



อิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว
พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

โดย

นายอนุรักษ์ เครือคำ

ดุขฎฐฎนฎญ์น้ฎเป็นส่วนหน้ฎงการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาดุขฎฐฎบัณชฎต (การจ้ดการล้งแวดล้อม)
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ล้งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลขลลฎฐฎของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว
พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

โดย

นายอนุรักษ์ เครือคำ



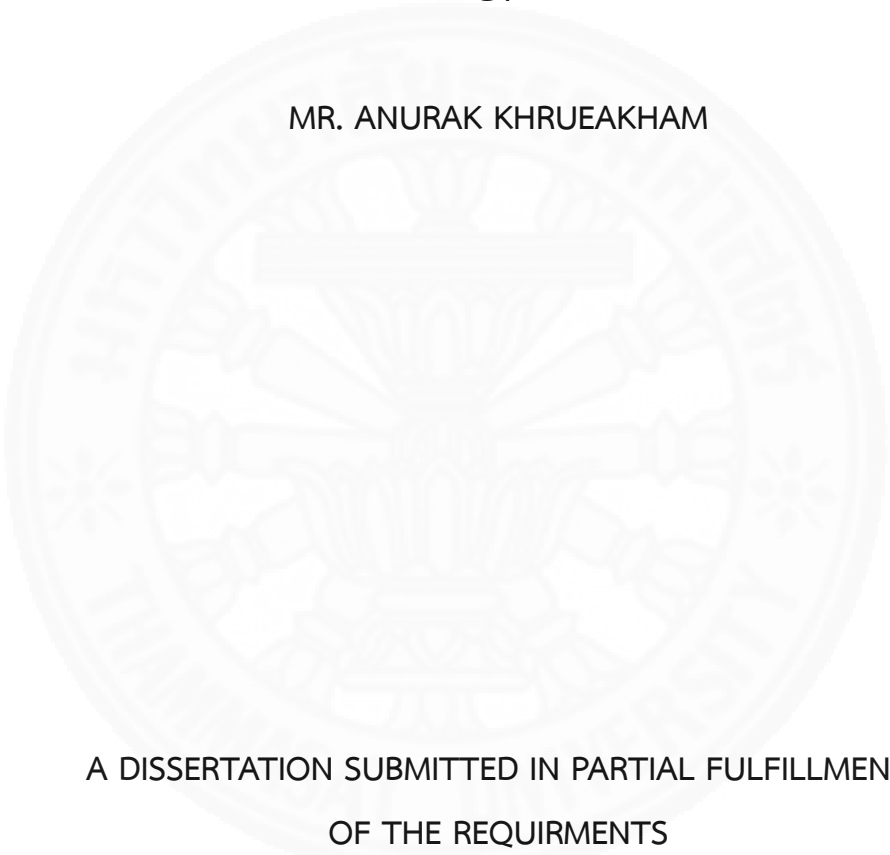
ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



INFLUENCE OF CHEMICAL FERTILIZER APPLICATIONS ON SOIL
AND WATER QUALITIES IN PADDY FIELDS OF NONG HARN AREA,
SAKON NAKHON PROVINCE

BY

MR. ANURAK KHRUEAKHAM



A DISSERTATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENTS

FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
(ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดัชนีนิพนธ์

ของ

นายอนุรักษ์ เครือคำ


เรื่อง

อิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว
พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)


เมื่อ วันที่ 29 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบดัชนีนิพนธ์




(รองศาสตราจารย์ ดร. วรารุช เสือดี)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์หลัก



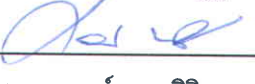
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต อนุรักษ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์ร่วม



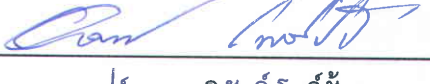
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐฐา หังสพฤกษ์)

กรรมการสอบดัชนีนิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริพรรณ ทวีสุข)

กรรมการสอบดัชนีนิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. อภิศักดิ์ โพธิ์ปัน)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ปกรณ์ เสริมสุข)

หัวข้อคุณสมบัติ	อิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร
ชื่อผู้เขียน	นายอนุรักษ์ เครือคำ
ชื่อปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาคุณสมบัติ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อนุรักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาคุณสมบัติร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา หังสพฤกษ์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร ในแปลงทดลอง จำนวน 6 กรรมวิธี ใส่ปุ๋ยเคมี (สูตร 16-16-8) ปุ๋ยยูเรีย (สูตร 46-0-0) โดยใช้วิธีการใส่ปุ๋ยและอัตราปุ๋ยที่แตกต่างกัน (1) ปุ๋ยอัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในอายุข้าว 30 วัน และปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ในอายุข้าว 60 และ 90 วัน ด้วยวิธีการหว่าน (กรรมวิธีที่ 1) วิธีการฝังที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร (กรรมวิธีที่ 2) และที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร (กรรมวิธีที่ 3) (2) ปุ๋ยอัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในอายุข้าว 30 วัน และปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ในอายุข้าว 60 และ 90 วัน ด้วยวิธีการหว่าน (กรรมวิธีที่ 4) วิธีการฝังที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร (กรรมวิธีที่ 5) และที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร (กรรมวิธีที่ 6)

ผลต่อคุณภาพดิน พบว่า ในอายุข้าว 90 วัน ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่ 5 เท่ากับ 8.44 และต่ำสุด ในกรรมวิธีที่ 1 เท่ากับ 6.70 ค่าอินทรีย์วัตถุอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่ 1 ร้อยละ 0.98 ต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 4 ร้อยละ 0.57 ในอัตราปุ๋ยเท่ากัน กรรมวิธีที่ 1 ค่าริดอกซ์โพเทนเชียล มีค่าสูงสุดเท่ากับ -130.00 มิลลิโวลต์ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 103.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ค่าริดอกซ์โพเทนเชียล มีค่าเท่ากับ -161.00 และ -215.20 มิลลิโวลต์ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน เท่ากับ 230.42 และ 314.23

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 เท่ากับ 7.39 และ 5.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในแต่ละกรรมวิธี มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่ 3 และต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 1 เท่ากับ 29.17 และ 10.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยพบว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก เช่นเดียวกับกับกรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6

คุณภาพน้ำ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้า ในอายุข้าว 30 วัน กรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 1,638.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และในอายุข้าว 90 วัน กรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 300.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ในอายุข้าว 60 วัน และ 90 วัน ในกรรมวิธีที่ 4 และ 6 มีค่า เท่ากับ 3.47 และ 3.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และในอายุข้าว 90 วัน กรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 เท่ากับ 3.21, 3.30 และ 3.35 มิลลิกรัมต่อลิตร (ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3)

ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ในอายุข้าว 60 และ 90 วัน ทุกกรรมวิธี มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และในกรรมวิธีที่ 4 ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 21.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (สูงเกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน) ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ในอายุข้าว 60 วัน กรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 256.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และในอายุข้าว 90 วัน กรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 41.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ในอายุข้าว 90 วัน กรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.95 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 3 ต่ำสุด เท่ากับ 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เมื่ออายุข้าว 90 วัน ในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุด และต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 6 เท่ากับ 2.31 และ 1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของฟอสฟอรัสในน้ำจากปุ๋ยเคมี ในแต่ละกรรมวิธี พบว่า ในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงสุด ร้อยละ 3.60 ของปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้งหมด รองลงมา กรรมวิธีที่ 2 ร้อยละ 2.80 และต่ำสุด ในกรรมวิธีที่ 6 ร้อยละ 1.10

ผลผลิตข้าวทุกกรรมวิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยผลผลิตข้าว จากวิธีการฝังที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร ได้ผลผลิตสูงสุดในอัตราการใช้ปุ๋ยที่เท่ากัน โดยในกรรมวิธีที่ 5 ได้ผลผลิตข้าวเปลือกสูงสุด เท่ากับ 360.2 กิโลกรัมต่อไร่ และต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 3 เท่ากับ 215.0 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตามการใช้กรรมวิธีที่ 2 ให้ผลผลิตข้าวเปลือก 245.3 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าวิธีการฝังปุ๋ยที่กรรมวิธี 5 (ที่อายุข้าว 90 วัน กรรมวิธีที่ 2 มีเพียงค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีที่เกินมาตรฐาน) จึงแนะนำให้เกษตรกรปลูกข้าวด้วยกรรมวิธีที่ 2

คำสำคัญ: กรรมวิธีการใส่ปุ๋ย, การฝังปุ๋ย, การหว่านปุ๋ย, คุณภาพดินและน้ำ, นาข้าว, ปุ๋ยเคมี, หนองหาร

Thesis title	INFLUENCE OF CHEMICAL FERTILIZER APPLICATIONS ON SOIL AND WATER QUALITIES IN PADDY FIELDS OF NONG HARN AREA, SAKON NAKHON PROVINCE
Author	Mr. Anurak Khruetakham
Degree	Doctor of Philosophy
Department/Faculty/University	Environmental Management Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis advisor	Assistance Professor Bundit Anurugsa, Ph.D.
Thesis co-advisor	Associate Professor Natha Hungspreug, Ph.D.
Academic year	2015

ABSTRACT

The study of the effect of fertilizer application on the qualities of soil and water in paddy field, Nong Harn area, Sakon Nakhon province. The experiments were conducted with six different treatments, by using chemical fertilizer (16-16-8) and urea fertilizer (46-0-0): (1) 35 kg/rai of chemical fertilizer on 30th day and 15 kg/rai of urea fertilizer on 60th and 90th day by broadcasting (T1), deep placement at 10 cm (T2) and 20 cm (T3); (2) 70 kg/rai of chemical treatment and 30 kg/rai by broadcasting (T4), deep placement at 10 cm (T5) and 20 cm (T6).

The results of soil qualities revealed that pH was highest (8.44) in T5 on 90th day and the lowest pH was 8.44 in T1. Additionally, the highest and lowest of OM were found in T1 (0.98%) and T4 (0.57%), respectively. At the same fertilization rate, the oxidation-reduction potential was highest in T1 (-130.00 mV), the lowest NH₄⁺-N concentration was 103.96 mg/L and NO₃⁻-N concentration of 8.30 mg/L was highest. For deep placement at 10 and 20 cm, the oxidation-reduction potentials were -161.00 and -215.20 mV; the NH₄⁺-N concentrations were 230.42 and 314.23 mg/kg; NO₃⁻-N

concentrations were 7.39 and 5.91 mg/kg, respectively. The soil qualities in different treatments were significantly different ($P < 0.05$). The highest and lowest of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentrations were 29.17 in T3 and 10.03 mg/kg in T1, respectively. It was noted that the available phosphorus was very low and the results showed the same as two times of fertilization rate.

The results of water quality showed that the highest conductivity was 1,638.0 $\mu\text{S/cm}$ in T4 on 30th day and the lowest conductivity was 300 $\mu\text{S/cm}$ in T3 on 90th day. Dissolved oxygen (DO) on 60th in T4 and 90th day in T6 were 3.47 and 3.49 mg/L, respectively. On 90th day, DO were 3.21, 3.30 and 3.35 in T4, T5, and T6, respectively (lower than that of the standard level of the 3rd surface water). Biochemical Oxygen Demands (BOD) on 60th and 90th day for all treatments were higher than that of the standard level of the 3rd surface water. In T4, BOD was 21.10 mg/L on 90th days (higher than that of the standard level of effluent irrigation). The highest of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration was 256.40 mg/L in T4 on 60th day and lowest of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration was 41.45 mg/L in T3 on 90th day. The highest $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration was 1.95 mg/L in T4 on 90th day and the lowest $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration was 0.46 mg/L in T3 which was significantly different ($P < 0.05$). In contrast, on 90th day, the highest $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration was 2.31 mg/L in T4 and the lowest $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration was 1.02 mg/L in T6. The result was also found that $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration was highest (3.60%) in T1 followed by 2.56% in T2 and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in T6 was the lowest (1.10%).

The results of rice yield presented significantly difference ($P < 0.05$). The highest rice yield was found in treatment of deep placement at 10 cm at the same fertilization rate. The highest rice yield was 360.2 kg/rai in T5 and lowest was 215.0 kg/rai in T3. However, T2 had rice product 245.3 kg with lower environmental impact than T5 (on 90th day, only BOD of T2 was higher than that of the standard level of the 3rd surface water). T2 is suggests for farmer practice.

Keywords: Fertilizer application, Deep placement, Broadcasting, Soil and Water Quality Paddy field, Chemical Fertilizer, Nong Harn

กิตติกรรมประกาศ

ดุขุณินินพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและการแนะนำจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณทิต อนุรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาดุขุณินินพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐฐา หังสพฤกษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาดุขุณินินพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในครั้งนี้ และชี้แนะให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ด้วยดีเสมอมา ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุธ เสือดี ประธานกรรมการสอบดุขุณินินพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริพรรณ ทวีสุข กรรมการสอบดุขุณินินพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น ที่ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการสอบและผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบดุขุณินินพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวพงษ์ สวัสดิ์พาณิชย์ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และคำชี้แนะด้านวิชาการตลอดมา รวมถึงคณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทางห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ คุณพัชรี ธีรจินดาขจร ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน และผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 54/2557 ที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัย ประจำปี 2557

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านในมิตรภาพ ความรู้ ความเข้าใจ ข้อคิด คำแนะนำที่ดี และเป็นกำลังใจในการศึกษา ท้ายที่สุดขอขอบคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้ศึกษามาโดยตลอด หากผลการศึกษานี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อนำไปปรับปรุง แก้ไขในโอกาสต่อไป

นายอนุรักษ์ เครือคำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(14)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(17)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สมมติฐาน	4
1.4 ขอบเขตการศึกษา	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ข้าวพันธุ์เล่าแตก	5
2.2 ดินสำหรับการเกษตร	5
2.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	6
2.4 ความเป็นกรด-เบสของดิน	7

2.5 ธาตุอาหารพืช	8
2.5.1 รูปของธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์	8
2.5.2 ธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว	9
2.5.3 การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดินสู่พืช	10
2.6 ไนโตรเจน	11
2.6.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน	12
2.6.1.1 แอมโมเนียฟิเคชัน	12
2.6.1.2 ไนตริฟิเคชัน	13
2.6.1.3 ดีไนตริฟิเคชัน	14
2.6.2 พลวัตของไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วมขัง	16
2.6.3 การสูญเสียและการได้รับไนโตรเจนในพื้นที่	18
2.6.3.1 การสูญเสียไนโตรเจนด้วยการระเหย	18
2.6.3.2 การสูญเสียไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	18
2.6.3.3 การชะล้าง	18
2.6.3.4 การสูญเสียไนโตรเจนโดยการไหลบ่าของน้ำ	19
2.6.3.5 การจัดการเพื่อควบคุมไนโตรเจนในดิน	19
2.7 ฟอสฟอรัส	20
2.7.1 การสูญเสียฟอสฟอรัสในดิน	21
2.7.1.1 ติดไปกับส่วนของพืชที่เอาออกไปจากดิน	21
2.7.1.2 การระเหย	22
2.7.1.3 ถูกชะละลายลงไปในดินส่วนล่าง	22
2.8 การทำนาข้าว	22
2.8.1 การเตรียมดินแปลงนาดำ	22
2.8.2 การปักดำ	23
2.8.3 การควบคุมระดับน้ำ	23
2.8.4 การใส่ปุ๋ย	23
2.9 ปุ๋ย	23
2.9.1 ปุ๋ยเคมี	23
2.9.1.1 ปุ๋ยยูเรีย	24
2.9.1.2 ปุ๋ยฟอสเฟต	26
2.9.1.2 ปุ๋ยผสมสูตร 16-16-8	26

2.10	วิธีการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว	27
2.10.1	การใส่แบบหว่าน	28
2.10.2	การใส่แบบฝัง	28
2.11	ปัญหาที่เกิดจากการทำนาข้าว	29
2.11.1	ปัญหาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ	29
2.11.2	ปัญหาคุณภาพดินเสื่อมโทรม	29
2.12	ตัวชี้วัดคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว	30
2.12.1	อุณหภูมิของน้ำ	30
2.12.2	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี	30
2.12.3	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	30
2.12.4	ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P)	31
2.12.5	ค่าความเป็นกรด-เบส	32
2.12.6	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ	32
2.12.7	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน	32
2.12.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสกับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน	33
2.13	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3 วิธีการวิจัย		44
3.1	ที่ตั้งแปลงทดลอง	44
3.2	พื้นที่ศึกษา	46
3.3	การเตรียมดินแปลงทดลอง	46
3.4	วิธีการศึกษา	47
3.4.1	การวางแปลงทดลอง	50
3.4.2	อัตราปุ๋ยที่ใช้	52
3.4.3	วิธีการใส่ปุ๋ยในแปลงนาข้าว	53
3.4.4	วิธีการดูแลรักษาในแปลงนาข้าว	53
3.5	การเก็บตัวอย่างน้ำ ดิน และข้าว	53
3.5.1	ตัวอย่างน้ำ	53
3.5.2	ตัวอย่างดิน	56
3.5.3	ข้าว	57

	(9)
3.5.3.1 ความสูงของต้นข้าว	57
3.5.3.2 ผลผลิตข้าว	57
3.6 สถานที่วิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ	58
3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ	58
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	59
4.1 คุณภาพน้ำในนาข้าว	59
4.1.1 ค่าอุณหภูมิของน้ำ	60
4.1.2 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ	62
4.1.3 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ	66
4.1.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ	69
4.1.5 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี	73
4.1.6 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ	77
4.1.7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ	82
4.1.8 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ	86
4.2 คุณภาพดินในนาข้าว	90
4.2.1 ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน	90
4.2.2 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน	93
4.2.3 ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน	97
4.2.4 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน	101
4.2.5 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน	104
4.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสกับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล และค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน	109
4.2.7 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน	110
4.3 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำและดินนาข้าว	113
4.4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำและดินนาข้าว	114
4.5 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำและดินนาข้าว	114
4.6 เปรียบเทียบไนโตรเจนจากแอมโมเนียมและไนเตรทจากกรรมวิธี การใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-8 และสูตร 46-0-0 ในนาข้าว	115

	(10)
4.7 เปรียบเทียบฟอสฟอรัสในฟอสเฟตจากกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-8 ในนาข้าว	117
4.8 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำและดินในนาข้าว	120
4.8.1 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำ	120
4.8.2 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดิน	122
4.9 ความสูงต้นข้าว	125
4.10 ผลผลิตข้าวเปลือก	129
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	132
5.1 สรุปผลการวิจัย	132
5.1.1 อิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว	132
5.1.2 ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และสมบัติบางประการของดินและน้ำในนาข้าว	133
5.1.3 เปรียบเทียบกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว และผลผลิตข้าว	137
5.2 ข้อเสนอแนะ	139
รายการอ้างอิง	140
ภาคผนวก	151
ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบคุณภาพน้ำและดินในนาข้าว	152
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	166
ภาคผนวก ค ปริมาณน้ำฝนรายวัน	187
ประวัติผู้เขียน	188

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การประเมินระดับอินทรีย์วัตถุในดินตามวิธี Walkley และ Black	7
2.2 รูปของสารประกอบของธาตุอาหารที่พบในดิน	9
2.3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว ในต้นพีชระยะแตกกอสูงสุด	10
2.4 ค่าคงที่ในการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนที่กระบวนการต่างๆ ในนาข้าว แบบปฏิกริยาอันดับ 1 ในนาข้าว	15
2.5 การประเมินระดับฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน	22
2.6 คุณสมบัติปุ๋ยยูเรีย	25
2.7 การใส่ปุ๋ยตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว	27
2.8 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา และชนิดของปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตข้าว	28
3.1 กรรมวิธี ครั้งที่ วิธีการใส่ปุ๋ย ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีในแปลงนาข้าว ต่อพื้นที่ 16 ตารางเมตร	52
3.2 กำหนดการเก็บตัวอย่างน้ำและดินตามระยะการใส่ปุ๋ยและการเจริญเติบโตของข้าว	54
3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและดิน	56
4.1 ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร	62
4.2 ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร	65
4.3 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ตามระยะการเจริญ เติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และ อายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร	69
4.4 ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร	72

- 4.5 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 76
- 4.6 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 81
- 4.7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 85
- 4.8 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 89
- 4.9 ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 93
- 4.10 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (มิลลิโวลต์) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 97
- 4.11 ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 101
- 4.12 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 105
- 4.13 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 108

- 4.14 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) จากการคำนวณตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 109
- 4.15 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 112
- 4.16 เปรียบเทียบไนโตรเจนจากแอมโมเนียมและไนเตรท (ร้อยละของปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนาข้าว) ในวันที่ 90 ของอายุข้าวจากปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 และ สูตร 46-0-0 ในกรรมวิธีที่ 1-6 ในแปลงทดลองนาข้าว 117
- 4.17 เปรียบเทียบฟอสฟอรัสจากฟอสเฟต (ร้อยละของปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนาข้าว) ในวันที่ 90 ของอายุข้าวจากปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว 119
- 4.18 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำในนาข้าว (ค่าอุณหภูมิ, ค่าความเป็นกรด-เบส, ค่าการนำไฟฟ้า, ค่าออกซิเจนละลายน้ำ, ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี, ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน, ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส) ในวันที่ 90 ของอายุข้าว เทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และมาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน 122
- 4.19 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินในนาข้าว (ค่าความเป็นกรด-เบส, ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล, ค่าอินทรีย์วัตถุ, ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน, ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และ ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส) และระดับของคุณภาพดิน ที่ประเมินได้ ในวันที่ 90 ของอายุข้าว 124
- 4.20 ค่าความสูงของต้นข้าว (เซนติเมตร) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน, อายุข้าว 90 วัน และอายุข้าว 120 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร 125
- 4.21 ผลผลิตข้าวเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่) 131

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วมขัง	16
2.2	การจัดโซนของพื้นที่นาข้าว	17
2.3	อิทธิพลของค่าความเป็นกรด-เบสต่อเศษส่วนโมลของฟอสฟอรัส	20
3.1	พื้นที่หนองหาร ตำบลเชียงเคี่ยน อำเภอมือง จังหวัดสกลนคร	45
3.2	ลักษณะพื้นที่ก่อนการทำการแปลงทดลองในตำบลเชียงเคี่ยน อำเภอมือง จังหวัดสกลนคร	46
3.3	การวางแปลงนาข้าวทดลองขนาด 4 x 4 เมตร (16 ตารางเมตร)	47
3.4	กรอบแนวคิดในการวิจัย	49
3.5	การวางแปลงทดลองขนาด 4 x 4 เมตร (16 ตารางเมตร)	50
3.6	การวางไม้ไคร้พืดในแปลงทดลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 x 50 เซนติเมตร	51
3.7	ระยะระหว่างกอและแถว 25 x 25 เซนติเมตร	51
3.8	การสูบลมเก็บตัวอย่างน้ำ และดินจากไม้ไคร้พืด จำนวน 3 ชุด ชุดละ 4 อัน ในแปลงนาข้าวทดลองจำนวน 6 กรรมวิธี	55
4.1	ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	61
4.2	ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	64
4.3	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	68
4.4	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลอง นาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	71
4.5	ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	74

4.6	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	79
4.7	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	84
4.8	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	88
4.9	ค่าความเป็นกรด-เบสในดินในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	92
4.10	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	95
4.11	ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	99
4.12	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	103
4.13	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	107
4.14	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)	111
4.15	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (กรัม) ในน้ำและดิน ในวันที่ 30, 60 และ 90 ของอายุข้าว หลังการใส่ปุ๋ยเคมีในแต่ละครั้งแล้ว 2 วัน	113

4.16	ค่าไนโตรเจน-ไนโตรเจน (กรัม) ในน้ำและดินในวันที่ 30, 60 และ 90 ของอายุข้าว หลังการใส่ปุ๋ยเคมีในแต่ละครั้งแล้ว 2 วัน	114
4.17	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (กรัม) ในน้ำและดินในวันที่ 30, 60 และ 90 ของอายุข้าว หลังการใส่ปุ๋ยเคมีในแต่ละครั้งแล้ว 2 วัน	115
4.18	เปรียบเทียบร้อยละของไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในน้ำวันที่ 90 ของอายุข้าว	116
4.19	เปรียบเทียบร้อยละของไนโตรเจนจากไนเตรทในน้ำวันที่ 90 ของอายุข้าว	116
4.20	เปรียบเทียบร้อยละของฟอสฟอรัสจากฟอสเฟตในน้ำวันที่ 90 ของอายุข้าว	118
4.21	ค่าความสูงของต้นข้าว (เซนติเมตร) ที่ระยะอายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน, อายุข้าว 90 วัน และ อายุข้าว 120 วัน	126
4.22	ผลผลิตข้าวเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่) ในแปลงทดลองนาข้าว	130



รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำจำกัดความ/คำเต็ม
%	เปอร์เซ็นต์
°C	องศาเซลเซียส
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
$\mu\text{S/cm}$	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
BOD	ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี
CEC	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	ยูเรีย
DO	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ
DAP	ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต
EC	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ
Eh	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล
E^0	ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน
H^+	ไฮโดรเจนไอออน
HPO_4^{2-}	โมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต
H_2PO_4^-	ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต
K	โพแทสเซียม
K_2O	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ
N	ไนโตรเจน
$\text{NH}_3\text{-N}$	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	แอมโมเนียม-ไนโตรเจน
$\text{NO}_2^-\text{-N}$	ไนไตรท์-ไนโตรเจน
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	ไนเตรท-ไนโตรเจน
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	แอมโมเนียมคาร์บอเนต
OH^-	ไฮดรอกซิลไอออน
OM	อินทรีย์วัตถุ
P	ฟอสฟอรัส

สัญลักษณ์/คำย่อ

คำจำกัดความ/คำเต็ม

pH

ความเป็นกรด-เบส

 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$

ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส

pK_a

ค่าคงที่การแตกตัว

 P_2O_5

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

T

อุณหภูมิ



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยได้เปลี่ยนแปลงจากเกษตรอินทรีย์มาเป็นการเกษตรกรรมแผนใหม่หรือเกษตรกรรมเคมีเพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิตเป็นสินค้าออกมากขึ้น¹ ผลจากการเพิ่มขึ้นของประชากร และการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาช่วยในการเพิ่มผลผลิตต่างๆ รวมทั้งด้านอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค เช่น การนำปุ๋ยเคมีเข้ามาช่วยในการเพาะปลูก เพื่อเพิ่มผลผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำนาข้าว ซึ่งเป็นอาชีพหลักของภาคการเกษตรมาช้านานจากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2556 พบว่า พื้นที่ปลูกข้าวทั่วทุกภาคของประเทศไทยรวมทั้งสิ้นประมาณ 78 ล้านไร่ ประกอบด้วยการปลูกข้าวนาปี 62 ล้านไร่ และปลูกข้าวนาปรัง 16 ล้านไร่²

จังหวัดสกลนคร เป็นจังหวัดหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีพื้นที่การปลูกข้าวนาปี 2,017,304 ไร่ หรือร้อยละ 6 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งอยู่ในที่ราบแอ่งสกลนคร พื้นที่ทั่วไปมีภูเขาและป่าไม้หนาแน่น มีแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “หนองหาร” ซึ่งเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญและเหมาะสมสำหรับการทำเกษตรกรรมโดยเฉพาะการทำนาข้าว มีพื้นที่ทำนาข้าวเป็นอันดับที่ 9 จาก 19 จังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ให้ผลผลิตข้าวเปลือกรวม 566,649 ตัน และให้ผลผลิตเฉลี่ยไร่ละ 324 กิโลกรัม ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเนื่องจากดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำโดยธรรมชาติ และเป็นดินที่ง่ายต่อการชะล้างพังทลาย ส่งผลให้เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิต เนื่องจากปุ๋ยเคมีสามารถหาใช้ได้ง่าย สะดวก ประหยัดแรงงาน และเห็นผลได้รวดเร็วในพื้นที่การทำนาข้าวรอบหนองหาร มีการใช้ปุ๋ยเคมีมากที่สุดซึ่งมากกว่าปุ๋ยชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตตำบลบ้านแป้น ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่มีพื้นที่ติดกับหนองหารที่มีเกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีคิดเป็นร้อยละ 69.44 ของเกษตรกรทั้งหมดที่ถูกสัมภาษณ์ จำนวน 200 คน³ ปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินได้ทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองและในประเทศไทยมีการนำปุ๋ยมาใช้ในปริมาณที่มาก ทำให้ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดการทางการเกษตร ลดประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและคุณภาพผลผลิต⁴ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา กล่าวคือ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวจะทำให้ไนโตรเจนในนาข้าวเคลื่อนที่ลงสู่น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินโดยการชะล้างซึ่งจะทำให้แหล่งน้ำเกิดความเสื่อมโทรมและถูกทำลายได้ อีกทั้งยังก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน⁵⁻⁷ การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนโดยกระบวนการระเหยของแอมโมเนียที่เกิด (ammonia volatilization) จากการใช้

ปุ๋ยไนโตรเจนได้มีการศึกษาไว้เช่นกัน⁸⁻¹⁰ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวจะทำให้เกิดแอมโมเนียมไอออนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียและปลดปล่อยสู่อากาศในรูปของก๊าซต่อไปซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่มากในขณะเดียวกัน ไนเตรทในนาข้าวก็สามารถเกิดขึ้นในนาข้าวได้เช่นกันโดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะแพร่กระจายลงไปในดินชั้นรีดิวซ์โซนที่จะคอยรักษาตัวรับอิเล็กตรอนให้กับการหายใจของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน และไนเตรทในน้ำในนาข้าวสามารถผ่านเข้าสู่ในดินชั้นต่ำกว่ารีดิวซ์โซนได้ด้วยกระบวนการไหลผ่านและแพร่กระจายได้ง่าย จากการวิจัยพบว่า การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวสามารถเพิ่มแอมโมเนีย แอมโมเนียมไอออนและไนเตรทไอออนได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปและการเคลื่อนที่ของไนโตรเจนได้ ในขณะเดียวกัน Iqbal¹¹ รายงานว่าความเข้มข้นของไนเตรทที่ระดับความลึกของดิน 30 เซนติเมตร จะมีการปลดปล่อยออกมามากกว่าในดินที่มีระดับความลึก 60 เซนติเมตร

วิธีการใส่ปุ๋ยในนาข้าวก็มีความสำคัญต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าวโดยวิธีการใส่ปุ๋ยหลักๆ มีอยู่สองวิธีคือ การหว่านปุ๋ยและการฝังปุ๋ยกลงไปในดิน กล่าวคือ การหว่านปุ๋ยจะทำให้ปุ๋ยกระจายตัวในดินอย่างสม่ำเสมอและเมื่อมีการปล่อยน้ำเข้ามาในแปลงนาข้าวจะทำให้ปุ๋ยแพร่กระจายได้ดี วิธีนี้มีข้อดีคือทำได้ง่าย กระจายตัวในดินได้ดีและไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง แต่มีข้อเสียคือทำให้วัชพืชในนาข้าวเจริญเติบโตได้ดี เพิ่มการสูญเสียไนโตรเจนด้วยกระบวนการระเหย ดีไนตริฟิเคชันและการไหลไปกับน้ำได้ดีเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยแบบฝัง ปุ๋ยไนโตรเจนเมื่อใส่ลึกใต้ผิวดินจะทำให้แอมโมเนียมไม่ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทเนื่องจากแอมโมเนียมเคลื่อนย้ายในชั้นใต้ดินได้น้อยกว่าเพราะถูกยึดด้วยอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุจึงทำให้ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่ผิวดินมีจำกัดและลดการสูญเสียในรูปก๊าซไนโตรเจนโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและการระเหยของแอมโมเนีย แอมโมเนียม-ไนโตรเจนจะยังคงรู้อยู่ในชั้นลึกใต้ผิวดินและในสภาพที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลึกใต้ผิวดินมีข้อดีคือช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนโดยการถูกชะล้างและช่วยลดการนำไนโตรเจนไปใช้โดยสาหร่ายสีเขียว (algal immobilization) ทั้งนี้ เพราะการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนโดยเฉพาะยูเรียตอนระยะก่อนปลูกข้าว ถ้าหากหว่านบนผิวดินจะช่วยส่งเสริมให้สาหร่ายสีเขียวเจริญเติบโตปกคลุมผิวน้ำอย่างหนาแน่นสาหร่ายดังกล่าวจะนำเอาไนโตรเจนจากปุ๋ยไปใช้ทำให้ปุ๋ยไนโตรเจนไม่สามารถเป็นประโยชน์ต่อข้าวได้ดีเท่าที่ควร ข้อดีประการหนึ่งของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแบบลึกใต้ผิวดินก็คือการใส่ปุ๋ยแบบนี้ไม่ขัดขวางกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนจากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ซึ่งอาศัยอยู่ในน้ำที่ท่วมขังผิวดิน ดังนั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับเป็นปุ๋ยรองพื้นแบบลึกใต้ผิวดินเป็นวิธีการปฏิบัติที่ให้ผลดีอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์และลดการสูญเสียของปุ๋ยไนโตรเจนในดินนา จากการศึกษาของ Xu, Liao, Tan และ Shao⁹ พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำผิวดินและในดินรวมทั้งการระเหยของแอมโมเนียมจากวิธีการฝังปุ๋ยมีการสูญเสียน้อยกว่าวิธีการหว่าน

