ประสิทธิภาพปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (CRF) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

เครือวัลย์ จันทร์เพ็ญ

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ประสิทธิภาพปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (CRF) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

เครือวัลย์ จันทร์เพ็ญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ประสิทธิภาพปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (CRF) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

เครือวัลย์ จันทร์เพ็ญ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีราภรณ์ อินทสาร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิกา กอนแสง)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ประสิทธิภาพปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (CRF) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

ชื่อผู้เขียน นางสาวเครือวัลย์ จันทร์เพ็ญ

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีราภรณ์ อินทสาร

บทคัดย่อ

การใส่ปุ๋ยในนาข้าวส่วนมากเน้นการใส่ปุ๋ยเคมีเป็นหลักโดยนิยมใส่ปุ๋ยเคมีอย่างน้อย 2 ครั้งต่อฤดูเพาะปลูกและใช้ในปริมาณมากอาจเกิดการสูญเสียธาตุอาหารโดยกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ในดิน ทำให้ข้าวได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ มีรายงานการผลิตและใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (CRF) ที่มีการเคลือบเม็ดปุ๋ยด้วยไบโอโพลิเมอร์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืชได้อย่างต่อเนื่องโดยการใส่เพียงครั้งเดียว แต่ยังขาดข้อมูลการใช้ในการผลิตข้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพปุ๋ย CRF ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว มีการออกแบบการทดลองเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในกระถาง สภาพน้ำขัง มีจำนวนทั้งหมด 8 กรรมวิธี ได้แก่ ไม่มีการใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมีแบบไม่เคลือบตามอัตราแนะนำ (50 กิโลกรัม/ไร่) แบ่งใส่ 2 ครั้งเท่า ๆ กัน ที่ระยะแตกกอ และระยะสร้างช่อดอก ใส่ปุ๋ย CRF1 (เคลือบเฉพาะปุ๋ยยูเรีย) และปุ๋ย CRF2 (เคลือบปุ๋ยทั้งหมด) ครั้งเดียวตอนรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 50, 37.5 และ 25 กิโลกรัม/ไร่ ผลการทดลองพบว่า ที่ระยะแตกกอ การใส่ปุ๋ย CRF ทั้งสองสูตร อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ต้นข้าวมีความสูงและจำนวนหน่อต่อกอมากที่สุด ในระยะออกดอกพบความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยมีผลต่อค่า SPAD และจำนวนหน่อต่อกอ การใส่ปุ๋ย CRF1 อัตรา 50 และ 37.5 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดสูงที่สุด (50.7 และ 48.8 กรัม/กระถาง) ขณะที่การใส่ปุ๋ย CRF2 ทุกกรรมวิธี และการใส่ CRF1 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามอัตราแนะนำที่แบ่งใส่ 2 ครั้ง จากผลการทดลองของการทดลองที่ 1 จึงได้นำมาศึกษาต่อในระดับแปลงในการทดลองที่ 2 โดยปลูกแบบนาดำเพื่อประเมินประสิทธิภาพปุ๋ย CRF ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ กข41 กรรมวิธีในการทดลอง 3 กรรมวิธี ได้แก่ ใส่ปุ๋ยเคมีไม่เคลือบอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้งเท่า ๆ กัน ใส่ปุ๋ย CRF ครั้งเดียวรองพื้นก่อนปลูกอัตรา 50 และ 37.5 กิโลกรัม/ไร่ ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ย CRF อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ได้ผลผลิตมากกว่าการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบในอัตราเดียวกัน 19 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และ 29 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวพันธุ์กข41 นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ย CRF 37.5 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการลดอัตราปุ๋ยไม่ทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวลดลง ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการจัดการปุ๋ยในนาข้าวให้มีประสิทธิภาพ

และลดการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวได้

คำสำคัญ : ข้าว ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (CRF)

Title Efficiency of Controlled-Release Fertilizer (CRF) on Growth and Yield of Rice

Author Miss Kruawan Janpen

Degree Master of Science in Soil Science

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Jiraporn Inthasan

ABSTRACT

Fertilizer application in the rice fields was mainly comprised of chemical fertilizer at excessive rate at least twice per cropping season. Such practice may cause nutrient loss through chemical reaction in the soil leading paddies to be affected by nutrient deficiency. Several researchs have shown that controlled-release fertilizers (CRF), with biopolymer-coated fertilizer granules, enhance fertilizer use efficiency. They can be applied once to provide continuous nutrient distribution throughout growing season. However, there is a lack of information on its application in rice cultivation. This experiment was established to evaluate the efficiency of CRF on growth and yield of paddy crop. This research included two experiments: The first experiment was a pot trial using Pathum Thani 1 rice variety which was planted under water-logged condition. The eight treatments applied include no fertilizer application, twice application of chemical fertilizer at the recommended rate (50 kg/rai) split evenly at tillering and panicle initiation stage, one-time application as basal fertilizer of CRF1 (only urea granules are coated) and CRF2 (all nutrient granules are coated) at 50, 37.5 and 25 kg/rai. The results showed that the applications of both CRF1 and CRF2 at 50 kg/rai produced the highest plant height and number of tillers per plant at tillering stage. At flowering, there were significant differences in SPAD value and number of tillers per plant while there was no effect on plant height. In addition, CRF1 application at 50 and 37.5 kg/rai produced the largest grain yield (50.7 and 48.8 g/pot, respectively). In contrast, grain yields of rice receiving both rate of CRF2 and 25 kg/rai of CRF1 exhibited no significantly difference when compared to twice applied-fertilizer at recommended rate. Based on the results from the first experiment, the second experiment was set up in field trial to evaluate the effects of CRF on growth and yield in two rice varieties, Pathum Thani 1 and RD41. The three treatments included twice application of uncoated fertilizer at 50 kg/rai (split evenly at tillering and panicle initiation),

one-time application as basal fertilizer of CRF at 50 and 37.5 kg/rai. The result showed that both rice varieties produced higher yields when applied 50 kg/rai of CRF compared to application of uncoated fertilizer at the same rate (19 percent in Pathum Thani 1 and 29 percent in RD41, respectively). Moreover, the application of CRF at 37.5 kg/rai showed no significant difference in yield of both rice varieties when compared with the application of uncoated fertilizer at 50 kg/rai. It could be concluded that the reduction of fertilizer application rates did not affect growth and yield in rice. The information from this research could be used as a guideline for more efficient fertilizer management in the paddy crop.

Keywords : rice chemical fertilizers controlled-released fertilizer (CRF)

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีราภรณ์ อินทสาร อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิกา กอนแสง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญนภา จักรสมศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยช่วยเหลือและชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย (คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ที่ให้คำแนะนำช่วยให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากรประจำสาขาปฐพีศาสตร์ที่ให้คำแนะนำ รวมทั้งให้การช่วยเหลือตลอดช่วงระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณบริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ้วส จำกัด ที่ให้ทุนการศึกษา สนับสนุนเรื่องค่าใช้จ่าย อุปกรณ์ เครื่องมือ ที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณกำนัน สุเทพ บุญแจ้ง กำนัน ต.ปากจั่น อ.นครหลวง จ.พระนครศรีอยุธยา ที่สนับสนุนพื้นที่ทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและคอยให้กำลังใจในการศึกษาในครั้งนี้ตลอดมาตลอดจนพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อภาคเกษตรของประเทศไทยต่อไป

เครือวัลย์ จันทร์เพ็ญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่1 บทนำ 1

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 4

2.1 ลักษณะของดินนาข้าว 4

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว 5

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ 5

2.4 ระยะการเจริญเติบโตและการพัฒนาของต้นข้าว 6

2.5 การปลูกข้าวนาดำ (transplanting or indirect seeding method) 8

2.6 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (PTT1) 9

2.7 ข้าวพันธุ์ กข 41 (RD41) 10

2.8 ปุ๋ยและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อข้าว 10

2.9 การสูญเสียปุ๋ยและธาตุอาหารในดิน 11

2.10 ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (control release fertilizer) 12

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 22

3.1 พื้นที่ที่ทำการศึกษา 22

3.2 การเตรียมปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง 22
3.3 การทดลองที่ 1 ผลของชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในกระถาง 23
3.4 การทดลองที่ 2 ผลของปุ๋ยยูเรียควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว 27
3.5 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบข้าว 32
3.6 การประเมินคุณภาพการขัดสีข้าว 33
3.7 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ธาตุเหล็ก และสังกะสี ในเมล็ดข้าว 34
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 34
บทที่ 4 ผลการวิจัย 35
4.1 การทดลองที่ 1 ผลของชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในกระถาง 35
4.1.1 การเจริญเติบโตของข้าว 35
4.1.2 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าว 39
4.2 การทดลองที่ 2 ผลของปุ๋ยยูเรียควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในแปลงปลูก 42
4.2.1 การเจริญเติบโตของข้าวในแปลงปลูก 42
4.2.2 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวในแปลงปลูก 47
4.2.3 คุณภาพการขัดสีของเมล็ดข้าวในแปลงปลูก 48
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ธาตุเหล็ก และสังกะสี ในเมล็ดข้าว 49
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง 55
การทดลองที่ 1 ผลของชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในกระถาง 55
การทดลองที่ 2 ผลของปุ๋ยยูเรียควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในแปลงปลูก 57

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย 60

บรรณานุกรม..... 61

ประวัติผู้วิจัย..... 77

สารบัญตาราง

หน้า

Table 1 Soil properties before the experiment..... 22

Table 2 Details of fertilizer application treatments in this research..... 24

Table 3 Details of fertilizer application treatments in this research..... 28

Table 4 Effects of different CRF treatments on plant height, tillers per hill and SPAD value in YEB of PTT1 at tillering stage..... 36

Table 5 Effects of different CRF treatments on plant height, tillers per hill and SPAD value in YEB of PTT1 at flowering stage..... 37

Table 6 Total nitrogen, total phosphorus and Total potassium in YEB at tillering stage and in flag leaf at flowering of rice var. PTT1..... 38

Table 7 Effects of CRF on yield and yield component of rice var. PTT1..... 40

Table 8 Correlation between yield and N-P-K analysis in YEB at tillering stage and in flag leaf at flowering of rice var. PTT1..... 41

Table 9 Correlation between yield and yield component of rice var. PTT1..... 41

Table 10 Plant height, tillers per hill and SPAD value of rice var. PTT1 at tillering and flowering..... 44

Table 11 Plant height, tillers per hill and SPAD value of rice var. RD41 at tillering and flowering..... 45

Table 12 Result of N-P-K analysis of flag leaf of PTT1..... 46

Table 13 Result of N-P-K analysis flag leaf of RD41..... 47

Table 14 Effects of CRF on yield and yield component of rice var. PTT1..... 49

Table 15 Effects of CRF on yield and yield component of rice var. RD41..... 50

Table 16 Correlation between yield and N-P-K analysis flag leaf of PTT1..... 50

Table 17 Correlation between yield and N-P-K analysis flag leaf of RD41..... 51

Table 18 Correlation between yield and yield component of rice var. PTT1. 51

Table 19 Correlation between yield and yield component of rice var. RD41. 52

Table 20 Milling quality of rice var. PTT1 supplied with uncoated or CRF fertilizer. ... 52

Table 21 Milling quality of rice var. RD41 supplied with uncoated or CRF fertilizer. ... 53

Table 22 Protein, zinc (Zn) and iron (Fe) concentrations in grain of rice var. PTT1 supplied with uncoated of CRF fertilizer. 53

Table 23 Protein, zinc (Zn) and iron (Fe) concentrations in grain of rice var. RD41 supplied with uncoated of CRF fertilizer. 54

สารบัญภาพ

หน้า

Figure 1 The physical appearance of fertilizer used in the study (A) uncoated fertilizer (B) CRF1, only urea granules are coated (C) CRF2, all granules are coated 23

Figure 2 Randomized complete block design (RCBD) trial 24

Figure 3 Measuring of rice plant height 25

Figure 4 Counting tiller number per plant of rice 25

Figure 5 Measuring SPAD value on YEB of the rice plant 26

Figure 6 Collecting flag leaves at flowering stage 26

Figure 7 Collecting panicles of rice 27

Figure 8 Plot trial of experiment 2 28

Figure 9 Transplanting seedling with 20x20 centimeters spacing 29

Figure 10 Crop cutting at harvest and evaluating yield and yield components of rice 30

Figure 11 Evaluating filled grain of rice panicles 31

Figure 12 Collecting flag leaves of rice at harvest 32

บทที่1
บทนำ

ประชากรในโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะในเอเชีย แอฟริกา อเมริกาใต้ และออสเตรเลีย (Yoshida, 1981; Mohammad, 1999) ดังนั้นการผลิตข้าวที่เป็นพืชอาหารหลักของประชากรโลกให้เพียงพอต่อจำนวนประชากร ที่ยังคงมีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่องจึงต้องใช้ปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ยในปริมาณมากขึ้นเพื่อเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มขึ้น ซึ่งข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 60.28 ล้านไร่ ผลผลิตรวม 25.52 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ย 445 กิโลกรัม/ไร่ (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2563) ในการผลิตข้าวของเกษตรกรไทยส่วนใหญ่เน้นการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นหลัก เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย สะดวก ปลดปล่อยธาตุอาหารเร็ว และเก็บรักษาได้ง่าย (จีระเดช, 2538) ปุ๋ยเคมีที่ใช้โดยทั่วไปในนาข้าว ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการระบุว่ามีการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตมากกว่าพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น โดยเกษตรกรยังคงให้ความสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าวต่อไร่ให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยเคมีที่มากขึ้นนั้นไม่ได้ทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มสูงขึ้นมากนัก (สถาบันวิจัยข้าว, 2547) เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ยังมีการใช้ปุ๋ยเคมีที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืชและใส่มากเกินความจำเป็น ส่งผลให้ปุ๋ยส่วนใหญ่สูญเสียไปอย่างเปล่าประโยชน์ เสียสมดุลระหว่างธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ และทำให้ต้นทุนการผลิตข้าวเพิ่มสูงขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548) การที่ข้าวจะได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การที่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบต่าง ๆ ในดินได้ง่าย ปุ๋ยโพแทสเซียมที่มักสูญเสียไปกับการชะล้างจากปริมาณน้ำที่มากและไม่ได้รับการชดเชยอย่างเหมาะสม และการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนไปกับการชะล้างและการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) หรือการระเหยของแอมโมเนียมจากปุ๋ย (สาคร, 2530) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพืชจะสามารถนำปุ๋ยไนโตรเจนไปใช้ได้เพียงร้อยละ 50 เท่านั้น (Liu et al., 2007)

ปัจจุบันมีการผลิตปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยหรือปุ๋ยละลายช้าซึ่งเป็นปุ๋ยเคมีที่บรรจุอยู่ในสารเคลือบพอลิเมอร์ชนิดพิเศษ สารเคลือบชนิดนี้ออกแบบมาให้ปุ๋ยที่บรรจุอยู่ภายในค่อย ๆ ละลายปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานานพอเหมาะกับความต้องการของพืชทำให้พืชได้อาหารอย่างเพียงพอและต่อเนื่องตลอดช่วงอายุของพืช (Hong and Park, 2000; Kulkarni *et al*., 1999; Kumbar *et al*., 2001) ในปัจจุบันมีการพัฒนาปรับปรุงวัสดุเพื่อนำมาใช้ใน

การควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารในอุตสาหกรรมหลายชนิด ซึ่งสารกำมะถันได้ถูกนำไปใช้สำหรับการเคลือบเม็ดปุ๋ยยูเรีย แต่ข้อเสียคือมีความเปราะแตกหักง่าย จึงมีงานที่พัฒนาต่อเนื่องมาหลากหลายไม่ว่าจะเป็น การใช้ไขมันมาเคลือบผิวอีกชั้นหนึ่งหลังจากที่เคลือบด้วยกำมะถันแล้วเพื่อลดอัตราการปลดปล่อย อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตยังคงมีราคาสูง อีกทั้งการใช้ไขมันทำให้เม็ดปุ๋ยเกาะติดกันง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งยากต่อการใช้งาน (Choi and Meisen, 1997; Goertz *et al*., 1993) มีรายงานการนำแป้ง เซลลูโลส ลิกนิน และไคโตซาน ซึ่งที่กล่าวมานี้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเป็นสารพอลิเมอร์สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการพอง (swelling property) อีกทั้งสามารถลดต้นทุนการผลิตได้และที่สำคัญ สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติอีกด้วย (Farag and Al-Afleq, 2002; Shogren *et al*., 2009; Zhang *et al*., 2007)

การพัฒนาปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยถูกนำมาใช้กับพืชท้องถิ่นและพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างแพร่หลายมากขึ้น เช่น งานศึกษาของ Wei et al., (2018) พบว่าการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยและรูปแบบการให้ปุ๋ยสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้น งานศึกษาของ Tang et al., (2007) พบว่าปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยสามารถช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินและพัฒนาระบบรากของต้นข้าว การศึกษาของนาวา และคณะ (2562) พบว่าการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยช่วยให้พืชตอบสนองด้านผลผลิตได้ดีขึ้นและให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีแบบธรรมดา ดังนั้นปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยที่เคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์ถือเป็นทางเลือกที่จะช่วยป้องกันการสูญเสียของธาตุอาหารในปุ๋ยเพื่อให้พืชได้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของพืชจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยนั้นถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้เกษตรกรได้เห็นถึงความสามารถที่ทำให้เกิดผลในการทำงานหรือประสิทธิภาพทางผลผลิตต่อหน่วยของวัตถุดิบที่ใช้ได้ดีขึ้น เนื่องจากธาตุอาหารในปุ๋ยเป็นองค์ประกอบที่เป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งซึ่งพืชดูดไปใช้แล้วก่อให้เกิดผลผลิต (ยงยุทธ, 2551)

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบปกติที่มักจะสูญเสียธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนไปมากอย่างไม่คุ้มค่า ซึ่งประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยของพืชที่คุ้มค่าและเหมาะสม นำไปสู่การเพิ่มการใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อเกษตรกรทั้งในด้านของการแข่งขันและด้านเศรษฐกิจที่จะช่วยลดปัญหาค่าใช้จ่ายได้อย่างแท้จริง

วัตถุประสงค์

1. ประเมินผลของชนิดและอัตราของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวในสภาพกระถาง
2. ประเมินผลของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวในสภาพแปลง

ขอบเขตการศึกษา

1. ตรวจสอบองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกในกระถางก้นตัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว สภาพมีน้ำขัง ใช้ดินเหนียวในพื้นที่ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลปากจั่น อำเภอนครหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. ตรวจสอบองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ กข 41 ที่ปลูกในแปลงขนาด 3 x 3 เมตร (9 ตารางเมตร) สภาพมีน้ำขัง แปลงอยู่ในพื้นที่ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลปากจั่น อำเภอนครหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลักดันภาคการเกษตรของประเทศไทยให้มีความเข้มแข็งทัดเทียมกับนานาประเทศ นักวิจัยได้พยายามพัฒนาปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยให้มีประสิทธิภาพดี ทั้งในด้านเศรษฐกิจที่จะช่วยลดปัญหาค่าใช้จ่ายของเกษตรกร ด้านผลผลิตที่จะได้ผลผลิตออกมาในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของตลาด และด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นสิ่งสำคัญและยังเป็นเรื่องท้าทายของนักวิจัยในปัจจุบันนี้ที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยนี้ไม่ให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีการตกค้างของสารเคมีในดิน เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำของดินสำหรับพื้นที่ที่ต้องเผชิญกับปัญหาความแห้งแล้ง และที่สำคัญคือ มีราคาที่ลดต่ำลงด้วย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยนี้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น ไบโอพอลิเมอร์ถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่ง ดังนั้นการนำปุ๋ยยูเรียมาเคลือบด้วยไบโอพอลิเมอร์หรือวัสดุธรรมชาติที่สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ เป็นการช่วยให้เกิดการใช้ปุ๋ยได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะของดินนาข้าว

พื้นที่เหมาะสมในการผลิตข้าวให้ได้ผลดีต้องมีระดับน้ำลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตร โดยระดับและความสม่ำเสมอของพื้นที่และชนิดของดินเป็นปัจจัยที่บ่งบอกความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกข้าว ข้าวสามารถปลูกได้ในสภาพดินทรายถึงดินเหนียว เนื่องจากสามารถเก็บรักษาน้ำได้นาน โดยข้าวจะมีการเจริญเติบโตได้ดีเมื่อดินมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5.5 - 6.5 ชนิดของดินนอกจากจะมีผลเกี่ยวข้องกับแหล่งอาหารพืชแล้ว ยังมีผลต่อการควบคุมระดับความชื้นหรือระดับน้ำในแปลงนาด้วย พื้นที่ลุ่มควรเลือกใช้ข้าวพันธุ์ที่ไวต่อแสงที่มีอายุหนัก (ระยะเวลาปลูกยาว) และตอบสนองต่อปุ๋ยต่ำ พื้นที่ดินที่เป็นที่ดอนและอาศัยน้ำฝนแต่เพียงอย่างเดียว ควรปลูกข้าวไวต่อแสงที่มีอายุเบา (ระยะเวลาปลูกสั้น) ระดับความสม่ำเสมอของพื้นที่ มีความสำคัญต่อการผลิตข้าวที่สัมพันธ์กับความชื้นและระดับน้ำในแปลง การระบายน้ำเข้าและออกในแปลง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและการป้องกันกำจัดวัชพืช การจัดผังการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตชลประทาน ทำให้เกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตได้ (วัชระ, 2542)

