   -99   -99   -99 272 kg
 1 22020 FE005 AP012     1   136   -99   -99   -99   -99   -99 272 kg
 2 21347 FE005 AP016     1    68   -99   -99   -99   -99   -99 136 kg
 2 22020 FE005 AP012     1    68   -99   -99   -99   -99   -99 136 kg

*RESIDUES AND ORGANIC FERTILIZER
@R RDATE  RCOD  RAMT  RESN  RESP  RESK  RINP  RDEP  RMET RENAME
 1 21319 RE002  2921  4.28   -99   -99   100    15   -99 2921 kg
 2 21319 RE002  1460  4.28   -99   -99   100    15   -99 1460 kg

*SIMULATION CONTROLS
@N GENERAL     NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME..................... SMODEL
 1 GE              1     1     S 21331  2150 Urea
@N OPTIONS     WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES  CHEM  TILL   CO2
 1 OP              Y     Y     N     N     N     N     N     N     M
@N METHODS     WTHER 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     R     R     R     M
@N OUTPUTS     FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT VBOSE CHOUT OPOUT FMOPT
```

เอกสารนี้เป็นการที่ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 1 OU              N     Y     Y     1     Y     N     Y     Y     N     N     Y     N     N     A

@  AUTOMATIC MANAGEMENT
@N PLANTING    PFRST PLAST PH2OL PH2OU PH2OD PSTMX PSTMN
 1 PL          21001 21001    40   100    30    40    10
@N IRRIGATION  IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
 1 IR             30    50   100 IB001 IR001    10    .5
@N NITROGEN    NMDEP NMTHR NAMNT NCODE NAOFF
 1 NI             30    50    25 IB001 IB001
@N RESIDUES    RIPCN RTIME RIDEP
 1 RE            100     1    20
@N HARVEST     HFRST HLAST HPCNP HPCNR
 1 HA              0 02001   100     0

@N GENERAL     NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME..................... SMODEL
 2 GE              1     1     S 21317  2150 Sunnhemp
@N OPTIONS     WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES  CHEM  TILL   CO2
 2 OP              Y     Y     N     N     N     N     N     N     M
@N METHODS     WTHER INCON LIGHT EVAPO INFIL PHOTO HYDRO NSWIT MESOM MESEV MESOL
 2 ME              M     M     E     R     S     C     R     1     G     S     2
@N MANAGEMENT  PLANT IRRIG FERTI RESID HARVS
 2 MA              R     R     R     R     M
@N OUTPUTS     FNAME OVVEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT VBOSE CHOUT OPOUT FMOPT
 2 OU              N     Y     Y     1     Y     N     Y     Y     N     N     Y     N     N     A

@  AUTOMATIC MANAGEMENT
@N PLANTING    PFRST PLAST PH2OL PH2OU PH2OD PSTMX PSTMN
 2 PL          21001 21001    40   100    30    40    10
@N IRRIGATION  IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
 2 IR             30    50   100 IB001 IR001    10    .5
@N NITROGEN    NMDEP NMTHR NAMNT NCODE NAOFF
 2 NI             30    50    25 IB001 IB001
@N RESIDUES    RIPCN RTIME RIDEP
 2 RE            100     1    20
@N HARVEST     HFRST HLAST HPCNP HPCNR
 2 HA              0 02001   100     0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 15 ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File T)

*EXP. DATA (T): SPIR2101RI My Rice experiment Time-course (T) data

@TRNO	DATE	LAID	SLAD	CWAD	T#AD	HIAD	GWAD	SP#P	GN%D	LN%D	SN%D	NUPC
1	21332	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1	22005	0.81	353.1	390	53	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1	22012	1.00	251.3	1190	60	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1	22042	1.14	257.0	1520	63	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1	22045	1.35	266.7	1770	63	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
1	22057	0.25	32.3	2970	65	0.24	799	6.5	1.28	0.66	0.76	16.98
2	21332	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
2	22005	0.96	326.0	450	70	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
2	22012	1.36	282.7	1360	73	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
2	22036	1.00	172.2	2060	98	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
2	22042	1.89	237.4	2710	88	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
2	22060	0.56	37.7	6880	98	0.41	2868	9.5	1.98	1.46	1.29	83.13
3	21332	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
3	22005	1.10	299.0	580	83	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
3	22016	1.66	252.2	1740	90	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
3	22045	1.10	198.9	2400	98	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
3	22047	2.11	262.6	2920	83	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
3	22062	0.47	41.2	6680	85	0.37	2529	7.3	1.61	1.03	1.00	60.54
4	21332	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
4	22005	1.00	332.7	530	73	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
4	22016	1.68	223.3	1860	93	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
4	22047	0.97	182.7	2520	90	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
4	22049	2.12	248.9	3130	85	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
4	22062	0.46	30.0	6640	90	0.36	2430	7.0	1.93	1.27	1.23	70.63
5	21332	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
5	22005	0.69	389.1	340	60	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
5	22012	2.66	539.6	1890	75	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
5	22042	1.51	294.1	2540	80	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
5	22055	0.80	118.4	3170	80	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
5	22092	0.61	63.0	4760	78	0.25	1233	7.25	1.35	1.16	1.49	41.75
6	21332	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
6	22005	1.00	288.5	650	93	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
6	22012	2.13	175.2	2780	153	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
6	22042	1.33	131.5	3950	150	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
6	22055	1.99	156.3	5090	138	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
6	22092	1.18	62.5	8980	168	0.42	3800	17.00	1.78	1.61	1.01	102.7
7	21332	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
7	22005	1.18	444.3	430	85	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
7	22017	2.23	254.6	2250	100	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
7	22047	1.57	160.7	3440	105	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
7	22055	1.88	171.9	4300	93	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
7	22097	0.88	52.5	7620	135	0.38	2901	12.25	1.67	1.64	1.32	85.04
8	21332	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
8	22005	0.88	347.0	510	100	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
8	22017	1.89	188.9	2900	125	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
8	22042	1.55	123.3	4380	120	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
8	22055	1.97	171.3	5380	145	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
8	22097	1.06	49.8	8890	160	0.43	3936	16.00	1.69	1.57	0.98	101.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

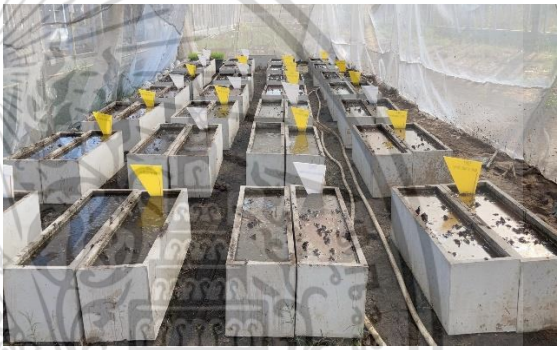
ตารางผนวกที่ 16 ไฟล์ข้อมูลงานทดลอง (File A)