การทำนาข้าวโดยทั่วไปก่อนการเก็บเกี่ยวข้าวจะมีการระบายน้ำออกจากพื้นที่ปลูกข้าว ทำให้มลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในนาข้าวระบายลงสู่แหล่งน้ำ¹² รวมทั้งธาตุอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำซึ่งการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารดังกล่าวนี้ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและการใช้พื้นที่โดยการปกคลุมไปด้วยน้ำ¹³ รายงานวิจัยพบว่า การรับธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโตและแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว⁷ การใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะหากมีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างไม่เหมาะสม เช่น ใส่ปุ๋ยมากแต่มีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีต่ำ จะทำให้เกิดปัญหาตามมา ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะดินและน้ำ⁹ นอกจากนี้ยังพบว่ามากกว่า 10% ของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ลงในดินนาข้าวที่ปลูกข้าวนาสวนมีการสูญเสียโดยการพัดพาไปกับน้ำที่ไหลบ่าออกไปจากนาข้าว โดยในฤดูนาปีจะมีน้ำในนาสูญหายไปจากการระบายน้ำประมาณ 980 มิลลิเมตร ซึ่งไนโตรเจนที่สูญหายไปกับการไหลของน้ำนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมมากกว่าไนเตรทและเมื่อลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำได้¹⁴ การทำนาข้าวที่มีการใช้ปุ๋ยเคมี จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยเคมีจากรูปแบบและวิธีการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผลผลิตอย่างคุ้มค่า รวมถึงการศึกษาเพื่อหาความเหมาะสมสำหรับการทำนาปรังในพื้นที่หนองหารจากกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตของเกษตรกร และต้องคำนึงถึงคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วยเพื่อความยั่งยืนในอนาคต

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และสมบัติบางประการของดินและน้ำในนาข้าวและศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าวและผลผลิตข้าวของเกษตรกรในพื้นที่หนองหาร ทั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการปัญหามลพิษจากนาข้าว รวมถึงการป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าวและเป็นข้อมูลกรรมวิธีการปฏิบัติที่เหมาะสมและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากภาคเกษตรกรรมโดยเฉพาะในพื้นที่หนองหารซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญสำหรับการทำนาข้าวในฤดูนาปรังได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว
- 1.2.2 เพื่อหาปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และสมบัติบางประการของดินและน้ำในนาข้าว
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าวและผลผลิตข้าว

1.3 สมมติฐาน

- 1.3.1 กรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีที่ต่างกันมีผลต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว
- 1.3.2 กรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และสมบัติบางประการของดินและน้ำในนาข้าว

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาเฉพาะกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ด สูตร 16-16-8 และสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) โดยวิธีการหว่าน การฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร และฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร โดยใช้ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวในแปลงนาข้าวทดลองเท่านั้น เก็บตัวอย่างน้ำและดิน ภายหลังจากการใส่ปุ๋ยเคมีไปแล้ว 2 วัน ในแต่ละครั้งและศึกษาในฤดูทำนาปรัง ระหว่างเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2557 หมู่ที่ 3 บ้านดอนเชียงบาน ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และสมบัติบางประการของดินและน้ำในนาข้าวจากกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าว โดยนำไปใช้ในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้ปุ๋ยเคมีในภาคเกษตรกรรมที่จะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำ
- 1.5.2 เกษตรกรได้รับทางเลือกจากกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวที่มีต่อผลผลิต และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะดินและน้ำ
- 1.5.3 ใช้เป็นข้อมูลด้านการบริหารจัดการพื้นที่เขตเกษตรกรรมโดยเฉพาะการปลูกข้าวนาปรังที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในหนองหาร

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวพันธุ์เล้าแตก

ข้าวพันธุ์เล้าแตก ชื่อทางวิทยาศาสตร์ ว่า *Oryza sativa* L. วงศ์ Gramineae เป็นชนิดพันธุ์ข้าวเหนียวประจำถิ่นอีสาน นิยมปลูกในพื้นที่นาลุ่มมีน้ำขัง ต้นสูง 120 เซนติเมตร สายพันธุ์ที่อยู่ในโครงการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ข้าวนาสวนนาชลประทานในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ชุดข้าวเหนียว) ในช่วงปี 2540- 2543 ของกรมการข้าว โดยได้นำมาปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในสถานีในเขตจังหวัดขอนแก่น อุดรธานี หนองคาย สกลนคร และกาฬสินธุ์ ผลจากการนำไปปลูกทดลองในนาเกษตรกร พบว่า ข้าวสายพันธุ์นี้มีการปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดีมาก มีข้อดีหลายประการ มีลักษณะทรงต้น การแตกกอ ลักษณะรวง สีเปลือกเมล็ด การให้ผลผลิต มีความต้านทานต่อโรคไหม้ที่ระยะกล้าได้ดี อายุการเก็บเกี่ยว 110-120 วัน แตกกอปานกลาง ใบสีเขียวแก่ มีรวงยาว จับถี่ คอรวงเหนียวมาก เปลือกสีเหลืองลายน้ำตาล ปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรังที่มีน้ำตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ทนทานต่อโรค เจริญเติบโตง่ายในดินแทบทุกประเภท เมล็ดโตยาว ให้ผลผลิตเฉลี่ย 300-400 กิโลกรัมต่อไร่ ความสูงของลำต้นส่วนมากมีความสม่ำเสมอกันดี ความสูงประมาณ 100 เซนติเมตร¹⁵ การปลูกโดยวิธีการปักดำจะใช้การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ มีความงอกสูง สะอาด ปราศจากเชื้อโรคและสิ่งเจือปน ซึ่งจะทำให้ได้ต้นกล้าที่แข็งแรงก่อนนำไปปักดำ¹⁶ โดยเกษตรกรในพื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร นิยมปลูกกันมากในฤดูนาปรังหลังจากมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวจากฤดูนาปี

2.2 ดินสำหรับการเกษตร

ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ คือ ดินที่ให้ธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชครบทุกธาตุ แต่ไม่ได้หมายความว่าดินทุกชนิดจะเหมาะสมที่จะนำมาเพาะปลูกทางการเกษตรได้ ดินสำหรับการเกษตรจะต้องมีความสมดุลในองค์ประกอบของแร่ธาตุ อินทรีย์วัตถุ อากาศ และน้ำ ซึ่งความสมดุลขององค์ประกอบเหล่านี้ ดินจะทำหน้าที่ในการกักเก็บและระบายน้ำ เป็นแหล่งออกซิเจนให้กับรากพืช เป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับการเจริญเติบโตของพืช และยังทำหน้าที่ทางกายภาพในการสนับสนุนการเจริญเติบโตของต้นพืช การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบดินเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ¹⁷ เช่น วัสดุต้นกำเนิดดิน เวลา สภาพอากาศ สิ่งมีชีวิต และลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้

จะส่งผลทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อความเหมาะสมกับดินที่ใช้ในการทำเกษตรกรรม สำหรับดินปลูกข้าวในแปลงนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 25 เกิดจากตะกอนชะมาทับถมบนหินตะกอนเนื้อละเอียดพบในส่วนต่ำของพื้นที่ผิวของการกลี้นผิวแผ่นดิน สภาพพื้นที่ราบเรียบมีความลาดเท ร้อยละ 0-2 การระบายน้ำและการไหลบ่าของน้ำผิวดินช้า นอกจากนั้น การซึมผ่านของน้ำปานกลางในดินบนและช้าในดินล่างใช้สำหรับทำนา ลักษณะและสมบัติของดินเป็นดินต้นถึงชั้นลูกรัง ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลแก่หรือสีแดงปนเหลือง¹⁶

2.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

อินทรีย์วัตถุประกอบไปด้วยส่วนที่ย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ที่อยู่ในดิน สารอินทรีย์แทบทุกชนิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ ผิวดินจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์วัตถุประมาณ 1-6 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจะมีค่าลดลงตามระดับความลึกของดิน¹⁸ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมักมีสีคล้ำ ซึ่งสีที่เข้มขึ้นอาจส่งผลต่ออุณหภูมิของดินโดยรวมสูงขึ้นได้ อินทรีย์วัตถุมีความสำคัญและจำเป็นต่อดินที่มีความอุดมสมบูรณ์เพราะจะให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช อีกทั้งยังส่งผลต่อเนื้อดิน สารละลายปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้กับดิน และยังสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำและการระบายอากาศ การพบสารอินทรีย์ที่มีไอออนของหมู่ฟังก์ชัน (คาร์บอกซิลิก แอลกอฮอล์/ฟีนอลิก ควิโนน และเอมีน) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้มีประจุ¹⁹ จะทำให้มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและปรับสภาพค่าความเป็นกรด-เบสได้ดี อินทรีย์วัตถุในดินมีความสามารถในการซึบน้ำไว้ในปริมาณมาก เนื่องจากเป็นอนุภาคเล็ก และมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ จึงมีพื้นผิวในการดูดซับน้ำไว้ได้มากเป็นพิเศษ และยังเป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพในการยึดเกาะหรือรวมตัวกับอนุภาคต่างๆ โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียว²⁰ และแร่ธาตุต่างๆ ได้อย่างดี สำหรับดินนาในพื้นที่หนองหาร มีเนื้อดินตั้งแต่ดินร่วน เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง คือ ร้อยละ 0.70-1.50¹⁶

ตารางที่ 2.1 การประเมินระดับอินทรีย์วัตถุในดินตามวิธี Walkley และ Black²¹

อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	การประเมิน
< 0.5	ต่ำมาก
0.5-1.0	ต่ำ
1.0-1.5	ค่อนข้างต่ำ
1.5-2.5	ปานกลาง
2.5-3.5	ค่อนข้างสูง
3.5-4.5	สูง
> 4.5	สูงมาก

2.4 ความเป็นกรด-เบสของดิน

ความเป็นกรด-เบสของดินจะส่งผลต่อธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ได้ การขังน้ำจะทำให้ความเป็นกรด-เบส ของดินกรดสูงขึ้น และดินต่างลดลง สำหรับดินทั่วไป หลังจากขังน้ำไปหลายสัปดาห์ ความเป็นกรด-เบส ของสารละลายดินจะมีค่าคงที่อยู่ระหว่าง 6.50-7.00 ความเป็นกรด-เบสจะมีอิทธิพลต่อการดูดธาตุอาหารของพืชในดิน โดยพืชจะดูดธาตุอาหารและเจริญเติบโตได้ในช่วงของความเป็นกรด-เบส 4.00-8.00 การเปลี่ยนแอมโมเนียมให้ออนให้เป็นไนเตรตด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันได้เร็วที่ค่าความเป็นกรด-เบสเป็นกลาง (pH = 7.00) และพืชสามารถนำไปใช้ได้ดี ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-เบสน้อยกว่า 6.00 หรือมีสภาวะเป็นกรด กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ต่ำทำให้พืชรับธาตุไนโตรเจนรูปของแอมโมเนียมได้น้อยกว่า สำหรับธาตุฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะได้รับอิทธิพลจากค่าความเป็นกรด-เบสโดยตรง กล่าวคือ ที่ค่าความเป็นกรด-เบสมากกว่า 7.50 ฟอสเฟตให้ออนจะทำปฏิกิริยาได้ดีกับแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งอยู่ในรูปละลายน้ำได้น้อย²² ในขณะที่สภาวะเป็นกรด ค่าความเป็นกรด-เบสน้อยกว่า 5.00 ฟอสเฟตให้ออนจะทำปฏิกิริยาได้ดีกับอะลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้น้อยเช่นกัน²² ธาตุอาหารส่วนใหญ่ (โดยเฉพาะธาตุอาหารรอง) จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้น้อยเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสมีค่ามากกว่า 7.50 ในขณะที่เหล็ก แมงกานีส สังกะสี มีแนวโน้มที่จะละลายน้ำและความเป็นพิษที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่ำๆ (5.00-6.00)²³ การที่ดินกรดมีความเป็นกรด-เบสสูงขึ้นและดินต่างมีความเป็นกรด-เบสลดลงจะเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินน้ำขัง เมื่อความเป็นกรด-เบสสูงขึ้นจะทำให้อะลูมิเนียมและเหล็กฟอสเฟตละลายได้ดีขึ้น ฟอสเฟตก็จะเป็นประโยชน์ได้มากขึ้น การลดลง

ของความเป็นกรด-เบส ก็จะทำให้แคลเซียมฟอสเฟตละลายได้ดีขึ้น ดังนั้น ฟอสเฟตก็จะละลายได้ดีที่สุดที่ความเป็นกรด-เบส 6.00-7.00²⁴ อินทรีย์วัตถุและแร่ธาตุดินเหนียวจะช่วยเป็นสารพ่อนความเป็นกรด-เบสเพื่อที่จะรักษาสภาพค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช²⁵ สำหรับดินนาในพื้นที่หนองหาร ส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ระหว่าง 4.50-6.00 ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ¹⁶

2.5 ธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารโดยธรรมชาติเกิดจากดินสู่พืชและสัตว์ และกลับเข้าสู่ดินตามกระบวนการย่อยสลายชีวมวล ซึ่งวัฏจักรนี้จะช่วยคงสภาพธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชและพืชต้องการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตในดิน วัฏจักรที่ซับซ้อนได้เกิดร่วมกับกระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งจะทำให้ธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส) มีการเปลี่ยนแปลงและเคลื่อนย้าย ในระบบวัฏจักรทางเกษตรกรรมมีการใส่ปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี) ที่ถูกนำมาใช้และธาตุอาหารได้ถูกนำออกสู่นอกระบบจากการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ธาตุอาหารก็มีการสูญเสียโดยการชะล้าง (เช่น ไนเตรต) ธาตุอาหารในดินจากการทำเกษตรกรรมจะสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการใส่ปุ๋ย และในขณะเดียวกันก็สามารถสูญเสียไปได้อีกทางหนึ่ง จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร ปัจจุบันเกษตรกรได้เติมสารที่ช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ด้วยการเติมปุ๋ยเคมีเป็นการช่วยเพิ่มธาตุอาหารหลักในดินแต่ประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยยังไม่เหมาะสม เช่น มีธาตุอาหารที่มากเกินไปความจำเป็นโดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งจะทำให้เกิดการชะล้างหรือรั่วไหลจากการเกษตรและเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำผิวดินและน้ำบาดาล^{26, 27}

2.5.1 รูปของธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์

รูปของสารประกอบของธาตุอาหารในดินที่พืชดูดไปใช้ได้นั้นต้องเป็นไอออน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งอยู่ในสารละลายของดินหรือดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดินหรือไอออนแลกเปลี่ยนได้ เนื่องจากคอลลอยด์ดินมีประจุส่วนมากเป็นลบ ดังนั้น ไอออนที่ถูกดูดซับได้ง่ายจึงมักเป็นแคตไอออน สำหรับในสารละลายดินก็จะมีแอนไอออนและมีแคตไอออนบางส่วนปะปนอยู่ด้วย

ตารางที่ 2.2 รูปของสารประกอบของธาตุอาหารที่พบในดิน²⁸

กลุ่มที่ 1 สารที่มีองค์ประกอบซับซ้อน	กลุ่มที่ 2 สารประกอบอย่างง่าย และเป็นประโยชน์ต่อพืช	
	สารประกอบ	ไอออนที่พืชใช้ได้
ไนโตรเจน	1. เกลือแอมโมเนียม 2. เกลือไนไตรท์ 3. เกลือไนเตรท	NH_4^+ NO_2^- NO_3^-
ฟอสฟอรัส	1. เกลือฟอสเฟตของแคลเซียม โฟสเฟตเชิงซ้อนหรือแมกนีเซียม 2. สารประกอบอินทรีย์ที่ละลาย ง่าย	H_2PO_4^- HPO_4^{2-} PO_4^{3-}

2.5.2 ธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว

ข้าวต้องการธาตุอาหารหลักซึ่งประกอบไปด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โฟสเฟตเชิงซ้อน เป็นธาตุอาหารในกลุ่มที่ข้าวมีความต้องการในปริมาณมากเพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโต และสร้างผลผลิตถ้าพืชขาดธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งจะแสดงอาการขาดอย่างรุนแรง ทำให้การเจริญเติบโตชะงักงันและจะทำให้พืชต้นนั้นตายในที่สุด นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารรองและจุลธาตุซึ่งประกอบไปด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เป็นธาตุอาหารที่ข้าวนำไปใช้น้อยกว่าธาตุอาหารหลัก แต่ถ้าขาดธาตุอาหารธาตุใดธาตุหนึ่งในกลุ่มนี้ข้าวจะแสดงอาการขาดให้เห็นและถ้าหากมีการเติมธาตุอาหารที่ขาดลงในดินจะทำให้พืชเจริญเติบโตเป็นปกติดังเดิม นอกจากนี้ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตแล้ว ธาตุบางชนิดที่มีมากเกินไปก็อาจส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวได้ ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโฟสเฟตเชิงซ้อนที่เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของข้าว ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว
ในต้นพีชระยะแตกกอสูงสุด²⁹

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)
ไนโตรเจน	2.90-4.20
ฟอสฟอรัส	0.18-0.26
โพแทสเซียม	1.80

2.5.3 การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดินสู่พีช

กลไกหลักที่ดินให้ธาตุอาหารแก่พีชจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดินสู่ผิวราก และการที่รากพีชจะดูดใช้ธาตุอาหารได้ ธาตุอาหารจะต้องอยู่ในตำแหน่งของการดูดใช้ได้คือ ที่ผิวราก จึงจัดว่าการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารเป็นปัจจัยของความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารปัจจัยหนึ่ง ซึ่งรากพีชที่เจริญเติบโตอยู่ในดินจะแผ่ขยายไปตามรูดิน เมื่อรากพีชขยายตัวตามการเจริญเติบโตจะเบียดอัดดินที่อยู่ติดกับราก ทำให้ดินส่วนนั้นมีรูที่มีอากาศและน้ำเต็มอยู่เป็นจำนวนน้อยลง ดินบริเวณติดกับรากและใกล้เคียงจะมีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น คอลลอยด์และสารละลายดินบริเวณใกล้รากทำหน้าที่ให้ธาตุอาหารแก่รากในช่วงต้นของการดูดใช้ ซึ่งการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดิน มีดังนี้³⁰

- การให้ธาตุอาหารแก่รากพีชบริเวณส่วนต่อระหว่างดินกับผิวราก (root interception and contact exchange) เป็นกลไกที่ดินให้ธาตุอาหารแก่รากพีชบริเวณส่วนต่อระหว่างดินกับผิวรากโดยธาตุอาหารไม่ต้องเคลื่อนที่มายังผิวรากเพื่อให้อยู่ในตำแหน่งที่รากจะดูดใช้ ปริมาณธาตุอาหารที่ให้โดยกลไกนี้ คือ ปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในปริมาตรดินที่เท่ากับปริมาณรากโดยทั่วไปแล้วรากพีชจะกินพื้นที่ในดินประมาณไม่เกินร้อยละ 1-2 ปริมาณสารอาหารที่พีชได้รับโดยกลไกนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินและปริมาตรดินที่ถูกแทนที่โดยระบบราก³⁰

- การไหลของธาตุอาหารตามการไหลของน้ำ (mass flow) เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนธาตุอาหารในดินไปสู่รากตามการไหลของน้ำซึ่งเกิดจากการที่พีชดูดน้ำ เมื่อพีชดูดน้ำจะทำให้เกิดความต่างพลังงานศักย์ของน้ำ (water potential) กล่าวคือ เมื่อพีชดูดน้ำ พลังงานศักย์ของน้ำบริเวณผิวรากจะต่ำกว่าบริเวณในดินที่ไกลจากรากออกมา (bulk soil) น้ำจะไหลจากบริเวณ bulk soil ที่มีพลังงานศักย์ของน้ำสูง มายังผิวรากที่มีพลังงานศักย์ของน้ำต่ำ ดังนั้น สารที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน (ตัวถูกละลาย) จะเคลื่อนที่ตามการไหลของน้ำมาด้วยปริมาณสารอาหารที่รากพีชได้รับโดยกลไกการไหลของมวลขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อัตราการไหลของน้ำหรือปริมาตร

น้ำที่พืชดูดใช้ ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของธาตุอาหารในสารละลายดิน ปริมาณของระบบราก ความชื้นของดินและอุณหภูมิของดิน การลำเลียงสารอาหารโดยการไหลจะลดลงเมื่อความชื้นของดินลดลงและอุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้การไหลของมวลลดลงเช่นกัน เนื่องจากการดูดน้ำของพืชลดลง

- การแพร่ (diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย (solute) ในสารละลายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เมื่อกลไก root interception และ mass flow ให้อาหารแก่พืชได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช รากพืชก็จะทำการดูดธาตุอาหารต่อไป ทำให้ความเข้มข้นธาตุอาหารบริเวณรากพืชลดลงต่ำกว่าบริเวณที่ห่างจากรากพืชออกไป เกิดแนวลาดเทของความเข้มข้น (concentration gradient) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับผิวรากขึ้น ธาตุอาหารจึงแพร่มาสู่รากตามทิศทางนี้โดยทั่วไป การแพร่จะสิ้นสุดลงเมื่อความเข้มข้นที่ 2 ตำแหน่งเท่ากัน นั่นคือ เกิดความสมดุลของความเข้มข้นขึ้น แต่เนื่องจากรากดูดใช้ธาตุอาหารอยู่เสมอ ความสมดุลนี้จะไม่เกิดขึ้น และธาตุอาหารจะแพร่ไปสู่รากตามความลาดของความเข้มข้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ ได้แก่ ปัจจัยด้านอุณหภูมิ เช่น ถ้าอุณหภูมิต่ำก็ทำให้การแพร่ช้าลง ความชื้นของดิน เช่น ถ้าดินแห้งการแพร่ก็ช้าลง แต่ถ้าดินมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการแพร่เพิ่มขึ้น soil buffering capacity ดินที่มี buffering capacity สูง เช่น มีเปอร์เซ็นต์แร่ดินเหนียว (% clay) สูงก็มีส่วนทำให้ธาตุอาหารที่ลำเลียงโดยการแพร่อาจจะถูกดูดยึดโดยอนุภาคของแร่ดินเหนียว ทำให้อัตราการแพร่ลดลง ทั้งนี้ความคดเคี้ยวของเส้นทางในการแพร่ คือหนทางของการแพร่ซึ่งต้องผ่านอนุภาคดินและผ่านแผ่นฟิล์มของน้ำในดิน ดังนั้น ถ้ามีช่องว่างขนาดใหญ่ในดินและดินมีความชื้นเพียงพอ ก็จะลดความคดเคี้ยวลงทำให้การแพร่ง่ายขึ้น ในดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงจะมีช่องว่างขนาดเล็กในดินและถ้าดินมีความชื้นต่ำ ก็จะเพิ่มความคดเคี้ยวซึ่งจะทำให้การแพร่ช้าลง³¹

2.6 ไนโตรเจน

เป็นธาตุอาหารในกลุ่มที่ข้าวมีความต้องการในปริมาณมาก การจัดการให้มีไนโตรเจนอย่างเพียงพอตั้งแต่ข้าวเริ่มแตกกอเป็นต้นไปจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตเนื่องจาก

1) จำนวนรวงต่อตารางเมตรซึ่งเป็นองค์ประกอบผลผลิตลำดับแรก ขึ้นอยู่กับจำนวนกอต่อพื้นที่และจำนวนหน่อในกอ เนื่องจากต้นข้าวแตกกอจนเต็มที่แล้วจะยึดปล้องแล้วสร้างตาดอก ดังนั้นปุ๋ยไนโตรเจนจึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มการแตกกอของข้าว

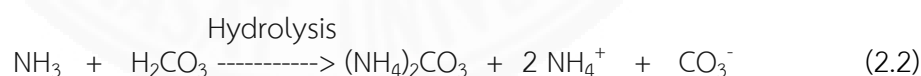
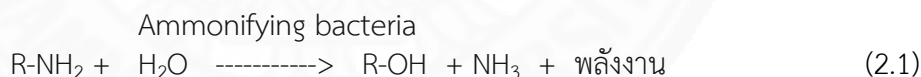
2) ศักยภาพการให้จำนวนเมล็ดต่อรวงและพิจารณาจากจำนวนดอกต่อช่อดอก ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของช่อดอกและความยาวช่อดอกที่พัฒนาแล้ว ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากความสมบูรณ์ของธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนในต้นข้าวระยะเติบโตไม่อาศัยเพศ

เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ได้ง่าย ดังนั้นไนโตรเจนที่สะสมในส่วนต้น ใบแก่และใบล่างจะเคลื่อนย้ายไปยังใบอ่อนและรวงมาก กล่าวคือ เมื่อต้นข้าวแก่ ร้อยละ 60-70 ของไนโตรเจนในส่วนเหนือดินไปสะสมในรวง และร้อยละ 86 ของไนโตรเจนมาจากสองแหล่ง คือ ร้อยละ 58 จากแผ่นใบ และร้อยละ 28 จากกาบใบและลำต้น ส่วนอีกร้อยละ 14 มาจากดินโดยตรง จึงเห็นได้ว่าไนโตรเจนที่มีรวงข้าวส่วนมากเคลื่อนย้ายจากส่วนต้นและใบข้าวเก็บสะสมไว้ตั้งแต่เป็นต้นกล้าจนถึงระยะออกดอกเพื่อการพัฒนารวงให้มีเมล็ดสมบูรณ์ พืชใช้แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือไนเตรทไอออน (NO_3^-) เป็นหลัก ส่วนไนไตรท์ไอออน (NO_2^-) แม้พืชจะใช้ประโยชน์ได้แต่ก็มีในดินน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีการระบายอากาศดี เนื่องจากถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรท ซึ่งนับเป็นเรื่องที่ดีเพราะหากมีไนไตรท์สะสมในดินมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อพืช สำหรับยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) นั้น หากมีในสารละลายดินพืชก็สามารถดูดไปใช้ได้

2.6.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน

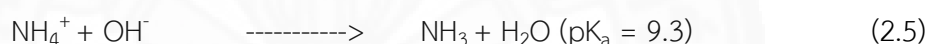
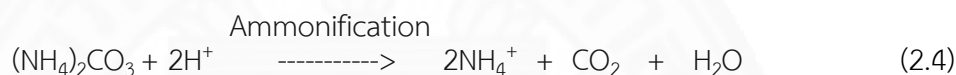
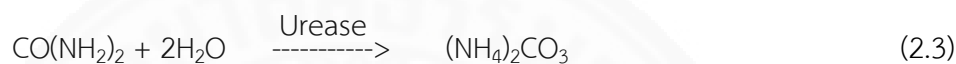
2.6.1.1 แอมโมนิฟิเคชัน

ในการย่อยสลายกรดอะมิโน (หรือโปรตีน) เกิดโดยการกระทำของ Ammonifying bacteria เช่น *Pseudomonas sp* และ *Proteus sp* การเปลี่ยนแปลงในช่วงตอนนี้จึงเรียกว่า Ammonification ซึ่งหมายถึง การเปลี่ยนจากกรดอะมิโน หรือโปรตีนในซาก หรือในของเสียจากเมตาบอลิซึมเป็นแอมโมเนีย แสดงดังสมการที่ 2.1 และ 2.2



กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากกิจกรรมจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotrophic) จะดำเนินไปได้ด้วยดีในสภาพดินที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี มีแคตไอออนที่เป็นต่างเพียงพอ แต่กระบวนการนี้ก็ดำเนินการไปได้บ้างถึงแม้ว่าสภาพของดินไม่เหมาะสมดังกล่าว ทั้งนี้ เพราะจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้บางชนิดที่สามารถจะทำงานได้หากมีการเติมปุ๋ยยูเรียเข้าไปในระบบ ปฏิกิริยานี้จะเรียกว่า ปฏิกิริยายูเรียไฮโดรไลซิส (urea hydrolysis) ด้วยเอนไซม์ urease ที่อยู่ในดินซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ แสดงดังสมการที่ 2.3^{32, 33}, 2.4^{32, 33} และ 2.5³³ แอมโมเนียมคาร์บอเนต ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) เป็นสารที่ไม่เสถียรจึงถูกย่อยสลายเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ น้ำ (H_2O) ซึ่งจะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสมี

ค่าเพิ่มขึ้น³³ แต่เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นในดิน แอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไอออนโดยที่ไฮโดรเจนไอออน (H^+) มาจากสารละลายในดินรอบๆ อนุภาคดินโดยที่ประจุบวกของ NH_4^+ ก็จะถูกยึดกับประจุลบของอนุภาคดินและถูกดูดซับโดยรากพืชหรือแบคทีเรียโดยเป็นแหล่งพลังงานและถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อปุ๋ยยูเรียลงในดิน การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้ดินรอบๆ ตำแหน่งที่ปุ๋ยยูเรียอยู่มีความเป็นด่างมากกว่าดินทั่วไปเล็กน้อยและจะทำให้แอมโมเนียมที่ได้จากปุ๋ยยูเรียมีโอกาสสูญเสียโดยการระเหยมากกว่าแอมโมเนียมที่ได้จากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต โดยการระเหยของแอมโมเนียจะไม่เกิดถ้าค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 7.20

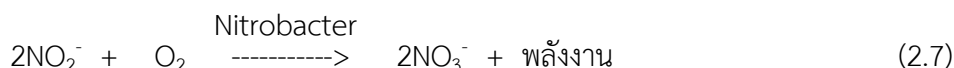
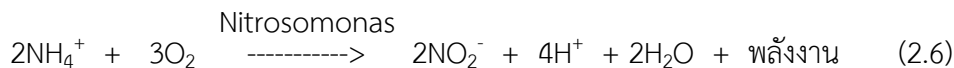


ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส คือ ความเข้มข้นของปุ๋ยยูเรีย ค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ ความชื้นในดิน และเนื้อดิน³⁴ กล่าวคือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดได้เร็วเมื่อความเข้มข้นปุ๋ยยูเรียมีค่ามากขึ้นและในดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบสสูงจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าดินที่มีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ ในขณะที่เดียวกันยังพบว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดได้เร็วกว่าในดินที่มีอุณหภูมิและดินที่เปียกในดินที่อุณหภูมิต่ำและในดินที่แห้ง อย่างไรก็ตามลักษณะเนื้อดินก็ส่งผลด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ดินทรายจะมีค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ช้ากว่าดินเหนียว ดังจะเห็นได้จากสมการที่ 2.3-2.5 ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้และปฏิกิริยาดำเนินต่อไปข้างหน้าได้