ข้าวจะเจริญเติบโตแข็งแรงและให้ผลผลิตสูงจำเป็นต้องจัดการให้ข้าวได้รับธาตุอาหารจากทั้งดินและปุ๋ยอย่างเพียงพอ แต่ดินนาข้าว เมื่อถูกน้ำขังจะเกิดการขาดออกซิเจนหรืออยู่ในสภาพรีดักชัน (Reduction) ซึ่งในสภาพนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งมีผลต่อความเป็นประโยชน์หรือการสูญเสียของธาตุอาหาร ความเข้าใจในกระบวนการและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในดินนาน้ำขังนี้ จะเป็นแนวทางในการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้ข้าวขาดธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุดเพื่อการสร้างผลผลิตอย่างยั่งยืน (กรมวิชาการเกษตร, 2547) โดยการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนจะเน้นไปที่การลดการสูญเสียหรือเพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจน (Nitrogen Recovery Efficiency) เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนในสภาพน้ำขังจะเกิดการสูญเสียได้ง่ายจากกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสูญเสียในรูปก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia Volatilization) และก๊าซไนโตรเจน (Denitrification) เป็นต้น ในขณะที่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม จะเกิดการสูญเสียได้ยากกว่า การจัดการธาตุอาหารจึงเน้นไปที่การรักษาปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินให้เพียงพอในระยะยาวโดยการใส่ปุ๋ยเท่าที่จำเป็นตามสภาพแวดล้อม

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกที่มีใบเลี้ยงเดี่ยว ข้าวที่ปลูกเป็นอาหารของมนุษย์มีอยู่ 2 ชนิด คือ *Oryza sativa* ปลูกมากในเอเชีย และ *Oryza glaberrima* ปลูกมากในแอฟริกาตะวันตก ข้าวทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกันที่ข้าวแอฟริกาไม่มีการแตกระแง้ที่สองจากระแง้แรกของรวงข้าว (คณาจารย์สาขาพืชไร่นา, 2542) ในปัจจุบันข้าวเอเชียได้รับความนิยม และมีผู้นำไปปลูกแทนข้าวแอฟริกามากขึ้น ข้าวเอเชียที่ปลูกกันในปัจจุบันแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ 1 อินดิคา (Indica) เมล็ดยาวเรียว ผลผลิตค่อนข้างต่ำ ตอบสนองต่อปุ๋ยน้อย สามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี ปลูกมากในเขตร้อนของทวีปเอเชีย เช่น ไทย ฟิลิปปินส์ กัมพูชา และอินเดีย ชนิดที่ 2 จาปอนิคา (Japonica) เมล็ดป้อมสั้น ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อปุ๋ยสูง ปลูกมากในเขตกึ่งร้อน หรืออบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และจีนตอนเหนือ และชนิดที่ 3 จาวานิคา (Javanica) เมล็ดค่อนข้างป้อมอ้วน ผลผลิตต่ำ ปลูกมากในประเทศอินโดนีเซีย และพม่า (บุญหงส์, 2549)

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก ระบบรากเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) ประกอบด้วยรากที่พัฒนามาจากส่วนแรดิเคิล (radicle) เรียกว่า primary root หรือ first seedling root และรากที่แตกแขนงออกมาเรียกว่า secondary root หรือ lateral root รากที่เกิดจาก scutellar node เรียกว่า seminal root ส่วนรากที่เกิดจากข้อใต้ดินตั้งแต่ coleoptilar node ขึ้นไป เรียกว่า adventitious root (รังสฤษฏ์ และคณะ, 2541)

ลำต้น (haulm หรือ culm) ประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) ข้อประกอบด้วย วงเจริญ (growth ring) ปุ่มกำเนิกราก (root primordia) ตา (bud) และรอยกาบใบ (leaf scar) ข้าวมีการแตกหน่อ (tillering) ลำต้นหลักเรียกว่า main culm หน่อที่เจริญจาก main culm เรียกว่า primary tiller หน่อที่เจริญจาก primary tiller เรียกว่า secondary tiller และหน่อที่เจริญจาก secondary tiller เรียกว่า tertiary tiller ตามลำดับ (รังสฤษฏ์ และคณะ, 2541)

ใบ เป็นใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วย กาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) บริเวณรอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบ (leaf collar) มีเยื่อกันน้ำหรือลิ้นใบ (ligule) หูใบหรือเขี้ยวใบ (auricle) ส่วนที่มีลักษณะคล้ายใบแต่ไม่มีเส้นกลางใบเป็นสัน 2 สัน พบระหว่างหน่อหรือแขนงที่ แตกจากลำต้นเรียกว่า prophyllum (รังสฤษฏ์ และคณะ, 2541)

ช่อดอกและดอก panicle ปล้องสุดท้ายของลำต้น (uppermost internode) เป็นก้านช่อดอก (peduncle) แกนกลางช่อดอกเรียกว่า rachis หรือ panicle axis กิ่งที่แตกจาก rachis เรียกว่า

primary branch และกิ่งที่แตกจาก primary branch เรียกว่า recondary branch ดอกข้าวเกิดเป็นกลุ่ม เรียกว่า spikelet ประกอบด้วย กลีบดอกที่หุ้ม spikelet 2 กลีบ ได้แก่ กลีบด้านนอก (outer glume) และกลีบด้านใน (innerglume) แต่มองเห็นไม่ชัด (rudimentary glume) ดอกประกอบด้วยดอกย่อย (floret) 3 ดอก มีดอกย่อยเพียงดอกเดียวที่มีการเจริญ เรียกว่า flowering glume ส่วนดอกย่อยที่ไม่เจริญเหลือเฉพาะส่วน lemma เรียกว่า sterile lemma หรือ non-flowering glume หรือ empty glume ดอกย่อยที่มีการเจริญประกอบด้วยกลีบดอกย่อยด้านนอก (lemma) ที่มีเส้นตามความยาว 5 เส้น และกลีบดอกย่อยด้านใน (palea) ที่มีเส้นตามความยาว 3 เส้น ดอกย่อยประกอบด้วย เกสรตัวผู้ (stamen) ที่มีก้านชูละอองเกสรตัวผู้ (filament) และอับละอองเกสรตัวผู้ (anther) ส่วนเกสรตัวเมีย (pistil) ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) ก้านชูเกสรตัวเมียสั้น (style) ปลายเกสรตัวเมีย (stigma) แยกเป็น 2 แฉก มีลักษณะคล้ายขนนกเรียกว่า plumose stigma และเยื่อรองรังไข่ (lodicule) อยู่ที่ส่วนฐานของรังไข่

ผลและเมล็ด ผลหรือเมล็ดเป็นแบบ caryopsis ประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล (pericarp) ติดอยู่กับส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (seedcoat หรือ testa) มีเปลือกหุ้มซึ่งเป็นส่วนของ lemma และ palea เรียกว่า hull ผลของข้าวที่เก็บเกี่ยวมาเรียกว่าข้าวเปลือก (hulled เมล็ด) เมื่อแกะส่วนของเปลือกหุ้มออก จะเห็นเยื่อหุ้มผล และเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีน้ำตาล เรียกว่าข้าวกล้อง (brown rice เมล็ด) เมื่อขัดส่วนของเยื่อหุ้มสีน้ำตาลออกจะเป็นข้าวสาร (kernel) ส่วนหัวของข้าวสารมีสีขาวขุ่น เรียกว่าจมูกข้าวหรือคัพภะ (embryo) ที่เหลือเป็นเอนโดสเปิร์ม (endosperm) คัพภะประกอบด้วยแรดิเคิล (radicle) พลูมูล (plumule) ใบเลี้ยงที่ไม่มีการพัฒนา (epiblast) และเนื้อเยื่อที่กั้นระหว่างคัพภะกับเอนโดสเปิร์ม (scutellum) บริเวณรอบนอกของเอนโดสเปิร์มมีชั้น aleurone layer และส่วนสีขาวขุ่นที่ด้านท้องของเมล็ดด้านเดียวกับคัพภะ เรียกว่าท้องปลาซิวหรือท้องไข่ (abdominal white)

2.4 ระยะการเจริญเติบโตและการพัฒนาของต้นข้าว

2.4.1 การเจริญเติบโตและพัฒนาทางลำต้น (vegetative growth and development) การเจริญเติบโตและพัฒนาทางลำต้นจะเริ่มตั้งแต่การงอกของเมล็ดจากคัพภะ (embryo) จนถึงระยะการให้กำเนิดช่อดอกหรือรวงอ่อน (initiation of panicle primordium) แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้ ระยะต้นกล้า (seeding stage) คือ ระยะตั้งแต่ข้าวเริ่มงอกจนถึงต้นข้าวอายุประมาณ 30 วัน ในระยะนี้เมื่อต้นข้าวเริ่มงอกจะมีรากแรกเกิด (seminal root or radicle) แทงออกมาเป็นรากชุดแรก และต่อมาภายหลังจะมีรากชุดที่สองเรียกว่า รากแขนง (lateral root) แตกออกมาจากข้อใต้ระดับดินของต้นข้าว เพื่อทดแทนรากชุดที่ 1 ที่จะสลายตัวในเวลาต่อมา ต้นข้าวในระยะกล้าจะพัฒนาใบขึ้นมา

จนถึงใบที่ 5 ในระยะแรกของต้นกล้าจะมีการใช้สารอาหารจากส่วนแป้ง (endosperm) ของเมล็ด ต่อมาเมื่อสารอาหารจากเมล็ดหมด ต้นกล้าจะดูดธาตุอาหารจากดินมาใช้ในการเจริญเติบโต ระยะแตกกอ (tillering stage) เป็นระยะที่ต้นข้าวเริ่มมีการแตกหน่อใหม่หน่อแรก (primary tiller) ออกมาจากตาข้างลำต้นที่อยู่ในซอกใบของใบที่สองของต้นหลัก (main culm) ที่นำไปปักดำ จนถึงระยะการแตกกอสูงสุด (maximum tillering stage) ของต้นข้าว โดยปกติหน่อแรกของต้นข้าวจะแตกออกมาภายหลังการปักดำประมาณ 10 วัน หรือเมื่อต้นข้าวที่นำไปปักดำเริ่มมีใบที่ 5 และต้นข้าวจะแตกกอสูงสุดเมื่อเริ่มให้กำเนิดช่อดอกหรือรวงอ่อน

2.4.2 การเจริญเติบโตและพัฒนาทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth and development) การเจริญเติบโตและพัฒนาการที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ของต้นข้าวจะเริ่มตั้งแต่ระยะให้กำเนิดช่อดอกหรือรวงอ่อนจะถึงระยะข้าวออกดอก (flowering stage) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 วันระยะกำเนิดช่อดอกหรือระยะสร้างรวงอ่อน (panicle intiation stage) คือระยะที่ต้นข้าวมีลักษณะลำต้นกลมอย่างเด่นชัดและที่ปลายสุดของลำต้นข้าวจะมีปุ่มของปุยขนขนาดเล็กเกิดขึ้น (1-2 mm.) โดยปกติการให้กำเนิดช่อดอกหรือรวงอ่อนจะใช้ระยะเวลาประมาณ 30 วัน ก่อนข้าวออกรวง ระยะตั้งท้อง (booting stage) คือระยะเวลาที่ต้นข้าวมีการพัฒนาจากการถือกำเนิดช่อดอกเป็นรวงอ่อนภายใต้กาบใบธงที่หุ้มไว้และต้นข้าวในระยะนี้จะมีการยืดปล้องอย่างเห็นได้ชัด พร้อมกับการนูนโปนขึ้นของกาบใบธง ระยะตั้งท้องจะอยู่ในช่วงเวลา 5-6 วัน ก่อนการออกรวง ระยะออกรวง (heading stage) คือระยะที่ช่อดอกหรือรวงข้าวโผล่พ้นออกมาจากกาบใบธง ซึ่งจะเกิดขึ้นในระยะเวลาประมาณ 30 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยวข้าว ในระยะนี้ต้นข้าวจะมีการยืด 30 ปล้องรองสุดท้ายจากปลายสุดของลำต้นอย่างสมบูรณ์ก่อน หลังจากนั้นปล้องสุดท้ายจะมีการยืดตัวอย่างรวดเร็วเพื่อดันให้รวงข้าวโผล่พ้นออกมาจากใบธง ระยะดอกบาน (flowering or anthesis stage) คือระยะเวลาการปิดและเปิดของดอกข้าว ซึ่งโดยปกติจะใช้ระยะเวลาประมาณ 1-2.5 ชั่วโมง ในระยะนี้ก่อนที่กลีบดอกใหญ่และกลีบดอกเล็ก (lemma and palea) จะเปิดอ้าออก อับเรณู (anther) จากภายในดอกจะแตกและละอองเรณูจะหลุดจากอับเรณู (pollen sac) ไปตกบนยอดเกสรตัวเมียและงอกเข้าไปผสมกับไข่ทำให้เกิดการผสมตัวเองภายในดอกเดียวกันขึ้นเป็นส่วนใหญ่ และเมื่อกลีบดอกทั้งสองอ้าออก ก้านเกสรตัวผู้ (filament) ก็จะยืดตัวออกให้อับเรณูโผล่พ้นออกมาจากกลีบดอก จึงทำให้ละอองเรณูบางส่วนฟุ้งกระจายไปตกลงบนยอดเกสรตัวเมียของดอกอื่นและเมื่อกลีบทั้งสองอ้าออก ก้านเกสรตัวผู้ (filament) ก็จะยืดตัวออกให้อับเรณูโผล่พ้นออกมาจากกลีบดอก จึงทำให้ละอองบางส่วนฟุ้งกระจายไปตกลงบนยอดเกสรตัวเมียของดอกอื่น ก่อให้เกิดการผสมข้าม (cross pollination) ได้บ้างไม่เกิน 5% ในธรรมชาติ การออกดอกและการผสมพันธุ์ของข้าวโดยปกติจะเกิดขึ้นในช่วง 1-3 วันหลัง

การออกรวงโดยดอกที่อยู่ส่วนปลายรวงจะเปิด/ปิด ก่อนรวงข้าวแต่ละรวงจะออกดอกครบสมบูรณ์ทุกดอกภายใน 7-10 วัน

2.4.3 การเจริญเติบโตและพัฒนาของเมล็ด (seed growth and development) การเจริญเติบโตและพัฒนาของเมล็ดได้แก่ระยะเวลาตั้งแต่ข้าวออกดอกและมีการผสมพันธุ์จนถึงช่วงเมล็ดสุกแก่เต็มที่พร้อมจะเก็บเกี่ยว ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 30 วัน ในช่วงนี้เมล็ดจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น สีเปลือกของเมล็ดจะเปลี่ยน จากสีเขียวเป็นสีฟางหรือน้ำตาลและในขณะเดียวกันใบข้าวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแห้งก่อนที่เมล็ดจะมีการสุกแก่เต็มที่นั้นได้มีระยะการพัฒนา 3 ระยะ ได้แก่ ระยะน้ำนม (milk stage) ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากออกดอกประมาณ 8-13 วัน เมล็ดในระยะแรกจะมีแป้งใสเหลว (watery) และต่อมาจะมีความเข้มข้นมากขึ้น เมื่อผ่านระยะน้ำนมไปแล้วจะมาถึงระยะที่เนื้อเมล็ด (dough stage) ในช่วงระยะเวลาประมาณ 14-25 วันหลังการออกดอก ในช่วงนี้น้ำในแป้งของเมล็ดจะค่อยๆระเหยไป ทำให้เมล็ดประกอบด้วยเนื้อแป้งเป็นส่วนใหญ่แต่ยังแข็งไม่เต็มที่ หลังจากนั้นในระยะต่อมาเมล็ดจะมีการพัฒนามาเป็นระยะสุกแก่ (maturity stage) ในช่วงระยะเวลา 25-35 วันหลังข้าวออกดอก เมล็ดในระยะนี้จะมีความแข็งใสพร้อมที่จะทำการเก็บเกี่ยวได้ (บุญหงส์ จงคิด, 2549)

2.5 การปลูกข้าวนาดำ (transplanting or indirect seeding method)

2.5.1 การเตรียมดินแปลงปลูกข้าวนาดำ ประกอบด้วยการไถดะ หมายถึงการไถครั้งแรกเมื่อดินมีความชื้นพอเหมาะ เพื่อพลิกกลับหน้าดินและทำลายวัชพืชแล้วตากดินทิ้งไว้ประมาณ 7 วันก่อนที่จะทำการไถแปรหรือไถครั้งที่ 2 และจะทำการคราด ก่อนการปักดำจะมีการทำเทือกและปล่อยให้น้ำขังในนาสูงจากระดับพื้นนาประมาณ 5-10 เซนติเมตร

2.5.2 การตกกล้า ปรับดินเทือกในระดับแปลงปลูกราบเรียบสำเสมอและเปียกชื้นอยู่ตลอดเวลา ขนาดระดับแปลงปลูกไม่ควรกว้าง แต่ควรให้แคบและยาว และทิศทางของความยาวระดับแปลงปลูกจะขนานไปกับทิศทางลม จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่สมบูรณ์ไปใส่ถุงผ้าดิบแช่น้ำนาน 12-24 ชั่วโมง แล้วนำเมล็ดพันธุ์ไปหุ้มโดยการเทเมล็ดกองแผ่ไว้บนพื้นเรียบและใช้ผ้าหรือกระสอบชุ่มน้ำคลุมไว้นาน 36-48 ชั่วโมง เพื่อให้เมล็ดงอก หลังจากนั้นนำเมล็ดที่งอกไปหว่านลงในระดับแปลงปลูกกล้าที่เตรียมไว้โดยใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ประมาณ 4 กิโลกรัม/แปลงปลูกกล้าขนาด 80 ตารางเมตร ซึ่งจะปลูกข้าวได้ในพื้นที่ 1 ไร่

2.5.3 การปักดำ เตรียมระดับแปลงปลูกปักดำโดยการทำเทือกและรักษาระดับน้ำให้สูง 5-10 เซนติเมตร แล้วทำการถอนกล้าที่มีอายุ 30 วันไปปักดำลงในระดับแปลงปลูก การปักดำควรใช้ระยะห่างระหว่างกอ 20x20 เซนติเมตร

2.5.4 การดูแลรักษา รักษาระดับน้ำในนาโดยในระยะแรกของการปักดำเมื่อข้าวยังไม่แตกใบใหม่ให้รักษาระดับน้ำให้สูงประมาณ 10 เซนติเมตร และหลังจากปักดำประมาณ 10-15 วัน เมื่อข้าวเริ่มแตกใบใหม่และรากใหม่ควรรักษาระดับน้ำให้สูงประมาณ 20-30 เซนติเมตร และควรใส่แอมโมเนียมฟอสเฟต (16-20-0) ในอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองควรใส่แอมโมเนียมฟอสเฟตในอัตรา 35 กิโลกรัม/ไร่

2.5.5 การเก็บเกี่ยวข้าว หลังจากข้าวออกดอกแล้วประมาณ 30 วัน เมล็ดข้าวที่รวงสุกเหลืองประมาณ 80% ซึ่งเรียกว่าในระยะพลับพลึง และมีปลายใบธงแห้งประมาณครึ่งหนึ่งของใบ ควรระบายน้ำออกจากนาก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 15 วัน (สถาบันวิจัยข้าว, 2539)

2.6 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (PTT1)

ข้าวหอมปทุม หรือ ข้าวหอมปทุมธานี 1 ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากคู่ผสม BKNA6-18-3-2 / PTT85061-86-3-2-1 และได้รับการขยายพันธุ์จนกลายเป็นข้าวสายพันธุ์หลักแล้ว กรมวิชาการเกษตรจึงได้พิจารณาให้เป็นพันธุ์รับรอง โดยให้ชื่อ “ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1” คุณสมบัติของข้าวหอมปทุม มีความนุ่มและมีกลิ่นหอมคล้ายข้าวหอมมะลิ โดยเฉพาะข้าวใหม่ช่วงต้นฤดูจะมีกลิ่นหอมมากเป็นพิเศษ สามารถปลูกได้ในท้องนาทั่วไป

2.6.1 ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 104-133 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 104-126 วัน ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวมีขน กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาว ทำมุม 45 องศา กับคอรวง รวงอยู่ใต้ใบธง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง มีขน มีหางเล็กน้อย ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 3-4 สัปดาห์ เมล็ดข้าวเปลือก ยาว x กว้าง x หนา = 10.5 x 2.4 x 1.9 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้อง ยาว x กว้าง x หนา เท่ากับ 7.6 x 2.1 x 1.7 มิลลิเมตร ปริมาณอมิโลส 15-19% คุณภาพข้าวสุก นุ่มเหนียว มีกลิ่นหอมอ่อน

2.6.2 ลักษณะเด่น ผลผลิตสูงประมาณ 650-774 กิโลกรัม/ไร่ คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว ต้านทานโรคไหม้ และโรคขอบใบแห้งปริมาณอมิโลส ร้อยละ 15 – 19 คาร์โบไฮเดรตสูงถึง 71 – 77 % โปรตีน 5 – 8 % มีวิตามินบี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา และวิตามินบี 2 ช่วยป้องกันโรคปากนกกระจอก ข้อควรระวังคือค่อนข้างอ่อนแอ เพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม (สถาบันวิจัยข้าว, 2539)

2.7 ข้าวพันธุ์ กข 41 (RD41)

2.7.1 ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อแสงให้ผลผลิตสูงสุด 1,104 กิโลกรัม/ไร่ ต่ำสุด 616 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อปลูกทุก 10 วัน ในรอบปี 2549 อายุ 105 วัน ความสูง 104 เซนติเมตร กอตั้ง ต้นแข็ง ใบสีเขียวตั้งตรง ยาว 35 เซนติเมตร กว้าง 1.6 เซนติเมตร ข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดเรียว ยาว 10.4 มิลลิเมตร ขนาดข้าวกล้องยาว 7.73 มิลลิเมตร ข้าวสารยาว 7.3 มิลลิเมตร มีปริมาณแอมิโลสสูง 27.15% ความคงตัวของแป้งสุกอยู่ในระดับอ่อนระยะการไหลของแป้ง 77 มิลลิเมตร ข้าวเมื่อหุงสุกมีลักษณะร่วนและค่อนข้างแข็ง (สถาบันวิจัยข้าว, 2539)