```
*EXP. DATA (A): Rice LKBRI My Rice experiment Average perfomance (A) data

@TRNO    IDAT  ADAT  MDAT  CWAM  HWAM  GN%M  HIAM  T#AM
     1 22012 22042 22057  2907   779  1.28  0.24    65
     2 22012 22042 22060  6880  2868  1.98  0.41    98
     3 22016 22047 22062  6680  2529  1.61  0.37    85
     4 22016 22047 22062  6640  2430  1.93  0.36    90
     5 22012 22042 22092  4760  1233  1.35  0.33    78
     6 22012 22042 22092  8980  3800  1.78  0.63   163
     7 22017 22047 22097  7620  2901  1.67  0.55   135
     8 22017 22042 22097  8890  3936  1.69  0.62   160
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

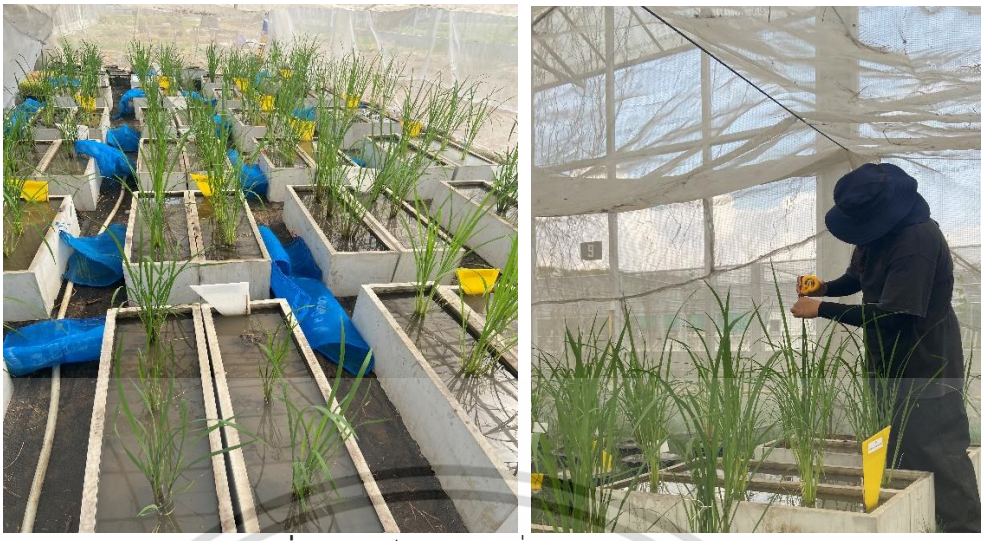
ภาพผนวกที่ 1 การเตรียมปอเทือง (การปลูก - เก็บเกี่ยว)