2.6.1.2 ไนตริฟิเคชัน

สิ่งขับถ่ายจากสัตว์และซากของพืชและสัตว์ในสภาพของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะถูกไนโตรทแบคทีเรียชนิดที่สามารถสร้างอาหารเองได้ (autotroph) ในสภาวะที่มีออกซิเจน³⁵ เช่น *Nitrosomonas sp.*³⁶ เปลี่ยนไปเป็นไนโตรท (NO_2^-) และไนโตรทจะถูกไนเตรท (NO_3^-) แบคทีเรีย เช่น *Nitrobacter sp.* เปลี่ยนเป็นไนเตรทต่อไป การเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนโตรทและไนเตรทนี้เรียกว่า Nitrification โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการหลักในการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนทั้งในดินและการเปลี่ยนแอมโมเนียมไอออน³⁷ ดังแสดงในสมการที่ 2.6³² และ 2.7³² ในดินนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังนาข้าว สารตั้งต้นที่จะทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันคือ

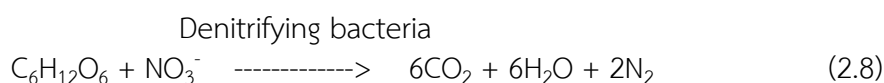
แอมโมเนียมไอออนที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิส ไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันและเกิดขึ้นได้ดีในดินที่มีความลึกประมาณ 2-3 เซนติเมตร และบริเวณรากของต้นข้าว



ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน คือ ค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออน และปริมาณออกซิเจน³⁴ โดยพบว่าปฏิกิริยาจะเกิดได้น้อยในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ ในขณะที่เดียวกันเมื่อปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนมีค่ามากจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี และจะเกิดได้ดีเมื่อมีออกซิเจนในดินมาก ดังจะเห็นได้จากสมการที่ 2.6 และ 2.7 ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้และปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าได้

2.6.1.3 ดีไนตริฟิเคชัน

ไนเตรทที่ถูกพืชนำไปใช้ได้โดยตรงและในที่สุดถูกพืชเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโนและโปรตีนในพืชใหม่ หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อเป็นไนโตรเจนในบรรยากาศได้ใหม่ โดยการกระทำของจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ (heterotroph) ซึ่งเกิดในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และพวก Denitrifying bacteria ส่วนใหญ่ เช่น *Pseudomonas sp.*, *Thiobacillus sp.* และ *Micrococcus denitrificans* ในขณะเดียวกัน *Nitrosomonas sp.* โดยใช้แอมโมเนียมหรือไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและไนโตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน³⁸ ก็สามารถเป็น denitrifying bacteria ได้ ดีไนตริฟิเคชัน คือการเปลี่ยนแปลงจากไนโตรทและไนเตรทไปเป็นแก๊สไนโตรเจนในบรรยากาศใหม่ เรียกว่า ดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการนี้ไนเตรทจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และแก๊สไนโตรเจน (N_2) และปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศโดยจุลินทรีย์ดินประเภทที่ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจน (O_2) ในการหายใจบางชนิด แต่กลับใช้ NO_3^- แทน O_2 ในขบวนการหายใจ³⁹ ดังสมการที่ 2.8 ซึ่งจะเกิดขึ้นในชั้นรีดิวชันของแปลงนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ส่วนหนึ่งของไนเตรทที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไนตริฟิเคชันบนชั้นพื้นผิวจะถูกส่งผ่านไปยังชั้นรีดิวชันโดยผ่านการซึมของน้ำและถูกรีดิวซ์ไปเป็นแก๊สจําพวกไนโตรเจน



ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน คือ ค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน และอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน³⁴ ซึ่งพบว่าที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ จะทำให้การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดได้ช้า ดังนั้น ค่าความเป็นกรด-เบสจะต้องมีค่ามากกว่า 7 ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดได้เร็ว ในขณะที่เดียวกันปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเกิดได้เร็วในสภาวะที่อุณหภูมิสูงอีกด้วย และเนื่องจากว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะต้องเปลี่ยนรูปไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจน ดังนั้น ไนเตรทจึงถูกใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ซึ่งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน และปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมีค่าสูง ดังจะเห็นได้จากสมการที่ 2.8 ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้และปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าได้ จากการศึกษาของ Choi et al.⁴⁰ พบว่า กระบวนการดีไนตริฟิเคชันในน้ำขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์คาร์บอนหรือตัวให้อิเล็กตรอน (electron doner) เนื่องจากการสลายตัวของสารอินทรีย์คาร์บอนทำให้ไนเตรทไม่มีสารไปออกซิไดซ์ซึ่งมักจะเกิดกับในดินที่แห้ง ดังนั้น ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากจึงเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันมากกว่าดินที่แห้งซึ่งมีอินทรีย์วัตถุน้อยกว่า

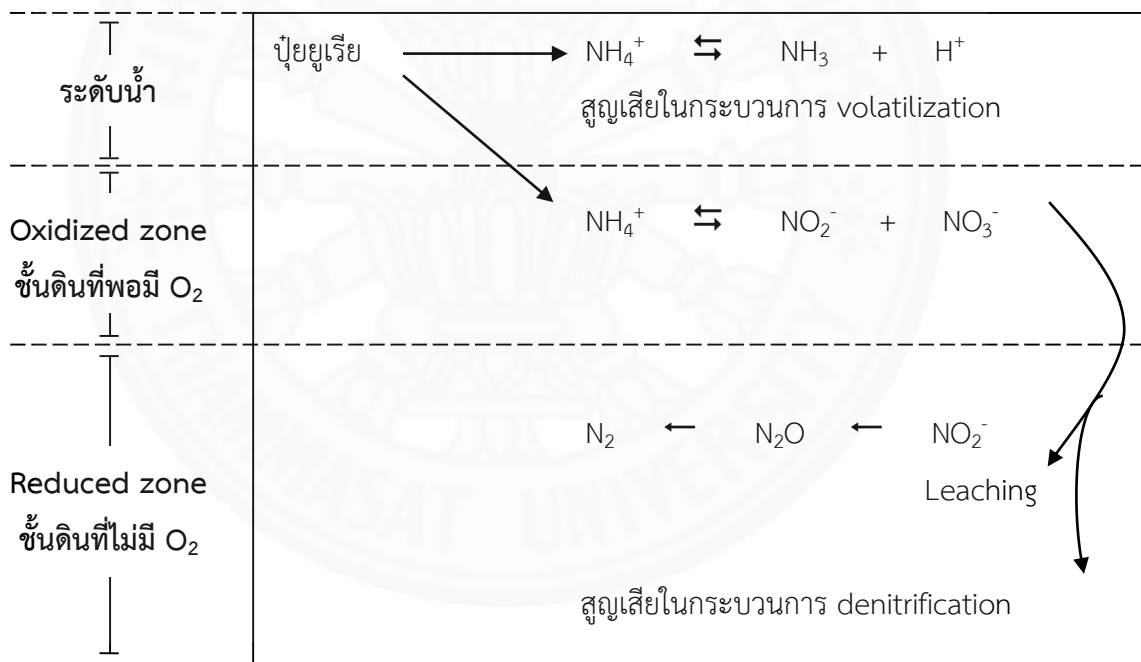
จากการศึกษาวิจัย พบว่า มีผู้ศึกษาค่าคงที่ในการแตกตัวและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน (rate constant) ของปุ๋ยยูเรียตามหลักจลนพลศาสตร์ (kinetic) โดยพบว่ามีค่าคงที่การแตกตัวจลนพลศาสตร์เป็นแบบปฏิกิริยาอันดับ 1 (first-order kinetics) แสดงดังตารางที่ 2.4 โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นปุ๋ยยูเรีย ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เบส ลักษณะเนื้อดิน สภาพน้ำท่วมขัง เป็นต้น³⁴

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่ในการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนที่กระบวนการต่างๆ แบบปฏิกิริยาอันดับ 1 ในนาข้าว^{34, 41}

กระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน	ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาอันดับ 1 (Rate constant, K) (วัน ⁻¹)
Urea hydrolysis	0.36-0.80
Volatilization	0.02-0.08
Nitrification	0.02-0.08
Denitrification	0.05-0.20

2.6.2 พลวัตของไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วมขัง

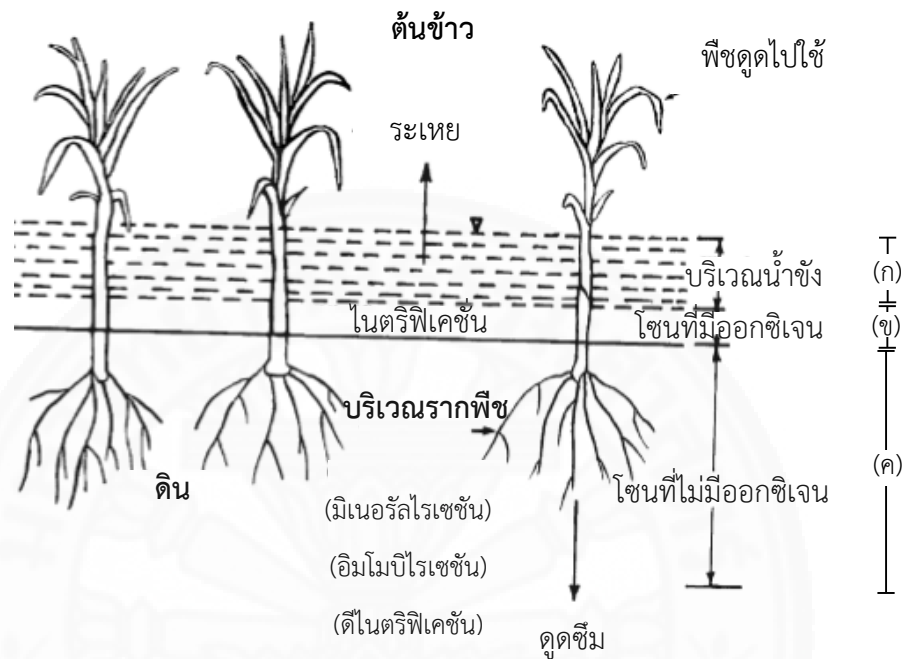
การผลิตพืชในสภาพน้ำท่วมขัง โดยเฉพาะการปลูกข้าว การสูญเสียไนโตรเจนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นสภาพการผลิตพืชที่มีความซับซ้อนที่สุดเมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะในสภาพการผลิตที่อาศัยน้ำฝนเป็นหลักทำให้การควบคุมระดับและปริมาณน้ำฝนเป็นไปได้ยากกว่าในระบบการผลิตที่มีน้ำชลประทาน ไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และการสูญเสียไนโตรเจนบริเวณรากพืชขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่และการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ภายใต้ระบบของดิน น้ำ ต้นข้าว บรรยากาศ กรอบแนวคิดของการนำเข้า ส่งออก และการแลกเปลี่ยนของการใช้ปุ๋ยยูเรียในแปลงนาข้าวที่มีน้ำขัง สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 2.1 ได้แก่ สูญเสียไปกับน้ำไหลบ่า (runoff) การระเหยของก๊าซแอมโมเนียในนาข้าว กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และจากการชะละลาย (leaching) โดยเฉพาะในนาดินทรายและพื้นที่ที่มีน้ำชลประทานดินที่มีน้ำขัง ซึ่งจะส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในนาข้าว



ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วมขัง⁴²

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟตมีอัตราการสูญเสียในกระบวนการต่างๆ น้อยกว่ายูเรีย แต่อาจทำให้ดินมีระดับความเป็นกรด-เบสลดลง อย่างไรก็ตาม การสูญเสียจะเกิดมีได้สูงขึ้นในพื้นที่ที่มีกระแสลมแรง โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยในรูปยูเรีย นอกจากนี้การ

สูญเสียเกิดขึ้นได้สูงมากกว่าในดินทรายเมื่อเทียบกับดินเหนียวผ่านกระบวนการ leaching ในแปลงนาข้าวนั้น สามารถถูกแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การจัดโซนของพื้นที่นาข้าว³⁴

ปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในแต่ละชั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

(ก) ชั้นที่น้ำท่วมถึงประมาณ 50-70 มิลลิเมตร โดยที่ชั้นนี้กระบวนการหลักของการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน คือ กระบวนการยูเรียไฮโดรไลซิส ไนตริฟิเคชัน และการระเหยของแอมโมเนีย

(ข) ชั้นดินที่มีออกซิเจนด้านบนความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตรถึงระดับใต้ดินประมาณ 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน ซึ่งกระบวนการสำคัญชั้นนี้คือกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยแอมโมเนียออกไซด์ซึ่งแบคทีเรียและไนโตรทอกออกไซด์ซึ่งแบคทีเรีย⁴³

(ค) ชั้นดินที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนที่เหลือทั้งหมดของบริเวณรากพืชการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนหลักในชั้นนี้ คือ มิเนอร์รัลไรเซชัน ดีไนตริฟิเคชัน การซึมและการที่พืชนำไปใช้ โดยที่ไนเตรทจะแพร่ผ่านชั้นที่ไม่มีออกซิเจนและถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์และไนโตรเจน⁴³

2.6.3 การสูญเสียและการได้รับไนโตรเจนในพื้นที่

การสูญเสียไนโตรเจนโดยธรรมชาติเกิดขึ้นจากในรูปของธาตุเป็นหลักและในรูปของอินทรีย์สามารถสูญเสียได้โดยการเปลี่ยนเป็นรูปอนินทรีย์ สำหรับไนโตรเจน การระเหยของแอมโมเนีย การชะล้างของไนโตรเจน และการปลดปล่อยของก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เป็นวิธีการสูญเสียไนโตรเจนหลักจากดินและการใช้ปุ๋ย

2.6.3.1 การสูญเสียไนโตรเจนด้วยการระเหย

ไนโตรเจนสามารถสูญเสียในรูปของการระเหยจากพืชบนดินแต่มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียจากดิน พื้นดินแห้งแล้งส่วนใหญ่เป็นดินที่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและค่าความเป็นกรด-เบสสูงและในประเทศไทยการใช้ปุ๋ยยูเรียและปุ๋ยที่มีแอมโมเนียเป็นส่วนประกอบได้ถูกนำมาใช้เป็นจำนวนมาก ดังนั้น กระบวนการระเหยของแอมโมเนียจากดินและปุ๋ยที่ใช้จึงกลายเป็นปัญหาหลักๆ ของการสูญเสียไนโตรเจนเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการระเหยของแอมโมเนีย เช่น สภาพอากาศ คุณสมบัติของดินและปุ๋ยที่ใช้ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมอุณหภูมิและคุณภาพดิน เช่น ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เนื้อดิน องค์ประกอบน้ำในดิน นอกจากนี้ การระเหยของไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยมีส่วนสัมพันธ์อย่างยิ่งกับวิธีการใส่ปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ย ดินที่ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 2 ไมโครเมตร จะให้ประจุลบมากกว่าร้อยละ 80 สำหรับการดูดซับประจุบวก ดังนั้น การเพิ่มองค์ประกอบดินเหนียวจะส่งผลต่อการเพิ่มประจุลบทำให้การดูดซับแอมโมเนียมได้ดี ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียจากการระเหยของแอมโมเนียได้ จากการศึกษาของ Li⁴⁴ พบว่า ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อการระเหยของแอมโมเนียที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า หลังจากการใส่ปุ๋ย 31 วัน แอมโมเนียระเหย ร้อยละ 27.90 จากการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียไบคาร์บอเนต ในขณะที่การใช้ปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตสูญเสีย ร้อยละ 18.60 และ 22.40 ตามลำดับ

2.6.3.2 การสูญเสียไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

ดินที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 70 และ 90 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากปุ๋ยแอมโมเนียมีค่าสูงกว่าการใช้ปุ๋ยไนเตรท อีกทั้งค่าฟลักซ์และความเข้มข้นของก๊าซไนตรัสออกไซด์ในดินสูงขึ้นในช่วงที่มีการปล่อยน้ำเข้าสู่ดินและช่วงฤดูฝน นอกจากนี้ยังพบว่า องค์ประกอบน้ำในดินไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใช้ปุ๋ยแอมโมเนีย ในขณะที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนเตรท

2.6.3.3 การชะล้าง

ฝนที่ตกลงมาหรือน้ำชลประทานที่ซึมผ่านชั้นดินจะชะเอาไนโตรเจนตามลงไปด้วย โดยเฉพาะไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรทหรือไนเตรท³⁹ ซึ่งถือเป็นกระบวนการที่สำคัญ

ถ้าหากไนโตรเจนที่ถูกชะลงไปชั้นล่างของดินที่ไม่ลึกรากของพืชก็จะดูดกลับขึ้นมาใช้ใหม่ แต่ถ้าถูกชะลงไปยังดินชั้นล่างที่ลึกจนรากหยั่งลงไปไม่ถึงแล้ว การสูญเสียไนโตรเจนก็จะเกิดขึ้น ดังนั้น การสูญเสียไนโตรเจนโดยกระบวนการชะล้างนี้จึงควรระวังให้มาก โดยเฉพาะบริเวณที่มีดินเนื้อหยาบ

2.6.3.4 การสูญเสียไนโตรเจนโดยการไหลบ่าของน้ำ

ฝนที่ตกลงมาหรือการให้น้ำชลประทานมากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในนาข้าวโดยการพัดพาของน้ำที่ไหลบ่าออกไปจากนาข้าว จากการศึกษาของ Singh et al. พบว่า มากกว่าร้อยละ 10 ของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในดินนาจะสูญเสียโดยการละลายพัดพาไปกับน้ำโดยในฤดูนาปีจะมีน้ำในนาข้าวสูญหายไปจากการระบายน้ำประมาณ 980 มิลลิเมตร เนื่องจากการไหลเข้าออกของน้ำในนาปีจึงส่งผลให้มีการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการจัดการเกี่ยวกับน้ำและปุ๋ย นอกจากนี้ ไนโตรเจนที่สูญหายไปกับการไหลของน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมและไนเตรท สำหรับการป้องกันเพื่อลดการสูญเสียของไนโตรเจนโดยการไหลไปกับน้ำโดยการกักน้ำไว้ในนาเป็นเวลา 5 วัน หลังการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน⁴⁵

2.6.3.5 การจัดการเพื่อควบคุมไนโตรเจนในดิน

การจัดการเพื่อการควบคุมระดับของไนโตรเจนในดินให้เหมาะสมกับการเพาะปลูกนั้น ควรพิจารณาเกี่ยวกับหลักการที่สำคัญ 2 ประการ

(1) การรักษาระดับของไนโตรเจนให้เพียงพออยู่เสมอ

จะต้องทราบปริมาณการเพิ่มและการสูญเสียของไนโตรเจนในดินเสียก่อน (nitrogen balance sheet) สำหรับดินในเขตชื้นทั่วไปมีผู้คำนวณไว้ คือปริมาณของไนโตรเจนที่ตรึงได้จากอากาศโดยพวกจุลินทรีย์ที่มีอยู่อย่างอิสระนั้นจะสมดุลกันพอดีกับปริมาณไนโตรเจนที่สูญหายไปในรูปแบบของก๊าซ (volatilization) และปริมาณไนโตรเจนที่ดินได้รับจากฝนนั้นจะสมดุลกันพอดีกับส่วนของไนโตรเจนในดินที่สูญหายไปโดยการชะล้าง (leaching) ส่วนไนโตรเจนในดินที่สูญหายไปเนื่องจากพืชดูดไปใช้จะเป็นไนโตรเจนที่สูญหายไปจริงๆ โดยเฉพาะถ้าปล่อยให้ไปตามธรรมชาติแล้ว ก็ไม่อาจจะได้ไนโตรเจนที่เหนมาชดเชยให้ นอกจากจะมีการเพิ่มปุ๋ยเป็นการชดเชย

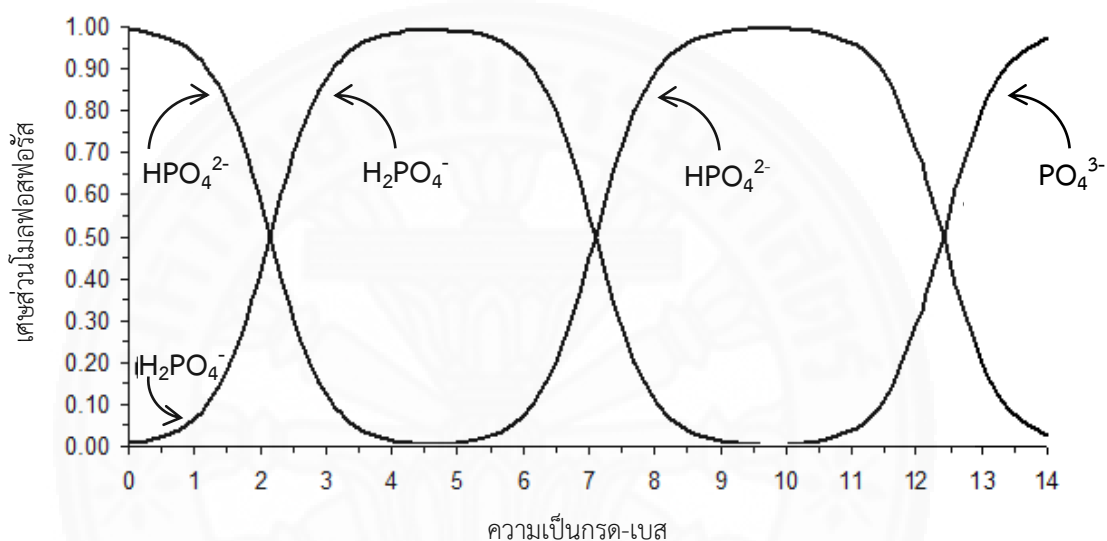
(2) การควบคุมเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ และเวลาในการปรับระดับของ

ไนโตรเจนให้เหมาะสมกับความต้องการตามชนิดของพืชที่ปลูก

เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปดินแล้วควรระยะเวลาที่ปุ๋ยนั้นจะเป็นประโยชน์แก่พืชให้มากที่สุด กล่าวคือ ใส่ให้ตรงกับระยะเวลาความต้องการของพืชและให้มีการสูญเสียปุ๋ยไปโดยเปล่าประโยชน์น้อยที่สุด พืชบางชนิดต้องการระดับไนโตรเจนสูงในระยะแรกก็ควรให้ปุ๋ยทีละน้อยๆ เป็นระยะไป หลักสำคัญที่จะต้องตระหนักเกี่ยวกับการใช้ไนโตรเจน คือ ต้องใช้ให้เหมาะสมกับเวลาที่พืชต้องการมากที่สุด ให้เป็นปริมาณที่พอเพียง และใช้เป็นประโยชน์ง่ายที่สุด

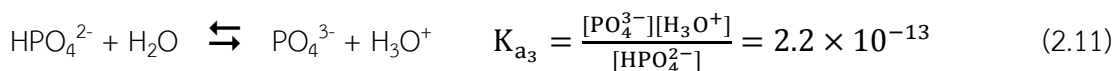
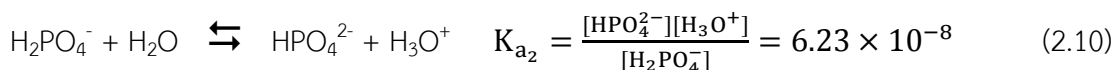
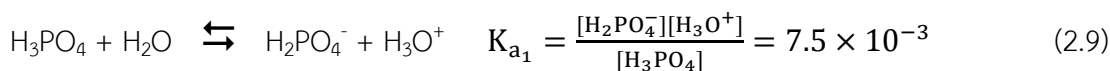
2.7 ฟอสฟอรัส

โดยธรรมชาติแล้วฟอสฟอรัสจะถูกพบด้วยการรวมกับออกซิเจนในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-}) พืชจะดูดฟอสฟอรัสไปใช้ในรูปออร์โธฟอสเฟต กล่าวคือ ในรูปของโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-})⁴⁶ หรือ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^-)⁴⁶ โดยปริมาณของไอออนทั้งสองจะถูกควบคุมโดยค่าความเป็นกรด-เบสในดิน แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด-เบสต่อเศษส่วนโมลของฟอสฟอรัส⁴⁷

สำหรับฟอสฟอรัสที่อยู่ในปุ๋ยเคมี เมื่อเกิดการละลายของเม็ดปุ๋ยจะมีกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เกิดขึ้นซึ่งจะมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่สูง และการแตกตัวของฟอสฟอริกจะเกิดขึ้นเป็น 3 ขั้น ดังสมการที่ 2.9-2.11 ซึ่งในแต่ละขั้นจะมีค่าคงที่ของการแตกตัว (K_a) เป็นไอออนในสารละลาย โดยทั่วไปค่า K_{a1} มีค่ามากกว่า K_{a2} และค่า K_{a2} มากกว่า K_{a3} ในการเปรียบเทียบการแตกตัวของกรดจึงมักเปรียบเทียบค่าของ K_{a1}



ที่ค่าความเป็นกรด-เบส 7.20 ปริมาณของ HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^- มีค่าเท่ากันแสดงดังภาพที่ 2.3 เมื่อดินเป็นเบสจะพบ HPO_4^{2-} อยู่ในสารละลายดินมาก แต่ถ้าเป็นกรดจัดส่วนใหญ่จะเป็น H_2PO_4^- และที่ค่าความเป็นกรด-เบสน้อยกว่า 2 ส่วนใหญ่อยู่ในรูป HPO_4^{2-} หากเป็นกรดอ่อนจะมีทั้ง HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^- ซึ่งพืชใช้ได้ดีเท่าเทียมกัน ดังนั้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากที่สุดจะเกิดขึ้นที่ค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 7.00 ในขณะที่ฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) จะเกิดที่ค่าความเป็นกรด-เบสที่เป็นเบสรุนแรงมากซึ่งไม่ใช่ในดินที่สภาวะปกติและพืชไม่สามารถทนอยู่ได้ต้องสลายตัวและแปรสภาพต่อไปเป็นสารอนินทรีย์ก่อนที่พืชจะดูดไปใช้ได้ ที่ค่าความเป็นกรด-เบส 5.00-8.00 ความเข้มข้นของโปรตรอน (H^+) มีปริมาณต่ำ ดังนั้นฟอสเฟตจึงทำปฏิกิริยากับธาตุประจุบวกตัวอื่นเพื่อที่จะอยู่ในรูปที่เสถียรสามารถที่จะเชื่อมกับธาตุตัวอื่นและปล่อยฟอสฟอรัสออกมาได้ ดินส่วนใหญ่สามารถเชื่อมกับฟอสฟอรัสได้มากกว่าที่พืชจะสามารถนำไปใช้ได้ ที่ค่าความเป็นกรด-เบสมากกว่า 7.50 หรือในสภาวะที่เป็นเบส ฟอสเฟตส่วนใหญ่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมหรือแมกนีเซียมเป็นแคลเซียมฟอสเฟตหรือแมกนีเซียมฟอสเฟต^{22, 48, 49} แต่ที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 5.50 หรือในสภาวะที่เป็นกรด อะลูมิเนียมและเหล็กจะมีปริมาณมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟต^{22, 48, 49} แต่เนื่องจากไม่ทราบค่าการละลายของอะลูมิเนียมฟอสเฟต ดังนั้น พืชจึงไม่สามารถใช้สารประกอบฟอสเฟตนี้ได้ ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนย้ายได้ สำหรับในข้าวความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบส่วนบนของต้นข้าวจะสูงกว่าใบส่วนล่าง โดยเฉพาะเมื่อรากข้าวดูดจากดินได้น้อย โดยปกติปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวสะสมไว้ในส่วนเหนือดินจะสูงขึ้นตามอายุนับตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงระยะออกดอก แม้ว่าสภาพรีดักชันของดินนาข้าวน้ำขังจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสูงขึ้น เพราะฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับเหล็ก และสภาพที่จะทำให้เหล็กละลายได้มากขึ้นทำให้ฟอสฟอรัสมีประโยชน์มากขึ้น แต่ในสภาพดังกล่าวอำนาจการตรึงฟอสฟอรัสก็สูงหากมีเหล็กบางรูปอยู่มาก อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของฟอสเฟตไอออนละลายในสารละลายดินที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวไม่จำเป็นต้องสูงมาก มีเพียง 0.12-0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็เพียงพอแล้ว ในปัจจุบันแหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญอีกแหล่ง คือ จากการเกษตรกรรมโดยเฉพาะนาข้าวที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิต เมื่อน้ำจากนาข้าวไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้การมีฟอสเฟตสะสมอยู่ในน้ำมากจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายเป็นจำนวนมากและอาจเป็นเหตุให้เกิดมลพิษทางน้ำตามมาได้

2.7.1 การสูญเสียฟอสฟอรัสในดิน²⁸

ฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินสูญเสียไปจากดิน ดังนี้

2.7.1.1 ติดไปกับส่วนของพืชที่เอาออกไปจากดิน

ในทุกฤดูการปลูกต้องเก็บเกี่ยวพืชผลไปใช้ในเมล็ด ตอซัง หรือต้นและใบของพืชมีฟอสฟอรัสติดออกไปด้วย โดยเฉพาะแล้วที่ดินแปลงหนึ่งจะสูญเสียฟอสฟอรัสโดยการติด

ออกไปกับส่วนของพืชประมาณ 0.50-1.00 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่ต่อปี หรือประมาณร้อยละ 0.40 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีในดิน (ชั้นไทรพรวน)

2.7.1.2 การระเหย

โดยทั่วไปพวกสารประกอบออร์โธฟอสเฟตในสภาพของดินไร้มันไม่มีการระเหย แต่ถ้าเป็นดินที่มีน้ำซึ่งอาจมีการสูญเสียในรูปของ phosphine (PH_3) ได้มีรายงานจากการทดลองในหลอดแก้วทดลองให้น้ำท่วมดินนานๆ และปฏิกิริยาลดออกซิเจนอย่างรุนแรงพบว่า phosphine ระเหยออกมาแต่ยังไม่มีการรายงานของการพบ phosphine ในแก๊สที่ผุดออกมาจากดินนาตามธรรมชาติ

2.7.1.3 ถูกชะละลายลงไปในดินส่วนล่าง

สารประกอบฟอสเฟตส่วนใหญ่แล้วละลายน้ำได้น้อยมากและมีไอออนฟอสเฟตที่ละลายอยู่ในสารละลายดินในปริมาณน้อยมาก (น้อยกว่า 0.1 ppm) ขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบสของดินและการตรึงฟอสฟอรัสของดิน จึงทำให้การชะละลายฟอสฟอรัสลงไปสู่ดินส่วนล่างในช่วงระยะเวลาสั้นๆ น้อยลงไปด้วย

ตารางที่ 2.5 การประเมินระดับฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน⁵⁰

ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การประเมิน
< 3	ต่ำมาก
3-6	ต่ำ
6-10	ค่อนข้างต่ำ
10-15	ปานกลาง
15-25	ค่อนข้างสูง
25-45	สูง
>45	สูงมาก

2.8 การทำนาข้าว

2.8.1 การเตรียมดินแปลงนาดำ

การเตรียมดิน ประกอบด้วย การไถตะ คือการไถครั้งแรกเมื่อดินมีความชื้นพอเหมาะเพื่อพลิกกลับหน้าดินและทำลายวัชพืช และไถแปรหรือไถครั้งที่สองเพื่อให้ดินแตกตัวเป็น

ก่อนเล็ก ๆ การไถแปรอาจกระทำได้มากกว่า 1 ครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลา ปริมาณน้ำในนา และปริมาณ วัชพืชที่มีอยู่ในแปลงหลังจากไถแปรแล้วจะคราดเพื่อปรับพื้นที่นาให้ได้ระดับสม่ำเสมอ และกำจัด วัชพืชออกจากแปลงนา และก่อนการปักดำจะมีการทำเทือกและให้มีน้ำขังในนา

2.8.2 การปักดำ

การนำต้นกล้าที่ได้จากการเพาะเมล็ดข้าวให้งอกเกิดขึ้นอ่อนและเจริญเติบโตเป็น ต้นกล้าเพื่อนำไปปักดำโดยถอนต้นกล้าไปปักดำในนาที่เตรียมดินไว้แล้ว ซึ่งพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง หรือข้าวนาปรัง ในพื้นที่หนองหาร ใช้พันธุ์เล่าแตก จะปักดำเมื่อต้นกล้าอายุ 20-25 วัน โดยทั่วไปแล้ว ควรมีน้ำขังอยู่ประมาณ 5-10 เซนติเมตร เพราะจะช่วยค้ำต้นข้าวไม่ให้ล้มเมื่อเวลามีลมพัด การปักดำ ต้นกล้ามักใช้ต้นกล้าจำนวน 3-4 ต้นต่อกอ ระยะการปลูกหรือปักดำ 25 x 25 เซนติเมตร ระหว่างกอ และระหว่างแถว⁵¹