2.7.2 ลักษณะเด่น ผลผลิตสูง มีเสถียรภาพดี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 894 กิโลกรัม/ไร่ สูงกว่า สุพรรรบุรี 1 (795 กิโลกรัม/ไร่) พิษณุโลก 2 (820 กิโลกรัม/ไร่) สุพรรณบุรี 3 (768 กิโลกรัม/ไร่) กข29 (835 กิโลกรัม/ไร่) และชัยนาท 1 (812 กิโลกรัม/ไร่) คิดเป็นร้อยละ 23,5,13,4 และ 20 ตามลำดับ ค่อนข้างต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคไหม้คุณภาพเมล็ดทางกายภาพดี เป็นข้าวเจ้าเมล็ดยาว เรียว ท้องไข่น้อย คุณภาพการสีดี สามารถสีเป็นข้าวสาร 100 % ได้ เหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่นาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง สำหรับเป็นทางเลือกของเกษตรกรในการป้องกันการแพร่ระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ข้อควรระวังอ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง ไม่ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับสูงเกินไปจะทำให้เกิดโรครุนแรง อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในเขตจังหวัดนครปฐม และปทุมธานี การปลูกในช่วงกลางเดือนกันยายน-พฤศจิกายน จะกระทบอากาศเย็นทำให้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ

2.8 ปุ๋ยและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อข้าว

ธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ซึ่งพืชต้องการในปริมาณที่สูง ดินที่ปลูกพืชมักจะขาดธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่งธาตุอาหารแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกันในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (ยงยุทธ, 2558)

2.8.1 ไนโตรเจน (N)

ไนโตรเจนเป็นธาตุหารที่จำเป็นสำหรับข้าว การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในดินนาจึงมีผลทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแก่ข้าวมักจะเกิดการสูญเสียได้ง่ายโดยกระบวนการต่างๆในดินนา ทำให้ประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยลดลง สาคร (2530) รายงานว่าข้าวสามารถใช้ประโยชน์จากปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงไป การเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนในดินนาทำได้หลายวิธี ซึ่งความเป็นไปได้หรือความเหมาะสมของแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนในดินนาข้าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาพดินฟ้าอากาศ วิธีการเพาะปลูก ระบบชลประทาน ช่วงระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยซึ่งแตกต่างกันออกไปตามพื้นที่ การศึกษาของ Perezc *et al.*

(1996) แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะออกดอก ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าว และผลผลิตข้าวได้ถึง 30-60 % นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนยังช่วยในการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดข้าว และโภชนาการของเล็ดข้าวได้อีกด้วย และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนยังมีผลทำให้จำนวนหน่อต่อกอข้าวเพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อองค์ประกอบผลผลิต ก็คือ มีผลทำให้จำนวนรวงต่อพื้นที่ จำนวนช่อดอกต่อรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวงเพิ่มสูงขึ้นตามมา (Von, 1993)

2.8.2 ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)

อิทธิพลของฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีการศึกษาน้อยกว่าธาตุไนโตรเจน การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในนาข้าวพบว่า เมื่อถูกน้ำขังปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายดินจะเพิ่มขึ้นในช่วง 4-10 สัปดาห์ หลังจากดินถูกน้ำท่วม จะเพิ่มขึ้นมากหรือน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของดิน และปริมาณฮิวมัสในดิน แต่บ่อยครั้งพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพียง 1 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน ซึ่งเมื่อปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง ข้าวจะไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส ส่วนในพื้นที่นาดอนการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 8 กิโลกรัม/ไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตและน้ำหนักแห้งได้ (Thomas *et al*., 2001) ส่วนโพแทสเซียม ข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มที่เป็นดินเหนียว จะมีปริมาณโพแทสเซียมในรูป K^+ ที่แลกเปลี่ยนประจุในดินได้สูง จึงมักจะไม่พบข้าวขาดธาตุโพแทสเซียม แต่ถ้าในดินร่วนปนทราย ปริมาณธาตุโพแทสเซียมอาจไม่เพียงพอ หากปลูกข้าวติดต่อกันเป็นเวลานาน จึงต้องมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มให้แก่ข้าว การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมโดยการหว่านอัตรา 13-21 กิโลกรัม/ไร่ หรือการใส่แบบโรยเป็นแถว อัตรา 8-11 กิโลกรัม/ไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวนาดอนได้สูงสุดในดินร่วนปนทรายที่ขาดธาตุอาหาร (Fageria *et al*., 1990)

2.9 การสูญเสียปุ๋ยและธาตุอาหารในดิน

2.9.1 การสูญเสียธาตุอาหารโดยการชะล้าง ดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกต่ำ จะมีการสูญเสียธาตุอาหารเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในฤดูฝน ธาตุไนโตรเจนจะสูญเสียในรูปไนเตรทมาก เมื่อฝนตกหนักและน้ำไหลบ่าบนผิวดิน จะมีการสูญเสียปุ๋ยไนเตรทที่ละลายน้ำกับบางส่วนที่ดูดซับกับผิวของคลอลอยด์ในดิน ไนเตรทเหล่านี้จะถูกชะล้างลงไปสะสมในแหล่งน้ำ ธาตุอาหารพืชที่มีการสูญเสียโดยการชะล้าง รองลงมาได้แก่โพแทสเซียม ส่วนฟอสฟอรัสสูญเสียโดยการชะล้างน้อยที่สุด

2.9.2 การสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซ การสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซจากดิน เกิดขึ้นโดย 2 กระบวนการ คือ

2.9.2.1 ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นการสูญเสียไนโตรเจนในสภาพที่ใช้ปุ๋ยในรูปไนเตรท ในดินที่ขาดออกซิเจน ส่วนยูเรียและปุ๋ยแอมโมเนียมนั้น เมื่อถูกเปลี่ยนรูปในดินเป็น

ไนเตรท และ ดินนั้นอยู่ในสภาพที่มีน้ำขังหรือมีการขาดแคลนออกซิเจนในภายหลังก็จะสูญเสียโดยกระบวนการนี้เช่นกัน

2.9.2.2 การระเหยของแอมโมเนียมจากปุ๋ยจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยยูเรียในดินที่เป็นกรดจนถึงเป็นด่างและปุ๋ยแอมโมเนียมในดินที่เป็นกลางถึงเป็นด่าง เมื่อหว่านปุ๋ยทั้งสองประเภทนี้บนผิวดิน ลักษณะดินที่ส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียแอมโมเนียจากปุ๋ยแอมโมเนียมและยูเรียมากขึ้นได้แก่ดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกต่ำ ดินเนื้อหยาบ ดินเป็นด่างและดินที่มีความชื้นในดินต่ำ

ปัจจุบันมีการผลิตปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยหรือปุ๋ย ละลายช้าซึ่งปุ๋ยเคมีที่จะบรรจุอยู่ในสารเคลือบ พอลิเมอร์ชนิดพิเศษ สารเคลือบชนิดนี้ออกแบบมาให้ปุ๋ยที่บรรจุอยู่ภายในค่อยๆละลายปลดปล่อยธาตุ อาหารออกมาอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานานพอเหมาะกับความต้องการของพืชทำให้พืชได้อาหารอย่าง เพียงพอและต่อเนื่องตลอดช่วงอายุของพืช (Hong and Park, 2000; Kulkarni *et al*., 1999; Kumbar *et al*., 2001)

2.10 ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (control release fertilizer)

2.10.1 ความหมายของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยหมายถึง ปุ๋ยที่มีการผลิตให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ ภายในจะเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้สูง (high solubility) แต่เคลือบผิวเม็ดปุ๋ยไว้เพื่อควบคุมการปลดปล่อย และยังทราบแน่ชัดว่ามีปัจจัยใดบ้าง อิทธิพลต่ออัตราและช่วงเวลาที่ปุ๋ยนั้นจะปลดปล่อยธาตุอาหารรวมทั้งมีกลไกที่ควบคุมการปลดปล่อยอยู่แล้วในปุ๋ยที่ผลิต เช่น ปุ๋ยเคลือบ (coated fertilizer)

ประเภทของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย มี 3 ประเภท

1. เคลือบผิวเม็ดด้วยอนินทรีย์สาร เช่น กำมะถัน
2. เคลือบด้วยกำมะถันและเคลือบทับด้วยพอลิเมอร์
3. เคลือบผิวเม็ดด้วยพอลิเมอร์อินทรีย์ (fertilizers coated with organic polymers)

เม็ดปุ๋ยไนโตรเจนบางชนิดอาจจะถูกเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์โดยธาตุอาหารจากเม็ดปุ๋ยจะละลายผ่านสารพอลิเมอร์ที่เคลือบเม็ดปุ๋ยออกมา ซึ่งอัตราการซึมแพร่ออกมานั้นขึ้นกับ ความหนาของชั้นพอลิเมอร์ที่เคลือบไว้ ชนิดของพอลิเมอร์กระบวนการในการเคลือบ และอุณหภูมิดิน

2.10.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหาร อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยธรรมดาทั่วไปจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ คือ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ระดับความชื้นในดิน

ชนิดของดิน จุลินทรีย์ในดิน ความเข้มข้นของธาตุอาหารในดิน ตัวอย่างเช่น อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยละลายช้าในดินที่มีอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส จะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้เป็นระยะเวลา ประมาณ 4 เดือน ถ้าอุณหภูมิในดินประมาณ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้การปลดปล่อยเร็วขึ้น ระยะเวลาการปลดปล่อยธาตุอาหารจะสั้นลง ทำให้ปุ๋ยละลายช้าปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้เป็นระยะเวลาประมาณ 2-2.5 เดือน (Davidson, 2012)

ในปัจจุบันนี้มีการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย กับพืชบางชนิดเท่านั้น ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่วเหลือง มะเขือเทศ และมันฝรั่ง หรือในพืชที่ต้องการปุ๋ยและดินเป็นจำนวนมากในการเจริญเติบโต สำหรับวัตถุดิบที่นิยมใช้ในการผลิตปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยนั้น จำเป็นต้องมีคุณสมบัติในการเก็บกักน้ำได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อพืชที่มีความต้านทานต่ำ และมีระบบรากที่ไม่ลึก เช่น ข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย (Li, 2006) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (control release fertilizer) เป็นปุ๋ยที่ผลิตขึ้นเพื่อให้กับพืชเพียงครั้งเดียวในจำนวนที่เหมาะสม โดยปุ๋ยชนิดนี้จะถูกเคลือบออกมาให้กับพืชใช้ตลอดระยะเวลาการปลูก (Simpson, 1986) ลดการสูญเสียของปุ๋ย จึงไม่ต้องใส่ปุ๋ยในปริมาณมากแบบปุ๋ยเคมีธรรมดา เพราะการใช้ไนโตรเจนมีประสิทธิภาพมากขึ้น คือจะมีการสูญเสียไนโตรเจนลดลง 15-20% เมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีธรรมดา (FAO, 2000) และประหยัดค่าแรงในการใส่ปุ๋ย เหมาะกับพืชที่มีระยะเวลาการดูแลรักษานาน (Anonymous, 2006; Jacobs *et al*., 2005)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Diez *et al*. (1994) ศึกษาการควบคุมความเป็นพิษของไนเตรทในชั้นหินอุ้มน้ำ ที่ให้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจนที่แตกต่างกันในแปลงปลูกข้าวโพด การทดลองใช้ CRNF (control release nitrogen fertilizer) ผลการวิเคราะห์น้ำชลประทานก่อนการทดลอง ที่ผิวน้ำพบว่าแหล่งน้ำชลประทานในบ่อน้ำมีไนเตรท 43.0 มิลลิกรัม/ลิตร แหล่งน้ำชลประทานจากลำธารมีไนเตรท 3.7 มิลลิกรัม/ลิตร ในแหล่งน้ำชลประทานมีค่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) อยู่ที่ 7.3-7.6 ความเข้มข้นของไนเตรทในสารละลายดินที่ความลึก 140 เซนติเมตร ในแหล่งน้ำชลประทานและชนิดของปุ๋ย พบว่าในบ่อน้ำและลำธารพบการสะสมของไนเตรทจากการใช้ปุ๋ยยูเรียมากที่สุด

Ombodi *et al*. (2002) พบว่าการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (control release fertilizer) ร่วมกับการให้ปุ๋ยทางน้ำ (fertigation) ที่ 50% (ให้น้ำและปุ๋ยทางน้ำอย่างละ 1 ครั้ง/สัปดาห์) ทำให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตของพริกหวานในสภาพแปลงเปิดไม่แตกต่างกับการให้ปุ๋ยทางน้ำอย่างเดียว 2 ครั้ง/สัปดาห์

Hutchinson *et al*. (2003) ทำการเปรียบเทียบปุ๋ยสูตรต่างๆ ในการปลูกมันฝรั่ง พบว่าความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน (nitrogen use efficiency: NUE) จากการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยสูตร 11-11-11 (CRFs 11-11-11) ที่ 112 และ 168 กิโลกรัมไนโตรเจน/เฮกตาร์ พบว่าให้ค่า NUE สูงกว่าปุ๋ยชนิดอื่น และที่ 112 กิโลกรัมไนโตรเจน/เฮกตาร์ ยังพบว่าการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยสามารถให้ผลผลิตมันฝรั่งสูงกว่าวิธีการใช้ปุ๋ยยูเรียร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรทในปริมาณที่เท่ากัน

Tang *et al*. (2007) ศึกษากลไกการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยพื้นฐานเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว (*Oryza sativa* L.) ทำการทดลองในกระถางและการทดลองในท่อทรงกระบอก ในปี 2545 ถึง 2548 เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย 3 ชนิด ต่อการเปลี่ยนแปลงของดินที่มีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน การพัฒนาของราก และการต้านทานการชะงักการเจริญเติบโตในช่วงปลายของพืช ผลการศึกษาพบว่าที่ 30 วันหลังการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยที่เคลือบด้วยสารจากพืช และวัสดุโพลีเมอร์ เพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดินเป็น 12.0 และ 147.9% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยแบบแบ่งใส่ การให้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยมีประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบราก พบว่าทำให้รากมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น มีพื้นที่ผิวของรากเพิ่มขึ้น และกิจกรรมของรากที่สูงเมื่อเทียบกับตัวควบคุม

Wei *et al*. (2018) ศึกษาผลของปุ๋ยปลดปล่อยช้าหรือปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยและรูปแบบการให้ปุ๋ยต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าวใช้ปุ๋ยละลายช้าหรือปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยที่แตกต่างกันสามชนิด ได้แก่ ยูเรียเคลือบโพลีเมอร์ ยูเรียเคลือบกำมะถัน และยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ร่วมกับรูปแบบการใส่ปุ๋ย 2 วิธีคือใส่ร่วมกับยูเรียเป็นปุ๋ยรองพื้นและใช้ปุ๋ยเคมีทั่วไป ผลผลิตข้าวในปี ค.ศ. 2014 และ 2015 แสดงให้เห็นแนวโน้มว่า การใส่ยูเรียเป็นปุ๋ยรองพื้นร่วมกับการใส่ยูเรียเคลือบฟอร์มาลดีไฮด์ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด รองลงมาคือยูเรียเคลือบพอลิเมอร์ และยูเรียเคลือบกำมะถัน คุณภาพของข้าว พบว่าการใช้ปุ๋ยละลายช้าหรือปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย ทำให้ค่ารสชาติของข้าวสุกมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอะมิโลส อะไมโลเพคติน และแป้ง แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับโกลบูลิน กลิอาดิน กลูเตน และโปรตีน

Chen *et al*. (2017) ศึกษาผลผลิตของข้าวโพดและลักษะทางสัณฐานวิทยาของรากข้าวโพดที่ได้รับผลกระทบจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต จากการทดลองพบว่าอัตราการปลดปล่อยของธาตุอาหารสูงขึ้นจากวันที่ 1 จนถึงวันที่ 105 หลังจากเริ่มมีการใส่ปุ๋ยในแปลงปลูกข้าวโพด และการปลดปล่อยธาตุอาหารสูงสุดในวันที่ 105 การทดลองการปลดปล่อยของธาตุอาหารในน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีแนวโน้มเดียวกับการทดลองในแปลงที่พบว่าการ

ปลดปล่อยธาตุอาหารสูงสุดในวันที่ 105 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตจากการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันพบว่าในปี ค.ศ. 2016 ผลผลิตข้าวโพดสูงสุดในการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ที่อัตรา 75 P_2O_5 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ให้ผลผลิต 10,759 กิโลกรัม/เฮกตาร์ และในปี ค.ศ. 2017 ผลผลิตข้าวโพดสูงสุดในการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ให้ผลผลิต 10,301 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสที่อัตราการให้ฟอสฟอรัสแตกต่างกัน พบว่าชีวมวลส่วนเหนือดินของข้าวโพดสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตร่วมกับการฉีดพ่นสังกะสี ให้ชีวมวล 13,084 กิโลกรัม/เฮกตาร์ การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของรากข้าวโพด พบว่าการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตร่วมกับการฉีดพ่นสังกะสีมีพื้นที่ผิวและความยาวรากเพิ่มขึ้น 5.9% และ 4.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

Li *et al*. (2020) พบว่าผลกระทบระยะยาวของการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยโพแทสเซียมคลอไรด์ ต่อโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดิน การดูดซึมธาตุอาหาร และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การศึกษาอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมในห้องปฏิบัติการ ในน้ำอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมในช่วง 0-30 วันหลังปลูก อยู่ที่ 11% ในช่วง 40-80 วันหลังปลูก 59% ในช่วง 90-110 วันหลังปลูก 85% การปลดปล่อยโพแทสเซียมทำให้อุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 26.1 องศาเซลเซียส ในปี ค.ศ. 2016 และ 26.2 องศาเซลเซียส ในปี ค.ศ. 2017 การให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในแปลงปลูกข้าวโพด พบว่าการปลดปล่อยและการสะสมของโพแทสเซียมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 110 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งสองปี ผลผลิตข้าวโพดสูงสุดในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 113 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์แบบดั้งเดิม ให้ผลผลิต 11,931 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ประสิทธิภาพการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 75 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์แบบดั้งเดิม

Sun *et al*. (2020) ศึกษาผลของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อผลผลิตของข้าว ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาที่ปกคลุมด้วยฟางข้าว ทำการทดลองปี ค.ศ. 2012-2016 ในฤดูปลูกข้าว ผลการทดลองพบว่าผลผลิตเมล็ดข้าวในปี ค.ศ. 2012-2016 สูงสุดในกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยยูเรียร่วมกับการใช้ฟางข้าวปกคลุม ให้ผลผลิต 10.5, 10.7, 10.9, 10.7 และ 8.9 ตัน/เฮกตาร์ โดยกรรมวิธีควบคุมใช้ปุ๋ยปกติแบบไม่เคลือบให้ผลผลิตน้อยที่สุด ประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าว พบว่าการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยยูเรียร่วมกับการใช้ฟางข้าวปกคลุมมีประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนสูงที่สุดตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 จนถึงปี ค.ศ. 2016

และมีความแตกต่างทางสถิติกับเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัด แต่มีแนวโน้มว่าประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวลดลงจากปี ค.ศ. 2012 กรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยร่วมกับการใช้ฟางข้าวปกคลุม

ศาศวัต และคณะ (2565) ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์กำแพงแสน 01-4-29 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (RCBD) โดยปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยสูตร 12-12-12 (สูตรใหม่) เป็นปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยที่พัฒนาขึ้นด้วยกรรมวิธีการเคลือบเม็ดปุ๋ยเคมีให้มีสมบัติละลายช้า โดยอาศัยสารหุ้มผิวเม็ดในรูปสารโพลิเมอร์นาโนเคลย์คอมโพสิท ซึ่งมีส่วนผสมของธาตุสังกะสี และโบรอนในสารเคลือบด้วย ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย (สูตรใหม่) มีแนวโน้มให้ความสูงต้นของอ้อยที่อายุ 6 และ 9 เดือนหลังปลูกใกล้เคียงกับการให้ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา แม้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย จะมีปริมาณ NPK น้อยกว่าก็ตาม และพบว่าการให้ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา ให้ความเข้มข้นของธาตุ N, P และ K ที่สะสมในลำอ้อยมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย (สูตรใหม่) ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อย (สูตรใหม่) มีผลให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีและโบรอนที่สะสมในลำของอ้อยมากที่สุด อาจเนื่องมาจากสารเคลือบวัสดุนาโนในสูตรใหม่ มีส่วนผสมของสังกะสีและโบรอน ดังนั้นถ้าจะให้เห็นชัดเจนมากขึ้นต้องปลูกทดสอบกับอ้อยในดินที่มีปริมาณสังกะสีและโบรอนต่ำ