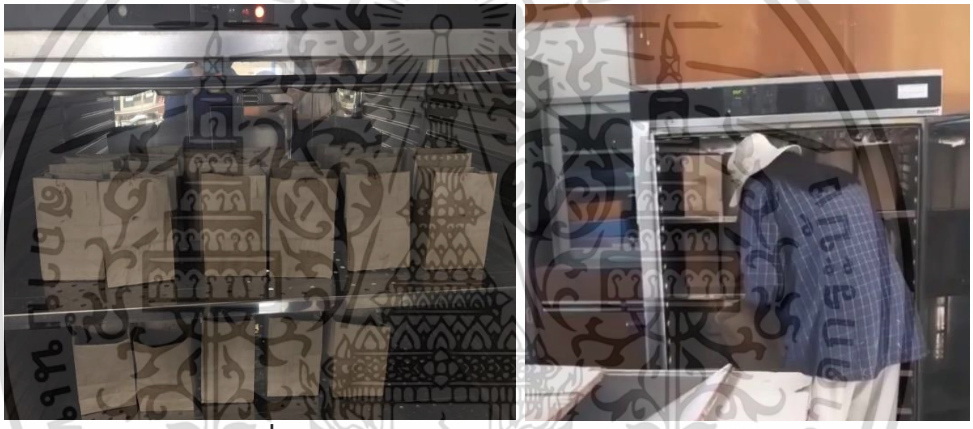
ภาพผนวกที่ 2 การเตรียมดิน และหมักปอเทืองก่อนปลูกข้าว

ภาพผนวกที่ 3 การปลูก และการดูแลรักษา

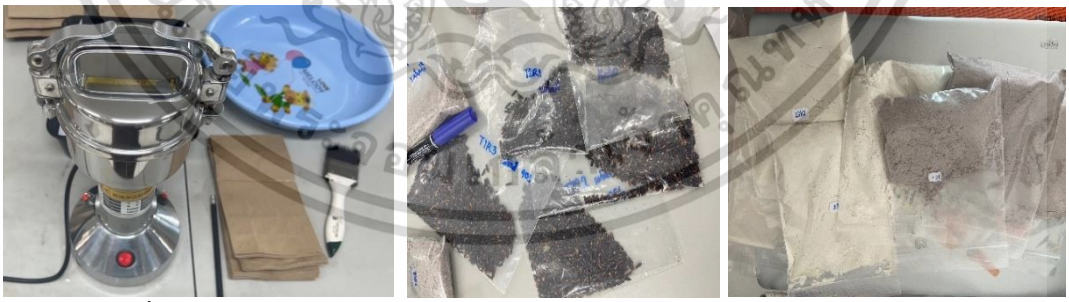
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 4 การเก็บตัวอย่างที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ



ภาพผนวกที่ 5 การอบตัวอย่างโดยตู้อบลมร้อน (Hot air oven)



ภาพผนวกที่ 6 การเตรียมตัวอย่างพืชก่อนวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน และองค์ประกอบทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 7 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล : นางสาวสโรชา โพธิ์ไพจิตร์

วัน เดือน ปีเกิด : 15 พฤศจิกายน 2540

ที่อยู่ปัจจุบัน : 85 ม.8 ตำบลเดิมบาง อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี

ประวัติการศึกษา : พ.ศ. 2558-2562 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชไร่ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2.85

: พ.ศ. 2562-2566 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชไร่ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 3.64

ทุนการศึกษาที่ได้รับ

1. ทุนโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 รหัสโครงการ 2564-02-04-015
2. ทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี พ.ศ. 2563 รหัสโครงการ KREF016303

งานตีพิมพ์

1. **Phopaijit, S.**, Suraphonphinit, A. and Phakamas, N. 2022. Effects of chicken manure and chemical fertilizer on growth and yield of Japonica rice. International Journal of Agricultural Technology. 18(1) : 293-310.
2. **สโรชา โพธิ์ไพจิตร์** และ นิตยา ผกามาศ. 2565. ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยพืชสดปอเทืองในระยะแตกกอของข้าว. วารสารแก่นเกษตร. ฉบับพิเศษ 1(2022): 457-462.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้