2.8.3 การควบคุมระดับน้ำ

การรักษากระดับน้ำในนา ควรมึระดับน้ำในนาล้นน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดของ วัชพืชและประคองต้นข้าวไม่ให้ล้ม โดยระยะแรกในการปักดำเมื่อข้าวยังไม่แตกใบใหม่ให้รักษา ระดับ น้ำให้สูงประมาณ 10 เซนติเมตร หลังจากนั้น การควบคุมระดับน้ำหลังปักดำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น จึงควรให้ระดับน้ำอยู่ในระดับความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เพราะน้ำมากเกินไปจะทำให้ ต้นข้าวแตกกอได้น้อย และยังส่งผลต่อผลผลิตข้าวต่ำ⁵¹

2.8.4 การใส่ปุ๋ย

โดยทั่วไปมีการใส่ปุ๋ยเคมีหลังจากปักดำต้นกล้าในการทำนาปรัง ทั้งหมด 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งแรก ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ สำหรับนาข้าวที่เป็นดินทรายจะใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากปักดำ 3-5 วัน เมื่อข้าวตั้งตัวได้แล้ว ครั้งที่ 2 ในระยะ สืบพันธุ์ ใส่ปุ๋ยยูเรีย (สูตร 46-0-0) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวอายุ 55-58 วัน และครั้งที่ 3 ในช่วงกำเนิดช่อดอก ใส่ปุ๋ยยูเรีย (สูตร 46-0-0) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวอายุ 85-88 วัน¹⁶

2.9 ปุ๋ย

ปุ๋ย หมายถึง สารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้น สำหรับ ใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงความ เติบโตให้แก่พืช

2.9.1 ปุ๋ยเคมี

คือ ปุ๋ยที่ได้จากสารอินทรีย์ หรือ อินทรีย์สังเคราะห์ ที่ทำขึ้นด้วยวิธีการทางเคมี มีธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยมีขบวนการตั้งต้นมาจากก๊าซ

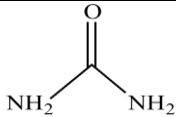
แอมโมเนีย ซึ่งได้มาจากอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมทั้งสิ้น และเมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับกรดต่างๆ โดยการผ่านกระบวนการทางเคมีก็จะได้ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ออกมาเป็นแม่ปุ๋ยสูตรต่างๆ ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและปุ๋ยยูเรีย⁵²

ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีเป็นสารเคมีชนิดที่นำมาใช้ในภาคการเกษตร เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีแหล่งวัตถุดิบสำหรับนำมาผลิตปุ๋ยเคมีในเชิงพาณิชย์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดและจากการพิจารณาความต้องการใช้ปุ๋ยเคมีของพืชแต่ละกลุ่ม พบว่า นาข้าวมีความต้องการใช้ปุ๋ยเคมีมากที่สุด⁵³ ซึ่งการทำนาข้าวเป็นกิจกรรมการเกษตรที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดประกอบกับมีการใช้ปุ๋ยเคมีประมาณ 50-60 กิโลกรัมต่อไร่ต่อรอบการทำนา จากข้อมูลของสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร มีการนำเข้าปุ๋ยเคมี ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2548-2552 คิดเป็น 3.30, 3.50, 4.30, 3.70 และ 3.80 ล้านตัน ตามลำดับ

2.9.1.1 ปุ๋ยยูเรีย

ปุ๋ยยูเรีย คือ ปุ๋ยที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนสูง ราคาถูก และนำมาใช้ได้ง่าย³² ปุ๋ยยูเรียเป็นปุ๋ยเคมีมาตรฐานที่สำคัญที่สุด สูตรปุ๋ยของปุ๋ยยูเรีย นั้นคือ 46-0-0 คือมาจากไนโตรเจน-ฟอสฟอรัส-โพแทสเซียม (N-P₂O₅-K₂O) ซึ่งหมายถึง มีไนโตรเจนร้อยละ 46 และไม่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบต่อน้ำหนักปุ๋ย 100 กิโลกรัม เนื่องจากมีสัดส่วนไนโตรเจนสูงที่สุดจึงใช้เป็นแม่ปุ๋ยไนโตรเจนและรูปของไนโตรเจนที่อยู่ในปุ๋ยยูเรียคือแอมโมเนียมไอออน (NH₄⁺) โดยที่ประจุบวกของ NH₄⁺ ไม่สามารถระเหยได้และเป็นรูปหนึ่งของไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจาก NO₃⁻ ปุ๋ยยูเรียใช้ประโยชน์เพื่อเป็นธาตุอาหารหลักของพืช โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเพาะปลูกที่ต้องเร่งการเจริญเติบโตของพืชอย่างรวดเร็ว ทำให้พืชมีลำต้นยาว มีใบดก ใบใหญ่ ใบสีเขียวเข้ม ปุ๋ยยูเรีย มีสูตรเคมี คือ CH₄N₂O หรือ CO(NH₂)₂ หรือ NH₂CONH₂ คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยยูเรีย แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติปุ๋ยยูเรีย⁵⁴

รายการ	คุณสมบัติ
สูตรโมเลกุล	CH ₄ N ₂ O
โครงสร้างโมเลกุล	
น้ำหนักโมเลกุล	60.06 กรัม
จุดหลอมเหลว	132.7 °C
ความหนาแน่น	1.323 กรัม/มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 °C
ค่าสัมประสิทธิ์ Octanol/water partition	Log K _{ow} = -1.59 ที่อุณหภูมิ 20-25 °C
ค่าการละลายน้ำ	5.45×10 ⁵ มิลลิกรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 °C
ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	7.2 (สารละลาย 10%)
ค่าคงที่การแตกตัว (pK _a)	0.10 ที่อุณหภูมิ 21 °C
สี	สีขาว-ไม่มีสี
สถานะ	ผลึกขาวใส หรือ ผง

ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0 เป็นแม่ปุ๋ยที่ให้แร่ธาตุอาหารหลักไนโตรเจนพืชทุกชนิดมีความต้องการในปริมาณที่สูงมาก โดยทั่วไปไนโตรเจนเป็นแร่ธาตุอาหารในดินที่มีไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช จึงจำเป็นต้องใส่เพิ่มเพื่อให้พืชเจริญเติบโตงอกงามได้ผลผลิตที่ดี ปุ๋ยยูเรียเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดีมาก เมื่อปุ๋ยยูเรียลงไปในดินจะมีการเปลี่ยนรูปให้เหมาะสมกับที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เคมี และ ทางกายภาพ³² เมื่อยูเรียละลายน้ำจะทำปฏิกิริยากับน้ำด้วย เรียกว่า ปฏิกิริยาอุเรียไฮโดรไลซิส (urea hydrolysis) ด้วยเอนไซม์ urease ที่อยู่ในดินซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ แสดงดังสมการที่ 2.3^{32, 33}, 2.4^{32, 33} และ 2.5³³ โดยที่สมการที่ 2.4 จะทำให้เกิดธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชเพราะพืชต้องการปริมาณที่น้อยเพื่อเป็นอาหารในการเจริญเติบโต ปุ๋ยยูเรียส่วนที่ละลายน้ำและยังไม่ถูกไฮโดรไลซิส (เกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ) ยังคงเป็นโมเลกุลของยูเรียซึ่งไม่มีประจุไฟฟ้าที่โมเลกุล จึงถูกชะล้างได้ง่าย ถ้าหากว่าภายหลังจากการใส่ปุ๋ยแล้วมีฝนตกหนักหรือให้น้ำชลประทานมากเกินไปที่ ปุ๋ยยูเรียจะถูกชะล้างไปมาก จากการศึกษาของ Wang et al.⁵⁵ พบว่า แอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยลงไปแปลงนาข้าวและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากที่สุดในวันที่ 5 และลดลงภายในสองสัปดาห์หลังจากใส่ปุ๋ย ในขณะที่ไนเตรท-ไนโตรเจน จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ปุ๋ยยูเรียมี 2 ชนิด ได้แก่

(1) ปุ๋ยยูเรียเม็ดโพลัม (granular urea) เป็นปุ๋ยเคมีที่มีเม็ดปุ๋ยขนาดใหญ่ 2-4 มิลลิเมตร มีสีขาวเหมือนเม็ดโพลัม นิยมใช้ทางการเกษตร เหมาะกับการหว่านและใช้กับเครื่องพ่นปุ๋ยทั่วไปได้ ปุ๋ยยูเรียเม็ดโพลัมเป็นแม่ปุ๋ยหลักไนโตรเจน สำหรับโรงงานผลิตปุ๋ยบด โดยนำไปบดปุ๋ย (คลุกปุ๋ย) กับแม่ปุ๋ยชนิดอื่น เช่น แม่ปุ๋ยแฉะ (DAP) 18-46-0 แม่ปุ๋ยมีอบ (MOP) 0-0-60 และฟิลเลอร์ (filler) ด้วยการคลุกเคล้าเพื่อให้ได้ปุ๋ยสูตรต่างๆ ตามต้องการ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกปุ๋ยยูเรียชนิดนี้มาใช้ในการศึกษา

(2) ปุ๋ยยูเรียเม็ดเล็กหรือเม็ดสาคุ (prilled urea) ปุ๋ยยูเรียเม็ดเล็ก หรือเม็ดสาคุ เป็นปุ๋ยที่มีเม็ดขนาดเล็ก 1-3 มิลลิเมตร มีสีขาวใสเหมือนเม็ดสาคุเฉพาะในประเทศไทยนิยมใช้ทางการเกษตรน้อยกว่าปุ๋ยยูเรียเม็ดโพลัม แต่ใช้ได้กับต้นไม้เหมือนกับปุ๋ยยูเรียเม็ดโพลัม เพียงแต่ไม่เป็นที่คุ้นเคยของเกษตรกร สำหรับในนาข้าว นิยมใช้ปุ๋ยยูเรียเม็ดโพลัม เนื่องจากเหมาะกับการหว่านและใช้กับเครื่องพ่นปุ๋ยทั่วไปได้เป็นอย่างดี⁵⁶

2.9.1.2 ปุ๋ยฟอสเฟต

ปุ๋ยฟอสเฟต หรือ ปุ๋ยฟอสฟอรัส คือ ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสและธาตุนี้อยู่ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต เช่น ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ปุ๋ยชนิดนี้เตรียมได้โดยการใช้ก๊าซแอมโมเนียทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอรัสหรือกับกรดสองชนิดที่เป็นส่วนผสมระหว่างกรดฟอสฟอรัสกับกรดกำมะถัน ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในประเทศไทย มีอยู่ 2 ชนิด คือ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต สูตร 11-48-0 และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต สูตร 18-46-0 ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตละลายน้ำได้ดี และมีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรดเพราะมีไนโตรเจนอยู่ในรูปแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ปุ๋ยชนิดนี้เป็นปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารพืชสูง เม็ดปุ๋ยมีความแกร่งสูงปุ๋ยชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากโดยเฉพาะการนำไปใช้เป็นแม่ปุ๋ยเพื่อผลิตปุ๋ยผสมสูตรต่างๆ

2.9.1.3 ปุ๋ยผสมสูตร 16-16-8

ปุ๋ยสูตร 16-16-8 เป็นปุ๋ยผสมที่เกษตรกรนิยมใช้กันมากในนาข้าว⁵⁷ ซึ่งปุ๋ยสูตร 16-16-8 ($N-P_2O_5-K_2O$) คือ บอกให้ทราบปริมาณของธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการ คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5 , P) และโพแทสเซียม (K_2O , K) ตัวเลขที่ปรากฏ 16-16-8 คือปริมาณของธาตุอาหารที่คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (%) กล่าวคือ ในปุ๋ยหนัก 100 กิโลกรัม จะมีธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการดังนี้ มีไนโตรเจน (N) 16 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส (P) 16 กิโลกรัม และโพแทสเซียม (K) 8 กิโลกรัม รวมทั้งสิ้น 40 กิโลกรัมจากน้ำหนักปุ๋ย 100 กิโลกรัม และอีก 60 กิโลกรัม คือสารตัวเติมหรือฟิลเลอร์ที่ไม่มีประโยชน์ต่อพืช ธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ธาตุนี้ มาจากแม่ปุ๋ยหลัก คือ ยูเรีย (สูตร 46-0-0) แม่ปุ๋ยธาตุไนโตรเจน แม่ปุ๋ยแฉะ (Diammonium phosphate) (สูตร 18-46-0) แม่ปุ๋ยธาตุฟอสฟอรัสและแม่ปุ๋ยมีอบ (Muriate of Potash) (MOP) (สูตร 0-0-60) ซึ่งเป็นแม่ปุ๋ยธาตุโพแทสเซียม สำหรับแม่ปุ๋ยแฉะ (DAP) มีสูตรโมเลกุล คือ $(NH_4)_2HPO_4$ มีจุดหลอมเหลว 155 องศาเซลเซียส ค่าการละลายน้ำ

588 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด-เบส 7.50-8.00 มีลักษณะผงสีขาว สำหรับรูปของไนโตรเจนที่อยู่ในปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 คือ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ที่มาจากปุ๋ยยูเรีย และแอมป์ยูแคป (DAP)

2.10 วิธีการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว

วิธีการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวจะใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่กรมการข้าวแนะนำ 2-3 ครั้ง ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมใส่ทั้งหมดในการใส่ปุ๋ยครั้งแรกและปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 3 ครั้ง ที่ระยะกล้า ระยะแตกกอ และระยะสร้างรวงอ่อน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะที่ข้าวมีอายุมาก (ระยะออกดอก) ช่วยยืดอายุทำให้ใบแก่ช้าออกไป และช่วยเพิ่มการพัฒนาของเมล็ดให้ดีขึ้นโดยเฉพาะในฤดูแล้งและให้ผลผลิตสูง ดังนั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนควรใส่ในระยะแรกเพื่อกระตุ้นการแตกกอ ซึ่งทำให้มีส่วนของพืชที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารพอเพียง (ใบ) และใส่ในช่วงการแทงช่อรวงอ่อนทำให้ได้เมล็ดที่มีขนาดใหญ่พอที่จะใช้สะสมอาหารในช่วงที่ข้าวแก่ ดังตารางที่ 2.7 และตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 การใส่ปุ๋ยตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว¹⁶

ครั้งที่	ธาตุอาหาร	ระยะการเจริญเติบโตของข้าว	วัตถุประสงค์
1	N, P, K	ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ	สร้างใบ ราก และลำต้น
2	N	ระยะสีบพันธุ์	เร่งการแตกกอของข้าว
3	N	ระยะสร้างเมล็ด	บำรุงช่อดอกและเมล็ดข้าว

ตารางที่ 2.8 การใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา และชนิดของปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตข้าว¹⁶

ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1		ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2		ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3	
ชนิดปุ๋ย	อัตรา (กก./ไร่)	ชนิดปุ๋ย	อัตรา (กก./ไร่)	ชนิดปุ๋ย	อัตรา (กก./ไร่)
ดินเหนียว 16-20-0	30-35	46-0-0	10-15	46-0-0	10-15
ดินร่วน, ดินทราย					
16-16-8	30-35	46-0-0	10-15	46-0-0	10-15
16-12-8	30-35	46-0-0	10-15	46-0-0	10-15

สำหรับการใส่ปุ๋ยนาข้าวของเกษตรกรในพื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก โดยใส่ในแปลงนาที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรสำหรับการทำนาปรังนั้น นิยมใช้วิธีการหว่านปุ๋ยให้ทั่วแปลง เนื่องจากประหยัดเวลาและแรงงาน อัตราการใช้ส่วนใหญ่จะใช้ตามอัตราการใช้ที่ทางราชการแนะนำและใส่เป็นสองเท่าของอัตราแนะนำ โดยการใส่ครั้งแรกเมื่อหลังปักดำไปแล้ว 5-10 วัน สูตรที่ใช้ คือ 16-16-8 อัตราที่ใช้ 35 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 2 และ 3 ใช้สูตร 46-0-0 อัตราการใช้ส่วนใหญ่ 15 กิโลกรัมต่อไร่¹⁶

2.10.1 การใส่แบบหว่าน

ความสำคัญอยู่ที่การหว่านให้ทั่วแปลงอย่างสม่ำเสมอ ควรหว่านก่อนการไถดิน เพื่อให้ปุ๋ยได้อยู่ลึกกลงไปในดินในระดับบริเวณรากพืช หรืออาจจะหว่านปุ๋ยแล้วตามด้วยการพรวนดิน พืชที่มีระบบรากหนาแน่นและตื้น อาจจะหว่านปุ๋ยหลังการไถหรือพรวนดินก็ได้ หรือถ้าต้องการยกร่องปลูก ปุ๋ยจะถูกกลบคลุมเคล้ากับดินอยู่บนร่องปลูก สรุปได้ว่าเป็นวิธีที่ใช้ได้ดีกับพืชหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่มีระบบรากตื้นมาก การใส่แบบหว่านความเข้มข้นของปุ๋ยจะลดลงและปุ๋ยมีโอกาสทำปฏิกิริยากับดินได้มากขึ้น ทำให้สามารถใส่ปุ๋ยเป็นปริมาณมากในคราวเดียวกันได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อต้นพืช

2.10.2 การใส่แบบฝัง

เป็นวิธีการใส่ปุ๋ยในระดับที่ปุ๋ยสามารถถูกนำไปใช้ได้ที่มีความลึก 7-10 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โดยใส่ในดินไม่นานหลังจากที่ปลูกพืช วิธีการนี้จะช่วยให้การกระจายที่ดีขึ้นของปุ๋ยในดินเขตรากพืชที่จะดูดซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนและป้องกันการสูญเสียของสารอาหาร โดยการถูกชะล้างได้อีกทางหนึ่ง สำหรับในนาข้าวการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวยังมีโอกาสสูญเสียไนโตรเจนได้โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ เนื่องจากที่ผิว

ของดินที่ติดกับน้ำเป็นส่วนที่ยังมีออกซิเจน แอมโมเนียมที่เกิดจากปุ๋ยที่ตกอยู่บนผิวดินและยังไม่แพร่ลงไปดินที่ลึกลงไปจะถูกพืชดูดไปใช้และส่วนหนึ่งที่ลงไปสู่ดินที่ขาดออกซิเจน จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน จากที่กล่าวมา ถ้าหากสามารถฝังปุ๋ยให้ลึกลงไปดินแล้วโอกาสจะเกิดไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมก็จะลดน้อยลง

2.11 ปัญหาที่เกิดจากการทำนาข้าว

การทำนาข้าวเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญดังนี้

2.11.1 ปัญหาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ

โดยทั่วไปจะก่อให้เกิดปัญหามลพิษในระดับต่ำต่อแหล่งน้ำ เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารมลพิษต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมการเกษตรอื่น เช่น นาข้าว (มีค่าบีโอดีของน้ำดำและนาหว่านเป็น 2.4 และ 3.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) โดยคิดเป็นปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากนาข้าว 1.75 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี การทำนาข้าวส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งอาจก่อให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำได้ 2 ทาง คือ การทำให้น้ำในแหล่งน้ำเน่าเสียและการชะล้างไนเตรทลงสู่ลำน้ำได้ดิน หากไม่มีการจัดการที่ดีอาจทำให้น้ำพาราดูอาหารพืชเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำมากเกินไปจนถึงระดับที่ทำให้เกิดกระบวนการยูโทรฟิเคชัน ปัจจุบันการทำนาข้าว จะไม่ค่อยระบายน้ำออกจากแปลงนาข้าวโดยจะมีการจัดการน้ำในนาที่ขังอยู่ในแปลงนาให้พอดีกับความต้องการของต้นข้าวและปล่อยให้แปลงนาแห้งในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยคิดเป็นปริมาณมลพิษจากนาข้าวที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำ 0.17 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

2.11.2 ปัญหาคุณภาพดินเสื่อมโทรม

การทำนาหว่านน้ำตมสามารถทำให้เกิดปัญหาดินเสื่อมโทรมได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากการทำนาในขณะที่มีน้ำขังมีการไถตะ ไถแปร คราด เช่นเดียวกับในนาดำ ทำเทือกและตีเลนหลังจากไถแปรและคราดแล้ว ปล่อยให้น้ำขังในนาประมาณ 3 สัปดาห์ เพื่อปล่อยให้ลูกหญ้าที่เป็นวัชพืชน้ำ เช่น ผักปอด ขาเขียด งอกขึ้นมาก่อนแล้วจึงคราดอย่างประณีตอีกครั้งเพื่อให้ลูกหญ้าลอยไปติดคันทาก่อนจะถูกเก็บทิ้งต่อไป เมื่อคราดเสร็จจึงมีการระบายน้ำออกจากที่นาแล้วปรับเทือกให้มีระดับสม่ำเสมอก่อนหว่านข้าว น้ำที่ปล่อยออกมายังไม่มีการตกตะกอนดิน จึงมีตะกอนดินที่ไหลออกมาจากพื้นที่นาข้าวซึ่งเป็นการสูญเสียหน้าดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

2.12 ตัวชี้วัดคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว

น้ำเสียจากนาข้าวส่งผลทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำ โดยทำให้ลักษณะทางกายภาพและเคมีในแหล่งน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพธรรมชาติ ที่สำคัญ คือ

2.12.1 อุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาเคมี มีผลต่อการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เช่น ปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์ในน้ำจะเกิดอย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำเพิ่มจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาเคมีของแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 25.0-35.0 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังมีผลต่ออัตราเร็วและความสามารถการดูดซับสาร กล่าวคือ อัตราเร็วจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ ความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้นและเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานกำหนดค่าอุณหภูมิของน้ำไว้ มีค่าไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส⁶⁹

2.12.2 ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ถ้าแหล่งน้ำมีค่าบีโอดีมากย่อมแสดงว่ามีความสกปรกมาก เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้ ออกซิเจนจำนวนมากในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือสิ่งปฏิกูลในน้ำส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen, DO) ในแหล่งน้ำลดลงอาจเป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์น้ำ มีผลให้น้ำเน่าเสียได้ การปลูกพืชที่มีการขังน้ำ เช่น การทำนาจะต้องขังน้ำในแปลงนาเพื่อหล่อเลี้ยงต้นข้าวให้เจริญเติบโต ต้นข้าวที่แช่ขังอยู่ในน้ำเป็นเวลานาน 2-3 เดือนโดยไม่มีกรไหลเวียนของน้ำ ทำให้เกิดการเน่าเสียของต้นข้าวและวัชพืชนาข้าวซึ่งเป็นสารอินทรีย์ ส่งผลให้น้ำที่ระบายออกจากแปลงนาข้าวมีค่าบีโอดีสูง อย่างไรก็ตาม การทำนาส่วนใหญ่ยกเว้นนาปีจะปล่อยให้น้ำแห้งจะไม่ค่อยระบายน้ำออกจากแปลงนาโดยจะมีการจัดการน้ำที่ขังอยู่ในแปลงนาให้พอดีกับความต้องการของต้นข้าวและปล่อยให้แปลงนาแห้งทันช่วงการเก็บเกี่ยว

2.12.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

น้ำผิวดินที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไป มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) 5.00-8.00 มิลลิกรัมต่อลิตร⁵⁹ ถ้าแหล่งน้ำที่ได้รับสารพิษหรือมลพิษต่างๆ จะมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงตามเวลา แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณออกซิเจนละลายน้ำก็สามารถเพิ่มขึ้นได้จากการละลายของออกซิเจนในอากาศ การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายน้ำในสิ่งแวดล้อมจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ น้ำ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเกิดเมตาบอลิซึมในสิ่งมีชีวิตจะสูงขึ้น ทำให้ต้องการออกซิเจนมากขึ้น เช่น การหายใจของจุลินทรีย์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง แต่ขณะเดียวกันที่อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย⁶⁰ นอกจากนี้ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำยังมีผลต่อการ

เกิดปฏิกิริยา การเปลี่ยนรูปของสาร โดยขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ สำหรับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 กำหนดค่าออกซิเจนละลายน้ำไว้ ไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร⁵⁸ ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

2.12.4 ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P)

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสนั้นเป็นธาตุอาหารหลักจากพื้นที่เกษตรกรรมที่จะก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำโดยมีแหล่งที่มาจากหลายแห่ง ได้แก่

- ปุ๋ยเคมีทั้งที่อยู่ในรูปเม็ดและน้ำ
- ปุ๋ยคอก ซึ่งเป็นผลผลิตจากมูลสัตว์และส่วนผสมอื่นๆ เช่น ฟางที่ใช้เป็นวัสดุรองพื้นคอก
- เศษซากพืชโดยเฉพาะพืชในตระกูลถั่ว (Legumes) ซึ่งเป็นแหล่งอาศัยของแบคทีเรียที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ได้โดยตรง
- น้ำในระบบชลประทาน

(1) ไนโตรเจน

ไนโตรเจนที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่ แอมโมเนียม-ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) และไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุอาหารพืชที่มีความสำคัญต่อกระบวนการยูโทรฟิเคชันที่ส่งผลให้พืชน้ำเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารตัวใดตัวหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปของไนเตรทก็จะทำให้แพลงก์ตอนเพิ่มขึ้นได้ และหากมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนผิดปกติจะก่อให้เกิดการเสียสมดุลในแหล่งน้ำจนเป็นสาเหตุของการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้ สำหรับไนไตรท์ เป็นสารประกอบระหว่างกลางในกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยทั่วไปไนไตรท์จะไม่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำเพราะไนไตรท์ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็ว แต่ในบางสภาวะ หากอัตราการออกซิไดซ์แอมโมเนียเร็วกว่าอัตราการออกซิไดซ์ไนไตรท์จะเกิดการสะสมของไนไตรท์ขึ้นได้เช่นกัน แหล่งน้ำทั่วไปพบมีความเข้มข้นต่ำเฉลี่ยน้อยกว่า 0.007 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนเตรทส่วนใหญ่ที่พบในแหล่งน้ำจะได้จากผลผลิตขั้นสุดท้ายของกระบวนการไนตริฟิเคชัน ความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนในแหล่งน้ำทั่วไปต่ำ เฉลี่ยประมาณ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร⁶¹

(2) ฟอสฟอรัส

สารประกอบพวกอนินทรีย์ฟอสเฟต เป็นสารประกอบฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำทั่วไป แบ่งออกได้เป็นสารประกอบพวกออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ สารประกอบพวก PO_4^{3-} HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^- สารประกอบพวกนี้ละลายน้ำแล้วแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ฟอสฟอรัสที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำโดยเฉพาะในรูปของฟอสเฟต ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) ฟอสเฟต-

ฟอสฟอรัสในน้ำประมาณร้อยละ 70 มาจากการใช้ปุ๋ยในการเกษตร และปริมาณร้อยละ 16 มาจาก ผงซักฟอกที่ใช้ในบ้านเรือน คนทั่วไปอาจคิดว่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ ส่วนใหญ่มาจากปุ๋ย ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่ชาวสวนรดน้ำต้นไม้ แต่ที่จริงแล้วฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสไม่เหมือนไนเตรท-ไนโตรเจน เพราะไม่ละลายน้ำ ทำให้ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ที่ยังคงอยู่ในรูปปุ๋ยจึงมีส่วนน้อยที่หายไป ปริมาณการไหลลงสู่แหล่งน้ำของฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีผลต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำก่อให้เกิด ปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชัน⁶²

2.12.5 ค่าความเป็นกรด-เบส

ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) หมายถึง หน่วยวัดค่าความเป็นกรด-เบส ค่าความเป็นกรด-เบสมากกว่า 7.00 หมายถึง ความเป็นเบส และค่าความเป็นกรด-เบส น้อยกว่า 7.00 หมายถึง ความเป็นกรด ซึ่งความเป็นกรด-เบส มีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำ ไปใช้ประโยชน์ โดยปกติน้ำสะอาดจะมีค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 7.00 ค่าความเป็นกรด-เบส ของ น้ำเสียควรอยู่ระหว่าง 6.50-9.00 ทั้งนี้ ค่าความเป็นกรด-เบส มาตรฐานของการระบายน้ำลงทางน้ำ ชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ชลประทานที่กำหนดค่าความเป็น กรด-เบสที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-8.5⁹⁶ และค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำตามเกณฑ์มาตรฐาน คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 อยู่ในช่วง 5.0-9.0⁵⁸ ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำจะมี ผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส อัตราการย่อยสลาย เป็นต้น สำหรับค่าความเป็นกรด-เบสของดินมี ความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากค่าความเป็นกรด-เบสของดินมีผลต่อกิจกรรมของ จุลินทรีย์ในดิน

2.12.6 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการนำไฟฟ้าของแหล่งน้ำนั้นๆ โดยค่าการ นำไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องโดยตรงต่อผลรวมแคตไอออนและแอนไอออนทั้งหมดของน้ำ⁶³ ความสามารถในการ นำกระแสไฟฟ้าจะชี้ให้เห็นถึงความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ เช่น กรด-เบส เกลือที่ละลายน้ำหรือ ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด การนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่งแต่เป็นค่ารวมของ ไอออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำเป็นค่าที่บอกแต่เพียงว่ามีสารเพิ่มขึ้น หรือลดลงของไอออนที่ละลายน้ำ กล่าวคือ ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีสารที่แตกตัวในน้ำเพิ่มขึ้น หรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงแสดงว่าสารแตกตัวในน้ำลดลง เกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำ ชลประทานกำหนดค่าการนำไฟฟ้าไว้ ไม่เกิน 2,000 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร⁹⁶

2.12.7 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน

ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (Eh) ถูกควบคุมโดยกระบวนการทางจุลินทรีย์เป็น หลักโดยจะใช้แหล่งคาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนระหว่างการหายใจ ออกซิเจนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับ อิเล็กตรอน ในดินนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังนั้นออกซิเจนจะมาจากชั้นบรรยากาศ โดยจุลินทรีย์ในดินก็จะ

เปลี่ยนสภาวะการหายใจจากที่มีออกซิเจนเป็นสภาวะที่ใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้และเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนในที่สุด โดยจะใช้ตัวรับอิเล็กตรอนเป็นตัวอื่นที่ไม่ใช้ออกซิเจน หากเรียงจากค่าเทอร์โมไดนามิกส์แล้ว พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล เรียงจากค่าสูงไปต่ำ คือ การหายใจในสภาวะที่ใช้ ออกซิเจน > ไนตริไฟเคชัน > ดีไนตริไฟเคชัน³⁹ ทั้งนี้ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล สัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-เบส จากสมการเนิร์ส (Nernst's equation) พบว่า ทุกการเปลี่ยนแปลง 59 mV ของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล จะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย³⁹ การที่ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ลดลง มีผลดีและผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าว ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลที่ต่ำลงจะทำให้ไนเตรทสูญหายไป และทำให้มีแอมโมเนียมสะสมมากขึ้น และช่วงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ช่วงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี และดินที่มีน้ำขัง²⁴

ชนิดของดิน	รีดอกซ์โพเทนเชียล (มิลลิโวลต์)
สภาพถ่ายเทอากาศดี	+700 ถึง +500
สภาพรีดิวซ์ปานกลาง	+400 ถึง +200
สภาพรีดิวซ์	+100 ถึง -100
สภาพรีดิวซ์รุนแรง	-100 ถึง -300

2.12.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบส กับ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน

ในดินที่มีน้ำท่วมขัง และการแลกเปลี่ยนก๊าซอย่างอิสระระหว่างอากาศในดินและบรรยากาศจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรง และนอกจากนั้นออกซิเจนจากบรรยากาศจะเข้าไปในดินได้โดยการแพร่กระจายไปยังส่วนของน้ำที่ขังอยู่เหนือดิน ดินจะอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน สารประกอบต่างๆ ที่อยู่ในดินจะถูกรีดิวซ์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยที่ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ซึ่งเรียกได้อีกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) ศักย์ไฟฟ้าที่วัดค่าได้เรียกว่า ศักย์ไฟฟารีดอกซ์ (redox potential) ในทางปฐพีศาสตร์มักใช้สัญลักษณ์ Eh สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากปฏิกิริยารีดักชันในดินมักมี H^+ เข้ามาเกี่ยวข้อง และมีความสัมพันธ์กับค่า pH จึงใช้ ค่า Eh แทนศักย์ไฟฟ้าดังกล่าวเพื่อให้สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-เบส ถ้าความเข้มข้นของ H^+ ที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสารละลายดินซึ่งไม่เท่ากับหนึ่ง ศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อกำหนดถึงตัวแปรดังกล่าวปฏิกิริยารีดักชันแบบย่อจึงเขียนโดยทั่วไปดังสมการที่ 2.12-2.15^{64, 65}



$$E_h = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{(\text{Red})^b}{(\text{Ox})^a} \quad (2.13)$$

$$E_h = E^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{(\text{Red})^b}{(\text{Ox})^a} \quad (2.14)$$

ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) เป็นการวัดเชิงปริมาณของแนวโน้มเชิงระบบที่จะออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์สารประกอบ ซึ่งไม่มีค่าเป็นกลางเหมือน pH แต่ที่เหมือนกันก็คือ เป็น intensity factor ปฏิกริยาใดที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนก็จะถูกควบคุมโดยค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล

$$R = 1.987 \text{ cal/deg-mole}$$

$$T = 298 \text{ }^\circ\text{K} (25 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$F = 96,500 \text{ coulombs}$$

$$E_h = E^0 + \frac{RT}{nF} \frac{(\text{Ox})}{(\text{Red})} + m \frac{RT}{nF} \ln (H^+) \quad (2.15)$$

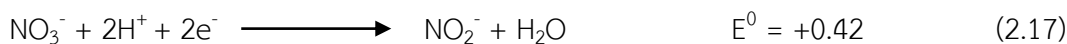
ดังนั้น อิทธิพลของความเข้มข้นและค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ต่อค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) จึงแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ Eh โดยสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปของสมการเนินสต์ (Nernst equation) จะได้เป็นดังสมการที่ 2.16^{64, 65}

$$E_h (V) = E^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{(\text{Red})^b}{(\text{Ox})^a} - 0.059 \frac{m}{n} \text{pH} \quad (2.16)$$

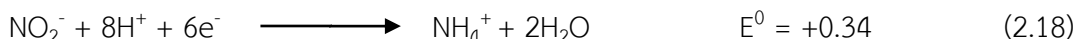
เมื่อ	Eh	คือ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (โวลต์)
	E ⁰	คือ ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (โวลต์)
	pH	คือ ความเป็นกรด-เบส
	n	คือ จำนวนอิเล็กตรอน
	m	คือ จำนวนโมลของไฮโดรเจนไอออนในปฏิกริยา
	(Red)	คือ activity of oxidized species
	(Ox)	คือ activity of reduced species

ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-เบสกับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินที่ตรวจวัดได้ สามารถนำค่าที่วิเคราะห์ได้แสดงความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน จากสมการของเนินสต์

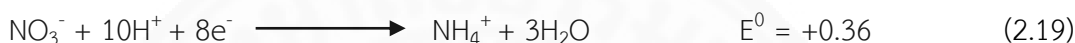
(Nernst equation) ในสมการที่ 2.16 โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (E^0) จาก Standard half reaction ของไนเตรท ซึ่งมีสมการดังนี้



แล้ว



จากสมการที่ (2.17) + (2.18) จะได้



2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hui, Xian, Hong, และ Lin⁶⁶ ศึกษาพลวัตของไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วมขังและการชะล้างในนาข้าวด้วยการใส่ปุ๋ยยูเรียและการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจน บริเวณพื้นที่ Dongting lake ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยดินที่ศึกษาคือดินนาข้าว alluvial sandy loamy paddy soil (ASP) และ purple calcareous clayey paddy soil (PCP) พบว่า หลังจากใส่ปุ๋ยยูเรียในนาข้าว ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ในน้ำมีค่าสูงขึ้น ในวันที่ 1 และ 3 ตามลำดับหลังจากนั้นมีค่าลดลง ในขณะที่ไนเตรท ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) มีค่าต่ำ และค่าความเป็นกรด-เบส ในน้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นใน 15 วัน เนื่องจาก NH_4^+ บางส่วนได้ระเหยโดยกระบวนการ ammonia volatilization ในขณะที่ NH_4^+ ส่วนใหญ่ได้ถูกดูดซับโดยดินคอลลอยด์ ทำให้ OH^- นั้นยังคงสภาพอยู่ในน้ำส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าสูงขึ้น แต่ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่าสอดคล้องกับแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) เมื่อใส่ปุ๋ยแบบควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจน (CRNF) เนื่องจากถูกเคลือบด้วยวัสดุธรรมชาติ โดยเฉพาะการควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจนที่ร้อยละ 70 (70% CRNF) พบว่า TN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, pH และ EC มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ย 15 วัน ซึ่งการสูญเสียไนโตรเจนจากการชะล้างโดยธรรมชาติเป็นตัวบ่งบอกถึงการสูญเสียไนโตรเจนทั้งหมดจากนาข้าว คิดเป็น 7.47 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (ร้อยละ 2.49 ของปุ๋ยยูเรียที่ใช้) แต่การใส่ปุ๋ยแบบ CRNF และร้อยละ 70 CRNF ลดการสูญเสียได้ร้อยละ 24.50 และ 27.20 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยยูเรีย ซึ่งจากการชะล้าง 2 ครั้ง ภายใน 20 วันหลังจากทำการใส่ปุ๋ยได้ส่งผลต่อการสูญเสียไนโตรเจนทั้งหมดจากนาข้าว กล่าวคือ การชะล้างไนโตรเจนทั้งหมดด้วยปุ๋ยยูเรีย CRNF และร้อยละ 70 CRNF คิดเป็นร้อยละ 72, 70 และ 58 ตามลำดับของการสูญเสียไนโตรเจนทั้งหมดตลอดช่วงอายุของการปลูกข้าว และการ

สูญเสียไนโตรเจนทั้งหมด CRNF และร้อยละ 70 CRNF เนื่องจากการชะล้างครั้งแรกในวันที่ 10 เทียบกับการใส่ปุ๋ยยูเรียคิดเป็นร้อยละ 44.90 และ 44.20 ตามลำดับ จากการศึกษาสรุปได้ว่า 15 วันหลังใส่ปุ๋ยยูเรียมีการสูญเสียไนโตรเจนมากที่สุดแต่การใช้วิธี CRNF ช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนจากการชะล้างได้ เนื่องจาก OH^- ไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับกรดที่แตกตัวจากแคลเซียมซุเปอร์ฟอสเฟตและทำให้มีไนโตรเจนให้พืชได้ใช้อีกนาน

Xi, Hui, Tao, และ Fa⁶⁷ ศึกษา ammonia volatilization และประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวในพื้นที่บริเวณ Taihu lake ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยศึกษาปุ๋ยยูเรียที่ความเข้มข้น 100, 200, 300, และ 350 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เทียบกับที่ไม่เติมปุ๋ยไนโตรเจน พบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมที่สูญเสียด้วยการระเหยของแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของปุ๋ยที่ใช้ และที่ความเข้มข้น 300 และ 350 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ได้สูญเสียไนโตรเจนด้วยการระเหยมากที่สุด โดยปริมาณการสูญเสียไนโตรเจนระหว่างปลูกข้าวอยู่ในพิสัยร้อยละ 9.00-16.70 ของปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ นอกจากนี้ ผลการศึกษา ยังพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นปุ๋ยไนโตรเจนมากขึ้นแต่ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดข้าวมีค่าลดลง และจากการศึกษายังพบว่าประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอยู่ในพิสัยร้อยละ 30.90-45.90 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นปุ๋ยไนโตรเจนจาก 100 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เป็น 300 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจาก 6,242 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์เป็น 8,272 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ แต่ผลผลิตข้าวลดลงเหลือ 7,323 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เมื่อใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 350 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียไนโตรเจนจากการระเหย จากการศึกษาความเข้มข้นปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ที่ 227 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ซึ่งสามารถผลิตข้าวได้ 8,028.70 กิโลกรัม โดยที่สัดส่วนของปริมาณไนโตรเจนต่อผลผลิตข้าวคือ 1:30.9 ในดินที่ Taihu lake

Evanylo, Sherony, Spargo, Stamer, Brosius, และ Haering⁶⁸ ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยเพื่อการเกษตรต่อคุณภาพน้ำ โดยเปรียบเทียบอัตราและเวลาในการหมักปุ๋ย (ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก) เทียบกับปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำที่ Virginia Tech's Northern Piedmont Agricultural Research and Education Center (NPAREC) ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ปุ๋ยหมักที่มีอัตราสูงสามารถลดการชะล้างของธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากดินได้ 4 และ 5 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี ในขณะที่ผลผลิตทางการเกษตรไม่ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าคุณภาพของดิน (ความหนาแน่นและความพรุนของดิน) ที่มีการใช้ปุ๋ยหมักยังมีประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

Somura, Takeda, และ Mori⁶⁹ ศึกษาผลของการไถดินโคลนต่อคุณภาพการระบายน้ำในพื้นที่ปลูกข้าว ที่เมือง Matsue ประเทศญี่ปุ่น พบว่า คุณภาพน้ำในนาข้าวได้รับอิทธิพลอย่างมากจากการทำเทือกของดินในนาข้าวโดยรถแทรกเตอร์และในการตอบสนองต่อการเปิดประตูระบายน้ำ ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อกระบวนการทำเทือกและความเข้มข้นสูง

คงที่ตลอดระยะเวลาทำเทือก นอกจากนี้ความเข้มข้นที่สูงไม่ได้ลดลงทันทีหลังจากหยุดการทำเทือก นอกจากนี้อัตราส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำต่อไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสรวมมีค่าเพิ่มขึ้นทุกวันในช่วงครึ่งหลังของการไถทำเทือก เนื่องจากการปล่อยของปุ๋ยเคมีด้วยจากการระบายน้ำ อนุภาคของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ปล่อยออกมาในช่วงทำเทือก มีขนาดใหญ่กว่าจากระหว่างการชลประทานและยังพบว่า การปล่อยจากนาข้าวในช่วงทำเทือกยังเพิ่มปริมาณสารปนเปื้อนในแต่ละปี

Al Shami , Che Salmah, Siti Szizah, และ Abu Hassan⁷⁰ ศึกษาคุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพและเคมีในนาข้าวที่เมือง Bukit Merah รัฐปีนัง ประเทศมาเลเซียในช่วงเก็บเกี่ยว 2 ฤดูกาล (ปี 2004/2005) พบว่า อุณหภูมิในนาข้าวอยู่ในช่วง 23-34 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสังเคราะห์แสงโดยสาหร่ายที่อยู่ในน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบสในนาข้าวมีค่าประมาณ 6.27 ซึ่งมีความเป็นกรดอ่อนเป็นผลมาจากการสังเคราะห์แสงของพืชทำให้เกิดปริมาณสารอินทรีย์และการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกลายเป็นธาตุของไนโตรเจน อีกทั้งเกิดจากการย่อยสลายของฟางข้าวหรือวัชพืชหลังจากเติมสารปราบศัตรูพืช ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 15-205 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร อันเป็นผลมาจากการเติมปุ๋ยเพราะการเติมปุ๋ยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไอออนในน้ำและลักษณะของสารเคมีรวมทั้งฤดูกาลก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไนเตรทและแอมโมเนียม ปริมาณไนเตรทมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 0.02-1.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสูงในช่วงการเติบโตของข้าว เนื่องจากอยู่ในช่วงการเติมปุ๋ยและมีค่าต่ำลงในช่วงท้ายของการเติบโตเนื่องจากต้นข้าวได้ดึงฟอสเฟตจากปุ๋ยไปใช้ในขณะเดียวกันอาจเป็นผลมาจากระดับน้ำในนาข้าวลดลง อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าสูงเนื่องจากโคลนจากพื้นที่นาข้าว ในขณะที่อินทรีย์วัตถุมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 5.68 เนื่องจากการเติมปุ๋ยในระหว่างการเก็บเกี่ยวและมีการเจริญเติบโตของพืชน้ำและการย่อยสลายของพืชน้ำ

Kim, Kwon, Ko, Park, Lee, และ Lee⁷¹ ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยคอกต่อคุณภาพน้ำในพื้นที่ปลูกข้าว จังหวัด GyeongGi ประเทศสาธารณรัฐเกาหลีใต้ ศึกษาปุ๋ย 2 ชนิด คือ ปุ๋ยเหลวที่ผ่านกระบวนการเก็บ (SP) และปุ๋ยน้ำหมักด้วยโคลนกับขั้นตอนการกรองชีวภาพ (SCB) โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่ควบคุม A (ไม่เติมปุ๋ย) พื้นที่ควบคุม B (ไม่เติมปุ๋ยเคมี) พบว่า การสูญเสียของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อระบายน้ำจากแปลงนาข้าวเติมปุ๋ย SP และ SCB มีค่าสูงกว่าแปลงควบคุม (A และ B) นอกจากนี้ การสูญเสียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากการชะล้างจากแปลงที่เติมปุ๋ย SP มีค่าเท่ากับ 3.88 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ SCB มีค่าเท่ากับ 2.63 และ 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงควบคุม (1.85 และ 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ในขณะที่การรั่วไหลของสารอาหารจากแปลงนาข้าวและพื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยขี้หมูชนิดน้ำมีค่าต่ำกว่าแปลงควบคุม (A

และ B) โดยที่การสูญเสียไนโตรเจนมีค่ามากกว่าแอมโมเนียม (ร้อยละ 10.80-32.80) เพราะว่าการเติมปุ๋ยส่งผลให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ดังนั้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องสร้างการจัดการที่เหมาะสมในการป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารจากพื้นที่เกษตรกรรมและมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

Chen, Jang, Chen, และ Chen⁷² ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อคุณภาพน้ำจากการปลูกข้าวในประเทศไต้หวัน 2 ฤดูกาลปลูกข้าวและเก็บตัวอย่างในที่ที่แตกต่างกัน 3 พื้นที่ คือ น้ำจากเขตชลประทาน น้ำที่ออกจากแปลงนาข้าว และน้ำใต้ดินโดยทำการใส่ปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟต ในอัตรา 53 และ 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ และมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มเติม 43 และ 48 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ในช่วงการไถนาและการออกรวงข้าวในฤดูกาลที่ 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมและฟอสเฟตในน้ำที่ออกจากแปลงนาข้าวและน้ำใต้ดินมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และความเข้มข้นมีค่าลดลงในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว ความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทมีค่าเท่ากับ 4.58, 10.31 และ 22.73 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งปริมาณไนเตรทในน้ำจากการชลประทานมีค่าเท่ากับ 0.68-3.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนความเข้มข้นไนเตรทในน้ำใต้ดินมีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.68 มิลลิกรัมต่อลิตร เกิดจากการเติมปุ๋ยรองพื้น และมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 1.82-2.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเพาะปลูก เช่นเดียวกับความเข้มข้นแอมโมเนียมีค่าสูงระหว่าง 2.50-3.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงการเติมปุ๋ยและมีค่าลดลงเหลือ 0.31-1.23 มิลลิกรัมต่อลิตรในช่วงที่ข้าวออกรวง ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในดินมีค่าลดลงตามระดับความลึกโดยมีค่าเท่ากับ -200 มิลลิโวลต์ที่ระดับความลึก 1-10 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในสภาวะรีดักชัน ดังนั้น กลไกของการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน คือ กระบวนการมิเนอรัลไรเซชัน ดีไนตริฟิเคชัน อิมโมบิไลเซชัน การชะล้าง และการดูดซึมของพืช

Yu et al.⁷³ ได้ศึกษาผลกระทบของระดับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการดูดใช้ในนาข้าวและการระเหยเป็นแอมโมเนีย ศึกษาที่ Zheyou ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่า ปริมาณการสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นปุ๋ยไนโตรเจนจาก 0-270 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นปุ๋ยไนโตรเจนมากกว่า 270 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ มากกว่านั้น เมื่อผสมปุ๋ยจากมูลสัตว์ก็ยิ่งส่งผลให้ธาตุอาหารทั้งสามเพิ่มขึ้นด้วย ไนโตรเจนถูกนำไปใช้ในปริมาณมาก ในช่วงระยะแรกของการปลูกข้าว จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า ผลผลิตของข้าวมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการสะสมของธาตุอาหารทั้งสามชนิด ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่มากที่สุด คือ ปริมาณการใช้ไนโตรเจนและผลผลิตข้าว อัตราและปริมาณการระเหยเป็นแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นปุ๋ยไนโตรเจนโดยเฉพาะความเข้มข้นปุ๋ยไนโตรเจนที่ 270 และ 300 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ การสูญเสียไนโตรเจนด้วยการระเหยเป็นแอมโมเนีย ร้อยละ 23.90 ของไนโตรเจนที่ใช้ที่ความเข้มข้น 330 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

Xu, Liao, Tan, และ Shao⁹ ได้ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนด้วยวิธีการหว่านและฝังต่อกระบวนการระเหยของแอมโมเนียในนาข้าว Nanjing Vegetables Scientific Research Institute ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่า ดินมีอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 13.23 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ประโยชน์ได้ 90.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าการนำไฟฟ้า 118 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่าความเป็นกรด-เบส 6.85 และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนด้วยวิธีการฝังที่ความลึก 5 เซนติเมตร มีค่าการระเหยของแอมโมเนียต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยด้วยวิธีการหว่านอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ อัตราการปล่อยแอมโมเนียมีค่าสูงสุดในวันที่ 3 หลังจากการใส่ปุ๋ยยูเรียด้วยวิธีการหว่านมีค่าเท่ากับ 3.37 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อวัน ในขณะที่อัตราการระเหยของแอมโมเนียมีค่าสูงสุดในวันที่ 5 ด้วยวิธีการฝังที่ความลึก 5 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 2.57 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อวัน และค่าการระเหยของแอมโมเนียสะสม 4 สัปดาห์ด้วยวิธีการหว่านและการฝัง มีค่าเท่ากับ 23.60 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อวัน และ 18.40 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนของปุ๋ยยูเรียเพราะยูเรียละลายได้น้อยในสารละลายดิน ดังนั้น จึงถูกดูดซับกับอนุภาคของดินในขณะที่ยิ่งใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วในรูปของแอมโมเนียมคาร์บอเนตด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ยูรีเอสและเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในที่สุด และการฝังปุ๋ยนั้น แอมโมเนียมจะถูกดูดซับด้วยการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินทำให้แอมโมเนียขึ้นไปอยู่ที่ผิวดินด้วยกระบวนการแพร่ได้น้อยลงจึงทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ผิวน้ำหรือในสารละลายดินน้อยและส่งผลให้อัตราการระเหยของแอมโมเนียมีค่าต่ำ

Choi et al.⁴⁰ ศึกษาบทบาทของระบบชีวธรณีเคมีของดินในนาข้าวในการควบคุมคุณลักษณะน้ำทางเคมีและไนเตรทระหว่างในกระบวนการกรอง ประเทศสาธารณรัฐเกาหลีใต้ โดยศึกษาในดินสองชนิด คือ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากจากดินในนาข้าวมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.20-2.70 เปรียบเทียบกับดินที่มีอินทรีย์วัตถุน้อยจากดินแห้ง มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.20-1.40 ศึกษาในระบบนิเวศจำลอง (mesocosm) ผลการศึกษา พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำทั้ง 3 การทดลองลดลงจาก 7.30-8.30 เหลือ 6.60-7.30 ค่าออกซิเดชัน-รีดักชัน มีค่าลดลงจาก 242.20-350.20 มิลลิโวลต์ เหลือ 130.70-175.30 มิลลิโวลต์ และค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าลดลงจาก 6.10-7.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 1.30-1.80 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเริ่มต้นก่อนการทดลอง ปริมาณไนเตรทมีค่าลดลงจาก 42.10-66.70 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.50-7.60 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่การทดลอง M3 ปริมาณไนเตรทมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจาก 30 วัน โดยมีค่าประมาณ 40 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 40 ซึ่งการกำจัดไนเตรทในดินนาข้าวเกิดขึ้นจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนหลักสองกระบวนการ คือ กระบวนการไนเตรทอิมมูบิไลเซชันภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนบริเวณรอยต่อระหว่างดินและน้ำ อีกกระบวนการหนึ่ง คือ กระบวนการดีไนตริฟิเคชันร่วมกับการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์คาร์บอน ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนซึ่งมักจะเกิดในช่วงการซึมลงในน้ำใต้ดิน นอกจากนี้ ยังพบว่าในระบบ

นิเวศจำลองที่ดินแห่งนั้นการกำจัดไนเตรทด้วยกระบวนการอิมโมบิไลเซชันไม่มีประสิทธิภาพแต่เกิดได้
ดีโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันใน 30 วันแรกของการปลูกข้าว กระบวนการดีไนตริฟิเคชันในน้ำ
ขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์คาร์บอน (ตัวให้อิเล็กตรอน) เนื่องจากการสลายตัวของสารอินทรีย์คาร์บอนทำให้
ไนเตรทไม่มีสารไปออกซิไดซ์ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับในดินที่แห้ง ดังนั้น ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากจึงชอบที่
จะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันมากกว่าดินที่แห้งซึ่งมีอินทรีย์วัตถุน้อยกว่า ทั้งนี้กระบวนการดีไนตริ
ฟิเคชันและไนโตรเจนอิมโมบิไลเซชันเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญในการประเมินไนเตรทของ
คุณภาพน้ำผิวดินได้

Zhou and Zhu⁷⁴ ศึกษาศักยภาพการเกิดมลพิษและระดับของฟอสฟอรัสในดินนาข้าว
ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ของพื้นที่ทางตอนใต้ทะเลสาบ Tai ประเทศสาธารณรัฐประชาชน
จีน ผลการศึกษา พบว่า ค่าการดูดซับฟอสฟอรัสในดินได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิ กล่าวคือ การดูดซับ
ฟอสฟอรัสฤดูร้อนมีค่าน้อยกว่าในฤดูหนาวคือที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับฟอสฟอรัส
เท่ากับ 483.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับฟอสฟอรัส
เท่ากับ 338.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยฟังก์ชันการดูดซับฟอสฟอรัสเท่ากับ $-4.457T + 525.82$
($R^2=0.7547$) ดังนั้น การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสควรนำมาใช้ในนาข้าวในช่วงฤดูร้อน ในขณะเดียวกันในดิน
ที่มีสารอินทรีย์วัตถุน้อยจะทำให้ค่าการดูดซับฟอสฟอรัสมีค่าน้อยลงซึ่งส่งผลมาจากการเก็บเกี่ยว
ผลผลิตทำให้อินทรีย์วัตถุน้อยลงไปด้วย คือ อินทรีย์วัตถุร้อยละ 0.21 มีค่าการดูดซับฟอสฟอรัสเท่ากับ
328.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่สารอินทรีย์วัตถุร้อยละ 0.64 มีค่าการดูดซับฟอสฟอรัสเท่ากับ
398.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยฟังก์ชันการดูดซับฟอสฟอรัสเท่ากับ $50.089OM + 341.62$
($R^2=0.8485$) อย่างไรก็ตามการดูดซับของฟอสฟอรัสมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างดินและน้ำ
(V/W) มีค่าสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการปล่อยน้ำเข้าและออกจากแปลงนาข้าว คือ ที่อัตราส่วนน้ำและ
ดินเท่ากับ 10 มีค่าการดูดซับฟอสฟอรัส เท่ากับ 461.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่อัตราส่วนน้ำ
และดิน เท่ากับ 50 มีค่าการดูดซับฟอสฟอรัส เท่ากับ 444.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยฟังก์ชันการ
ดูดซับฟอสฟอรัสเท่ากับ $-0.4983 (V/W) + 469.44$ ($R^2=0.9507$) ดังนั้นการปล่อยน้ำเข้าและน้ำออก
ได้ก่อให้เกิดผลเสียต่อการดูดซับฟอสฟอรัสในดินนาข้าว เนื่องจากฟอสฟอรัสได้สูญเสียไปกับน้ำ อีกทั้ง
ค่าความเป็นกรด-เบสได้ส่งผลทางบวกกับค่าการดูดซับฟอสฟอรัสในดิน โดยฟังก์ชันการดูดซับ
ฟอสฟอรัสเท่ากับ $10.59pH + 382.54$ ($R^2=0.5962$) จากการศึกษาพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่มาก
เกินพอในนาข้าวที่ไหลเข้าสู่ทะเลสาบ Tai เกิดจากการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสมากกว่า 676.40 กิโลกรัมต่อ
เฮกตาร์

มณฑลเจียงจินดา สมศักดิ์ เหลืองศิริโรจน์ และเสนห์ ฤกษ์วีรี⁷⁵ ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ย
อินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่มีต่อสมบัติของดินและผลผลิตข้าวในดินนาชุมชนนครปฐม โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์
ชนิดต่างๆ และปุ๋ยคอก ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและไม่ใช้

ปุ๋ยเคมีเพื่อหาอิทธิพลของปุ๋ยต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินและผลผลิตข้าว โดยทดลองที่สถานีทดลองข้าวราชบุรี วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 4 ซ้ำ 8 กรรมวิธี ผลการทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ ทำให้สมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป ดังนี้ ปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มทำให้ความเป็นกรด-เบส ของดินลดลงแต่จะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และไม่ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินเปลี่ยนแปลง ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ไม่ทำให้ความเป็นกรด-เบสของดินเปลี่ยนแปลงแต่ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น ด้านการเจริญเติบโต การใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวทำให้ข้าวแตกกอน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีแต่ให้การแตกกอของข้าวมากกว่าไม่ใส่ปุ๋ย ในด้านผลผลิตข้าว พบว่า ปุ๋ยเคมีอัตรา 8-6-0 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ เพิ่มผลผลิตข้าว 39% เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงไม่ใส่ปุ๋ย

อภิวรรณ จุลนิมิต⁷⁶ ศึกษาการตอบสนองของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 ต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่ปลูกในชุดดินสระบุรี ที่เคยมีการใส่ปุ๋ยเคมีสำหรับข้าวอย่างต่อเนื่อง โดยการใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) พบว่า ความสูงของต้นข้าวระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต เท่ากับ 86.83 เซนติเมตร ผลผลิตที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 630.54 กิโลกรัมต่อไร่ ผลของการดูใช้นิโตรเจนของข้าว พบว่า ในตอซังมีค่าเท่ากับ 5.36 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ในเมล็ดข้าวมีค่าเท่ากับ 5.13 กิโลกรัมต่อไร่ และการดูใช้ฟอสฟอรัสของต้นข้าว พบในตอซังมีค่าเท่ากับ 1.68 กิโลกรัมต่อไร่ และในเมล็ดข้าว เท่ากับ 1.40 กิโลกรัมต่อไร่

อรพิน เกิดชูชื่น และผ่องพรรณ พุทธาโร⁷⁷ ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยยูเรียและปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตต่อ growth rate, leaf area index และ net assimilation rate ของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยศึกษาการใช้ปุ๋ย 2 ชนิด ที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ ปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟต ปริมาณปุ๋ยแต่ละชนิดมี 5 อัตรา คือ 0, 10, 20, 40 และ 80 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ แบ่งการศึกษาเป็น 3 ระยะการเจริญเติบโต คือ เมื่อข้าวอายุ 30-51, 51-79 และ 79-100 วัน หลังการย้ายต้นกล้า ผลการศึกษา พบว่า ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตจะทำให้ growth rate, LAI และ NAR ของข้าวในระยะ vegetative ต่ำกว่าข้าวที่ใส่ปุ๋ยยูเรีย ข้าวที่ใช้ปุ๋ยน้อยกว่า 20 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ จะมีการเจริญเติบโตช้า ลำต้นแคระแกรน ใบแก่มีสีเขียวซีดลงและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แต่ข้าวที่ได้รับปุ๋ย 80 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ จะมีจำนวนใบผิดปกติใบมีสีเขียวเข้มและเมล็ดลีบ และพบว่า ข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 ตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อปุ๋ยไนโตรเจนในระยะ vegetative มากกว่าการเจริญเติบโตในระยะอื่นๆ ข้าวที่ได้รับปุ๋ย 80 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ จะไม่ได้รับผลผลิตเช่นเดียวกับข้าวที่ปลูกโดยไม่มีปุ๋ยไนโตรเจน ข้าวที่ได้รับปุ๋ยยูเรียได้รับผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 165, 426 และ 489 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อใช้ปุ๋ยยูเรีย 10, 20 และ 40 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ตามลำดับ

เกริก ปันตระกูล⁷⁸ ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าวโดยการใช้ปุ๋ยบำรุงดินในนาข้าว 3 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ศึกษาในพื้นที่แปลงนาเกษตรกรจังหวัดชัยนาท พบว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินนาข้าว มีค่าเท่ากับ

3.34-10.30 และ 30.10-55.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยคอกในการทำนาข้าวเป็นการเพิ่มธาตุอาหารหลักของพืชในดินช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่วนปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนและฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.20-0.75 และ 0.25-0.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยพบการปนเปื้อนของไนโตรเจนและฟอสเฟตในน้ำก่อนระบายออกจากแปลงนาข้าวที่ใส่ปุ๋ยคอกน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญและพบปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าเท่ากับ 1.67-2.62 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเท่ากับ 4.95-9.82 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 1.61-25.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีการทำนาข้าวโดยใช้ปุ๋ยคอกมีค่าการลงทุนต่ำที่สุด และเป็นกรรมวิธีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช⁷⁹ ศึกษาการจัดการธาตุอาหารในนาข้าวเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมวางแผนการทดลองแบบ RCBD ซึ่งประกอบด้วย 8 ตำรับการทดลอง ใช้ปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หลังปักดำข้าว และใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะกำเนิดช่อดอก โดยศึกษาการดูดธาตุอาหารของข้าวและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน จากการศึกษาผลของการจัดการธาตุอาหารที่แตกต่างกันต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวที่อายุ 30 60 และ 90 วัน หลังปักดำ พบว่าที่ระยะการแตกกอของข้าว (30 วันหลังปักดำ) การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีประสิทธิภาพต่อการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว แต่ที่ระยะเต็มเต็มเมล็ด (90 วันหลังปักดำ) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวข้าวมีการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใส่ฟางข้าว สำหรับการดูดตั้งธาตุอาหารไปใช้ของข้าวที่ขึ้นอยู่กับช่วงการเจริญเติบโตของข้าว โดยช่วงแรกและช่วงกลางของการเจริญเติบโต ข้าวจะดูดตั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้มากและลดลงเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้น

นันทนา ชื่นอิม วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์ สมชาย กริธาภิรมณ์ และนุชรา สีนบัวทอง⁸⁰ ศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าการวิเคราะห์ดิน โดยทดลองที่ศูนย์บริการวิชาการเกษตร มูลนิธิชัยพัฒนา จังหวัดปทุมธานี วางแผนการทดลองแบบ RCBD มี 4 ซ้ำ ใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีต่างๆ 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี 2) การใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำศูนย์บริการวิชาการเกษตร (14-6-0 กิโลกรัม N- P₂O₅-K₂O ต่อไร่) 3) ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมการข้าว (12-3-0 กิโลกรัม N- P₂O₅-K₂O ต่อไร่) 4) ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินแบบสั่งตัด (8-4-1 กิโลกรัม N- P₂O₅-K₂O ต่อไร่) และ 5) ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (9-4.6-0 กิโลกรัม N- P₂O₅-K₂O ต่อไร่) ผลการทดลอง พบว่า ทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตมากกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันในการเพิ่มความสูง จำนวนต้น จำนวนรวงและผลผลิตของข้าว ซึ่งกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมการข้าวให้ผลผลิต รายได้ของผลผลิต และรายได้สุทธิสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอื่นๆ