พัทธนันท์ และชลธิชา (2565) ศึกษาการเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่มีแร่ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม โดยใช้ตัวดูดซับซีโอไลต์ สำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ลาดชัน โดยคัดเลือกซีโอไลต์ 3 ชนิด ได้แก่ โดโลไมต์ ซีโอไลต์บ่อกุ้ง และซีโอไลต์ 4เอ การพัฒนาปุ๋ยละลายช้ามีการนำตัวดูดซับชนิดต่างๆ มาใช้ โดยเฉพาะซีโอไลต์ ซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยช่องว่างภายในโครงสร้างซีโอไลต์สามารถกักเก็บน้ำและแอมโมเนียได้สูงและปล่อยออกมาช้าๆ จึงช่วยให้ดินยึดไนโตรเจนไว้ได้นาน ซีโอไลต์ 4เอ มีความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียม (มก./ก.ซีโอไลต์) ได้ดี เนื่องจากซีโอไลต์4เอ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูงกว่ามาก ทำให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนบวกในซีโอไลต์กับแอมโมเนียมได้มากกว่า ซีโอไลต์ชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองพบว่า การดูดซับแอมโมเนียม และโพแทสเซียมในตัวดูดซับไม่ขึ้นกับระดับพีเอชของสารละลาย และระยะเวลา แต่ขึ้นกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีโอไลต์ ซี

โอไลต์ 4เอ มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเป็น 786 เซนติโมลต่อกิโลกรัม มีค่ามากกว่าโดโลไมต์และซีโอไลต์บ่อกุ้งรูปแบบในการเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่ใช้ซีโอไลต์ 4เอ เป็นตัวดูดซับมีขั้นตอนการดูดซับ 2 รอบ โดยรอบที่ 1 ให้ใช้สัดส่วน %solid ที่ 0.5% ความเข้มข้นเริ่มที่ 0.02 โมลาร์ รอบที่ 2 ให้ใช้สัดส่วน %solid ที่ 0.25% และใช้สารละลายเดิมที่เหลืออยู่ จากการทดสอบการละลายของปุ๋ย พบว่า ปุ๋ยซีโอไลต์ 4เอ+แอมโมเนียม และ 4เอ+โพแทสเซียมจัดว่าเป็นปุ๋ยละลายช้าได้ เนื่องจากมีอัตราการละลายที่คงที่ 0.157 กรัมแอมโมเนียมต่อลิตร และ 0.129 กรัมโพแทสเซียมต่อลิตร ตามลำดับ

รุ่งระวี และสุปราณี (2562) ศึกษาการสังเคราะห์ปุ๋ยไคโตซานไฮโดรเจลเพื่อควบคุมการปลดปล่อยฟอสฟอรัส โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง โดยศึกษาผลของกลูตารัลดีไฮด์ แป้งมันสำปะหลัง เวลา และค่าความเป็นกรด-เบส ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติการบวมตัวและการปลดปล่อยฟอสฟอรัส หลักการคือ “ไคโตซานไฮโดรเจล” มีสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี เมื่อทำการบรรจุแร่ธาตุที่จำเป็นหรือปุ๋ยสำหรับพืชไว้ในไคโตซานไฮโดรเจล จึงเรียกว่า “ปุ๋ยไคโตซานไฮโดรเจล” เมื่อไฮโดรเจลดูดซับน้ำเข้าไปภายในจะเกิดการสะสมและบวมตัว และน้ำที่เข้าไปจะละลายแร่ธาตุออกมาอย่างช้า ๆ แป้งมันสำปะหลัง เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ การนำแป้งมันสำปะหลังมาพัฒนาสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการกักเก็บสารเพื่อควบคุมการปลดปล่อย สามารถทำได้โดยการเชื่อมขวางโมเลกุลของแป้งด้วยสารเชื่อมขวาง เพื่อทำให้แป้งเปลี่ยนโครงสร้างเป็นร่างแหและละลายน้ำน้อยลง ดูดซับน้ำได้ดีขึ้น สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารได้ยาวนานขึ้น ผลการทดลองพบว่า ปุ๋ยไฮโดรเจลที่มีคุณสมบัติที่ดีและสามารถชะลอการปลดปล่อยฟอสฟอรัสได้จริง โดยพบว่าได้สูตรปุ๋ยที่ดีที่สุดคือ สารไคโตซาน 2 %W/V 200 มิลลิลิตร สารละลายแป้งมันสำปะหลัง 1 % W/V 50 มิลลิลิตร สารละลายปุ๋ย $(NH_4)_2HPO_4$ 2 mol/dm^3 20 มิลลิลิตร สารเชื่อมขวาง 20 มิลลิลิตร ซึ่งให้ค่าร้อยละการบวมตัวสูงที่สุด นอกจากนี้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของปุ๋ยไฮโดรเจลที่เตรียมได้มีลักษณะไม่ราบเรียบ และมีรูพรุนขนาดเล็กกระจายทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้ดี เมื่อนำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสพบว่าสามารถปลดปล่อยได้ดีที่สุดในสภาวะที่สารละลายเป็นกลาง (ร้อยละการปลดปล่อยเท่ากับ 74.04) และสามารถปลดปล่อยได้ต่อเนื่องถึง 16 วัน

นาวา และคณะ (2562) ศึกษาผลการใช้ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดำเนินการปลูกทดลองต้นฤดูฝน 2559 ในแปลงเกษตรกรในอำเภออุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ผลการทดลองพบว่า อ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 แสดงการ

ตอบสนองทางด้านผลผลิตต่อการใช้ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาสูตร 16-16-16 และสูตร 46-0-0 ปุ๋ยเคมีที่เคลือบด้วยวัสดุนาโนสูตร 12-12-12 และสูตร 41-0-0 แตกต่างกัน โดยการใช้ปุ๋ยเคมีที่เคลือบด้วยวัสดุนาโนให้ผลผลิตอ้อยสดสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดา โดยเฉพาะการใช้ในอัตราที่ให้ธาตุปุ๋ยในรูป N, P_2O_5 และ K_2O เท่ากัน และใส่ปุ๋ย 2 ครั้งที่ระยะเดียวกัน การใส่ปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนเพียงครั้งเดียวโดยวิธีหยอดเป็นแถบยาวต่อเนื่องตลอดแถวปลูกที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร แล้วฝังกลบ ในอัตรา 4, 4 และ 4 กก./ไร่ ของ N, P_2O_5 และ K_2O ตามลำดับ รายได้สุทธิจากการใช้ปุ๋ยเคมีทั้ง 2 ประเภทขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญอย่างน้อย 4 ประการคือ ราคาปุ๋ยเคมี ปริมาณที่ใช้ จำนวนครั้งที่ใส่ลงดิน และระดับการตอบสนองของอ้อยปลูกต่อปุ๋ยเคมีที่ใส่ และจากการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีที่เคลือบด้วยวัสดุนาโนให้ผลตอบแทนสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ดธรรมดาประมาณ 123 %

Dong et al. (2016) ศึกษาเกี่ยวกับผลของปุ๋ยเคลือบต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยดำเนินการปลูกข้าวโพดในชุดดินที่มีด่างสูง (Alfisols) ใช้วัสดุเคลือบปุ๋ย คือ ขี้เถ้าลอย (fly ash) และสารอินทรีย์ยึดเกาะ (polyvinyl alcohol) และมี dicyandiamide (DCD) เป็นสารยับยั้งการสูญเสียไนโตรเจนในรูป NO_3^- จากการชะล้างและการปลดปล่อย N_2O ขึ้นสู่บรรยากาศ ผลการทดลองพบว่าที่ระยะออกดอก กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย CRF มีปริมาณแอมโมเนียมสูง จากนั้นจะลดลงในทุก ๆ กรรมวิธีที่ระยะสะสมน้ำหนักเมล็ด และระยะเก็บเกี่ยว โดยปริมาณแอมโมเนียที่พบในกรรมวิธีปุ๋ย CRF จะเป็นลำดับ มากไปหาน้อยดังนี้ วัสดุเคลือบปุ๋ย 21% +ปุ๋ยผสม 75% (NPK: 15-6.55-12.40) +4%DCD ปุ๋ยเคลือบเรซิน + NPK: 15-6.55-12.40 วัสดุเคลือบปุ๋ย 23%+ปุ๋ยผสม 75% (NPK: 15-6.55-12.40) +2%DCD วัสดุเคลือบปุ๋ย24% +ปุ๋ยผสม 75% (NPK: 15-6.55-12.40) +1% DCD และพบว่ากรรมวิธีการเคลือบปุ๋ย ทำให้ค่าดัชนีของ SPAD (บ่งบอกถึงการสังเคราะห์แสงของพืช) ของข้าวโพดในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการเจริญเติบโต (ระยะเริ่มงอก ระยะออกดอก ระยะสะสมน้ำหนักเมล็ด และระยะเก็บเกี่ยว) มีแนวโน้มสูงกว่ากรรมวิธีไม่เคลือบปุ๋ย โดยกรรมวิธีที่ให้ค่า SPAD ที่สูงในทุกระยะการเจริญเติบโตคือกรรมวิธีใช้ วัสดุเคลือบปุ๋ย24% +ปุ๋ยผสม 75% (NPK: 15-6.55-12.40) +1% DCD ในด้านองค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตเมล็ดข้าวโพด พบว่า กรรมวิธีที่มีการเคลือบปุ๋ยมีแนวโน้มให้จำนวนแถวต่อฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว ความยาวฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ด ผลผลิตทั้งหมดและผลผลิตเมล็ดสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่เคลือบปุ๋ย แสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยเป็นพอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพ เพราะนอกจากสามารถช่วยลดอัตราการสูญเสียธาตุอาหารแล้ว ยังช่วยเพิ่มผลผลิตได้อีกด้วย

Zhao et al. (2013) ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในฤดูร้อนโดยใช้ข้าวโพดพันธุ์ไฮบริก Zhengdan 958 ในดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam soil) ใน 2 ฤดูกาลปลูก คือ ปี 2005 และ 2006 การศึกษานี้ใช้สารเคลือบปุ๋ย 2 ชนิด คือ 1. เรซิน (resin-coated; CRF) และ 2. กำมะถัน (sulfurcoated; SCF) โดยทำการทดลองแบบ RCBD ผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ ทำให้ข้าวโพดมีปริมาณไนโตรเจนสูงในระยะแรก (เช่น ระยะก่อนออกดอก) และเพิ่มขึ้นช้า ๆ หลังดอกบาน แตกต่างกันกับปุ๋ย CRF ที่จะทำให้ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดอายุการเจริญเติบโต และพบว่าจำนวนแถว / ฝัก จำนวนเมล็ด / แถว และจำนวนเมล็ด / ฝัก ในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่น้ำหนัก 1,000 เมล็ด กรรมวิธีที่ทำให้น้ำหนักเมล็ดมากที่สุด คือ ใส่ปุ๋ย CRF สูตร 21-7-14 จำนวน 1,428.57 กิโลกรัมไนโตรเจน / เฮกตาร์ ส่วนผลผลิตเมล็ดในทั้งปี 2005 และ 2006 กรรมวิธี CRF สูตร 21-7-14 จำนวน 1,017.43 กิโลกรัมไนโตรเจน / เฮกตาร์และ ใส่ปุ๋ย SRF สูตร 18-6-12 จำนวน 1666.67 กิโลกรัมไนโตรเจน / เฮกตาร์ ให้ผลผลิตเมล็ดสูงที่สุด

Chen et al. (2017) ได้ศึกษาผลของการเคลือบและไม่เคลือบปุ๋ยต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ Shengtaiyou 9712 ที่ปลูกในดินเหนียว (clayey soil) ในปี 2014 และ 2015 โดยมีกรรมวิธีการทดลอง 3 กรรมวิธี คือ ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) ใส่ปุ๋ยสูตร 20-5-10 อัตรา 135 กิโลกรัม / เฮกตาร์ ที่ไม่ได้เคลือบตามรูปแบบของเกษตรกร โดยแบ่งใส่ปุ๋ยออกเป็น 2 ครั้ง ครั้งละ 67.50 กิโลกรัม / เฮกตาร์ คือ ในช่วงก่อนปลูกข้าว และระยะข้าวแตกกอ (T2) ใส่ปุ๋ยสูตร 20-5-10 อัตรา 108 กิโลกรัม / เฮกตาร์ ที่เคลือบ โดยใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนที่จะปลูกพืช (T3) ผลการทดลองพบว่า กรรมวิธี T2 และ T3 ให้ผลผลิตสูงกว่า T1 ($P<0.05$) แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันระหว่าง T2 และ T3 ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธี T2 ทำให้สิ้นเปลืองแรงงาน และค่าปุ๋ยมากกว่า T3 เนื่องจาก T2 มีการแบ่งใส่ออกเป็น 2 ครั้ง ขณะที่ T3 ใส่ปุ๋ยก่อนปลูกแค่ครั้งเดียว และลดปริมาณการใส่ปุ๋ยลง 20 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบปุ๋ยทำให้ปุ๋ยละลายได้ช้าลงและเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น

Zavaschi et al. (2014) ศึกษาผลของยูเรียที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อการระเหยของแอมโมเนีย (NH_3) และองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยได้ทำการทดลองในดินเหนียว Geric Ferralsol โดยมีการเปรียบเทียบปุ๋ยไนโตรเจนที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ (PCU) และปุ๋ยไนโตรเจนที่ไม่มีการเคลือบ (CU) ผลการทดลองพบว่า รูปแบบของการสูญเสียจากการระเหยของไนโตรเจน มีความคล้ายคลึงกันในทุกกรรมวิธี โดยมีความเข้มข้นสูงสุดที่ระยะ15 วันหลังจากใส่ปุ๋ย ซึ่ง

ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เห็นได้ว่า 13 วันหลังการใส่ปุ๋ยมีการสูญเสียไนโตรเจนในปริมาณที่น้อยมาก เนื่องจากความชื้นในดินต่ำ ซึ่งเกิดจากการขาดปริมาณน้ำฝน ทำให้ไม่เพียงพอต่อการเริ่มต้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของยูเรีย กล่าวคือปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการระเหยของไนโตรเจนนั้นคือความชื้นในดินมากกว่ากรรมวิธีการเคลือบปุ๋ย และพบว่าการเคลือบปุ๋ยด้วยพอลิเมอร์มีแนวโน้มช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนในการระเหยเป็น NH_3 แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ส่วนปริมาณไนโตรเจนในใบ ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ด ค่า SPAD และผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้น เมื่อใส่อัตราปุ๋ยยูเรียเพิ่มขึ้น แต่การเคลือบปุ๋ยและไม่เคลือบปุ๋ยไม่ทำให้ค่าเหล่านี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เช่นกัน

Anitha and Bindu (2016) ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการระเหยของมีเทน (CH_4) และองค์ประกอบของผลผลิตของข้าว 2 สายพันธุ์ ได้แก่ Uma และ Jyothi โดยได้ทำการทดลองในกระถางทดลอง ผลการทดลองพบว่า การปล่อยก๊าซมีเทนในระยะการเจริญเติบโตของข้าวทั้งสองพันธุ์ในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกัน โดยจะมีการปลดปล่อยลดลงในระยะกล้าและแตกกอ จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นในระยะผสมเกสร และลดลงเมื่อออกรวงแล้วเต็มที่จนถึงระยะเก็บเกี่ยว ในด้านขององค์ประกอบผลผลิต พบว่าปุ๋ยยูเรียเคลือบด้วยน้ำมันสะเดา มีผลอย่างมากต่อจำนวนรวง ความสูงของต้น น้ำหนักแห้งและปริมาณผลผลิต โดยสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ถึง 11.43 และ 11.11% สำหรับข้าว Uma และ Jyothi ตามลำดับ

โชคชัย (2558) ศึกษาเพื่อลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ยยูเรียโดยการเคลือบสารไบโอพอลิเมอร์ 2 ชนิดซึ่งแตกต่างกัน คือ สารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) การเคลือบสาร PVA และ PVP สามารถทำได้โดยการพ่นสารละลายลงบนเม็ดปุ๋ยยูเรียในเครื่องหมุน จากการศึกษาการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียหลังการเคลือบ (EUF)โดยใช้กฎของฟิกซ์ (Fick's Law) ซึ่งเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายพฤติกรรมการปลดปล่อยของยูเรีย โดยค่า *n* มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 หมายถึงการปลดปล่อยเป็นแบบ non-Fickian diffusion วัสดุเคลือบทั้ง PVA และ PVP ถูกนำมาใช้ในอัตราส่ วน 2:0 (EUF1), 1:0 (EUF2), 1:0.25 (EUF3), 1:0.5 (EUF4), 1:1 (EUF5), แ ล ะ 1:2 (EUF6) ตามน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่า ค่า *n* มีค่าระหว่าง 0.86-0.98 แสดงถึงเป็นการปลดปล่อยเป็นแบบ strong nonFickian diffusion ในขณะที่ปุ๋ยยูเรียที่ไม่ถูกเคลือบมีค่า *n* เท่ากับ 0.70 สรุปได้ว่า ปุ๋ยยูเรียเคลือบทุกสูตรมีการปลดปล่อยธาตุอาหารได้เป็นเวลานานกว่าปุ๋ยยูเรียที่ไม่เคลือบ และผลจากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าลักษณะของวัสดุที่เคลือบผิวมีมากกว่าหนึ่งแบบ ได้แก่ ลักษณะแผ่น เข็ม

และก้อน จากการศึกษาหมู่พันธะทางเคมีของตัวอย่างปุ๋ยเคลือบโดยใช้เครื่อง FT-IR พบว่า ช่วงความยาวคลื่นของปุ๋ยยูเรียที่ถูกเคลือบใกล้เคียงกับปุ๋ยยูเรียที่ไม่ถูกเคลือบ เนื่องมาจากปริมาณของวัสดุเคลือบมีปริมาณน้อยกว่าตัวปุ๋ยยูเรียที่ถูกเคลือบ

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 พื้นที่ที่ทำการศึกษา

ดำเนินการวิจัยที่ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลปากจั่น อำเภอนครหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พิกัด 14°26’49.5”N 100°36’43.2”E ดินในแปลงทดลองจัดอยู่ในชุดดินอยุธยา มีลักษณะเป็นดินเหนียว

Table 1 Soil properties before the experiment

Analysis lists	Results	Units
Total N	0.12	%
Available P	32.57	ppm
Extractable K	154.63	ppm
organic matter-OM	2.43	%
EC	0.11	ds/m
pH	6.82	-

จากค่าวิเคราะห์ดินพบว่าดินมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.12 % อยู่ในระดับน้อยมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 32.57 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน อยู่ในระดับที่สูง ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ 154.63 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน อยู่ในระดับสูงมาก ค่าอินทรีย์วัตถุ 2.43 %อยู่ในระดับปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้า 0.11 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร อยู่ในระดับน้อยมากหรือดินไม่มีความเค็ม ค่าความเป็นกรดด่าง 6.82 คือมีความเป็นกรดเล็กน้อย (ศรีสม, 2544)

3.2 การเตรียมปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

สูตรปุ๋ยแนะนำที่ใช้ในการทดลอง คือ ปุ๋ยเคมีสูตร 23-9-13 ใส่ในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ อัตราปุ๋ยดังกล่าวอ้างอิงจากการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในพื้นที่ ปุ๋ยที่ไม่มีการเคลือบเตรียมจากยูเรีย (46-0-0) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) สำหรับปุ๋ยเคลือบ (CRF) จะมีการเคลือบเม็ดปุ๋ยด้วยไบโอพอลิเมอร์ เตรียมจากแม่ปุ๋ยทั้งสามชนิดเช่นเดียวกับปุ๋ยไม่เคลือบ โดยปุ๋ยเคลือบสูตร 1 (CRF1) เป็นการเคลือบเฉพาะปุ๋ยยูเรีย ส่วนปุ๋ยเคลือบสูตร 2 (CRF2) จะเป็นการเคลือบแม่ปุ๋ยทั้งหมด ลักษณะของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 1

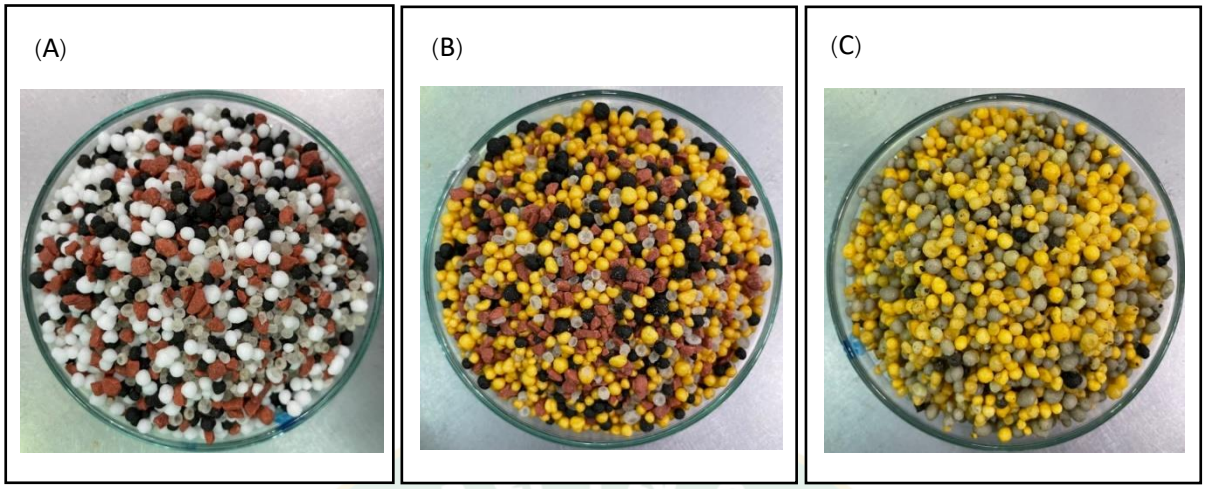


Figure 1 The physical appearance of fertilizer used in the study (A) uncoated fertilizer (B) CRF1, only urea granules are coated (C) CRF2, all granules are coated

3.3 การทดลองที่ 1 ผลของชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในกระถาง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) (Figure 2) ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในกระถางขนาด 12 นิ้ว ใส่ดินกระถางละ 8 กิโลกรัม ประกอบด้วย 8 กรรมวิธี (Table 2) กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ เพาะข้าวโดยการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และบ่มข้าว 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดทั้งหมดไปเพาะในถาดเพาะ เมื่ออายุต้นกล้าประมาณ 20 วันย้ายปลูกลงกระถาง กระถางละ 3 ต้น ปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง รักษาระดับน้ำให้มีความสูงประมาณ 5-10 เซนติเมตร

การใส่ปุ๋ยตามอัตราแนะนำจะแบ่งใส่ 2 ครั้งโดยการหว่าน ในอัตราที่เท่ากัน ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ครั้งที่ 1 ใส่ที่ระยะแตกกอ (อายุข้าว 30 วันหลังปักดำ) การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ใส่ที่ระยะสร้างช่อดอก (อายุข้าว 50 วันหลังการปักดำ) ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคลือบจะใส่ก่อนการปักดำ โดยใส่ลึกลงไปใต้ผิวดิน 5-10 เซนติเมตร

Figure 2 Randomized complete block design (RCBD) trial

Table 2 Details of fertilizer application treatments in this research.