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ⁸¹ ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานีในชุดดินสรรพยา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (RCBD) ประกอบด้วย 6 สิ่งทดลองๆ ละ 6 ซ้ำ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมัก 2) ใส่ปุ๋ยหมัก 500 กิโลกรัมต่อไร่ 3) ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน 4) ใส่ปุ๋ยหมัก 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 0.5 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน 5) ใส่ปุ๋ยหมัก 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีตามค่าการวิเคราะห์ดิน และ 6) ใส่ปุ๋ยหมัก 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 2 เท่าของค่าวิเคราะห์ดิน พบว่า ที่อายุข้าว 30 วัน และ 50 วัน สิ่งทดลองที่ 6 มีค่าเฉลี่ยความสูง ($p < 0.05$) มากกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ ที่อายุ 50 วัน สิ่งทดลองที่ 5 ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนต้นตอกอสูงสุด องค์ประกอบผลผลิตข้าว ได้แก่ น้ำหนัก 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และจำนวนเมล็ดต่อรวง สิ่งทดลองที่ 5 ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสิ่งทดลองที่ 1 และ 3 นอกจากนี้ ผลผลิตข้าวเปลือกในสิ่งทดลองที่ 6 มีค่าเฉลี่ยผลผลิตสูงสุด (951 กิโลกรัมต่อไร่) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสิ่งทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยในสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักสำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานีที่ปลูกในชุดดินสรรพยาเป็นวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม

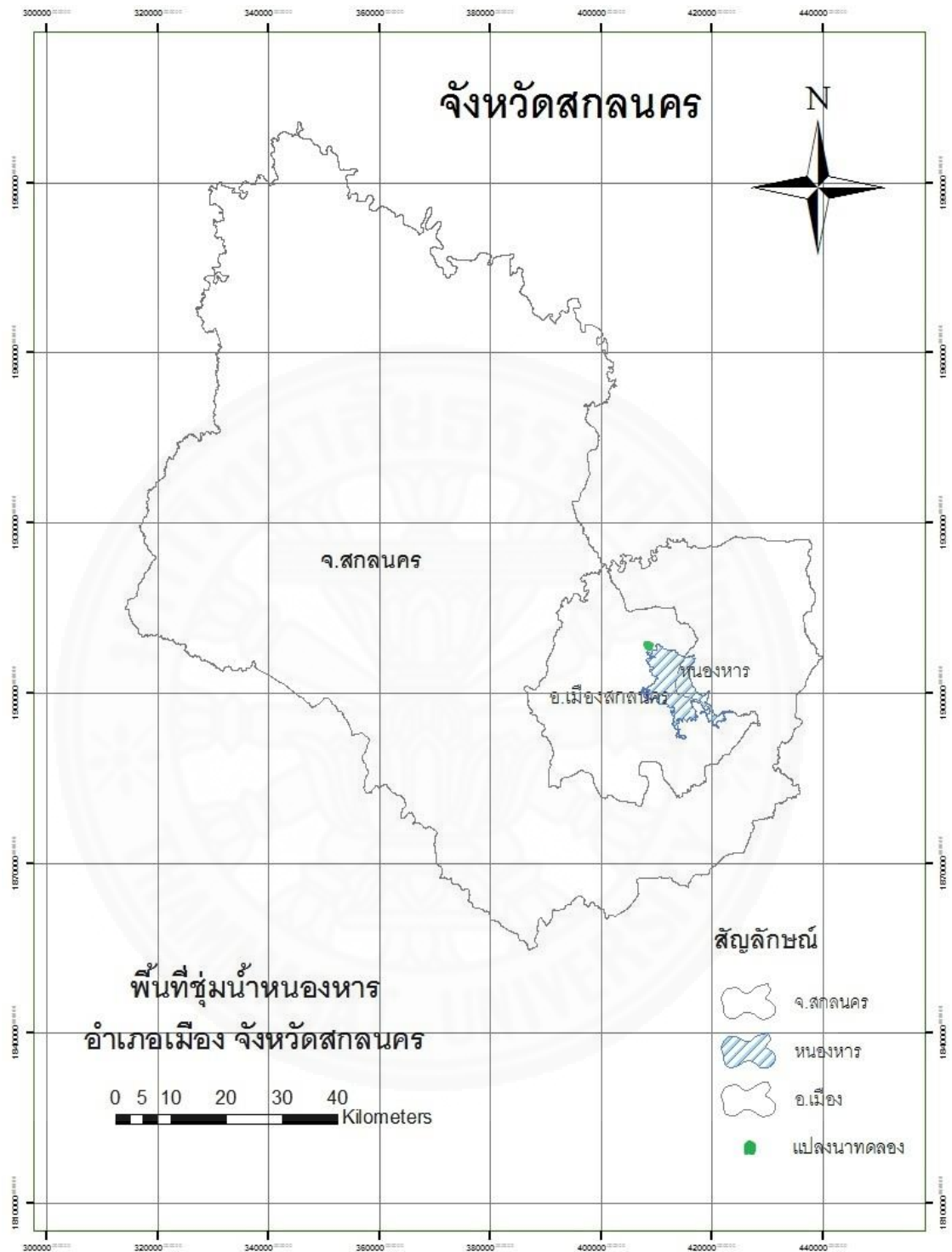
บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 ที่ตั้งแปลงทดลอง

ในการศึกษานี้ จัดทำแปลงทดลองและเก็บข้อมูลในพื้นที่หนองหาร บ้านดอนเชียงบาน หมู่ที่ 3 ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร พิกัดที่ 17°15'N, 104°09'E ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งจังหวัดสกลนคร ตั้งอยู่ในพื้นที่ราบแอ่งสกลนคร เป็นจังหวัดหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีเทือกเขาภูพานขวางกั้นระหว่างแอ่งสกลนครกับแอ่งโคราช มีพื้นที่การทำนาข้าวส่วนใหญ่อยู่ในเขตนาน้ำฝน ลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาด้านทิศใต้และตะวันตกเฉียงใต้ในท้องที่อำเภอเมือง มีความสูงจากระดับน้ำทะเล ประมาณ 200-570 เมตร มีแม่น้ำ ห้วย ลำธาร คลอง 270 สาย สามารถใช้น้ำได้ในฤดูแล้ง โดยเฉพาะพื้นที่หนองหาร ซึ่งเป็นหนองน้ำขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญสำหรับการทำเกษตรกรรม¹⁶

ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร เป็นตำบลหนึ่งใน 16 ตำบล ของอำเภอเมืองสกลนคร แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 17 หมู่บ้าน มีพื้นที่ทั้งหมด 85.77 ตารางกิโลเมตร หรือ 53,606.25 ไร่ ห่างจากอำเภอเมืองสกลนคร ประมาณ 15 กิโลเมตร มีระยะห่างจากกรุงเทพมหานคร ประมาณ 647 กิโลเมตร สภาพพื้นที่ทั่วไปมีความลาดชัน และลูกคลื่นลอนลาดเป็นแนวต่อเนื่องไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของแนวเทือกเขาภูพาน แล้วลาดไปทางทิศเหนือ มีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 150-250 เมตร ทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นแนวลาดสภาพเป็นที่ราบลุ่มติดต่อกับหนองหาร ลักษณะธรณีสัณฐานและวัตถุต้นกำเนิดดิน มีทรายเป็นองค์ประกอบหลักและมีหิน พื้นที่รองรับส่วนใหญ่เป็นหินดินดานและหินซิลิเกตอนของหินชุดโคกกรวด ซึ่งก่อกำเนิดดินลูกรังต่างๆ พื้นที่ระหว่างเนินจะมีลำธารเล็กๆ ไหลผ่านแอ่งและส่วนลาดของเนินเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้ทำนา ลักษณะภูมิอากาศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ทั้งนี้ฝนจะตกชุกอยู่ช่วงหนึ่งในรอบปี สลับกับช่วงแห้งแล้ง⁸² โดยในปี 2557 มีอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนมกราคม เท่ากับ 13.93 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดในเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 35.21 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนมีค่าเท่ากับ 1,671.1 มิลลิเมตร และในช่วงของการปลูกข้าวในแปลงนาข้าวทดลอง คือระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2557 ปริมาณน้ำฝนมีค่าเท่ากับ 227.0 มิลลิเมตร⁸³



ภาพที่ 3.1 พื้นที่หนองหาร ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

3.2 พื้นที่ศึกษา

ศึกษาวิจัยภาคสนามในแปลงนาข้าวพื้นที่หนองหาร หมู่ที่ 3 บ้านดอนเชียงบาน ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ในแปลงนาข้าวที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวนาปีไปแล้ว แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ลักษณะพื้นที่ก่อนการทำแปลงทดลองในตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

3.3 การเตรียมดินแปลงทดลอง

เป็นการเตรียมพื้นที่ให้เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว โดยปรับสภาพดินให้เหมาะสมเพื่อกำจัดวัชพืช และศัตรูข้าวที่อยู่ในดิน ช่วยให้พางข้าว ตอซังข้าวและวัชพืชถูกไถกลบลงไปในดินซึ่งจะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน โดยเริ่มจากการไถตะไกรในวันที่ 12 มกราคม 2557 เพื่อกำจัดวัชพืชและพลิกหน้าดินโดยปล่อยทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ ไถพรวนเพื่อปรับสภาพเนื้อดินให้ละเอียด จากนั้นวัดพื้นที่แปลงขนาด 4 x 4 เมตร (16 ตารางเมตร) ยกคันแปลงนาให้สูงขึ้น 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแปลง 50 เซนติเมตร จำนวน 6 แปลง จากนั้นสูบน้ำจากหนองหารเข้าแปลงนาข้าวทดลองทั้ง 6 แปลง เพื่อแช่ซีไถ เศษหญ้าและพางข้าว โดยในช่วงนี้ให้น้ำในแปลงนาข้าวจะมีค่าบีโอดีสูงขึ้น เนื่องจากการหมักและย่อยสลายของวัชพืชและอินทรีย์วัตถุ¹⁶ ทำการไถคราด 1 ครั้ง เพื่อปรับระดับผิวดินให้เรียบเสมอกันและทำเพื่อก่อนการปักดำต้นกล้าข้าว แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การวางแปลงนาข้าวทดลองขนาด 4 × 4 เมตร (16 ตารางเมตร)

3.4 วิธีการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ ศึกษากรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีชนิดเม็ด วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (Factorial with 2 factors)⁸⁴ โดยมีรายละเอียดดังนี้ ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ อัตราปุ๋ยที่ใช้ คือ ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และอัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) ในอัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจัยที่ 2 คือ วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี 3 วิธี ได้แก่ การใส่แบบหว่าน การใส่แบบฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร และแบบฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร โดยใช้ชนิดพันธุ์ข้าวเหนียวพื้นเมือง พันธุ์เจ้าแตก การเพาะปลูกนั้นใช้วิธีการปักดำโดยการย้ายต้นกล้าที่มีอายุได้ 25 วัน ในแปลงตกกล้าที่ใช้ในการทดลอง นำไปปักดำในแปลงทดลอง เมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2557 ปักดำจึบละ 3 ต้น โดยใช้ระยะห่างระหว่างกอและแถว 25 × 25 เซนติเมตร⁵¹ ดำเนินการทดลองในแปลงนาข้าว ขนาด 4 × 4 เมตร (16 ตารางเมตร) รวมทั้งหมด 6 แปลง ซึ่งจะประกอบด้วย 6 กรรมวิธี แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย แสดงดังภาพที่ 3.4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ใช้วิธีการหว่าน (สูตร 16-16-8) อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และ (สูตร 46-0-0)

อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 2 ใช้วิธีการฝัง 10 เซนติเมตร (สูตร 16-16-8) อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และ (สูตร 46-0-0)

อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใช้วิธีการฝัง 20 เซนติเมตร (สูตร 16-16-8) อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และ (สูตร 46-0-0)

อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใช้วิธีการหว่าน (สูตร 16-16-8) อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ และ (สูตร 46-0-0)

อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่

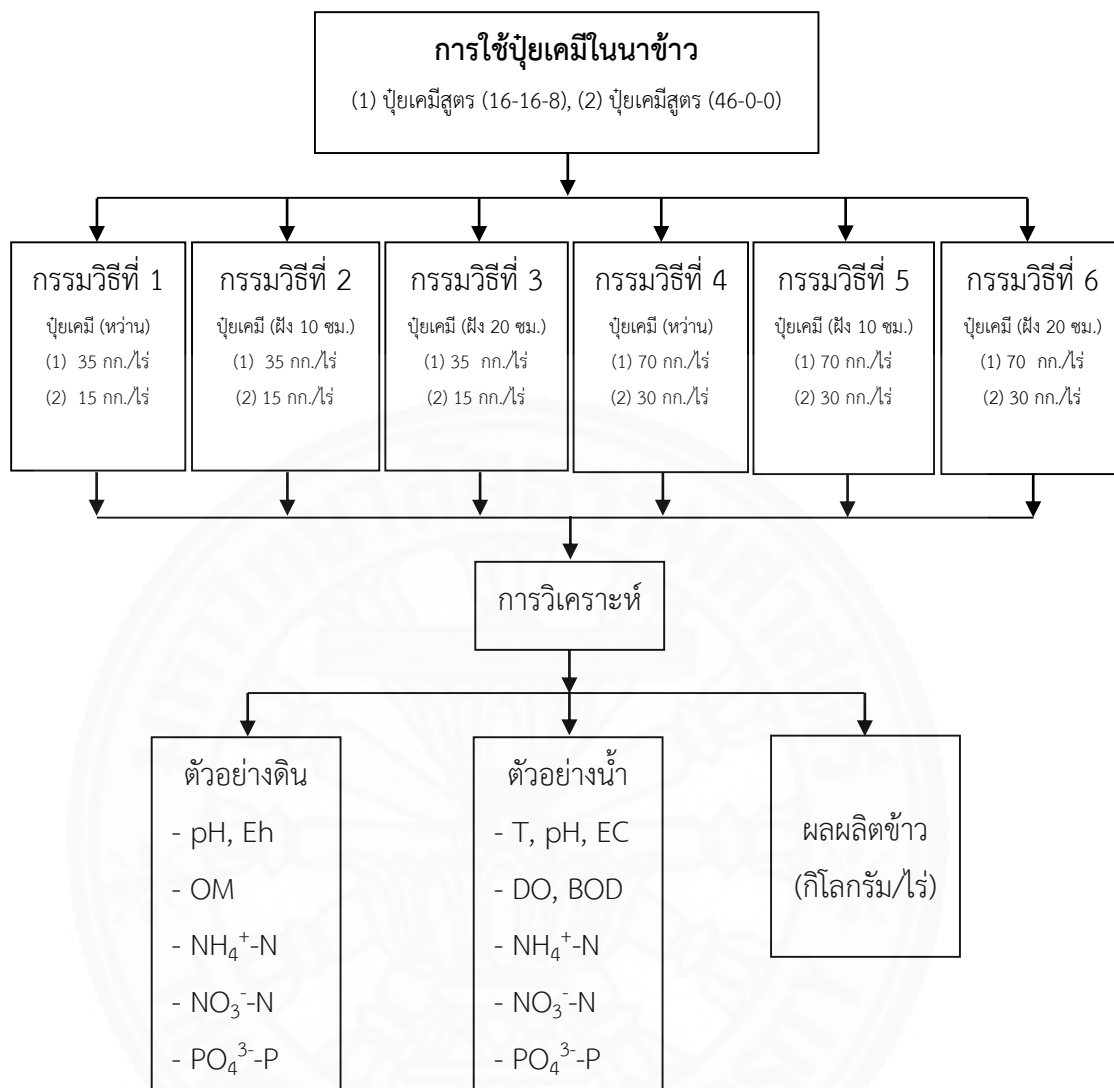
กรรมวิธีที่ 5 ใช้วิธีการฝัง 10 เซนติเมตร (สูตร 16-16-8) อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ และ (สูตร 46-0-0)

อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 6 ใช้วิธีการฝัง 20 เซนติเมตร (สูตร 16-16-8) อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ และ (สูตร 46-0-0)

อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่





ภาพที่ 3.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

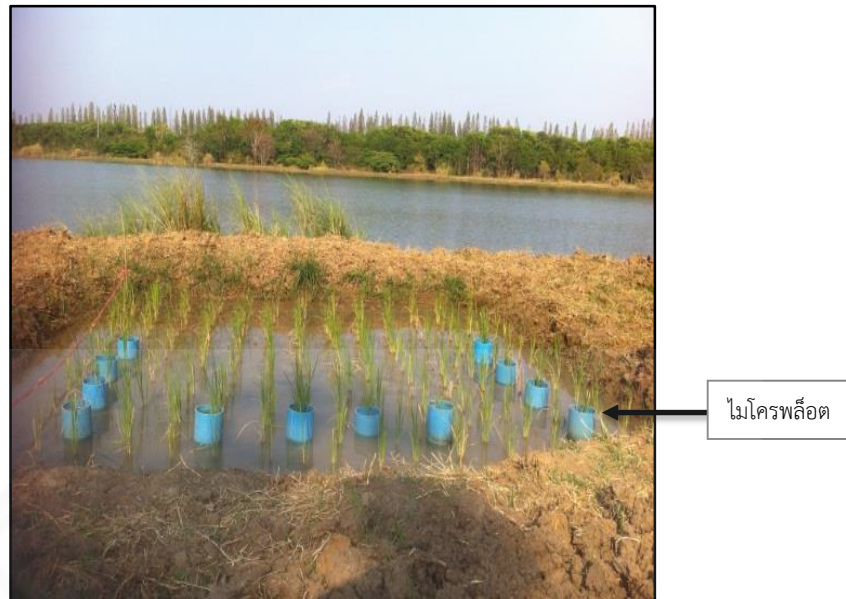
หมายเหตุ ดิน: Eh (redox potential) คือ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (มิลลิโวลต์), OM (organic matter) คือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์), pH คือ ค่าความเป็นกรด-เบส, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ คือ แอมโมเนียม-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ คือ ไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ คือ ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) น้ำ: T (temperature) คือ อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส), pH คือ ค่าความเป็นกรด-เบส, EC (electrical conductivity) คือ ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนตต่อเซนติเมตร), DO (dissolved oxygen) คือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร), BOD (biochemical oxygen demand) คือ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ คือ ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ คือ ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร), $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ คือ ปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.4.1 การวางแปลงทดลอง

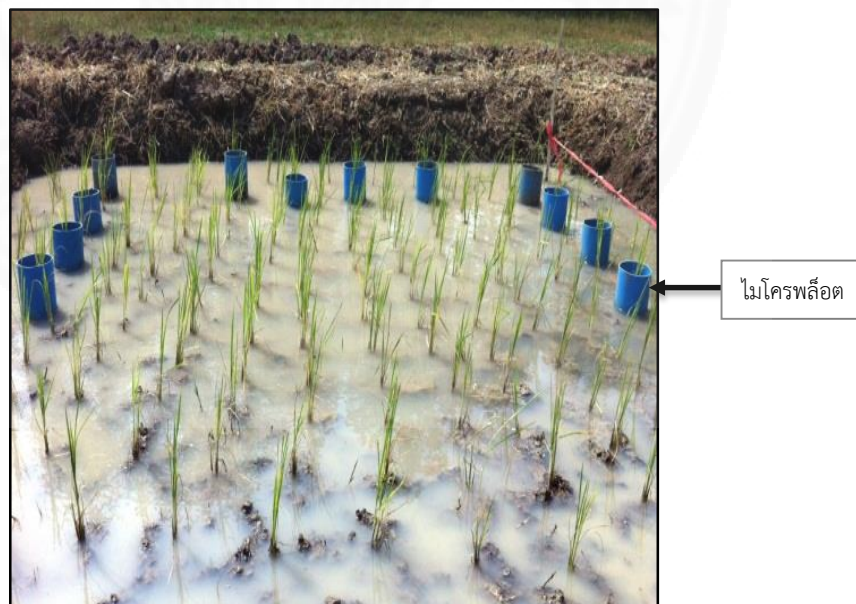
ทดลองในแปลงขนาด 4 x 4 เมตร (16 ตารางเมตร) ทั้งหมด 6 แปลงๆ ละ กรรมวิธี รวมทั้งหมด 6 กรรมวิธี การเลือกพื้นที่ในการวางแปลงทดลองนั้นใช้วิธีการพิจารณาเลือก เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา (purposive sampling)⁸⁵ คำนึงถึงลักษณะของภูมิประเทศ โดยการวางขนานกับแนวของหนองหาร และในกรรมวิธีที่ใช้อัตราปุ๋ยเท่ากันจะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน คือ ในแปลงที่ 1-3 และแปลงที่ 4-6 เรียงจากซ้ายไปขวา นอกจากนี้ เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่ อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทดลองในแต่ละแปลงจึงมีชุดไมโครพล็อต (micro plot) ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร (8 x 20 นิ้ว) การวางไมโครพล็อตในแปลงทดลอง นาข้าวอ้างอิงจากกรรมวิชาการเกษตรที่ได้ทำการศึกษาไว้⁸⁶ สำหรับแปลงนาข้าวทดลองจะเว้นแถวริม ไร่ 1 แถว ซึ่งถือว่าไม่เป็นตัวแทนที่ดีของการทดลอง จึงวางไมโครพล็อตขนานไปกับแนวขอบแปลงนา หรือคั่นนา ระยะห่าง 50 เซนติเมตร ในแถวที่ 2 ของการปักดำข้าว จำนวน 3 ต้นๆ ละ 1 ชุดๆ ละ 4 อัน จะได้ไมโครพล็อตในแต่ละแปลงๆ ละ 12 อัน ทั้ง 6 แปลง รวมทั้งหมด 72 อัน ฝังลึกในดิน 30 เซนติเมตร ปักดำต้นกล้าในไมโครพล็อตๆ ละ 1 กอๆ ละ 3 ต้น แสดงตัวอย่างในการวางแปลงทดลอง การวางไมโครพล็อต และการปักดำต้นกล้าในแปลงทดลองนาข้าว ดังภาพที่ 3.5-3.7



ภาพที่ 3.5 การวางแปลงทดลองขนาด 4 x 4 เมตร (16 ตารางเมตร)



ภาพที่ 3.6 การวางไมโครพล็อต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร
ในแปลงทดลอง



ภาพที่ 3.7 ระยะระหว่างกอและแถว 25 x 25 เซนติเมตร

3.4.2 อัตราปุ๋ยที่ใช้

โดยประยุกต์วิธีการใส่ปุ๋ยและอัตราการใช้ในแต่ละกรรมวิธีของกรมการข้าว¹⁶ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (อายุข้าว 30 วัน) ระยะสีบพันธุ์ (อายุข้าว 60 วัน) และระยะสร้างเมล็ด (อายุข้าว 90 วัน) ใส่ปุ๋ยในครั้งที่ 1 เมื่ออายุข้าว 28 วัน ครั้งที่ 2 อายุข้าว 58 วัน และ ในครั้งที่ 3 อายุข้าว 88 วัน ดังแสดงกรรมวิธี ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กรรมวิธี ครั้งที่ วิธีการใส่ปุ๋ย ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีในแปลงนาข้าวต่อพื้นที่

16 ตารางเมตร

กรรมวิธีที่	ครั้งที่	วิธีการใส่ปุ๋ย	ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยต่อพื้นที่ 16 ตารางเมตร
1	1	หว่าน	ปุ๋ยสูตร 16-16-8 0.35 กิโลกรัม
	2	หว่าน	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.15 กิโลกรัม
	3	หว่าน	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.15 กิโลกรัม
2	1	ฝังลึก 10 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 16-16-8 0.35 กิโลกรัม
	2	ฝังลึก 10 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.15 กิโลกรัม
	3	ฝังลึก 10 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.15 กิโลกรัม
3	1	ฝังลึก 20 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 16-16-8 0.35 กิโลกรัม
	2	ฝังลึก 20 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.15 กิโลกรัม
	3	ฝังลึก 20 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.15 กิโลกรัม
4	1	หว่าน	ปุ๋ยสูตร 16-16-8 0.70 กิโลกรัม
	2	หว่าน	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.30 กิโลกรัม
	3	หว่าน	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.30 กิโลกรัม
5	1	ฝังลึก 10 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 16-16-8 0.70 กิโลกรัม
	2	ฝังลึก 10 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.30 กิโลกรัม
	3	ฝังลึก 10 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.30 กิโลกรัม
6	1	ฝังลึก 20 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 16-16-8 0.70 กิโลกรัม
	2	ฝังลึก 20 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.30 กิโลกรัม
	3	ฝังลึก 20 เซนติเมตร	ปุ๋ยสูตร 46-0-0 0.30 กิโลกรัม

3.4.3 วิธีการใส่ปุ๋ยในแปลงนาข้าว

ปักดำต้นกล้าเมื่ออายุข้าว 25 วัน ในแปลงนาข้าวที่เตรียมไว้ หลังจากปักดำไปแล้ว 3 วัน คือ ในอายุต้นกล้า 28 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีในครั้งที่ 1 สูตร 16-16-8 (N-P₂O₅-K₂O) ทั้ง 6 แปลง โดยวิธีการใส่ปุ๋ยสำหรับกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่าน คือ กรรมวิธีที่ 1 และ 4 ในไม่โครพล็อตจะใช้วิธีการวางปุ๋ย โดยแบ่งปุ๋ยออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน วางปุ๋ยให้ห่างจากต้นกล้าเป็นระยะ 5 เซนติเมตร จำนวน 2 จุด ที่อยู่ในตำแหน่งตรงกันข้าม สำหรับในแปลงนาข้าวกระทำในลักษณะเดียวกันกับไม่โครพล็อตให้ทั่วแปลง ในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร คือ กรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 5 ใช้อุปกรณ์ประยุกต์ คือ ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร ระบุสเกลไว้อีกข้างหนึ่งของท่อพีวีซีที่ความลึก 10 เซนติเมตร จากนั้นใช้ไม้ไผ่ขนาดใกล้เคียงกันกับท่อพีวีซีเขียนสเกลที่ระยะ 10 เซนติเมตร และปักลงในดินในไม่โครพล็อตที่ความลึก 10 เซนติเมตร 2 จุด ในตำแหน่งตรงกันข้าม ห่างจากต้นข้าว 5 เซนติเมตร ใช้ท่อพีวีซีที่เตรียมไว้ปักลงไปอีกครั้งที่ความลึก 10 เซนติเมตร จากนั้นหยอดปุ๋ยลงไปท่อพีวีซีและปิดปากหลุมด้วยดินในชั้นตอนสุดท้าย สำหรับในแปลงนาข้าวปฏิบัติในลักษณะเดียวกันกับไม่โครพล็อต ในกรรมวิธีที่ 3 และ กรรมวิธีที่ 6 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ปฏิบัติในลักษณะเดียวกันกับกรรมวิธีที่ 2 และ กรรมวิธีที่ 5 แตกต่างกันตรงระดับสเกลของท่อพีวีซีและไม้ไผ่ที่ระบุสเกลที่ระยะ 20 เซนติเมตร สำหรับการใส่ปุ๋ยในครั้งที่ 2 และในครั้งที่ 3 ใช้วิธีการเดียวกันกับการใส่ปุ๋ยในครั้งที่ 1 โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (ยูเรีย)

3.4.4 วิธีการดูแลรักษาในแปลงนาข้าว

กำจัดวัชพืชในแปลงนาข้าวทั้ง 6 กรรมวิธีโดยใช้แรงงานคน ไม่มีการใช้สารเคมีควบคุมวัชพืชและการกำจัดโรคและแมลงศัตรูข้าว การกำจัดวัชพืชนั้นใช้วิธีการถอนด้วยมือและอุปกรณ์อื่นๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาของการปลูกข้าว และเพื่อเป็นการป้องกันนก ทำลายต้นข้าวและผลผลิตข้าวซึ่งจะเข้าทำลายในระยะที่ข้าวเริ่มติดเมล็ดจนถึงข้าวสุกแก่ โดยการใช้ตาข่ายขนาด 1 x 1 เซนติเมตร ล้อมรอบแปลงทดลองไว้ทั้ง 6 แปลง ตั้งแต่ข้าวเริ่มตั้งท้องจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเปลือก

3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำ ดิน และข้าว

3.5.1 ตัวอย่างน้ำ

การศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้น้ำจากหนองหารในการเพาะปลูกข้าวจึงได้เก็บตัวอย่างน้ำจากหนองหาร เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษา จำนวน 3 ตัวอย่าง ละ 1 ลิตร จากบริเวณใกล้กับแปลงทดลองนาข้าว (จุดสูบน้ำ) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในน้ำ ได้แก่ ค่าแอมโมเนียม-

ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ก่อนการสูบน้ำเข้าแปลงนาข้าวทดลอง ทั้ง 6 แปลง (6 กรรมวิธี)

เก็บตัวอย่างน้ำก่อนการปลูกข้าว (ก่อนปักดำข้าว) ในแปลงนาข้าวทดลอง หลังการสูบน้ำเข้าแปลงนาแล้ว ทั้ง 6 แปลง เพื่อใช้เป็นข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีก่อน มีการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวในแต่ละกรรมวิธีๆ ละ 3 ตัวอย่างๆ ละ 1 ลิตร รวมจำนวนของตัวอย่างน้ำ ทั้งหมด 18 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในห้องปฏิบัติการ สำหรับค่าอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ และค่าออกซิเจนละลายน้ำ ตรวจวิเคราะห์ใน แปลงนาภาคสนาม

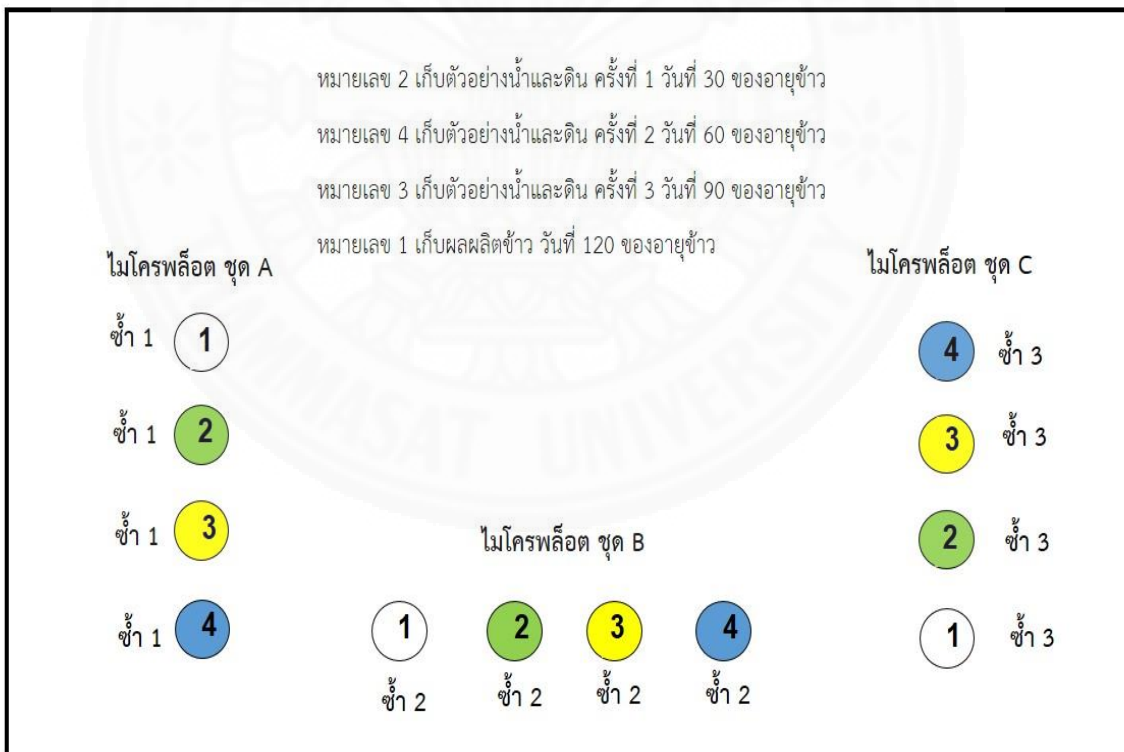
เก็บตัวอย่างน้ำในแปลงทดลองนาข้าว ทั้ง 6 แปลง ในอายุข้าว 30, 60 และ 90 วัน ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวในแต่ละระยะ โดยเก็บตัวอย่างน้ำในไมโครพล็อตหลังจาก การใส่ปุ๋ยในแต่ละครั้งแล้ว 2 วัน รวมจำนวน 3 ครั้ง (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 กำหนดการเก็บตัวอย่างน้ำและดินตามระยะการใส่ปุ๋ยและการเจริญเติบโตของข้าว

ครั้งที่	เวลาใส่ปุ๋ยตามอายุข้าว (วัน)	เวลาเก็บตัวอย่างน้ำและดินตาม อายุข้าว (วัน)	ระยะการเจริญเติบโต ของข้าว
1	28	30	ระยะการเจริญเติบโต ทางลำต้นและใบ
2	58	60	ระยะสืบพันธุ์
3	88	90	ระยะสร้างเมล็ด

สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำ ครั้งที่ 1 ในวันที่ 30 ของอายุข้าว จะเก็บตัวอย่างน้ำจาก ชุดไมโครพล็อตที่ใส่หมายเลขกำกับ โดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling)⁸⁷ จากการ จับสลากหมายเลขจากไมโครพล็อตหนึ่งหมายเลข เพื่อเป็นตัวแทนการเก็บตัวอย่างน้ำ จาก 4 หมายเลขของชุดไมโครพล็อต ชุด A, ชุด B และ ชุด C เพื่อทำการเก็บตัวอย่างในไมโครพล็อตที่จับ สลากได้ ซึ่งเป็นหมายเลขเดียวกันจากไมโครพล็อตทั้ง 3 ชุดๆ ละ 1 อัน เมื่อได้ไมโครพล็อตที่จะเก็บ ตัวอย่างน้ำซึ่งเป็นตัวแทนในครั้งที่ 1 ทั้ง 6 กรรมวิธี แล้ว จึงดำเนินการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ ตรวจวัดได้ในภาคสนามก่อนจากไมโครพล็อตที่เป็นตัวแทน ซึ่งได้แก่ ค่าอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็น กรด-เบสของน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ และค่าออกซิเจนละลายน้ำ จากนั้นจึงดำเนินการเก็บตัวอย่าง

น้ำในไมโครพล็อตซึ่งจะได้กรรมวิธีละ 3 ตัวอย่างๆ ละ 1 ลิตร จำนวน 6 แปลง (6 กรรมวิธี) รวมจำนวนตัวอย่างน้ำ 18 ตัวอย่าง ใส่ขวดพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่มีป้ายระบุรายละเอียดของตัวอย่าง ใส่ไว้ในถุงพลาสติกปิดแน่นแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สำหรับการวิเคราะห์ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี หลังการเก็บตัวอย่างน้ำ นำตัวอย่างน้ำทั้งหมดมาวิเคราะห์ทันทีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ได้ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน โดยวิธีวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.3 สำหรับการวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ นำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการคณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ทั้งนี้ การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เมื่ออายุข้าว 60 วัน และครั้งที่ 3 เมื่ออายุข้าว 90 วัน ปฏิบัติในลักษณะเดียวกัน (ภาพที่ 3.8)



ภาพที่ 3.8 การสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำและดินจากไมโครพล็อต จำนวน 3 ชุดๆ ละ 4 อัน ในแปลงนาข้าวทดลอง จำนวน 6 กรรมวิธี

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและดิน

พารามิเตอร์	น้ำ	ดิน	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
1. ค่าอุณหภูมิ	✓		เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
2. ค่าความเป็นกรด-เบส	✓	✓	เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter)
3. ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ	✓		Electrical conductivity meter
4. ค่าออกซิเจนละลายน้ำ	✓		DO meter
5. ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี	✓		Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ⁸⁸ เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน
6. ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน	✓	✓	น้ำ: Flow injection analyzer (FI Astar 5000) ดิน: 2 N KCl & MgO-Devada's alloy method ⁸⁹
7. ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน	✓	✓	น้ำ: Brucine Method ⁸⁸ ดิน: 2 N KCl & MgO-Devada's alloy method ⁸⁹
8. ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส	✓	✓	น้ำ: Ascorbic acid method ^{61, 88} ดิน: Extractable P : Bray II & Molybdenum-blue method ^{50, 90}
9. ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล		✓	ORP meter
10. ค่าอินทรีย์วัตถุ		✓	Walkley and Black method ²¹

3.5.2 ตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในแปลงนาข้าวทดลองก่อนการปักดำต้นข้าว ที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร น้ำหนัก 1 กิโลกรัมในแปลงทดลอง ทั้ง 6 แปลงๆ ละ 3 ตัวอย่างๆ ละ 1 กิโลกรัม โดยใช้เครื่องมือ hand corer เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการปลูกข้าว (ก่อนการปักดำข้าว) ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-เบส ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส สำหรับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ตรวจวัดในภาคสนาม

เก็บตัวอย่างดินในแต่ละกรรมวิธีทดลอง ทั้ง 6 กรรมวิธี เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เดียวกันกับก่อนปลูกข้าว โดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร จากชุดไมโครพล็อต (micro plot) เดียวกันกับการเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละครั้ง โดยใช้เครื่องมือ hand corer ในอายุข้าว 30, 60 และ 90 วัน คือ หลังการใส่ปุ๋ยในแต่ละครั้งไปแล้ว 2 วัน ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวในแต่ละครั้ง จะได้กรรมวิธีละ 3 ตัวอย่างๆ ละ 1 กิโลกรัม รวมจำนวน 3 ครั้ง ดังแสดงใน

ตารางที่ 3.2 ใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิท พร้อมติดป้ายระบุรายละเอียดแปลงที่เก็บ วันที่ และเวลาที่เก็บตัวอย่างดินในถุงพลาสติก แช่เย็นตัวอย่างดินที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์

ตัวอย่างดินที่ได้นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาทุบและบดให้ละเอียดร่อนดินผ่านตระแกรงร่อนดิน (sieve) ขนาด 2 มิลลิเมตร และเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ระบุรายละเอียดตัวอย่างดินปิดปากถุงให้สนิท ในการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของดิน ค่าอินทรีย์วัตถุในดินนั้นได้ดำเนินการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของคณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร สำหรับตัวอย่างดินบางส่วนดำเนินการส่งตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐาน โดยเครื่องมือและวิธีวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.3 ทั้งนี้ ในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2 ในอายุข้าว 60 วัน และครั้งที่ 3 ในอายุข้าว 90 วัน ปฏิบัติในลักษณะเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างดินในครั้งที่ 1

3.5.3 ข้าว

3.5.3.1 ความสูงของต้นข้าว

เก็บข้อมูลความสูงของต้นข้าวโดยวัดความสูงของต้นข้าวในแต่ละกรรมวิธี ทั้ง 6 กรรมวิธี จากชุดไมโครพล็อต (micro plot) โดยการสุ่มวัดความสูงต้นข้าวจากส่วนเหนือดินของต้นข้าวไปจนถึงยอดข้าวโดยใช้ตลับเมตร มีหน่วยวัดเป็นเซนติเมตร ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ทั้ง 3 ระยะ คือ ในอายุข้าว 30, 60, 90 และ 120 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเปลือก

3.5.3.2 ผลผลิตข้าว

เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเปลือก เมื่ออายุข้าว 120 วัน จากแปลงทดลองนาข้าวในแต่ละแปลงหรือแต่ละกรรมวิธีจากไมโครพล็อตชุดสุดท้ายที่หลีกเลี่ยงการเก็บตัวอย่างน้ำและดิน จากนั้น นำข้าวที่เก็บเกี่ยวมานวด ฝัด ทำความสะอาด ชั่งน้ำหนัก และหาความชื้นโดยการใช้เครื่องวัดความชื้นเมล็ดข้าวแบบพกพา และคำนวณผลผลิตข้าวเปลือก (grain yields) ที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์⁴⁵ แสดงดังสมการที่ 3.1

$$\text{ผลผลิตที่ความชื้นร้อยละ 14 (กิโลกรัม/ไร่)} = \frac{a \times (100 - b) \times 1,600}{(100 - 14) \times c} \quad (3.1)$$

เมื่อ a = น้ำหนักของเมล็ดข้าวเปลือกในแปลงทดลอง (กิโลกรัม)

b = ร้อยละความชื้นที่ระดับต่างๆ กันของเมล็ดข้าวที่ได้จากเครื่องวัดความชื้น

c = พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางเมตร)

3.6 สถานที่วิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

- (1) ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
- (2) คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
- (3) คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
- (4) ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window version 16.0 ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีในการทดลองที่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสและคุณภาพดิน ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน และผลผลิตข้าวเปลือก โดยการเปรียบเทียบกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดิน น้ำในนาข้าว และผลผลิตข้าว เมื่อพบว่ากรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีที่แตกต่างกันส่งผลให้ตัวแปรดังกล่าวแตกต่างกัน จึงนำค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่แตกต่างกันมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธีดีตันแคน (Duncan's new multiple range test: DMRT)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว โดยศึกษาในฤดูทำนาปรัง พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร ประกอบด้วย 6 กรรมวิธี วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (Factorial with 2 factors) ปัจจัยที่ 1 อัตราปุ๋ยที่ใช้ ได้แก่ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และอัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจัยที่ 2 วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ การหว่าน การฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เมื่ออายุข้าว 28 วัน และปุ๋ยสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 และ 3 เมื่ออายุข้าว 58 และอายุข้าว 88 วัน เก็บตัวอย่างดินและน้ำหลังจากใส่ปุ๋ยไปแล้ว 2 วัน วิเคราะห์คุณภาพดินและน้ำตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว ในทั้ง 3 ระยะ คือ อายุข้าว 30, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ และเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเปลือก เมื่ออายุข้าว 120 วัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลผลิตในแต่ละกรรมวิธีการของการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว แสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 คุณภาพน้ำในนาข้าว

การศึกษานี้ได้นำน้ำจากหนองหารมาวิเคราะห์หาค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ก่อนการสูบน้ำเข้าแปลงนาข้าว โดยเก็บตัวอย่างน้ำในหนองหารบริเวณใกล้กับแปลงนาข้าว ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในหนองหาร พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 0.028 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีค่าเท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายหลังจากการสูบน้ำเข้าแปลงนาข้าว ทั้ง 6 กรรมวิธี และควบคุมระดับน้ำในแปลงให้อยู่ในระดับ 10 เซนติเมตร ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำในแปลงนาข้าวที่ระยะก่อนการปลูกข้าว (ก่อนปักดำต้นข้าว) อายุข้าว 30, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ เพื่อศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวต่อคุณภาพน้ำในแปลงนาข้าว โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ผลมีดังนี้

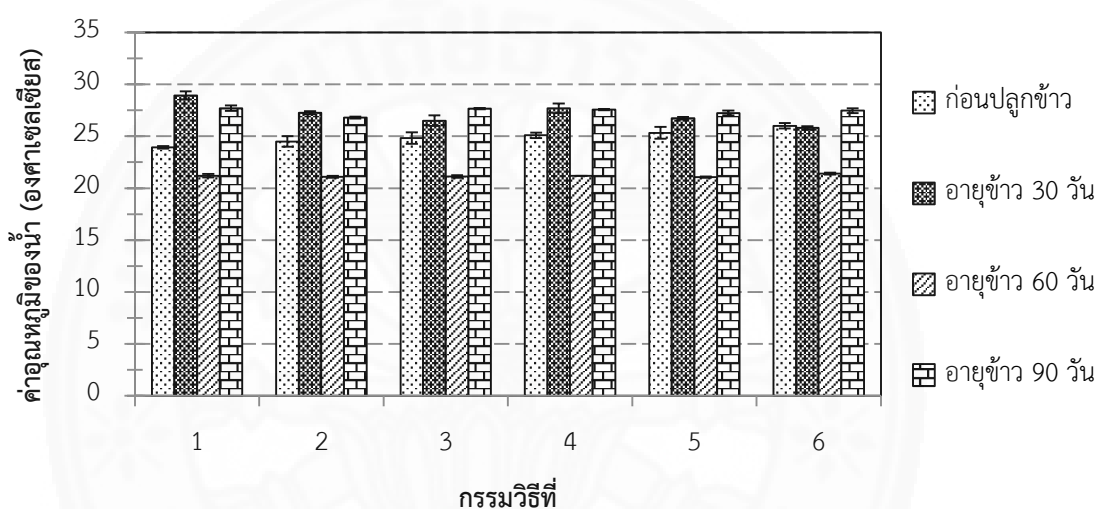
4.1.1 ค่าอุณหภูมิของน้ำ

จากการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำในแปลงนาข้าวทดลอง ทั้ง 6 แปลง ก่อนการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว ค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนการเพาะปลูกข้าวอยู่ในพิสัย 23.90-26.00 องศาเซลเซียส โดยพบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำทั้ง 6 แปลง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องจาก ยังไม่ได้รับอิทธิพลจากปุ๋ยในทุกกรรมวิธี ดังแสดงในภาพที่ 4.1

ในระยะเวลาอายุข้าว 30 วัน ภายหลังจากการใส่ปุ๋ยในครั้งที่ 1 ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ในพิสัย 25.80-28.90 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาอัตราปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ย ค่าอุณหภูมิของน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับกับทุกกรรมวิธี พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 28.90 องศาเซลเซียส รองลงมากรรมวิธีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 27.70 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้วิธีการหว่าน ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 5 ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าเท่ากับ 27.30 และ 26.70 องศาเซลเซียส และกรรมวิธีที่ 3 กับกรรมวิธีที่ 6 ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 26.50 และ 25.80 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงขึ้นในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่านและค่าอุณหภูมิจะลดลงในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตรและค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าต่ำสุดจากกรรมวิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยเคมีที่ใส่ในแต่ละกรรมวิธี เมื่อละลายน้ำมีการแตกตัวของประจุและการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ โดยเฉพาะปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน การแตกตัวของประจุของสารทำให้มีการเคลื่อนที่ชนกันได้มากขึ้น เกิดการคายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงขึ้น⁶⁰ นอกจากนี้ การได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ก็มีส่วนช่วยให้ค่าอุณหภูมิของน้ำในแต่ละกรรมวิธีเพิ่มขึ้นด้วย

ในระยะเวลาอายุข้าว 60 วัน หลังการใส่ปุ๋ยเคมีในครั้งที่ 2 ค่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในพิสัย 21.10-21.40 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 21.40 องศาเซลเซียส ในกรรมวิธีที่ 2 กรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 5 มีค่าต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 21.10 องศาเซลเซียส โดยพบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าต่ำกว่าในอายุข้าว 30 และ 90 วัน เนื่องจากในวันที่เก็บตัวอย่างดินและน้ำยังอยู่ในช่วงฤดูหนาว อากาศในช่วงเช้ามีอากาศเย็นและยังไม่มีแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงไปใต้น้ำที่จะทำให้ น้ำมีค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของน้ำที่วัดค่าได้มีค่าต่ำกว่าในอายุข้าว 30 และ 90 วัน และเนื่องจากสมบัติทางเคมีของปุ๋ยยูเรียที่ใส่ในนาข้าวในช่วงข้าวอายุนี้ เมื่อละลายน้ำมีการแตกตัวของประจุและมีคุณสมบัติสามารถดูดความร้อนได้สูงจึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของน้ำในทุกกรรมวิธีมีค่าต่ำลงและต่ำกว่าในช่วงข้าวอายุอื่นๆ

ในระยะอายุข้าว 90 วัน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในพิสัย 26.80-27.70 องศาเซลเซียส พบว่า กรรมวิธีที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรรมวิธี ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงสุดเท่ากับ 27.70 องศาเซลเซียส และกรรมวิธีที่ 2 มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.80 องศาเซลเซียส โดยพบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำในแปลงนาข้าวมีค่าลดลง จึงส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ อาจเนื่องจากอากาศที่ร้อนอบอ้าวและไม่มีฝนตกติดต่อกันเป็นระยะเวลาานตั้งแต่ระยะปลูกข้าว ค่าอุณหภูมิของน้ำจะสูงขึ้นตามการได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์



ภาพที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

โดยที่ค่าอุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมการละลายของปุ๋ยเคมีในนาข้าว กล่าวคือ ถ้าค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงขึ้นการละลายของปุ๋ยเคมีจะละลายน้ำง่ายและการทำปฏิกิริยากับน้ำ (ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส) จะดำเนินไปได้เร็วขึ้น โดยพบว่า ทั้ง 3 ระยะของการเจริญเติบโตของข้าวในแต่ละช่วงอายุของข้าว เมื่อเปรียบเทียบกับในแต่ละกรรมวิธี ค่าอุณหภูมิของน้ำแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันการได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จึงได้รับเท่ากัน ส่งผลทำให้ค่าอุณหภูมิของน้ำแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละกรรมวิธี อย่างไรก็ตาม ค่าอุณหภูมิของน้ำจากทั้ง 6 กรรมวิธียังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ซึ่งกำหนดค่าไว้มีค่าไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส⁹⁶ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส)			
	ก่อน ปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	23.90	28.90	21.20	27.70
2. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	24.50	27.30	21.10	26.80
3. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	24.80	26.50	21.10	27.70
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	25.10	27.70	21.20	27.60
5. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	25.30	26.70	21.10	27.20
6. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	26.00	25.80	21.40	27.50

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ค่าอุณหภูมิของน้ำ มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.1.2 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ

จากการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำในแปลงนาข้าว พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำทั้ง 6 แปลง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากในระยะก่อนการปลูกข้าวยังไม่มี การใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวจึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าใกล้เคียงกันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในระยะก่อนการเพาะปลูกข้าวในแต่ละ

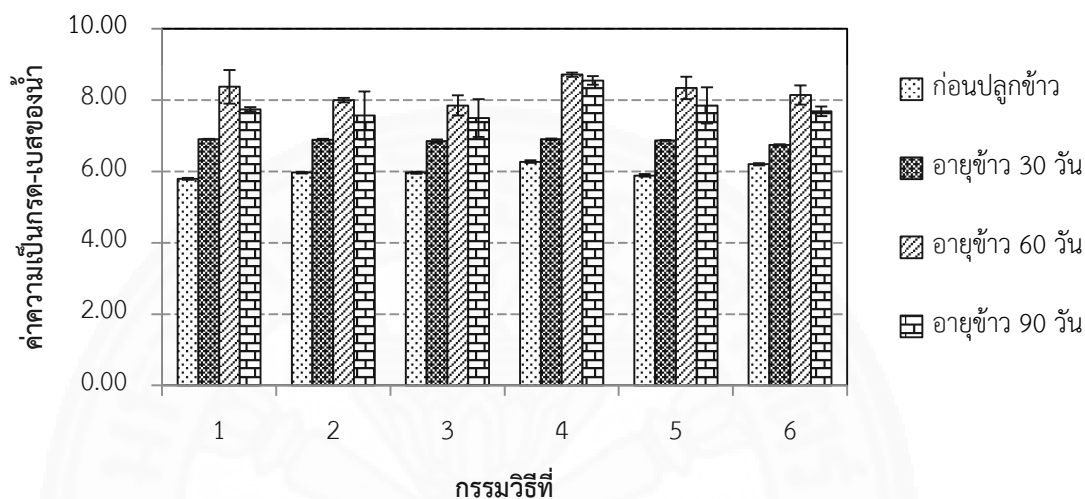
แปลง ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำมีค่าอยู่ในพิสัย 5.79-6.27 และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นหลังจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีไปแล้วตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยสรุปได้ดังนี้

ในระยะอายุข้าว 30 วัน เมื่อพิจารณาอัตราปุ๋ยเคมีที่ใส่ในแปลงนาข้าว พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 6.85-6.90 สอดคล้องกับ สมคิด เถลิงเกียรติ²² ที่พบว่าน้ำจากนาข้าวที่เป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวในระบบการชลประทานที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรจะมีค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ระหว่าง 6.50-7.50 โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรรมวิธี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.90 และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.74 ในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย คือวิธีการหว่าน การฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อาจเนื่องจากวิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร โอกาสที่เม็ดปุ๋ยละลายในน้ำมีโอกาสน้อยกว่าการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตรและน้อยกว่าวิธีการหว่าน เนื่องจากการละลายของปุ๋ยที่ฝังในดินบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงจะเคลื่อนที่สู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ คือ ขึ้นสู่บริเวณผิวน้ำต้องอาศัยกระบวนการแพร่ (diffusion)⁹¹ ผ่านชั้นของดินจึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสในแต่ละกรรมวิธีมีค่าแตกต่างกัน⁹³ ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอัตราปุ๋ยที่ใช้กับวิธีการใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-เบส ทั้ง 6 กรรมวิธี พบว่า มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ซึ่งกำหนดค่าไว้อยู่ในช่วง 5.0-9.0⁵⁸

ในระยะอายุข้าว 60 วัน เมื่อพิจารณาด้านอัตราปุ๋ย พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรรมวิธี มีค่าสูงสุด เท่ากับ 8.71 เนื่องจากใช้วิธีการหว่านปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 จึงมีผลต่อความเข้มข้นของสารในน้ำ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 3 มีค่าความเป็นกรด-เบส ต่ำสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.85 เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำในแปลงนาข้าวมีค่าสูงสุดอยู่ในกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่านและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยที่ใช้ในแต่ละกรรมวิธีกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของปุ๋ยเคมีที่ใส่ในระยะนี้ มีค่าความเป็นกรด-เบส ระหว่าง 7.20-8.50 คือ เป็นเบสอ่อนถึงปานกลาง และเมื่อละลายน้ำเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้หมู่ของไฮดรอกไซด์ไอออน จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำมีค่าสูงขึ้น (ตารางที่ 4.2)

ในระยะอายุข้าว 90 วัน เมื่อพิจารณาทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ย และอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าอยู่ในพิสัย 7.50-8.55 โดยในกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่านและใช้อัตราปุ๋ยเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ส่งผลให้ค่าความ

เป็นกรด-เบส มีค่าสูงสุด เท่ากับ 8.55 ในขณะเดียวกัน กรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 7.50 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร และใช้ปุ๋ยในอัตราที่ต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 4 เมื่อปุ๋ยถูกฝัง ลึกลงไปในดินถูกดินดูดซับไว้ เนื่องจากอิออนของธาตุอาหารในปุ๋ยยูเรีย คือ แอมโมเนียมอิออน และมีประจุบวก จึงส่งผลให้การละลายในน้ำมีค่าน้อยกว่า ค่าความเป็นกรด-เบสจึงมีค่าต่ำกว่า



ภาพที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมของทั้ง 3 ระยะหลังการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะก่อนการเพาะปลูกข้าว โดยเฉพาะในอายุข้าว 60 และ 90 วัน ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำในแปลงนาข้าวมีค่าเป็นเบสสูงกว่าในข้าวอายุ 30 วัน อาจจะเนื่องมาจากผลของการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของข้าว การแตกกอของข้าวและการสร้างรวงและเมล็ด เมื่อยูเรียละลายในน้ำ จึงทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำเกิดเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ทำให้น้ำเหนื่อผิวดินมีแอมโมเนียมอิออนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 1 ซึ่งใช้วิธีการหว่านมีอิทธิพลต่อค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะปลูกข้าวอยู่ระหว่าง 6.00-8.00^{94, 95} และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำจากทั้ง 6 กรรมวิธี กับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 พบว่าทุกกรรมวิธี ค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนดไว้⁵⁸ (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ			
	ก่อน ปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	5.79	6.90	8.37	7.74
2. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	5.97	6.89	8.00	7.57
3. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	5.97	6.85	7.85	7.50
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	6.27	6.90	8.71	8.55
5. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	5.88	6.87	8.34	7.85
6. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	6.20	6.74	8.14	7.68

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.1.3 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ

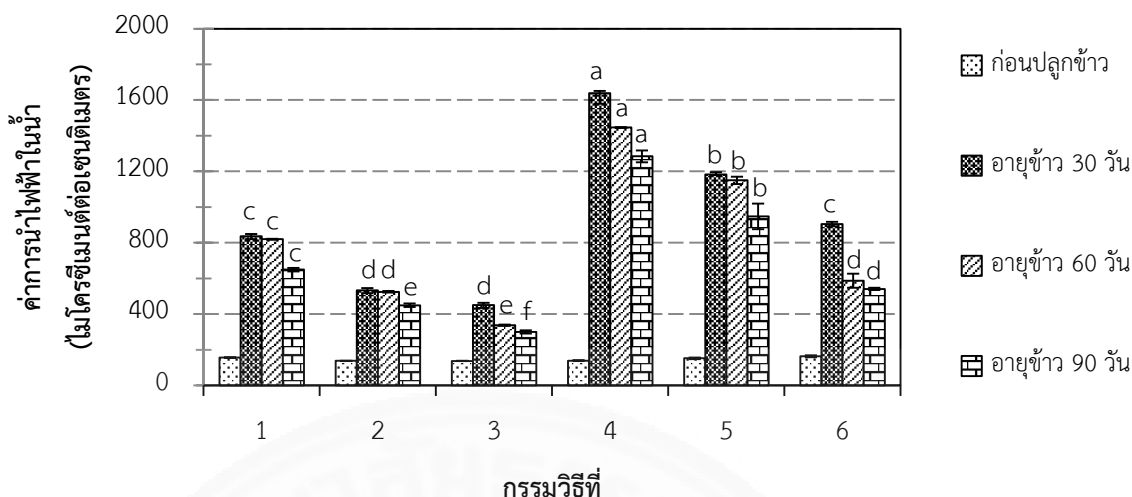
ในระยยะก่อนการปลูกข้าว ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำทั้ง 6 แปลง มีค่าอยู่ในพิสัย 137.03 -163.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากยังไม่มีกรใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว และในระยยะที่มีการเพาะปลูกข้าว ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าอยู่ในพิสัย 300.00-1,638.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ดังตารางที่ 4.3 โดยสรุปได้ดังนี้

ในระยยะอายุข้าว 30 วัน ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าอยู่ในพิสัย 450.77- 1,638.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนาข้าว พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่าการวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,638.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร อาจเป็นผลมาจากวิธีการหว่านปุ๋ยและความเข้มข้นของอัตราปุ๋ยที่เพิ่มสูงขึ้นกว่ากรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 รวมถึงค่าอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นในตารางที่ 4.1 ซึ่งอาจมีผลต่อการละลายของปุ๋ยเคมีในนาข้าวและการแตกตัวของอออนในน้ำ รองลงมากรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 1,182.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 450.77 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เมื่อพิจารณาวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ วิธีการหว่านส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงสุดซึ่งสูงกว่าวิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร เนื่องจากวิธีการหว่านส่งผลให้ปุ๋ยเคมีแตกตัวให้อออนและละลายอยู่ในน้ำได้มาก ในขณะที่เดียวกัน เมื่อใช้วิธีการฝังซึ่งการฝังปุ๋ยในระดับที่ลึกลงไปดินโอกาสในการละลายในน้ำของปุ๋ยมีน้อยจึงทำให้การละลายของอออนในน้ำมีค่าน้อยตามไปด้วย ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร จึงมีค่าต่ำกว่าวิธีการหว่านและการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย โดยที่น้ำจากกรรมวิธีที่ 4 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1,638.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (อักษร a) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1, 2, 3, 5 และกรรมวิธีที่ 6 (ตารางที่ 4.3)

ในระยยะอายุข้าว 60 วัน เมื่อพิจารณาอัตราปุ๋ย พบว่า อัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่าการวิธีที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,445.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-เบส ในตารางที่ 4.2 มีค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน เป็นผลจากการแตกตัวของอออนในน้ำ เนื่องจากใช้วิธีการหว่าน รองลงมา ได้แก่ กรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 1,149.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 337.33 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยพบว่า เมื่อใช้วิธีการฝังและใช้อัตราปุ๋ยที่ต่ำกว่าในกรรมวิธีที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าต่ำ และเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการหว่านจะส่งผล

ให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงสุดซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 3 เนื่องจากในกรรมวิธีที่ 3 ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร โอกาสของการละลายน้ำและแตกตัวให้ออนในน้ำมีน้อยกว่า นอกจากนั้น อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยยังส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า เมื่อใช้อัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นร่วมกับวิธีการหว่านปุ๋ยส่งผลให้การแตกตัวของออนในน้ำมีค่ามากขึ้น จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่วิธีการหว่านการแตกตัวของออนในน้ำมีค่าสูงกว่าการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตรตามลำดับ

ในระยะเวลาอายุข้าว 90 วัน อัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าจากกรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,284.17 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร รองลงมาในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 948.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 300.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า วิธีการทั้ง 3 วิธีส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าวิธีการหว่านจากกรรมวิธีที่ 4 อออนของสารแตกตัวในน้ำได้ดีกว่าวิธีการฝังที่ 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน กรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 6 ส่งผลให้ออนของสารแตกตัวในน้ำได้น้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรรมวิธีที่ 3 ซึ่งใช้ปุ๋ยในอัตราต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 จึงส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าต่ำสุด เช่นเดียวกับในอายุข้าว วันที่ 60 วัน เนื่องจากความเข้มข้นของปุ๋ยเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการแตกตัวของออนของสารในน้ำ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะต้นข้าวเจริญเติบโตเต็มที่ที่ต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในการสร้างรวงและเมล็ดจึงดูดดึงธาตุอาหารที่เป็นออนไปใช้ได้มากขึ้นและดูดดึงไปใช้ได้สูงกว่าในวันที่ 30 และ 60 จึงทำให้อิทธิพลร่วมส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าในน้ำในช่วงข้าวอายุนี้ พบว่า มีค่าลดลงกว่าในอายุข้าว 30 และ 60 วัน อย่างไรก็ตาม ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า ทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ซึ่งกำหนดค่าไว้ไม่เกิน 2,000 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร⁹⁶



หมายเหตุ: ตัวอักษรอาร์บิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.3 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

จากการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทั้ง 3 ระยะของอายุข้าว หลังการใส่ปุ๋ยตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว จะเห็นได้ว่า วิธีการใส่ปุ๋ยเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้มีการแตกตัวเป็น อีออนจากแร่ธาตุในน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่านส่งผลต่อการแตกตัวของอีออนในน้ำซึ่งปุ๋ยเคมีมีสมบัติเป็นอนินทรีย์สาร เมื่อถูกน้ำชะล้างจึงละลายอยู่ในน้ำได้สูงกว่ากรรมวิธีการฝัง นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นยังส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น เมื่อปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายอยู่ในน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าการนำไฟฟ้าในน้ำในระยะอายุข้าว 90 วัน ทั้ง 6 กรรมวิธี พบว่า มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานซึ่งกำหนดค่าไว้ ไม่เกิน 2,000 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร⁹⁶ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	156.27	836.00 ^c	819.67 ^c	649.67 ^c
2. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	137.63	533.00 ^d	524.73 ^d	449.67 ^e
3. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	137.03	450.77 ^d	337.33 ^e	300.00 ^f
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	139.03	1,638.00 ^a	1,445.67 ^a	1,284.17 ^a
5. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	151.97	1,182.67 ^b	1,149.67 ^b	948.00 ^b
6. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	163.67	905.00 ^c	586.33 ^d	545.67 ^d

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฟัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.1.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ผลการศึกษาค่าออกซิเจนละลายน้ำในนาข้าวก่อนการปลูกข้าว พบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าอยู่ในพิสัย 2.60-2.93 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำทั้ง 6 แปลง มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ทั้งนี้ เนื่องจาก