Treatment	Details	Fertilizer grade (N-P_2O_5-K_2O)	Time of application	Applied rate (kg/rai)
N0	Control	0-0-0	-	-
F-50	Uncoated fertilizer at the recommended rate	23-9-13	30 and 50 days after transplanting	50
CRF1-50	CRF formula 1 at the recommended rate	23-9-13	Before planting	50
CRF1-37.5	CRF formula 1 at 75% of the recommended rate	23-9-13	Before planting	37.5
CRF1-25	CRF formula 1 at 50% of the recommended rate	23-9-13	Before planting	25
CRF2-50	CRF formula 2 at the recommended rate	23-9-13	Before planting	50
CRF2 -37.5	CRF formula 2 at 75% of the recommended rate	23-9-13	Before planting	37.5
CRF2-25	CRF formula 2 at 50% of the recommended rate	23-9-13	Before planting	25

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว ที่ระยะแตกกอ และระยะดอกบาน ได้แก่ ความสูงต้น (Figure 3) และจำนวนหน่อต่อกอ (Figure 4) วัดค่า SPAD โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter จากส่วนของใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest emerged blades: YEB) (Figure 5) ที่ระยะแตกกอและใบธงระยะดอกบาน

Figure 3 Measuring of rice plant height

Figure 4 Counting tiller number per plant of rice

Figure 5 Measuring SPAD value on YEB of the rice plant

สุ่มเก็บตัวอย่างใบ YEB ที่ระยะแตกกอ และใบธงที่ระยะดอกบาน (Figure 6) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 - 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักแห้งคงที่แล้วบดให้ละเอียด วิเคราะห์ความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K)

Figure 6 Collecting flag leaves at flowering stage

บันทึกข้อมูลผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว ได้แก่ จำนวนรวงต่อกอ ผลผลิตฟางแห้ง และผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นของเมล็ด 14 เปอร์เซ็นต์ สุ่มเก็บรวงข้าว 10 รวงต่อกระถาง (Figure 7) จำนวนเมล็ดดี และเมล็ดลีบต่อรวง คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่อรวง

Figure 7 Collecting panicles of rice

3.4 การทดลองที่ 2 ผลของปุ๋ยยูเรียควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) (Figure 8) ปลูกข้าวในแปลงขนาด 3x3 ตารางเมตร ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี (Table 3) จำนวน 4 ซ้ำ โดยใช้ข้าว 2 พันธุ์คือ ปทุมธานี 1 และ กข41 แต่ละพันธุ์ข้าวปลูกแยกแปลงเนื่องจากพันธุ์ข้าวมีอายุเก็บเกี่ยวต่างกัน ปทุมธานี 1 มีอายุเก็บเกี่ยว 104-126 วัน และ กข41 มีอายุเก็บเกี่ยว 105 วัน เตรียมต้นกล้าโดยแช่เมล็ดข้าวในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบ่มเมล็ด 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดทั้งหมดไปเพาะในถาดเพาะ เมื่ออายุต้นกล้า 20 วัน ย้ายลงดำในแปลง ระยะห่างระหว่างต้น 20 x 20 เซนติเมตร (Figure 9) โดยคัดเลือกกรรมวิธีการทดลองมาจากการทดลองที่ 1 ที่พบว่าในกรรมวิธีใช้ปุ๋ยเคลือบสูตร 1 ที่เคลือบเฉพาะยูเรียอัตรา 50.7 และ 48.8 กรัม/กระถาง ให้ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 % สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเลือกกรรมวิธีนี้เพื่อขยายผลในการทดลองที่ 2 โดยการใส่ปุ๋ยเคลือบสูตร 1 ที่มีการเคลือบไบโอพอลิเมอร์เฉพาะปุ๋ยยูเรีย จะใส่ก่อนการปักดำ ใส่ลึกลงไปใต้ผิวดิน 5-10 เซนติเมตร โดยการหว่านปุ๋ยในแปลงให้ทั่วแล้วใช้ดินกลบอีกครั้ง เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีแบบไม่เคลือบอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้งโดยการหว่าน ในอัตราที่เท่ากัน ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ครั้งที่ 1 ใส่ที่ระยะแตกกอ (อายุข้าว 30 วันหลังปักดำ) การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ใส่ที่ระยะออกดอก (อายุข้าว 50 วันหลังการปักดำ)

Figure 8 Plot trial of experiment 2

Table 3 Details of fertilizer application treatments in this research.

Treatment	Details	(N-P_2O_5-K_2O)	Time of application	Applied rate (kg/rai)
F-50	Uncoated fertilizer at the recommended rate	23-9-13	30 and 50 days after transplanting	50
CRF-50	CRF at the recommended rate	23-9-13	Before planting	50
CRF-37.5	CRF at 75% of the recommended rate	23-9-13	Before planting	37.5

Figure 9 Transplanting seedling with 20x20 centimeters spacing

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงต้น และจำนวนหน่อต่อกอโดยสุ่มวัดจากต้นข้าวที่ระยะแตกกอ และระยะดอกบาน จำนวน 5 ต้นจากแต่ละแปลงย่อย วัดค่า SPAD โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter จากส่วนของใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest emerged blades: YEB) ที่ระยะแตกกอ และใบธงระยะดอกบาน

บันทึกข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ระยะเก็บเกี่ยว สุ่มเก็บเกี่ยวข้าวในพื้นที่ 1 x 1 ตารางเมตร (Figure 10) บันทึกจำนวนรวงต่อกอ ผลผลิตฟางแห้ง และผลผลิตเมล็ด วิเคราะห์หาความชื้นของข้าวเปลือกโดยชั่งข้าวเปลือก น้ำหนักประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมแล้วบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนทศนิยม 4 ตำแหน่ง อบถ้วยในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 ± 3 ^{o}C โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปิดฝา ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนและบันทึกไว้ คำนวณหาปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนัก) จากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% โดยน้ำหนัก)} = \frac{(B - C) \times 100}{(B - A)}$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาและข้าวเปลือกก่อนอบ (กรัม)

C = น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาและข้าวเปลือกหลังอบ (กรัม)

แล้วนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักผลผลิตที่ความชื้นของเมล็ด 14 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ด x ความชื้นที่ระดับ 14 \% x 1,600}}{\text{\%ความชื้นของเมล็ด}}$$

Figure 10 Crop cutting at harvest and evaluating yield and yield components of rice

สุ่มเก็บรวงข้าว 10 รวงจากแต่ละแปลงย่อย นับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (Figure 11)

Figure 11 Evaluating filled grain of rice panicles

สุ่มเก็บตัวอย่างใบธงที่ระยะแตกกอ และระยะเก็บเกี่ยว (Figure 12) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักแห้งคงที่แล้วบดละเอียด เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด

Figure 12 Collecting flag leaves of rice at harvest

สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกจากแต่ละกรรมวิธี เพื่อประเมินคุณภาพการขัดสีข้าว และสุ่มตัวอย่างข้าวขาว เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน สังกะสี (Zn) และเหล็ก (Fe)

3.5 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบข้าว

3.5.1 การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด

ชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม จากนั้นชั่งสารเร่งปฏิกิริยา (mixed catalyst) ประมาณ 1 กรัม และเติม Conc.H_2SO_4 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำไปย่อยที่อุณหภูมิที่ 378 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมงจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส นำไปกลั่นโดย เติม 40% NaOH 10 มิลลิลิตร รองรับด้วย boric acid indicator 20 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรต ด้วย standard H_2SO_4 (0.5 *N*) จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง แล้วคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนได้จากสูตร

% Total N = ((A-B) x C x 14 x 100) / (sample weight (g) x 1000)

โดย A = ปริมาตรของ standard H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

B = ปริมาตรของ standard H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรต blank

C = ความเข้มข้นของ standard H_2SO_4 ในหน่วย normality

14 = น้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของไนโตรเจน

3.5.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ชั่งตัวอย่างใส่ crucible 0.25 กรัม นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นเติม aqua regia 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร และกรองสารละลายจากนั้นปิเปตสารละลาย 5 มิลลิลิตร และเติม free acid 5 มิลลิลิตร วัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสจากสูตร

% Total P= (ppm in curve x final volume) / (sample weight (g) x ml of aliquot x 10,000)

3.5.3 การวิเคราะห์โพแทสเซียมทั้งหมด ชั่งตัวอย่างใส่ crucible 0.25 กรัม นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นเติม aqua regia 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร และกรองสารละลาย วัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer คำนวณหาปริมาณโพแทสเซียม จากสูตร

% Total K= (ppm in curve x final volume) / (sample weight (g) x ml of aliquot x 10,000)

3.6 การประเมินคุณภาพการขัดสีข้าว

ได้แก่ ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหัก ข้าวเมล็ดท้องไข่ และข้าวเมล็ดเสีย ทำความสะอาดข้าวเปลือก ด้วยเครื่องทำความสะอาดโดยใช้ลม เพื่อกำจัดเมล็ดลีบ ระแง้ และวัตถุอื่น (วัตถุหนักควรเลือกออกด้วยมือ) ชั่งข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้ว 125 กรัม กะเทาะข้าวเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะ จนเปลือกออกหมด ชั่งน้ำหนักข้าวกล้อง และบันทึก ขัดข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาว วิธีการตามคำแนะนำในการใช้เครื่องแต่ละรุ่น ทิ้งข้าวขาวไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก และบันทึก นำข้าวขาว

ทั้งหมดไปแยกข้าวหักออกจากข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว ด้วยเครื่องคัดแยกข้าวหัก เมื่อข้าวผ่านตะแกรงหมดแล้ว ต้องคัดเลือกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหัก ด้วยวิธีตรวจพินิจอีกครั้ง ชั่งน้ำหนักข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหัก และบันทึก คำนวณหาปริมาณคุณภาพขัดสีข้าว (% โดยน้ำหนัก) จากสูตร

$$\text{ปริมาณคุณภาพขัดสีข้าว (\% โดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักคุณภาพขัดสีข้าว} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวทั้งหมด}}$$

3.7 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ธาตุเหล็ก และสังกะสี ในเมล็ดข้าว

3.7.1 การวิเคราะห์โปรตีน ปริมาณไนโตรเจน (Total nitrogen) ชั่วตัวอย่าง 0.2 กรัมในหลอดย่อย เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 7 มิลลิลิตร และเติม catalyst 1 กรัม นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยตัวอย่างจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีขาว เมื่อเย็นจึงนำมาเติม NaOH 40% จนสารมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำเงิน นำไปเข้าเครื่องกลั่น โดยใช้ Boric acid 2% เพื่อนรอรับสารที่ได้จากการกลั่นจนได้สารประมาณ 100 มิลลิลิตร นำไปไตเตรตด้วย HCL 0.05 นอร์มอล นำผลการคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไปคูณกับแฟกเตอร์ของพืช (6.25) จะได้เป็นปริมาณโปรตีน (AOCA, 1990)

3.7.2 การวิเคราะห์เหล็กและสังกะสี การเตรียมตัวอย่างพืช ชั่งตัวอย่างพืชที่บด 1 กรัม เติมกรดผสม HNO_3 : $HCLO_4$ (Nitric acid : Percholric acid อัตราส่วน 6:1) จำนวน 15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำมาตั้งบน hot plate ในอุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส จนกระทั่งกลายเป็นสีขาว นำมาปรับด้วยปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 25 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสต๊อก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในพืช การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก และสังกะสี อ่านจากสต๊อกพืช โดยนำไปอ่านด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ตามวิธีของ (เนาวรัตน์, 2527)

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ analysis of variances (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การทดลองที่ 1 ผลของชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในกระถาง

4.1.1 การเจริญเติบโตของข้าว

ที่ระยะแตกกอ (Table 4) พบว่าการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีความสูงและจำนวนหน่อต่อกอมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย ยกเว้นค่า SPAD การใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (CRF) ทั้ง 2 สูตรในอัตราแนะนำ 50 กิโลกรัม/ไร่ (CRF1-50 และ CRF2-50) ใส่ครั้งเดียวที่รองพื้นก่อนปลูก ทำให้ต้นข้าวมีความสูงเฉลี่ยที่ 63.4 และ 63.6 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยที่ไม่เคลือบ (F-50) ที่สูงเฉลี่ยที่ 59.5 เซนติเมตร สำหรับจำนวนหน่อต่อกอของต้นข้าวที่ได้รับปุ๋ย CRF1 และ CRF2 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ และ 37.5 กิโลกรัม/ไร่ มีจำนวนหน่อต่อกอที่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ (F-50) โดยมีค่า 6.5-7.9 หน่อ ขณะที่การใส่ปุ๋ย CRF อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ (CRF1-25 และ CRF2-25) มีจำนวนหน่อ 5.6 และ 5.9 หน่อ/กอ ซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธี F-50 ความสูงต้น จำนวนหน่อต่อกอ และค่า SPAD ของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ระยะดอกบานแสดงใน Table 5 ความสูงของต้นข้าวจากกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอยู่ในช่วง 91.9-97.5 เซนติเมตร ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้พบว่ากรรมวิธี CRF1-50, CRF1-37.5 และ CRF2-50 ทำให้ต้นข้าวมีจำนวนหน่อต่อกอมากกว่ากรรมวิธี F-50 เมื่อพิจารณาผลของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อความสูงและจำนวนหน่อต่อกอจะเห็นได้ว่า การให้ปุ๋ยในอัตราที่เท่ากันทำให้ความสูงและจำนวนหน่อต่อกอใกล้เคียงกันหรือมากกว่าการใส่ปุ๋ยที่ไม่เคลือบ

สำหรับค่า SPAD ที่วัดจากใบ YEB ระยะแตกกอ (Table 4) มีค่ามากที่สุดในกรรมวิธี F-50 (37.7 SPAD unit) เนื่องจากการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาหลังจากการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ของการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ ขณะที่กรรมวิธีการใส่ปุ๋ย CRF เป็นการใส่ครั้งเดียวในขั้นตอนเตรียมดินจึงทำให้ค่า SPAD มีค่าน้อยกว่า (32.1-34.7 SPAD unit) เมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตถึงระยะออกดอกพบว่าใบธงของต้นข้าวที่ได้รับปุ๋ย CRF1-50 และ CRF1-37.5 มีค่า SPAD 32.4 และ 32.9 SPAD unit ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธี F-50 (35.1 SPAD unit) ดังแสดงใน Table 5

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ในใบ YEB ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ระยะแตกกอ พบว่า กรรมวิธี F-50 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.75

เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการทดลองอื่น ปริมาณขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมีค่า 1.70-2.05 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบธงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ระยะเก็บเกี่ยว มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.53-0.73 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.01 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.79-1.04 เปอร์เซ็นต์ (Table 6)

Table 4 Effects of different CRF treatments on plant height, tillers per hill and SPAD value in YEB of PTT1 at tillering stage.

Treatments	Plant height (cm)	Tillers/ hill (number)	SPAD value (SPAD unit)
N0	54.9 C	3.8 D	31.2 D
F-50	59.5 B	7.5 AB	37.7 A
CRF1-50	63.4 A	7.9 A	34.7 B
CRF1-37.5	62.3 AB	7.4 AB	33.6 BC
CRF1-25	60.3 AB	5.9 C	32.8 BCD
CRF2-50	63.6 A	7.6 AB	32.5 CD
CRF2 -37.5	60.3 AB	6.5 BC	33.9 BC
CRF2-25	59.7 B	5.6 C	32.1 CD
F-test	*	*	*
CV (%)	4.31	19.86	5.57

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 5 Effects of different CRF treatments on plant height, tillers per hill and SPAD value in YEB of PTT1 at flowering stage.

Treatments	Plant height (cm)	Tillers/ Plant (number)	SPAD value (SPAD unit)
N0	90.9 B	4.7 D	28.8 C
F-50	93.2 AB	6.7 C	35.1 A
CRF1-50	96.3 AB	10.3 A	32.4 AB
CRF1-37.5	97.5 A	9.3 AB	32.9 AB
CRF1-25	94.3 AB	8.3 ABC	32.0 BC
CRF2-50	96.5 AB	10.2 A	31.8 BC
CRF2 -37.5	91.9 AB	8.8 ABC	29.5 C
CRF2-25	94.3 AB	7.6 BC	31.4 BC
F-test	*	*	*
CV (%)	2.30	21.39	5.78

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 6 Total nitrogen, total phosphorus and Total potassium in YEB at tillering stage and in flag leaf at flowering of rice var. PTT1.

Treatment	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
YEB at tillering			
NO	1.40 C	0.01	1.86
F-50	1.75 A	0.01	2.05
CRF1-50	1.55 BC	0.01	1.92
CRF1-37.5	1.52 C	0.01	1.73
CRF1-25	1.50 C	0.01	1.81
CRF2-50	1.48 C	0.01	1.70
CRF2 -37.5	1.45 C	0.01	1.85
CRF2-25	1.43 C	0.01	1.74
F-test	*	ns	ns
CV (%)	6.72	0.00	5.89
Flag leaf at flowering			
NO	0.59	0.01	0.89
F-50	0.68	0.01	1.04
CRF1-50	0.73	0.01	1.01
CRF1-37.5	0.72	0.01	1.01
CRF1-25	0.67	0.01	1.08
CRF2-50	0.60	0.01	0.80
CRF2 -37.5	0.53	0.01	0.90
CRF2-25	0.59	0.01	0.79
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	10.46	0.00	11.00

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

4.1.2 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าว

Table 7 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน พบว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย มีผลผลิตเมล็ด น้ำหนักฟางแห้ง และจำนวนรวงต่อกอน้อยกว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธี (25.5 กรัมต่อกระถาง 27.99 กรัมต่อกระถาง และ 3.8 รวงต่อกอ) การใส่ปุ๋ย CRF1 อัตรา 50 และ 37.5 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงที่สุด (50.7 และ 48.8 กรัมต่อกระถาง) ขณะที่การใส่ปุ๋ย CRF2 ทุกกรรมวิธี และการใส่ CRF1 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยตามอัตราแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยให้ผลผลิต 35.12-43.12 กรัมต่อกระถาง กรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ให้ผลผลิตน้อยที่สุด (25.55 กรัมต่อกระถาง) การใส่ปุ๋ย CRF ทั้งสองสูตรอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ให้น้ำหนักฟางแห้งมากกว่าการใส่ปุ๋ยที่ไม่มีการเคลือบ (45.60 กรัมต่อกระถาง) อย่างไรก็ตามไม่พบผลของกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวปทุมธานี 1 ในการทดลองนี้ ซึ่งมีค่า 75.7-83.7 เปอร์เซ็นต์

ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ในใบ YEB ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ระยะแตกกอกับปริมาณผลผลิต แสดงดัง Table 8 พบว่า ผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณธาตุไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r=0.575*) และมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณธาตุโพแทสเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง (r=0.710**) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันในระยะออกดอกที่ผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียม (r=0.784** และ 0.726**) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง อย่างไรก็ตามค่าธาตุฟอสฟอรัสไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ได้ เนื่องจากค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารที่ได้ไม่แตกต่างกันในทุกกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน แสดงดัง Table 9 พบว่า ผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักฟางแห้งและจำนวนรวงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง โดยมีค่าวิเคราะห์สหสัมพันธ์ที่ r=0.884** และ 0.985** ตามลำดับ แต่มีสหสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีค่อนข้างต่ำที่ r=0.426

Table 7 Effects of CRF on yield and yield component of rice var. PTT1.

Treatments	Grain yield MC=14% (g/pot)	Straw yield (g/ pot)	Number of Spikelet/Panicles Plant (number)	Filled grain (%)
NO	25.55C	27.99E	3.8 E	79.6
F-50	43.12 AB	45.60BC	7.0 ABC	80.0
CRF1-50	50.7A	52.39A	7.8 A	83.7
CRF1-37.5	48.8 A	49.41AB	7.5 AB	78.8
CRF1-25	38.49B	43.52BCD	6.1 BCD	78.8
CRF2-50	39.24B	52.38A	6.4 ABCD	76.4
CRF2 -37.5	36.37B	40.61CD	5.5 D	79.9
CRF2-25	35.12B	38.90D	5.8 CD	75.7
F-test	*	*	*	ns
CV (%)	18.89	17.41	19.09	2.89

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$) * means significant difference at $P < 0.05$

Table 8 Correlation between yield and N-P-K analysis in YEB at tillering stage and in flag leaf at flowering of rice var. PTT1.

	Grain yield (g/pot)	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
YEB at tillering				
Grain yield (g/pot)	1	0.575*	-	0.130ns
Total N (%)		1	-	0.710**
Total P (%)			1	-
Total K (%)				1
Flag leaf at flowering				
Grain yield (kg/rai)	1	0.784**	-	0.511*
Total N (%)		1	-	0.726**
Total P (%)			1	-
Total K (%)				1

* and ** = significant difference at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively; ns = not significant difference

Table 9 Correlation between yield and yield component of rice var. PTT1.

	Grain yield (g/pot)	Straw yield (g/pot)	Panicles/hill (number)	Filled grain (%)
Grain yield (g/pot)	1	0.884**	0.985**	0.426ns
Straw yield (g/pot)		1	0.912**	0.161ns
Panicles/hill (number)			1	0.311ns
Filled grain (%)				1

* and ** = significant difference at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively; ns = not significant difference

4.2 การทดลองที่ 2 ผลของปุ๋ยยูเรียควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในแปลงปลูก

4.2.1 การเจริญเติบโตของข้าวในแปลงปลูก

การเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ได้รับผลกระทบจากกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยแตกต่างกันในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 การใส่ปุ๋ย CRF อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ รองพื้นก่อนปลูกเพียงครั้งเดียว (CRF-50) ทำให้ข้าวมีความสูง 70.7 เซนติเมตร มีจำนวนหน่อ 19.1 หน่อต่อกอ ที่ระยะแตกกอ และมีความสูง 108.8 เซนติเมตร มีจำนวนหน่อ 21.4 หน่อต่อกอ ที่ระยะดอกบาน ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไม่เคลือบในอัตราเท่ากันแบ่งใส่ 2 ครั้ง (F-50) (58.6 เซนติเมตร 10.6 หน่อต่อกอ ที่ระยะแตกกอ และ 100.4 เซนติเมตร และ 16.1 หน่อต่อกอที่ระยะดอกบาน) ขณะที่ความสูงในระยะแตกกอของต้นข้าวที่ใส่ปุ๋ย CRF-37.5 มีความสูง 64.5 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่า CRF-50 แต่มากกว่า F-50 ทั้งนี้ มีจำนวนหน่อในระยะแตกกอ (17.6 หน่อต่อกอ) ความสูงและจำนวนหน่อในระยะดอกบาน (106.8 เซนติเมตร และ 19.2 หน่อต่อกอ) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ CRF-50 (Table 10) สำหรับข้าวพันธุ์ กข41 พบว่า ความสูงและจำนวนหน่อต่อกอในกรรมวิธีที่ได้รับปุ๋ย CRF-50 ทั้ง 2 ระยะการเจริญเติบโต มีค่ามากกว่าการใส่ปุ๋ย F-50 โดยมีความสูง 56.7 เซนติเมตร มีจำนวนหน่อ 11.7 หน่อต่อกอ ในระยะแตกกอ และมีความสูง 112.6 เซนติเมตร มีจำนวนหน่อ 15.1 หน่อต่อกอ ในระยะดอกบาน ทั้งนี้พบว่าการใส่ปุ๋ย CRF-37.5 มีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ย F-50 ยกเว้นในระยะแตกกอที่มีจำนวนหน่อต่อกอมากกว่า (Table 11) เมื่อพิจารณาผลของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อความสูงและจำนวนหน่อต่อกอจะเห็นได้ว่า การให้ปุ๋ยในอัตราที่เท่ากันทำให้ความสูงและจำนวนหน่อต่อกอมากกว่าการใส่ปุ๋ยที่ไม่เคลือบ

จากการศึกษาพบว่าค่า SPAD ที่วัดได้จากทุกกรรมวิธีมีค่าสูงกว่า 29 หน่วย อย่างไรก็ตาม พบว่าการใส่ปุ๋ย CRF มีผลต่อความแตกต่างของค่า SPAD ของใบ YEB และใบธง โดยค่า SPAD ที่วัดได้จากใบ YEB ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในระยะแตกกอที่ได้รับปุ๋ย CRF-50 มีค่ามากที่สุด (34.8 หน่วย) รองลงมาคือ CRF-37.5 (31.1 หน่วย) ส่วนกรรมวิธีใส่ปุ๋ยที่ไม่เคลือบ (F-50) มีค่า SPAD น้อยที่สุด (30.0 หน่วย) เมื่อข้าวเจริญเติบโตจนถึงระยะดอกบาน พบว่า ค่า SPAD ที่วัดจากใบธงของข้าวที่มีการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ มีค่าสูงที่สุด (34.6 หน่วย) ทั้งนี้มากกว่าการใส่ปุ๋ยเคลือบทั้งอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (32.8 หน่วย) และ 37.5 กิโลกรัมต่อไร่ (30.8 หน่วย) ตามลำดับ (Table 10) สำหรับข้าวพันธุ์กข41 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า SPAD ในใบ YEB ระยะแตกกอ และใบ

ธงระยะดอกบานเช่นกัน ในกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคลือบอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่า 33.3 หน่วย ซึ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคลือบอัตรา 37.5 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยไม่เคลือบอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (31.1 และ 30.0 หน่วย) ที่ระยะดอกบาน ค่า SPAD ในใบธงของข้าวพันธุ์กข41 มีค่า 33.3 หน่วย 32.0 หน่วย และ 30.8 หน่วย ในกรรมวิธี F-50 CRF-50 และ CRF-37.5 ตามลำดับ (Table 11)

ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบ YEB ข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ปริมาณไนโตรเจนในใบที่ได้รับปุ๋ย CRF-50 มีปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (1.270 เปอร์เซ็นต์) ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย โดยมีปริมาณฟอสฟอรัส 0.088 – 0.103 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียม 1.498-1.753 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบธงในกรรมวิธี F-50 มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด (2.278 เปอร์เซ็นต์) สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสพบว่ากรรมวิธี F-50 มีค่า 0.175 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่ามากกว่ากรรมวิธี CRF-37.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.163 เปอร์เซ็นต์) ส่วนโพแทสเซียมมีปริมาณมากที่สุดเมื่อได้รับปุ๋ยกรรมวิธี CRF-50 และ CRF-37.5 ซึ่งมีค่า 2.073 และ 1.858 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 12) ในข้าวพันธุ์ กข 41 พบว่าฟอสฟอรัสในใบ YEB จากกรรมวิธี F-50 มีปริมาณมากกว่ากรรมวิธี CRF-50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในใบ YEB ส่วนในระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณฟอสฟอรัสในใบธงที่ได้รับปุ๋ย CRF-37.5 มีค่าน้อยกว่าการได้รับปุ๋ย F-50 ส่วนปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีค่าไม่แตกต่างกันทั้งสองระยะการเจริญเติบโต (Table 13)

Table 10 Plant height, tillers per hill and SPAD value of rice var. PTT1 at tillering and flowering.

Treatments	Plant height (cm)	Tillers/ hill (number)	SPAD value (SPAD unit)
At tiilering			
F-50	58.6 C	10.6 B	30.0 C
CRF-50	70.7 A	19.1 A	34.8 A
CRF-37.5	64.4 B	17.6 A	31.1 B
F-test	*	*	*
CV (%)	7.65	23.49	6.42
At flowering			
F-50	100.4 B	16.1 B	34.6 A
CRF-50	108.8 A	21.4 A	32.8 B
CRF-37.5	106.8 A	19.2 AB	30.8 C
F-test	*	*	*
CV (%)	3.40	11.50	4.74

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 11 Plant height, tillers per hill and SPAD value of rice var. RD41 at tillering and flowering.

Treatments	Plant height (cm)	Tillers/ hill (number)	SPAD value (SPAD unit)
At tillering			
F-50	51.3 B	6.2 B	30.0 B
CRF-50	56.7 A	11.7 A	33.3 A
CRF-37.5	56.1 AB	10.9 A	31.1 B
F-test	*	*	*
CV (%)	4.42	25.27	4.36
At flowering			
F-50	103.0 B	11.6 B	33.3 A
CRF-50	112.6 A	15.1 A	32.0 B
CRF-37.5	108.0 AB	13.1 AB	30.8 C
F-test	*	*	*
CV (%)	3.63	10.81	3.19

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 12 Result of N-P-K analysis of flag leaf of PTT1.

Treatment	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
At flowering			
F-50	1.018 B	0.103	1.573
CRF-50	1.270 A	0.090	1.498
CRF-37.5	1.030 B	0.088	1.753
F-test	*	ns	ns
CV (%)	10.49	7.10	6.65
At Harvesting			
F-50	2.278 A	0.175 A	1.288 B
CRF-50	2.220 B	0.165 AB	2.073 A
CRF-37.5	2.223 B	0.163 B	1.858 A
F-test	*	*	*
CV (%)	1.19	3.13	19.04

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 13 Result of N-P-K analysis flag leaf of RD41.

Treatment	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
At flowering			
F-50	1.113	0.087 A	1.613
CRF-50	1.185	0.078 B	1.683
CRF-37.5	1.123	0.082 AB	1.558
F-test	ns	*	ns
CV (%)	2.79	4.47	3.16
At harvesting			
F-50	2.393	0.190 A	1.148
CRF-50	2.498	0.180 AB	1.145
CRF-37.5	2.355	0.168 B	1.080
F-test	ns	*	ns
CV (%)	2.50	5.02	2.79

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

4.2.2 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวในแปลงปลูก

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน แสดงดัง Table 14 พบว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ย CRF 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ 934.4 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักฟางแห้ง 963.6 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวนรวง 16.1 รวงต่อกอ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี 85.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบในอัตราเท่ากันแบ่งใส่ 2 ครั้ง (F-50) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลผลิตเมล็ด 786.2 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักฟางแห้ง 818.0 กิโลกรัม/ไร่ จำนวนรวง 12.5 รวงต่อกอ และ เมล็ดดี 79.4 เปอร์เซ็นต์ Table 15 แสดงผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์กข 41 ที่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน พบว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ย CRF 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักฟางแห้ง และจำนวนรวงต่อกอมากกว่า F-50 เช่นเดียวกัน โดยให้ผลผลิตเมล็ด 918.5 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักฟาง 976.0 กิโลกรัมต่อไร่ และ จำนวนรวง 15.4 รวงต่อกอ ทั้งนี้ พบว่าการใส่ปุ๋ย CRF-37.5 ให้ผลผลิตเมล็ด 889.3 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ย CRF-50 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์กข41 ที่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน พบว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ย CRF 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักฟางแห้ง และ

จำนวนรวงต่อกอมากกว่า F-50 เช่นเดียวกัน โดยให้ผลผลิตเมล็ด 918.5 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักฟาง 976.0 กิโลกรัมต่อไร่ และ จำนวนรวง 15.4 รวงต่อกอ ทั้งนี้ พบว่าการใส่ปุ๋ย CRF-37.5 ให้ผลผลิตเมล็ด 889.3 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ย CRF-50

ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบธงและผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แสดงดัง Table 16 พบว่า ที่ระยะดอกบาน ผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบธง (r=0.910**) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบธง (r=-0.765** และ -0.336) ซึ่งแตกต่างกับระยะเก็บเกี่ยวที่ผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในใบธง (r=-0.863** และ -0.743**) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง แต่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบธง (r=0.953**) Table 17 แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบธงและผลผลิตของข้าวพันธุ์กข 41 พบว่า ที่ระยะดอกบานและระยะเก็บเกี่ยว ผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบธง (r=0.704** และ 0.383) แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในใบธง (r=-0.946** และ -0.761)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน แสดงดัง Table 18 พบว่า ผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักฟางแห้ง (r=1.000**) จำนวนรวง (r=0.991**) และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (r=1.000**) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง Table 19 แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวพันธุ์กข 41 ที่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน พบว่าผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักฟางแห้ง (r=0.854**) จำนวนรวง (r=0.840**) และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (r=0.975**) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง

4.2.3 คุณภาพการขัดสีของเมล็ดข้าวในแปลงปลูก

ลักษณะทางคุณภาพการขัดสีของเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 แสดงใน Table 20 พบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 37.5 กิโลกรัมต่อไร่ส่งผลให้มีข้าวต้นสูงสุดที่ 21.85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (19.87 เปอร์เซ็นต์) ในทางกลับกันกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ส่งผลให้เมล็ดหักมากที่สุดที่ 71.21 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีใส่ปุ๋ย F-50 ที่เมล็ดหัก 61.94 เปอร์เซ็นต์

Table 21 แสดงคุณภาพการขัดสีของเมล็ดข้าวพันธุ์กข41 ที่ได้รับกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน พบว่าการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 37.5 กิโลกรัมต่อไร่ทำให้ได้ข้าวเมล็ดเต็มสูงที่สุด 31.42 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีใส่ปุ๋ย CRF-50 (15.75 เปอร์เซ็นต์) แต่มากกว่าการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (13.63 เปอร์เซ็นต์) สำหรับข้าวต้นมีค่ามากที่สุดใน

กรรมวิธีใส่ปุ๋ย F-50 ที่ 67.63 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เมล็ดข้าวหักมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ธาตุเหล็ก และสังกะสี ในเมล็ดข้าว

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับปุ๋ยไม่เคลือบอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F-50) มีปริมาณโปรตีนในเมล็ด 6.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 37.5 กิโลกรัมต่อไร่ (CRF-37.5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวที่ได้รับการใส่ปุ๋ย CRF-37.5 มีค่า 12.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ย F-50 (6.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวมีค่า 15.49-17.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย (Table 22)

ในข้าวพันธุ์กข41 พบว่า ปริมาณโปรตีน และปริมาณสังกะสีในเมล็ด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย โดยมีปริมาณโปรตีน 5.87-6.16 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณสังกะสี 18.48-19.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้พบว่าเมล็ดข้าวจากกรรมวิธี F-50 มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ด 16.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ย CRF ในอัตราเท่ากัน (CRF-50) ซึ่งมีค่า 7.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 23)

Table 14 Effects of CRF on yield and yield component of rice var. PTT1.

Treatments	Grain yield (kg/rai)	Straw yield (kg/rai)	Number of spikelet / Panicles	Filled grain (%)
			1000 gm	
F-50	786.2 B	818.0 B	12.5 B	79.4 B
CRF-50	934.4 A	963.6 A	16.1 A	85.6 A
CRF-37.5	853.5 AB	888.0 AB	13.7 AB	82.3 B
F-test	*	*	*	*
CV (%)	7.06	6.68	10.61	3.07

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 15 Effects of CRF on yield and yield component of rice var. RD41.

Treatments	Grain yield (kg/rai)	Straw yield (kg/rai)	Number of spikelet / Panicles 1000 gm	Filled grain (%)
F-50	709.5 B	807.2 B	12.2 B	72.9 B
CRF-50	918.5 A	976.0 A	15.4 A	80.5 AB
CRF-37.5	889.3 A	869.2 B	13.3 AB	81.4 A
F-test	*	*	*	*
CV (%)	11.01	7.89	9.74	4.87

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 16 Correlation between yield and N-P-K analysis flag leaf of PTT1.

	Grain yield (kg/rai)	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
At flowering				
Grain yield (kg/rai)	1	0.910**	-0.765**	-0.336ns
Total N (%)		1	-0.428ns	-0.697*
Total P (%)			1	-0.349ns
Total K (%)				1
At harvesting				
Grain yield (kg/rai)	1	-0.863**	-0.743**	0.953**
Total N (%)		1	0.980**	-0.975**
Total P (%)			1	-0.911**
Total K (%)				1

* and ** = significant difference at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively; ns = not significant difference

Table 17 Correlation between yield and N-P-K analysis flag leaf of RD41.

	Grain yield (kg/rai)	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
At flowering				
Grain yield (kg/rai)	1	0.704**	-0.946**	0.197ns
Total N (%)		1	-0.896**	0.835**
Total P (%)			1	-0.504*
Total K (%)				1
At harvesting				
Grain yield (kg/rai)	1	0.383ns	-0.761**	-0.420ns
Total N (%)		1	0.307ns	0.677*
Total P (%)			1	0.908**
Total K (%)				1

* and ** = significant difference at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively; ns = not significant difference

Table 18 Correlation between yield and yield component of rice var. PTT1.

	Grain yield (kg/rai)	Straw yield (kg/rai)	Panicles/hill (number)	Filled grain (%)
Grain yield (kg/rai)	1	1.000**	0.991**	1.000**
Straw yield (kg/rai)		1	0.986**	1.000**
Panicles/hill (number)			1	0.988**
Filled grain (%)				1

* and ** = significant difference at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively; ns = not significant difference

Table 19 Correlation between yield and yield component of rice var. RD41.

	Grain yield (kg/rai)	Straw yield (kg/rai)	Panicles/hill (number)	Filled grain (%)
Grain yield (kg/rai)	1	0.854**	0.840**	0.975**
Straw yield (kg/rai)		1	1.000**	0.716**
Panicles/hill (number)			1	0.698*
Filled grain (%)				1

* and ** = significant difference at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively; ns = not significant difference

Table 20 Milling quality of rice var. PTT1 supplied with uncoated or CRF fertilizer.

Treatment	Whole Kernels (%)	Head rice (%)	BrokenRice (%)
F-50	18.19	19.87 AB	61.94 AB
CRF-50	12.95	15.84 B	71.21 A
CRF-37.5	18.40	21.85 A	59.75 B
F-test	ns	*	*
CV (%)	15.27	13.04	7.73

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 21 Milling quality of rice var. RD41 supplied with uncoated or CRF fertilizer.

Treatment	Whole Kernels (%)	Head rice (%)	Broken rice (%)
F-50	13.63 B	67.63 A	18.75
CRF-50	15.75 AB	60.69 AB	23.56
CRF-37.5	31.42 A	47.29 B	21.30
F-test	*	*	ns
CV (%)	39.13	14.43	9.30

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 22 Protein, zinc (Zn) and iron (Fe) concentrations in grain of rice var. PTT1 supplied with uncoated of CRF fertilizer.

Treatment	%Protein	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
F-50	6.38 A	17.37	6.16 B
CRF-50	6.06 AB	15.68	8.98 AB
CRF-37.5	5.49 B	15.49	12.10 A
F-test	*	ns	*
CV (%)	6.16	5.22	26.72

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

Table 23 Protein, zinc (Zn) and iron (Fe) concentrations in grain of rice var. RD41 supplied with uncoated of CRF fertilizer.

Treatment	%Protein	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
F-50	5.90	19.29	16.03 A
CRF-50	5.87	18.48	7.00 B
CRF-37.5	6.16	18.53	11.90 AB
F-test	ns	ns	*
CV (%)	2.18	1.97	31.70

Uppercase letters show the significant difference of means among fertilizer application by using Duncan Multiple Range Test (DMRT) at ($P \leq 0.05$), * means significant difference at $P < 0.05$

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ผลของชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในกระถาง

จากผลการทดลองพบว่าชนิดและอัตราการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยในระยะแตกกอจะเห็นได้ว่า ความสูงของข้าวจากกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคลือบทั้งสองสูตรในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (CRF1-50 และ CRF2-50) มีความสูงที่มากกว่าการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ (F-50) (Table 4) เนื่องจากการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบเป็นการแบ่งใส่สองครั้งในปริมาณที่เท่ากัน ขณะที่วัดการเจริญเติบโตในระยะแตกกอเป็นการใส่ในปริมาณเพียงครึ่งเดียวของอัตราทั้งหมด เมื่อข้าวเจริญเติบโตไปจนถึงระยะดอกบานซึ่งมีการใส่ปุ๋ยครบตามอัตราแล้ว ความสูงของต้นข้าวในทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 5) ซึ่งเกิดจากการที่ข้าวได้รับปริมาณไนโตรเจนอย่างต่อเนื่องและเพียงพอ (อุไรวรรณ, 2556) อย่างไรก็ตามพบว่า จำนวนหน่อต่อกอของข้าวได้รับผลกระทบจากชนิด และอัตราการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยเมื่อบันทึกข้อมูลในระยะดอกบาน โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยสูตร 1 และสูตร 2 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (CRF1-50 และ CRF2-50) และการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 37.5 กิโลกรัมต่อไร่ (CRF1-37.5) มีจำนวนหน่อที่มากกว่าการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ

ความเขียววัดโดยเครื่อง SPAD ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 พบว่าปริมาณไนโตรเจนมีผลต่อความเขียวที่วัดได้จากค่า SPAD โดยกรรมวิธีใส่ปุ๋ยไม่เคลือบแบ่งใส่ 2 ครั้ง (F-50) ให้ค่าความเขียวเฉลี่ยที่ 37.7 SPAD unit สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาหลังจากการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ของการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ ขณะที่กรรมวิธีการใส่ปุ๋ย CRF เป็นการใส่ครั้งเดียวในขั้นตอนเตรียมดินจึงทำให้ค่า SPAD มีค่าน้อยกว่า (32.1-34.7 SPAD unit) ซึ่งความเขียวของใบพืชจะสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนที่พืชได้รับ (ธยานี และคณะ, 2560) แม้ว่าจะเป็นการใส่ปุ๋ยเพียงครั้งเดียว แต่ธาตุอาหารในปุ๋ย CRF จะปลดปล่อยออกมาช้าๆ ทำให้ต้นข้าวได้รับธาตุอาหารอย่างต่อเนื่อง (Dong et al ., 2016) อย่างไรก็ตามพบว่าค่า SPAD ทั้งใน Table 4 ระยะแตกกอและ Table 5 ระยะดอกบานในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยทั้งหมดอยู่ในช่วงที่เพียงพอคือ มากกว่า 29 SPAD unit (Debtanu et al., 2004)

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบธงระยะแตกกอและระยะดอกบานผลผลิตใน Table 6 พบว่าในกรรมวิธีใส่ปุ๋ยไม่เคลือบแบ่งใส่ 2 ครั้ง (F-50) มีปริมาณธาตุในโตรเจนในใบ 1.75% มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญและสอดคล้องกับการวัดค่า SPAD ในใบธงข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ในระยะแตกกอ (Table 4) ที่วัดค่าได้ 37.7 SPAD unit ซึ่งค่าปริมาณไนโตรเจนที่วัดได้ในทุกกรรมวิธีในระยะแตกกอเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช (Sheng-gang et al., 2012) เปอร์เซ็นธาตุฟอสฟอรัสและ

โพแทสเซียมในระยะแตกกอไม่แตกต่างทางสถิติ และในระยะดอกบานผลผลิตปริมาณธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไม่แตกต่างทางสถิติเพราะในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชได้นำสารอาหารส่วนใหญ่สะสมในเมล็ดจึงทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในลำต้นและใบลดน้อยลง กว่าระยะใบ YEB (Laywisadkul and yingjajaval 2019

ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พบว่าในกรรมวิธี CRF1-50 และ CRF1-37.5 ให้ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้น 14 % สูงที่สุด มีแนวโน้มดีกว่าการทดลองของ Chen et al., (2017) ที่ พบกว่าการใส่ปุ๋ยเคลือบเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยแบบปกติแบ่งใส่ 2 ครั้งและไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 แบบให้ผลผลิตมากกว่า การไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลผลิตของปุ๋ยทั้ง 2 สูตรไม่แตกต่างกัน

ปริมาณฟางข้าวเฉลี่ยในกรรมวิธี CRF1-50 และ CRF2-50 มีปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ 52.39 กรัม/กระถางและ 52.38 กรัม/กระถาง ซึ่งมากกว่ากรรมวิธี F-50 ในปริมาณไนโตรเจน ซึ่งหมายความว่าปริมาณการได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอและต่อเนื่องสามารถเพิ่มปริมาณฟางข้าวได้ (Zeidan and El Kramany, 2001)

จำนวนรวงต่อกอพบกว่าในกรรมวิธี CRF1-50 และ CRF1-37.5 มีปริมาณรวงต่อกอเฉลี่ยมากที่สุด 2 อันดับแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ใน Table 7 เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตระหว่าง F-50 CRF1-50 กับ CRF2-50 และ CRF1-37.5 กับ CRF 2-37.5 ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารพืชเท่ากันพบว่า ปริมาณไนโตรเจนเป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มหรือลดผลผลิตข้าว โดยการเคลือบเฉพาะไนโตรเจนให้ผลผลิตข้าวสูงสุดเพราะพืชสามารถดูดใช้ไนโตรเจนได้อย่างต่อเนื่องและเพียงพอได้รับธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ใส่ในคราวเดียวกัน การแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้งให้ผลรองลงมา เพราะต้นข้าวได้รับปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณมาก 2 ครั้งสามารถดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้ตามปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ และการเคลือบปุ๋ยทั้งหมดให้ผลน้อยที่สุดเพราะเมื่อเคลือบปุ๋ยทั้งหมดปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะค่อยๆปลดปล่อยออกมาอาจให้ปริมาณปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดไม่เพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ของพืช เป็น limiting factor ของการใช้ประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Qiong et al. (2021) ที่การใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยตามแบบทั่วไป

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดและองค์ประกอบผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ดังแสดงใน Table 8 พบว่าองค์ประกอบผลผลิตทั้งน้ำหนักฟางแห้ง จำนวนรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อผลผลิตเมล็ด โดยจำนวนรวงให้ค่าสหสัมพันธ์ต่อปริมาณผลผลิตสูงที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Huang et al. (2011) พบว่าปริมาณผลผลิตเมล็ดที่สูงเป็นผลโดยตรงมาจากจำนวนรวง ซึ่งข้าวสามารถพัฒนารวงให้สมบูรณ์จากการได้รับสารอาหารที่เพียงพอและเหมาะสม

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดและองค์ประกอบผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ดังแสดงใน Table 9 พบว่าองค์ประกอบผลผลิตทั้งน้ำหนักฟางแห้ง จำนวนรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อผลผลิตเมล็ด โดยจำนวนรวงให้ค่าสหสัมพันธ์ต่อปริมาณผลผลิตสูงที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Huang et al. (2011) พบว่าปริมาณผลผลิตเมล็ดที่สูงเป็นผลโดยตรงมาจากจำนวนรวง ซึ่งข้าวสามารถพัฒนารวงให้สมบูรณ์จากการได้รับสารอาหารที่เพียงพอและเหมาะสม เมื่อพิจารณาปริมาณปุ๋ย CRF1-37.5 และ F-50 พบว่าปริมาณปุ๋ยเคลือบลดลง 25 % และลดค่าแรง 1 ครั้ง คือ 50 % จึงเลือกกรรมวิธี CRF1-50 และ CRF1-37.5 เปรียบเทียบกับ F-50 ขยายผลในแปลงใหญ่ต่อไป

การทดลองที่ 2 ผลของปุ๋ยยูเรียควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในแปลงปลูก

ผลของการวัดความสูงเฉลี่ยของข้าวปทุมธานี1 และข้าวกข41 ทั้ง 2 พันธุ์ใน Table 10 และ Table 11 มีค่าความสูงเฉลี่ยไปในแนวทางเดียวกันทั้งในระยะการแตกกอและระยะดอกบาน จะเห็นได้ว่าค่าความสูงของกรรมวิธี CRF-50 ให้ความสูงเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ CRF-37.5 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธี F-50 ทั้งนี้ค่าความสูงเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์ตอบสนองต่อการได้รับปุ๋ยไนโตรเจนที่เคลือบและทยอยปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้ดีกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง (Chen et al., 2017) ปริมาณหน่อต่อกอที่เป็นองค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญของข้าวมีผลโดยตรงต่อปริมาณผลผลิต (ภาณุมาศ และคณะ, 2565) พบกว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคลือบ CRF-50 และ CRF-37.5 ให้จำนวนต้นต่อกอสูงกว่ากรรมวิธี F-50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงมีแนวโน้มในเชิงบวกกับผลผลิตข้าวที่ได้รับโดยการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารให้ค่อยๆละลายออกมาทำให้การพัฒนาของต้นข้าวสมบูรณ์ได้มากกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเป็นครั้งๆ (Tang et al., 2007) ค่า SPAD ที่วัดได้จากใบธงของข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีค่าที่สอดคล้องกัน คือในระยะแตกกอกรรมวิธี CRF-50 ให้ค่า SPAD unit สูงที่สุด และในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตกรรมวิธี F-50 ให้ค่า SPAD unit สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในระยะการแตกกอกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคลือบได้ใส่ปุ๋ยก่อนการปักดำ ทำให้ต้นข้าวทั้ง 2 พันธุ์ได้รับธาตุไนโตรเจนซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและสร้างคลอโลฟิลล์ซึ่งมีสีเขียวในใบข้าว (ลิลลี่ และคณะ, 2556) ส่วนในกรรมวิธี F-50 ที่ใส่ปุ๋ยไม่เคลือบแบ่งใส่ 2 ครั้งที่ใส่ในนาข้าวหลังปักดำเมื่อข้าวเริ่มแตกกออายุ 30 วัน ข้าวอาจยังดูดปุ๋ยได้ไม่เต็มที่ทำให้ค่า SPAD ที่อ่านได้จากกรรมวิธี F-50 มีค่าน้อยกว่ากรรมวิธี CRF-50 ระยะดอกบานกรรมวิธี F-50 ค่า SPAD สูงที่สุดเพราะการแบ่งใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ 2 ครั้ง เป็นการใส่ปุ๋ยในโตรเจนครั้งละมาก ๆ สะสมอยู่ในส่วนของลำต้นและใบพืชจำนวนมาก จึงมีความเขียวเข้มวัดทางอ้อมได้โดยค่า SPAD ต่างจากปุ๋ย CRF ซึ่งค่อยๆปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนพืชจึงค่อยๆดูดใช้จึงวัดค่า SPAD ได้น้อยกว่า

ค่าวิเคราะห์ธาตุในใบ YEB พันธุ์ปทุมธานี1 และกข41 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ใน Table 12 ระยะแตกกอปริมาณไนโตรเจน CRF-50 มีปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับค่า SPAD ที่วัดได้จากใบธง ส่วนข้าวพันธุ์กข41 ใน Table 13 ค่าไนโตรเจนที่วัดได้ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่เมื่อเทียบค่า SPAD สอดคล้องกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี เพราะข้าวพันธุ์กข41 ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้ดีแต่ไม่ควรใส่ในระดับสูงเนื่องจากจะทำให้เกิดโรคอย่างรุนแรง (กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2559) ทำให้การเพิ่มหรือลดปุ๋ยเพียงเล็กน้อยสามารถส่งผลต่อความเข้มของสีใบได้อย่างชัดเจน การสะสมฟอสฟอรัสในใบธงพบกว่าในกรรมวิธีใส่ปุ๋ยไม่เคลือบแบ่งใส่ 2 ครั้ง (F-50) มีการใส่ไนโตรเจนปริมาณมากในแต่ละครั้งเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคลือบเพียงครั้งเดียว ทำให้การใช้ประโยชน์ธาตุฟอสฟอรัสดีขึ้นมาก เนื่องจากไนโตรเจนกระตุ้นการเจริญเติบโตของราก ซึ่งเพิ่มอัตราการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืช (Grunes. 2008) ดัง Table 12 และ Table 13 ส่วนธาตุโพแทสเซียมปริมาณที่สะสมในใบธงยังไม่ชัดเจนในแต่กรรมวิธีเนื่องจาก การวัดปริมาณโพแทสเซี่ยม 3 ใน 4 ระยะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกนัยหนึ่งคือสามารถลดการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมลงได้อีก 25% ตามการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธี CRF-37.5 หรือมากกว่านั้นจึงต้องทดลองเพิ่มเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานนี้ต่อไป

จาก Table 14 และ Table 15 เห็นได้ว่าในกรรมวิธีใส่ปุ๋ยเคลือบทั้ง 2 กรรมวิธี ในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวกข41 ให้ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวที่ความชื้น 14 % (CRF-50 และ CRF-37.5) ให้ผลผลิตมากกว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยไม่เคลือบแบ่งใส่ 2 ครั้ง (F-50) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการทดลองของ Chen et al. (2017) ที่พืชได้รับสารอาหารเพียงพอและต่อเนื่องจากการเคลือบและค่อยๆปลดปล่อยธาตุอาหารจะทำให้ต้นพืชสามารถเติบโตและให้ผลผลิตที่ดีกว่าการแบ่งใส่ปุ๋ยเป็นครั้งๆ และองค์ประกอบผลผลิตต่างๆเช่นปริมาณฟาง จำนวนต้นต่อกอ และปริมาณเมล็ดเต็มต่อรวงให้ผลไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาปริมาณปุ๋ยเฉพาะกรรมวิธี CRF-37.5 และกรรมวิธี F-50 พบว่ากรรมวิธี CRF-37.5 สามารถให้ผลผลิตมากกว่ากรรมวิธี F-50 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถลดปริมาณปุ๋ยลงได้ 25% โดยปริมาณผลผลิตคงมากกว่าการใส่ปุ๋ยในกรรมวิธี F-50

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดและค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบธง ดังแสดงใน Table 16 และ Table 17 พบว่า ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์กันในเชิงบวก แสดงถึงการตอบสนองไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ระยะดอกบาน และการสร้างผลผลิตของข้าวพันธุ์กข 41 ที่ระยะดอกบานและระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งแตกต่างกับสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่มีสหสัมพันธ์กันทั้งในเชิงบวกและเชิงลบกับผลผลิตเมล็ดของทั้ง 2 ระยะการเจริญเติบโต ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวซึ่งตอบสนองต่อปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน (รรินธร, 2562)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดและองค์ประกอบผลผลิต ดังแสดงใน Table18 และ Table 19 พบว่าองค์ประกอบผลผลิตทั้งน้ำหนักฟางแห้ง จำนวนรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีมี

สหสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อผลผลิตเมล็ด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่งทั้งในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์กข 41 ซึ่งแสดงว่าข้าวที่มีลักษณะองค์ประกอบผลผลิตปริมาณฟาง จำนวนรวง และปริมาณเมล็ดดีสูง มีแนวโน้มที่จะมีผลผลิตสูง สอดคล้องกับการทดลองของ Seyoum et al. (2012) ที่ระบุว่าพันธุ์ข้าวที่มีจำนวนรวงสูงจะให้ผลผลิตเมล็ดสูงเช่นกัน เนื่องจากจำนวนรวงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตเมล็ด

คุณภาพการขัดสีของข้าวทั้ง 2 พันธุ์จาก Table 20 และ Table 21 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพการขัดสีของเมล็ดข้าวพันธุ์กข41 ในกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 37.5 กิโลกรัมต่อไร่มีแนวโน้มให้คุณภาพดีกว่าจากเปอร์เซ็นต์ข้าวเมล็ดเต็ม ในขณะที่เมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ในกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ให้คุณภาพดีกว่าจากเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น สอดคล้องกับการทดลองของ Seetanum and De Datta (1973) และจิรวัฒน์ (2539) พบว่าการจัดการไนโตรเจนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นและคุณภาพการขัดสีของข้าวได้ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มผลผลิตข้าว ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่ได้จากกรรมวิธี CRF-50 และ CRF-37.5 ซึ่งมากกว่ากรรมวิธี F-50 อย่างมีนัยสำคัญ (Table12 และ Table13) เมื่อเทียบกับปริมาณปุ๋ยที่ใส่ไป สอดคล้องกับการทดลองของ Wei *et al*., (2017) พบว่าเมื่อใช้ปุ๋ย CRF ในปริมาณเท่ากันกับปุ๋ยไม่เคลือบ ส่งผลให้ผลผลิตได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับการทดลองของ Fageria (2007) พบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่เหมาะสมมีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักเมล็ดข้าว

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี1 ใน Table 22 และ Table 23 กรรมวิธีใส่ปุ๋ยไม่เคลือบแบ่งใส่ 2 ครั้งให้ปริมาณโปรตีนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเทียบกับกรรมวิธี CRF-37.5 อาจเป็นเพราะปริมาณปุ๋ยที่ให้น้อยกว่ากรรมวิธี F-50 ที่ 25% ซึ่งปริมาณธาตุไนโตรเจนมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์โปรตีนของพืช (วีรวัฒน์, 2558) ในข้าวพันธุ์กข41 ไม่แตกต่างทางสถิติ อาจเกิดจากศักยภาพการสังเคราะห์โปรตีนของข้าวพันธุ์กข41ดีกว่าพันธุ์ปทุมธานี1 จึงไม่แตกต่างทางสถิติ ในการวิเคราะห์ธาตุสังกะสีพบกว่าการใช้ปุ๋ยในแต่ละกรรมวิธีไม่มีผลต่อการสะสมสังกะสีในเมล็ดข้าว ส่วนธาตุเหล็กการสะสมของธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวนั้นให้ผลแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์โดยการใช้ปุ๋ยเคลือบและปริมาณการใส่ปุ๋ย ไนโตรเจน มีผลทั้งเชิงบวกและเชิงลบต่อการสะสมธาตุเหล็ก ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวซึ่งตอบสนองต่อปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (รรินธร, 2562)

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยไม่เคลือบแบ่งใส่ 2 ครั้ง ตามวิธีการของเกษตรกรสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการทดลองปลูกข้าวเพื่อประเมินผลของชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตข้าวในสภาพกระถาง สรุปได้ว่า ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยทั้งสองสูตร หากมีการใช้ในอัตราเท่ากับปุ๋ยไม่เคลือบ ทำให้ต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีการเจริญเติบโตได้มากกว่าหรือใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดที่มีการเคลือบปุ๋ยเฉพาะไนโตรเจน (CRF1) ในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และการลดอัตราการใส่ปุ๋ยลง 25 เปอร์เซ็นต์ (CRF1-37.5) ให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบ ขณะที่การใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยที่มีการเคลือบปุ๋ยทุกเม็ด (CRF2) ในอัตราเท่ากัน ให้ผลผลิตที่น้อยกว่า จึงนำกรรมวิธี CRF1-50 และ CRF1-37.5 ไปใช้สำหรับการปลูกทดสอบในสภาพแปลง

2. การปลูกทดลองในสภาพแปลงเพื่อประเมินผลของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และกข 41 สรุปได้ว่า การใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดเคลือบเฉพาะยูเรีย ในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์กข41 สูงกว่าการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบอัตราเดียวกัน นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดเคลือบเฉพาะยูเรียในอัตราที่ลดลง 25 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบในข้าวพันธุ์กข41 และมากกว่าการใส่ปุ๋ยไม่เคลือบในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยไม่ทำให้การเจริญเติบโตของต้นข้าวทั้งสองพันธุ์ลดลง

3. ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการใส่ปุ๋ยสำหรับนาข้าวให้เกิดประสิทธิภาพ ทำให้มีแนวโน้มที่จะได้รับผลตอบแทนที่สูงขึ้นจากผลผลิตที่เพิ่มขึ้น และยังช่วยลดการจัดการในด้านการใส่ปุ๋ยให้เหลือเพียงครั้งเดียว ลดต้นทุนด้านแรงงาน ที่ค่าแรงมีแนวโน้มจะสูงขึ้นและมีโอกาสขาดแคลนได้ในอนาคต ทั้งนี้อาจต้องมีการทดสอบในข้าวพันธุ์อื่น หรือในสภาพพื้นที่ที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยมีต้นทุนค่าปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น ที่อาจมีผลต่อการตัดสินใจยอมรับของเกษตรกร

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน.2548.**การใช้ปุ๋ย**.แหล่งที่มา http://mordin.ldd.go.th/nana/web-ldd/soil/Page05.htm#Title1

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548**. ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคกลาง**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. **สถานภาพทรัพยากรดิน และที่ดินของประเทศไทย.** แหล่งที่มา http://www.elibrary.ldd.go.th/library/flip/bib9456f/ bib9456f.html

กรมพัฒนาที่ดิน. 2559. **การใช้ที่ดินประเทศไทย พ.ศ.2558 – 2559.** แหล่งที่มา http://www1.ldd.go. th/WEB_OLP/result/landuse2558-2559.htm

กรมพัฒนาที่ดิน. 2559. **ความรู้เรื่องดินและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการพัฒนาที่ดิน.** แหล่งที่มา http://sql.ldd.go.th/intraaccount/TrainIntranet/2559/PowerPoint .pdf

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **การจัดเขตศักยภาพการผลิตข้าวจังหวัดปทุมธานี.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ดอกเบื้อ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **การใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ.** แหล่งที่มา http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00271.pdf

กรมวิชาการเกษตร. 2554. **ข้าว.** แหล่งที่มา http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00263.pdf

กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2559. **ข้าวพันธุ์ กข 41**. แหล่งที่มา http://www.ricethailand.go.th/rkb3/17%E0% B8%81%E0%B8%8249.pdf

กัญญา เชื้อพันธุ์. 2547. คุณภาพข้าวทางกายภาพ. น. 31-38. ใน งามชื่น คงเสรี, (บรรณาธิการ). **คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรมวิชาการเกษตร.

คณาจารย์สาขาพืชไร่นา. 2542. **พืชเศรษฐกิจ**. กรุงเทพฯ: สาขาวิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักรชัยวัฒน์ กาวีวงศ์. 2563. การจัดการธาตุไนโตรเจนเพื่อการผลิตข้าวหอมนิลในชุดดินแม่ทะ. **วารสารแก่นเกษตร,** 48 (1), 189-200.

จิรวัฒน์ เวชแพศย์. 2539. **ปัจจัยในระบบการผลิตที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการสี ข้าว**. เอกสาร

ประกอบการสัมมนา พร. 881. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จีรเดช แจ่มสว่าง. 2538. การควบคุมโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราด้วยเชื้อราไตรโคเดอร์มา: ตอนที่2 หลักการและบทบาท. **วารสารเคหการเกษตร**, 19(10), 159-165.

จำเนียร มีสำลี, นันทินา ดำรงวัฒนากูล และ จักรชัยวัฒน์ กาวีวงศ์. 2564. ผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของข้าวพันธุ์ กข6 ภายใต้วิธีการปลูก แบบปักดำและหว่าน. **วารสารแก่นเกษตร,** 49 (4), 830-841.

ชุติวัฒน์ วรรณสาย. 2547. **การจัดการธาตุอาหารหลักในนาข้าว.** ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก กรมวิชาการเกษตร.

โชคชัย วนภู. 2558. **การควบคุมการสูญเสียปุ๋ยยูเรียโดยการเคลือบสารไบโอพอลิเมอร์**. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ธยานี แน่นอน, ฐิติรัตน์ เพ็งสม และ นิตยา ผกามาศ. 2560. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ และผลผลิตของหญ้ากินนีมอมบาซา. **วารสารแก่นเกษตร,** 47 (2), 259-270.

นาวา ทวิชาโรดม, ปิยะ ดวงพัตรา, ปิติ กันตังกุล และ จุฑามาศ ร่มแก้ว. 2562. ประสิทธิภาพผลทางการเกษตรและความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยในอ้อย. **วารสารแก่นเกษตร,** 47(2), 259-270.

นิษฐา คูหะธรรมคุณ และ สายันต์ แสงสุวรรณ. 2560. ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยยูเรียเพื่อประยุกต์ใช้ในทางเกษตรกรรม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.** 19 (3), 32-44.

เนาวรัตน์ ศิวะศิลป์. 2527. **การปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช.** ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตรฯศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญมี ศิริ. 2549. **วิทยาการเมล็ดพันธุ์**. ขอนแก่น: สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรมหาวิทยาลัยขอนแก่น.

บุญหงส์ จงคิด. 2549. **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัทนันท์ นาถพินิจ และ ชลธิชา นิวาสประกฤติ. 2565. การเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่มีแร่ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมโดยใช้ตัวดูดซับซีโอไลต์. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.** 10(2), 163–181.

ภาณุมาศ กองพันธ์, นพมาศ นามแดง, ฉันทมาศ เชื้อแก้ว, ธีรยุทธ ตู้จินดา และ สุรีพร เกตุงาม. 2565. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าวหอมวารินที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.** 24(2), 19-26.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551**. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. **ธาตุอาหารพืช**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รรินธร รินสินจ้อย. 2562. **ผลของการใส่ปุ๋ยสังกะสีและไนโตรเจนต่อผลผลิตและความเข้มข้นธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวพันธุ์ข้าวไร่และข้าวนาสวนที่ปลูกในสภาพน้ำขังและแอโรบิก.** บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ, เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, ชูศักดิ์ จอมพุก และ จุฑามาศ ร่มแก้ว. 2541. **พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ**. สาขาวิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งระวี ศิริบุญนาม และ สุปราณี แก้วภารมย์. 2562. ผลของกลูต้ารัลดีไฮด์และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติและการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของปุ๋ยไคโตซานไฮโดรเจล. **วารสารวิชชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.** 38(2), 42-56.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์, สุริยา ตันติวิวัฒน์ และ ณรงค์ วงศ์กันทรากร. 2556. **สรีรวิทยาของพืช.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัชระ ภูรีวิโรจน์กุล. 2542. **ปัจจัยสิ่งแวดล้อมและการปรับปรุงพันธุ์ข้าวต้านทานโรคแมลง.** รายงานศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.

วีรวัฒน์ นิลรัตนคุณ. 2558. **การเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการใช้ปุ๋ยอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ.** กรมวิชาการเกษตร.

ศาศวัต ชวนะศักดิ์, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย และ อัญธิชา พรมเมืองคุก. 2565. ผลของปุ๋ยเคมีเคลือบด้วยวัสดุนาโนที่ควบคุมการปลดปล่อยต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย. **วารสารผลิตกรรมการเกษตร**, 4(2), 14-26.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2544. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช**. กรุงเทพฯ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิจัยข้าว. 2539. **ความรู้คู่ชาวนา**. เอกสารวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี.

สถาบันวิจัยข้าว, 2547. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน** กรุงเทพฯ: กรมวิชาการ

เกษตร.

สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. 2563. **ผลผลิตข้าว.** แหล่งที่มาhttp://www.thairiceexporters.or.th/production.htm

สาคร ผ่องพันธุ์. 2530. การเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าว. **วารสารดินและปุ๋ย,** 3(9), 22-28.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2560. **ข้าวไทย.** แหล่งที่มาhttps://www.acfs.go.th/standard/download/Thai-Rice_60.pdf

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2556. ผลของการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่มีต่อผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้ธาตุไนโตรเจนของข้าว. **วารสารวิชาการเกษตร.** 31(3), 270-281.

Allen, V.B., & Pilbeam, D.J. 2015. **Handbook of Plant Nutrition**, 2nd ed. CRC Press.

Anitha, K. & Bindu, G. 2016**.** Effect of Controlled-Release Nitrogen Fertilizer on Methane Emission from Papdy Field Soil. **Procedia Technology,** 24: 196-202.

Bin, Z. S., Dong, J, Z, & Peng, L. 2013. **Effects of Controlled-Release Fertiliser on Nitrogen Use Efficiency in Sammer Maize.** Shandong Agricultural University.

Cakmak, I. & Pfeiffer, W.H. & McClafferty, B. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. **Cereal Chemistry**. 87, 10-20.

Chen, J., Cao, F., Xiong, H., Huang, M., Zou, Y. & Xiong, Y. 2017. Effects of single basal application of coated compound fertilizer on yield and nitrogen use efficiency in double-cropped rice**. The Crop Journal**. 5, 265-270.

Choi, M.M.S. & Meisen, A. 1997. Sulfur coating of urea in shallow spouted beds. **Chemical Engineering Science**. 52(7), 1073-1086.

Debtanu, M., Das, D.K., Tanmoy, K. & Mahua, B. 2004. Management of nitrogen though the use of leaf color chart (LCC) and soil plant analysis development (SPAD) or chlorophyllmeter in rice under irrigation ecosystem. **The**

Scientific World Journal. 4:838-846

Dobermann, A,. & Fairhurst, T. H. 2000. **Rice Nutrient Disorders and Nutrient Management.** Oxford Graphic Printers Pte Ltd.

Eduardo, Z., Leticia, D. A. F., Godofredo, C. V., Carlos, A. D. C., Thiago, A. D. M., Diego, W. D. V., Fernanda, L. M. & Marcos Y. K. 2014. Ammonia Volatilization and Yield Components After Application of Polymer-Coated Urea to Maize. **R. Bras. Ci. Solo**, 38: 1200-1206.

Fageria, N.K. 2007. Yield Physiology of Rice**. Journal of Plant Nutrition**, 30, 843-879.

Farag, S. & Al-Afaleq, E. I. 2002. Preparation and characterization of saponified delignified cellulose polyacrylonitrite-graft copolymer. **Carbohydrate Polymers**. 48, 1-5.

FAO. 2000. **Fertilizer requirements in 2015 and 2030**. Rome. 29 p

Goertz, H.M., Timmons, R.J. & McVey, G.R. 1993. **Sulfur coated fertilizers and process for the preparation there of USA patent US005219465A**. June 15. 42-65.

Gruner, D.L. 1959. Effect of nitrogen on the availability of soil and fertilizer phosphorus to Plant. **Advances in Agronomy.** 11:369-396.

Huang, M., Zou, Y., Jiang, P., Xia. B., Mid, I. & Ao H. 2011. Relationship Between Grain Yield and Yield Components in Super Hybrid Rice**. Agricultural Sciences in China**, 10, 1537-1544.

Helrich, K. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. **Association of Official Analytical Chemists publishing**. Virginia, USA. 1,230 p.

Hong, K., & Park, S. 2000. Polyurea microcapsules with different structures: Preparation and properties. **Journal of Applied Polymer Science**. 78(4), 894-898.

Hutchinson, C., Simonne, E., Solano, P., Meldrum, J. & Livingston, W. P. 2003. Testing of controlled release fertilizerprograms for seep irrigated irish potato production. J**. Plant Nutr**. 26:,1709–1723.

Díez, J.A., Roman, R., Cartagena, M.C., Vallejo, A., Bustos, A. & Caballero, R. 1994. Controlling nitrate pollution of aquifers by using different nitrogenous CRF's in maize crop Agric. **Ecosyst. Environ**. 48(1), 49-56.

Jacobs, F.K., Saijfu K.F., & Seifert, J. 2005. Growth and nutritional response of hardwood seedlings to controlled-release fertilization at outplanting. **Forest Ecology and Management.** 214(1-3), 28-39

Jiana, C., Fangbo, C., Hairong, X., Min, H., Yingbin, Z. & Yuanfu, X. 2017. Effects of single basal application of coated compound fertilizer on yield and nitrogen use efficiency in double-cropped rice. **The Crop Journal**. 265-270

Kulkarni, A. R., Soppimath, K. S. & Aminabhavi, T. M. 1999. Solubility study of azadirachta indica A. Juss. (Neem) seed oil in the presence of cosolvent/nonionic surfactant at (298.15, 303.15, 308.15, and 313.15) K. **Journal of Chemical and Engineering Data**. 45:75-77.

Kumbar, S. G., Kulkarni, A. R., Dave, A. M., & Aminabha, T. M. 2001. Encapsulation efficiency and release kinetics of solid and liquid pesticides through urea formaldehyde crosslinked starch, guargum, and starch guar gum matrices. **Journal of Applied Polymer Science**. 82: 2863-2866.

Liu, M., Liang, R., Zhan, F., Liu, Z., & Niu, A. (2007). Preparation and properties of diatomite composite superabsorbent. **Polymers for Advanced Technologies.** 18 (3): 184-193.

Ma, Q., Gu, H.Y., Shang, H.C., Li, X.Q., Yin, C.Y., Wei, H.Y., Dai, Q.G. & Zhang, H.C. 2010. Responses of grain chalky traits to nitrogen application levels for different growth-period japonica cultivar. **Plant Nutrition and Fertilizer Science.** 16:1340-1350.

Mohammad, S. 1999. Long-term effects of fertilizers and integrated nutrient supply systems in intensive cropping on soil fertility, nutrient uptake and yield of rice. **Journal of Agricultural Science**. 133: 365–370

Obmodi, A., Locher, J. & Judit, D. 2006. Combined use of fertigation and controlled-release fertilizer in intensive open field sweet pepper cultivation. **ActaHorticulturae** 700(700), 233-236.

Perez, C.M., Juliano, B.O., Liboon, S.P., Alcantara, J. M. & Cassman, K.G1 996. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice. **Cereal Chemistry** 73, 556-560.

Tang, S.H., Yang, S.H., Chen, J.S., Xu, P.Z., Zhang, F.B., Ai, S.Y. & Huang, X. 2007. Studies on the mechanism of single basal application of controlled-release fertilizers for increasing yield of rice (Oryza sativa L.). **Agric. Sci. China.** 6, 586-596.

Seetanum, W. and S.K. De Datta. 1973. **"Grain Yield, milling quality and seed viability of rice as influenced by time of nitrogen application and time of harvest"** Argon. J. 65:390-394.

Sheng, G. P., Sheng, Q. H., Jing, Z., Jing, P. W., Cou G. C., Ming, L. C., Ming, Z., & Xiang R. T. 2012. Effects of N management on yield and N uptake of rice in central China. **Journal of Integrative Agriculture**. 11(12), 1993-2000.

Singh, K., Das, K., Samanta, M. M., Kundu, A. K. & ; Sharma, S. S. 2002. Evaluation of certain feed resources for carbohydrate and protein fractions and in situ digestion characteristics. Indian **J. Anim. Sci.** 72 (9), 794-797

Simpson, K. 1986**. Fertilisers and Manures.** Longman, 233 p.

Shogren, R. L., Willett, J. L., & Biswas, A. 2009. HRP-mediated synthesis of starch-polyacrylamide graft copolymers. **Carbohydrate Polymers**. 75(1): 189-191.

Laywidadkul, S., & Yingjajaval, S, 2019. Plant nutrient of rice (Oryza sativa) var. RD41, Pathum Thani1 and Khao Dawk Mali105. **Agricultural Sci.** 50(2):184-196.

Thomas, G., Roger M., Walte,r R., Koen V. K., Guy, T. B. & Veronica R. 2001. Upland rice response to phosphorus fertilization in Asia. **Agronomy Journal**.

93:1362-1370.

Von, U. H. R. 1993. Aspects of fertilizer use in modern, high-yield rice culture. **International Potash Institute**, Switzerland.

Wei, H.Y., Li, H.L., Cheng J.Q., Zhang H.C., Xu K., Guo, B.W., Hu, Y.J. & Cui, P.Y. 2017. Effects of slow/control release fertilizer types and their application tegime on yield in rice with different types of panicle. **Acta Agronomica Sinica.** 43:730-740.

Wei, H. Y., Chen, Z. F., Xing, Z. P., Zhou, L., Liu, Q. Y., Zhang, Z. Z., Jiang, Y. H., Ya, J., Zhu, J. Y., Cui, P. Y., Dai, Q. G. & Zhang, H. C. 2018. Effects of slow or controlled release fertilizer types and fertilization modes on yield and quality of rice journal of Integrative Agriculture 2018, 17(10), 2222–2234.

Wu, Q., Wang, Y. H., Ding, Y. F., Tao, Wei, K., Gao, S., Li, Q. X., Li, W. W., Liu, Z. H. & Li G. H. 2021. Effects of different types of slow- and controlled release fertilizers on rice yield. **Journal of Integrative Agriculture**. 20(6), 1503–1514.

Dong, Y.J., He, M.R., Wang, Z.L., Chen, W.F., Hou, J. X., Qiu, K. & Zhang. J.W. 2016. Effecte of new coated release fertilizer on the growth of maize. **Journal of soil Science and Plant Nutrition.** 16(3), 637-649

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

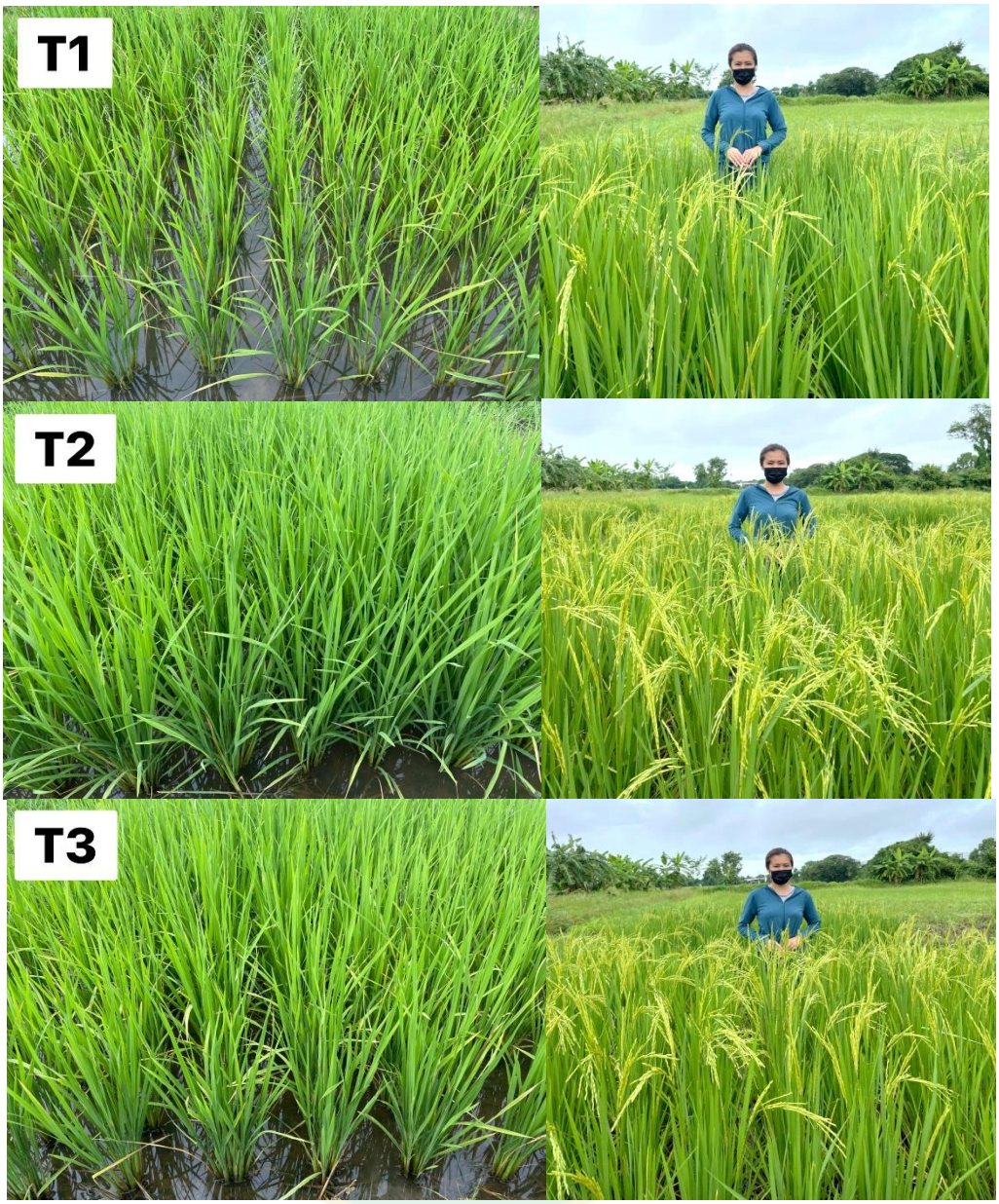
Zeidan, M.S. & El Kramany, M.F. 2001. Effect of organic manure and slow-release N-fertilizers on the productivity of wheat (Triticum aestivum L.) in sandy soil. **Acta Agronomica Hung**. 49(4), 379-385.

Zhang, J. P., Wang, Q., & Wang, A. Q. 2007. Synthesis and characterization of chitosan-g-poly (acrylicacid)/attapulgite superabsorbent composites. **Carbohydrate polymers**. 68: 367-374.

Zhang, Y., Zhang, C., Yan, P., Chen, X., Yang, J., Zhang, F & Cui, Z. 2013. Potassium requirement in relation to grain yield and genotypic improvement of

irrigated lowland rice in China. J. **Plant Nutr. Soil Sci.** 176, 400–406.

ภาคผนวก



ภาพภาคผนวก 1 (T1) : ภาพต้นข้าวระยะแตกกอและระยะดอกบานในแปลง ของข้าวที่ใส่ปุ๋ยแบบไม่เคลือบ แบ่งใส่ 2 ครั้ง อัตรา 50 กิโลกรัม / ไร่

(T2) : ภาพต้นข้าวระยะแตกกอและระยะดอกบานของข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคลือบเฉพาะยูเรีย อัตรา 50 กิโลกรัม / ไร่

(T3): ภาพต้นข้าวระยะแตกกอและระยะดอกบานของข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคลือบเฉพาะยูเรีย อัตรา 37.5 กิโลกรัม / ไร่

ภาพภาคผนวก 2 การล้างทำความสะอาดใบธง ก่อนการวิเคราะห์

ภาพภาคผนวก 3 วิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในใบธง

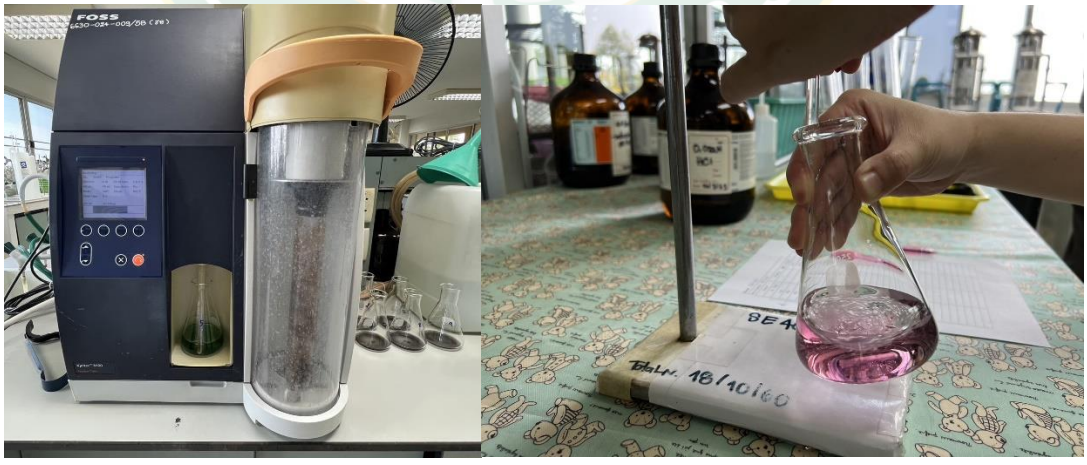
ภาพภาคผนวก 4 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบธง

ภาพภาคผนวก 5 วิเคราะห์โพแทสเซียมทั้งหมดในใบธง

ภาพภาคผนวก 6 หาความชื้นข้าวเปลือก

ภาพภาคผนวก 7 ส่งตัวอย่างเข้าแลปและกระเทาะเปลือกเป็นข้าวสาร

ภาพภาคผนวก 8 ผลผลิตข้าวหลังจากกระเทาะเป็นข้าวสาร



ภาพภาคผนวก 9 การวิเคราะห์โปรตีน

ภาพภาคผนวก 10 การวิเคราะห์หาเหล็กและสังกะสี ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวเครือวัลย์ จันทร์เพ็ญ

เกิดเมื่อ 20 กรกฎาคม 2529

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับอนุบาลและประถมศึกษา จากโรงเรียนวัดแม่ทะ (ดำรงค์ประชานุเคราห์) ปี 2539 - 2546

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนร้องกวางอนุสรณ์ ปี 2542-2547

การศึกษาระดับอุดมศึกษา ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปี 2548 – 2552

ระหว่างการศึกษา ได้ทำปัญหาพิเศษ เรื่อง วิตามินซีในลำไยพันธุ์อีดอ สีชมพู และเบี้ยวเขียว

ประวัติการทำงาน ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่ประกันคุณภาพปุ๋ยเคมี บริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส จำกัด ปี 2552 - 2553

ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่ประกันคุณภาพปุ๋ยเคมีอาวุโส บริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส จำกัด ปี 2554 – 2558

ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายศูนย์ประกันคุณภาพดินและปุ๋ย บริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส บริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส จำกัด ปี 2559 – 2562

ตำแหน่ง รองผู้จัดการทั่วไปศูนย์ประกันคุณภาพดินและปุ๋ย บริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส บริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส จำกัด ปี 2563 – พฤษภาคม 2565

ตำแหน่ง ผู้จัดการทั่วไป โครงการผลิตผัดปลอดภัยและกัญชงช่อดอก หน่วยงานวิจัยและพัฒนา และดำรงค์ตำแหน่งสปอนเซอร์ให้กับโครงการเถ้าแก่ใหม่และเถ้าแก่เล็ก ธุรกิจผักไฮโดรโปรนิคปลอดสาร ที่ อ.ปากช่อง อีก 2 โครงการ ภายใต้บริษัทเจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส จำกัด ปี 2565 – ปัจจุบัน