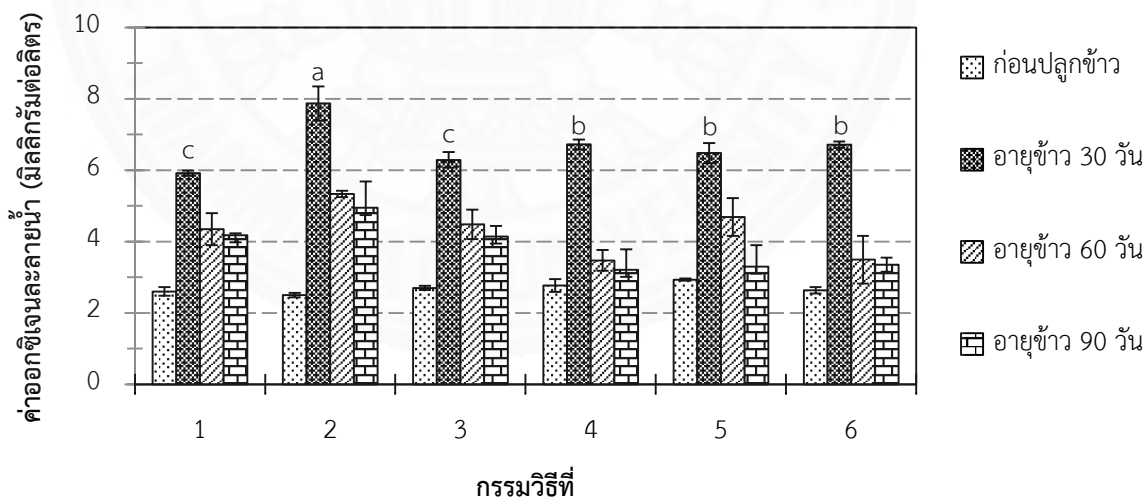
มีการไหลกลับเศษหญ้าและฟางข้าวจากการทำนาปีและการทำเทือกก่อนการปักดำต้นกล้า จุลินทรีย์ในน้ำใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์สารจากเศษหญ้าและฟางข้าวจึงส่งผลให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ซึ่งกำหนดค่าออกซิเจนละลายน้ำไว้ไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร⁵⁸ ดังตารางที่ 4.4

ในระยะอายุข้าว 30 วัน เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัย คือ อัตราปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนาข้าวและปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าอัตราปุ๋ยที่ใส่มากขึ้นในนาข้าวไม่ส่งผลให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าแตกต่างกันและวิธีการหว่าน การฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยที่ใช้ร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือกรรมวิธีที่ 2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงสุด เท่ากับ 7.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 3 โดยกรรมวิธีที่ 1 ออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 5.92 มิลลิกรัมต่อลิตร แปรผกผันกับค่าอุณหภูมิของน้ำในตารางที่ 4.1 ซึ่งกรรมวิธีที่ 1 มีค่าอุณหภูมิของน้ำสูงสุด เท่ากับ 28.90 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 6.72, 6.48 และ 6.71 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตัวอักษร b) ตามลำดับ ในขณะที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำจากกรรมวิธีที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2, 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3 ซึ่งค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 6.29 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามพบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากระยะก่อนการปลูกข้าว ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบนั้น กระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวในแปลงนาข้าวทำให้มีค่าออกซิเจนเพิ่มขึ้น

ในระยะอายุข้าว 60 วัน เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยกรรมวิธีที่ 2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 5.34 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมากรรมวิธีที่ 5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 4.69 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ทั้งนี้ เนื่องจากช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำยังอยู่ในช่วงเช้าอากาศในตอนเช้ามีอากาศเย็นอุณหภูมิของน้ำยังไม่สูงมาก กล่าวคือ ยังไม่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จึงทำให้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิของน้ำจาก

ตารางที่ 4.1 ในอายุข้าว 60 วัน จะพบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำในทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าอยู่ในพิสัย 21.10-21.40 องศาเซลเซียส ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซออกซิเจนจะละลายน้ำได้ดีในอุณหภูมิต่ำ จึงทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำยังคงมีค่าสูงในช่วงข้าวอายุนี้

ในระยะอายุข้าว 90 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ 2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.95 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมากรรมวิธีที่ 1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเท่ากับ 4.18 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูงขึ้น คือในกรรมวิธีที่ 4, 5, และ 6 ค่าออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าลดลงกว่าในกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 และเกินค่ามาตรฐาน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่าอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นส่งผลให้จุลินทรีย์ในน้ำใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายปุ๋ยเคมีทำให้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำลดลงและเมื่อพิจารณาวิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า มีความแตกต่างกัน ค่าออกซิเจนละลายน้ำอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อย่างไรก็ตาม พบว่า กรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าลดลงต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 ดังตารางที่ 4.4



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

จากภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.4 พบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำในทุกกรรมวิธี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากระยะก่อนปลูกข้าว ทั้งนี้อาจเนื่องจากในระยะการเจริญเติบโตของข้าวในแต่ละช่วงอายุข้าวมีกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวซึ่งจะทำให้มีค่าออกซิเจนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่ออายุข้าว 90 วัน ในกรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 พบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ซึ่งกำหนดให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร⁵⁸

ตารางที่ 4.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	2.60	5.92 ^c	4.35	4.18
2. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	2.50	7.87 ^a	5.34	4.95
3. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	2.70	6.29 ^c	4.48	4.14
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	2.77	6.72 ^b	3.47	3.21
5. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	2.93	6.48 ^b	4.69	3.30
6. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	2.63	6.71 ^b	3.49	3.35

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร

- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.1.5 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี

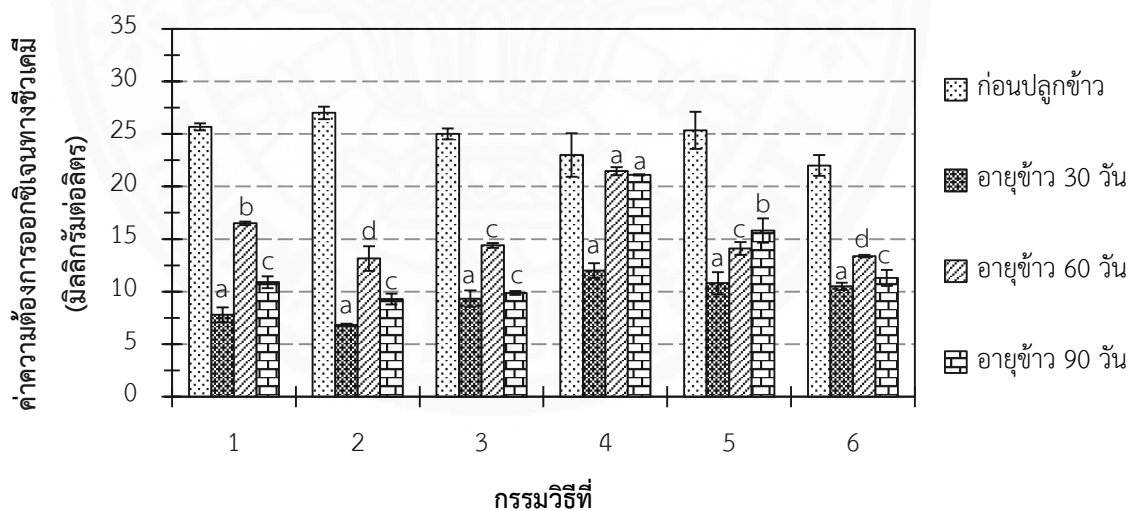
ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในแปลงนาข้าว พบว่า ก่อนการเพาะปลูก ข้าวค่าที่วัดได้ในแปลงที่ 2 มีค่าสูงสุด คือ 27.00 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาในแปลงที่ 1 มีค่าเท่ากับ 25.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และในแปลงที่ 6 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 22.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำจากแหล่งเกษตรกรรมค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของน้ำที่ระบายลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่เชื่อมต่อกับทางน้ำชลประทาน กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร⁹⁶ ทั้ง 6 แปลง เนื่องจากช่วงนี้มีการไถกลบเศษหญ้าและฟางข้าวจากการทำนาปีจุลินทรีย์ในน้ำจึงใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์สารจากเศษหญ้าและฟางข้าว ส่งผลให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีจึงมีค่าสูงในแต่ละแปลง และในช่วงของการเพาะปลูกข้าว สรุปได้ดังนี้

ในระยะเวลาอายุข้าว 30 วัน เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย พบว่า อัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าที่วัดได้ในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.00 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 10.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และในกรรมวิธีที่ 2 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.83 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย กล่าวคือ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใส่ปุ๋ยเคมีในช่วงข้าวอายุนี้ส่งผลต่อค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีน้อย เนื่องจากค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำที่เกิดจากเศษอินทรีย์จากต้นข้าว และวัชพืชน้ำที่เน่าเปื่อยในแต่ละกรรมวิธีจากในระยะก่อนการปลูกข้าว ดังนั้น อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยจึงไม่ส่งผลให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าแตกต่างกันในช่วงอายุนี้

ในระยะเวลาอายุข้าว 60 วัน พบว่า อัตราปุ๋ยส่งผลต่อค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่าที่วัดได้จากกรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุดซึ่งเท่ากับ 21.47 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสูงเกินค่ามาตรฐานของน้ำที่ระบายลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่เชื่อมต่อกับทางน้ำชลประทานที่กำหนดค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร⁹⁶ รองลงมากรรมวิธีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 16.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 2 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 13.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ กรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 1 แตกต่างกับทุกกรรมวิธี ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธี

ที่ 6 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 5 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.5)

ในระยะเวลาอายุข้าว 90 วัน ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย อัตราปุ๋ย และอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยอัตราปุ๋ยที่ต่างกันส่งผลให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีแตกต่างกัน ในขณะที่เดียวกันวิธีการใส่ปุ๋ยที่ต่างกันส่งผลให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าแตกต่างกัน จากตารางที่ 4.5 จะพบว่ากรรมวิธีที่ 2 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 9.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 21.10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีเกินค่ามาตรฐานการระบายลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่เชื่อมต่อกับทางน้ำชลประทาน กำหนดให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร⁹⁶ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1, 2 และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือ มีค่าเท่ากับ 10.90, 9.30 และ 9.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.5 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5 พบว่าในช่วงของก่อนการปลูกข้าว ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในแต่ละกรรมวิธีมีค่าสูงมาก ซึ่งสูงกว่าในระยะของการเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 3 ระยะ เนื่องจากในช่วงก่อนการปลูกข้าวมีการเน่าเปื่อยของเศษซากหญ้าและฟางข้าวรวมถึงซากต่อซึ่งจากการพลิกดิน และการไถกลบในช่วงเตรียมแปลงนาก่อนการเพาะปลูกข้าว สอดคล้องกับ นภาพรทิพย์มาสน์ และสมนิมิต พุกงาม⁹⁷ ศึกษาคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำแม่ถาง จังหวัดแพร่ ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ติดกับพื้นที่การเกษตรจะมีค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีสูงซึ่งเกิดจากซากพืชทางการเกษตร รวมถึงปุ๋ยทางการเกษตร สำหรับค่าคุณภาพน้ำจากแหล่งเกษตรกรรมค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของน้ำที่ระบายลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่เชื่อมต่อกับทางน้ำชลประทานกำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร⁹⁶ ในขณะเดียวกัน ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในอายุข้าว 30 วัน มีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากในช่วงนี้จุลินทรีย์ได้ย่อยสลายเศษซากพืชในช่วงก่อนการปลูกข้าวไปแล้วจึงเป็นผลให้จุลินทรีย์มีความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในกิจกรรมการย่อยสลายน้อยลง ส่งผลให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าลดลง⁹⁸ ในขณะที่วันที่ 60 ของอายุข้าว ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าสูงกว่าในวันที่ 30 ในทุกกรรมวิธี เนื่องจากในระยะ 60 วัน อยู่ในช่วงที่ต้นข้าวแตกกอ ซึ่งต้องมีการควบคุมระดับน้ำในแปลงนาให้สม่ำเสมอในทุกกรรมวิธี เพราะระดับน้ำจะช่วยในการแตกกอของข้าวได้ดี และเพื่อกำจัดวัชพืช⁹⁹ เมื่อวัชพืชในแปลงนาข้าวตายลงจึงเน่าเปื่อยรวมถึงใบข้าวและรากข้าวบางส่วนที่เน่าเปื่อยหลังจากมีการปักดำต้นข้าว จุลินทรีย์ในน้ำจึงต้องใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายอินทรีย์สารเหล่านี้จึงเป็นผลให้ในช่วงอายุข้าว 60 วัน ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีจึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของพันธวัช สัมพันธ์พานิช⁹⁹ ศึกษาผลของพันธุ์ข้าวและชนิดของปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว พบว่า ในแปลงที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีในระยะแตกกอของข้าว (60 วัน) ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และสูงกว่าในระยะกล้าและระยะสร้างเมล็ด นอกจากนี้ ในวันที่ 60 ของอายุข้าว ในกรรมวิธีที่ 4 พบว่า ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน อาจเป็นเพราะว่า วิธีการหว่านและใช้อัตราปุ๋ยเพิ่มเป็น 2 เท่า ส่งผลให้ในน้ำมีสารอาหารเพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีการฝังและพืชน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สาหร่ายและพืชน้ำจะเจริญได้ดี สาหร่ายและพืชน้ำบางส่วนตายและเน่าเปื่อยลงจึงอาจเป็นผลให้ในกรรมวิธีที่ 4 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี มีค่าสูงกว่าในกรรมวิธีอื่นๆ และสูงเกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ซึ่งกำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร⁹⁶

ตารางที่ 4.5 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ก่อน ปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	25.67	7.80	16.50 ^b	10.90 ^c
2. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	27.00	6.83	13.15 ^d	9.30 ^c
3. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	25.07	9.33	14.40 ^c	9.87 ^c
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	23.00	12.00	21.47 ^a	21.10 ^a
5. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	25.33	10.80	14.10 ^c	15.80 ^b
6. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	22.00	10.50	13.37 ^d	11.30 ^c

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.1.6 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ

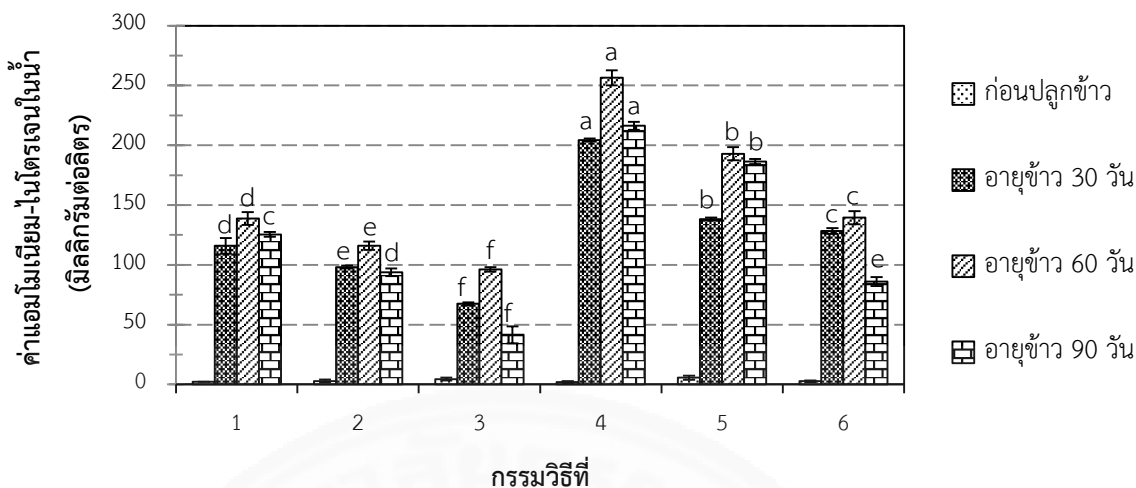
ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำแปลงนาข้าว พบว่า ในระยะก่อนการเพาะปลูกข้าว ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ มีค่าอยู่ในพิสัย 2.19-4.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยังไม่ได้รับอิทธิพลจากการใส่ปุ๋ยเคมีในทุกกรรมวิธี และภายหลังจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีแล้วตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยสรุปได้ดังนี้

ในระยะอายุข้าว 30 วัน ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 67.43-204.44 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ส่งผลต่อค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ กรรมวิธีที่ 4 ใช้วิธีการหว่านร่วมกับอัตราปุ๋ยที่สูงขึ้นจากกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุด คือ มีค่าเท่ากับ 204.44 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมากรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 138.29 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเท่ากับ 128.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 67.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ค่าแอมโมเนียมจากปุ๋ยเคมีจึงถูกดินดูดซับไว้เนื่องจากในดินส่วนใหญ่มีประจุลบจึงส่งผลให้ความเข้มข้นของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำจากกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Xiao, Yu, Wang และ Huang¹⁰⁰ ที่พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน เมื่อสัมผัสกับดินและอยู่ในสารละลายดินจะถูกดินดูดซับไว้ นอกจากนี้ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ยังสอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ จากตารางที่ 4.3 โดยพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าสูงจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่าน คือ ในกรรมวิธี 4 และกรรมวิธีที่ 1 และจะมีค่าลดลงในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร คือ กรรมวิธีที่ 2 กับกรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 3 กับกรรมวิธีที่ 6 ตามลำดับ

ในระยะอายุข้าว 60 วัน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่วัดได้อยู่ในพิสัย 96.24-256.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.6 เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้ง 3 ด้าน คือ อัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ จากทั้ง 6 กรรมวิธี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่ากรรมวิธีที่ 4 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 256.40 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเพราะว่าปุ๋ยยูเรียที่ใส่ในช่วงอายุนี้ ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ เกิดปฏิกิริยาอุเรียไฮโดรไลซิส (urea hydrolysis) มีค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา 0.36-0.80 วัน⁻¹⁴¹ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยานี้ ได้แก่ ความเข้มข้นของปุ๋ยยูเรีย ค่าความเป็นกรด-เบส และปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีเมื่อค่าความเข้มข้นของปุ๋ยยูเรียมีค่าสูงขึ้น⁴¹ นั่นคือ กรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 ซึ่งใช้อัตราปุ๋ยที่สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhou และ Nishiyama¹⁰¹ พบว่า ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ

จากกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันแรกที่ใส่ปุ๋ยเคมีและลดลงภายในหนึ่งสัปดาห์หลังการใส่ปุ๋ย ในขณะที่เดียวกันยังพบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำจากตารางที่ 4.2 ซึ่งกรรมวิธีที่ 4 มีค่าความเป็นกรด-เบส สูงสุด เช่นเดียวกัน เนื่องจาก วิธีการหว่านส่งผลให้น้ำมีค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของปุ๋ยยูเรียด้วยแอมไซม์ยูรีเอส จะได้แอมโมเนียมคาร์บอเนต จากนั้นแอมโมเนียมคาร์บอเนต จะสลายต่อไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ¹⁰² จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าสูงขึ้นและสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ 4 นอกจากนั้นยังส่งผลให้แอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่ากรรมวิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ

ในระยะอายุข้าว 90 วัน ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 41.45-216.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้ง 3 ด้าน คือ อัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า แอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีลักษณะเช่นเดียวกันกับในอายุข้าว 30 และ 60 วัน พบว่า ในกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 216.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ อาจเนื่องจากคุณสมบัติของปุ๋ยยูเรียที่ละลายน้ำได้ดี มีค่าการละลายน้ำ 5.45×10^5 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส⁵² และเมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิของน้ำในวันที่ 90 ของอายุข้าว จากตารางที่ 4.1 พบว่า ในแต่ละกรรมวิธีค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 26.80-27.70 องศาเซลเซียส จึงมีส่วนช่วยส่งเสริมการละลายของปุ๋ยยูเรียในน้ำได้ดีขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Ji et al.⁶⁶ ศึกษาพลวัตของไนโตรเจนในสภาพน้ำท่วมขังและการชะละลายในนาข้าวโดยการใช้ปุ๋ยยูเรียและการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า หลังจากการใส่ปุ๋ยยูเรียในนาข้าวความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดและค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำจากกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 41.45 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลมาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยซึ่งกรรมวิธีที่ 3 ใช้อัตราปุ๋ยต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 และใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร จึงส่งผลให้ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำจากกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด อย่างไรก็ตาม ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ ทั้ง 6 กรรมวิธี ยังสามารถสูญเสียไปจากน้ำได้เช่นเดียวกันด้วยการระเหยของแอมโมเนีย เนื่องจากการระเหยของแอมโมเนียจะไม่เกิดถ้าค่าความเป็นกรด-เบส ต่ำกว่า 7.2³⁴ โดยในช่วงข้าวอายุนี้ ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าอยู่ในพิสัย 7.50-8.55 ซึ่งมีค่าสูงกว่า 7.2 ทุกกรรมวิธี จึงพบว่า กรรมวิธีที่ 4 ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าสูงสุด เท่ากับ 8.55 การระเหยของแอมโมเนียจึงอาจมีค่าสูงตามไปด้วย และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด เนื่องจากมีค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 7.50 ตามลำดับ



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.6 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

เมื่อเปรียบเทียบค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำ ทั้ง 3 ระยะของการเจริญเติบโตของข้าวหลังการใส่ปุ๋ยเคมี พบว่า ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุดจากกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่านแสดงให้เห็นว่า วิธีการหว่านปุ๋ยเคมีในนาข้าวเมื่อปุ๋ยถูกความชื้นก็ละลายแพร่กระจายไปกับน้ำได้เร็วโดยผ่านกระบวนการไหลตามการไหลของน้ำ (mass flow)³¹ ได้มากกว่าวิธีการฝังปุ๋ยลึกลงไปใต้ดิน ปุ๋ยที่ใช้ในแปลงนาข้าวในครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 คือปุ๋ยยูเรีย (สูตร 46-0-0) ซึ่งละลายน้ำได้ง่ายและให้แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จึงส่งผลให้น้ำบริเวณเหนือผิวดินมีแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในปริมาณสูงและโอกาสในการสูญเสียโดยกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย (ammonia volatilization) ก็มีสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งมากกว่าวิธีการฝัง ในทำนองเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบวิธีการฝังที่ระดับความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ทั้ง 6 กรรมวิธี ใน 3 ระยะของการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า การฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำมีค่าน้อยกว่าในกรรมวิธีที่มีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และน้อยกว่าวิธีการหว่าน เนื่องจากแอมโมเนียมไอออนที่เกิดจากปุ๋ยจะแพร่ (diffusion) จากบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นสูงขึ้นไปสู่บริเวณที่มีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าต้องอาศัยเวลาในการแพร่ผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ยิ่งไปกว่านั้น ถ้ามีการฝังปุ๋ยลึกมากทำให้อากาศในการแพร่ผ่านของแอมโมเนียมไอออนขึ้นสู่ผิวน้ำด้านบนจะยิ่งน้อยลง สอดคล้องกับ

การศึกษาของ Ji, Zheng, Lu และ Liao.⁶⁶ โอกาสในการถูกดูดซับที่ผิวอนุภาคดินก็มีมากเช่นเดียวกัน เนื่องจากแอมโมเนียมไอออนมีประจุบวกซึ่งตรงกันข้ามกับประจุลบที่ผิวอนุภาคดิน จึงส่งผลให้การหว่านปุ๋ยโอกาสในการถูกชะล้างไปกับน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงเกิดได้มากกว่ากรรมวิธีการฝังปุ๋ย สอดคล้องกับการศึกษาของ Huda et al.¹⁰³ พบว่า แอมโมเนียม-ไนโตรเจน ในน้ำที่ท่วมขังในนาข้าว จากกรรมวิธีการหว่านปุ๋ยสูงกว่ากรรมวิธีการฝังปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าสูงสุดภายใน 2-3 วัน ภายหลังจากการหว่านปุ๋ย นอกจากนี้ ยังพบว่า ประสิทธิภาพของการดูดซับปุ๋ยไนโตรเจน ของข้าว จะมีประสิทธิภาพสูงสุดจากกรรมวิธีการฝังปุ๋ยเคมี ดังนั้น กรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่านร่วมกับการใช้อัตราปุ๋ยที่สูงขึ้นในกรรมวิธีที่ 4 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำจึงมีค่าสูงสุด และสูงกว่าทุกกรรมวิธี

ตารางที่ 4.6 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	2.19	115.94 ^d	138.74 ^d	125.44 ^c
2. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	2.89	98.17 ^e	115.90 ^e	93.84 ^d
3. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	3.38	67.43 ^f	96.24 ^f	41.45 ^f
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	2.87	204.44 ^a	256.40 ^a	216.25 ^a
5. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	4.27	138.29 ^b	192.94 ^b	186.38 ^b
6. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	2.71	128.31 ^c	139.44 ^c	85.93 ^e

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝั่ง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.1.7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ

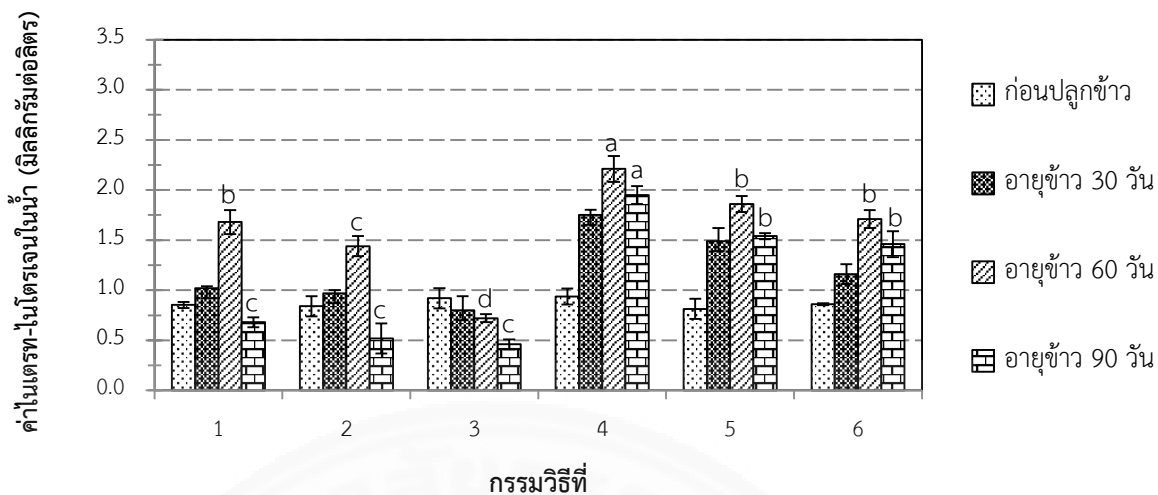
ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในแปลงนาข้าวก่อนการปลูกข้าว แสดงดังในตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 0.81-0.94 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในแต่ละแปลงมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากในแต่ละแปลงยังไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีในแปลงนาข้าว

ในระยะอายุข้าว 30 วัน ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 0.80-1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุด เท่ากับ 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมากรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 1.49 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยในนาข้าว พบว่า ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอัตราปุ๋ยที่ใส่ในอัตราที่แตกต่างกันและวิธีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากความเข้มข้นของปุ๋ยที่สูงกว่ามีผลต่อค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนได้มากกว่าอัตราปุ๋ยที่ต่ำกว่า กล่าวคือ ในกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 ความเข้มข้นของปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนาข้าวมีค่าต่ำกว่าในกรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนจึงมีค่าแตกต่างกันเมื่อใช้ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกัน ในขณะที่เดียวกัน วิธีการใส่ปุ๋ยมีส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งพบว่า กรรมวิธีที่ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุด เนื่องจากใช้วิธีการหว่าน และการควบคุมระดับน้ำในแปลงนาข้าวในแต่ละกรรมวิธีอยู่ในระดับประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งในชั้นที่ผิวน้ำยังคงมีออกซิเจนอยู่ การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีนั้น ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ไนตริฟิเคชัน และการระเหยของแอมโมเนีย ส่งผลให้แอมโมเนียอ็อกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเปลี่ยนเป็นไนเตรท-ไนโตรเจนโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในกรรมวิธีที่ 4 ได้มากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในช่วงข้าวอายุนี้ รากข้าวเดิมที่ติดมากับต้นข้าวที่ผ่านการปักดำนั้นยังไม่สามารถดูดธาตุอาหารได้อย่างเต็มที่และเพียงพอแต่จะทำให้หน้าที่ยืด ลำต้นไว้กับดินไม่ให้ต้นข้าวล้มเท่านั้น ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยส่งผลต่อปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ในระยะอายุข้าว 60 วัน ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 0.72-2.21 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ย และอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สอดคล้องกับในอายุข้าว 30 วัน พบว่า การใส่ปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและวิธีการใส่ปุ๋ยส่งผลให้ ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าแตกต่างกันตามไปด้วยในแต่ละกรรมวิธี นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย

แสดงให้เห็นว่าค่าไนเตรท-ไนโตรเจนจากกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.72 มิลลิกรัมต่อลิตร แตกต่างกับทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 6 แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 3 อย่างไรก็ตาม พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่านปุ๋ยค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุดซึ่งเท่ากับ 2.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ในกรรมวิธีที่ 4 ในช่วงข้าวอายุนี้ การเน่าสลายของเศษใบข้าวและต้นข้าวรวมถึงวัชพืชในแปลงอาจมีส่วนทำให้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเพิ่มขึ้นได้ และปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในผิวน้ำจึงส่งผลให้กรรมวิธีที่ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ยังคงมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 6 นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบส จากตารางที่ 4.2 ในระยะอายุข้าว 60 วัน พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าสูงขึ้นในทุกกรรมวิธี จากในอายุข้าว 30 วัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 7.85-8.71 จึงส่งผลให้ในแต่ละกรรมวิธียังคงเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมเป็นไนเตรท (ตารางที่ 4.7)

ในระยะอายุข้าว 90 วัน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ที่วัดค่าได้อยู่ในพิสัย 0.46-1.95 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่า ปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย ส่งผลต่อค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยกรรมวิธีที่ 3 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจเป็นเพราะใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร เนื่องจากการฝังปุ๋ยจะทำให้แอมโมเนียมอออนที่แปรสภาพจากปุ๋ยเคมีเปลี่ยนเป็นไนเตรทอออนได้น้อยลง และถ้าในดินไม่มีออกซิเจนอออนของปุ๋ยจะหยุดอยู่ที่แอมโมเนียมอออนไม่เปลี่ยนเป็นไนเตรท และเนื่องจากในช่วงข้าวอายุนี้ ต้นข้าวมีการพัฒนาของช่อดอก และการเจริญเติบโตของเมล็ดในรวงข้าว จึงต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในกิจกรรมดังกล่าว จึงอาจส่งผลให้ในกรรมวิธีที่ 3 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน บางส่วนถูกต้นข้าวดูดดึงไปใช้ จึงส่งผลให้มีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธี ซึ่งแตกต่างกับกรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2 แต่มีความแตกต่างกันกับกรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากกรรมวิธีที่ 1 และ 2 ใช้อัตราปุ๋ยในอัตราเดียวกัน แตกต่างกันเพียงวิธีการใส่ปุ๋ย ซึ่งความเข้มข้นของปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้ไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบส จากตารางที่ 4.2 ในระยะอายุข้าว 90 วัน พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในทุกกรรมวิธี จึงส่งผลให้ในแต่ละกรรมวิธียังคงเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมอออนเป็นไนเตรทอออนได้เช่นเดียวกับในระยะอายุข้าว 60 วัน (ตารางที่ 4.7)



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าวตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า กรรมวิธีที่ 4 ที่ระยะ 60 วันของอายุข้าว ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.21 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากกรรมวิธีที่ 4 ใช้วิธีการหว่านซึ่งวิธีการหว่านปุ๋ยโอกาสทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่ากรรมวิธีการฝัง บริเวณผิวน้ำยังมีออกซิเจน ออกซิเจนในน้ำจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบสจากกรรมวิธีที่ 4 ในตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 8.55 ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบสจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ดี แอมโมเนียมที่ได้จากปุ๋ยที่ใส่ในนาข้าวจึงถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท (NO_3^-) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ผิวน้ำในแปลงนาข้าว ซึ่งสอดคล้องกับ Muhibbullah¹⁰⁴ ศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีในพื้นที่การเกษตรที่มีผลต่อคุณภาพดินและน้ำ โดยพบว่า คุณภาพน้ำบริเวณผิวน้ำ ไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35.25 พีพีเอ็ม มาจากปุ๋ยเคมีที่เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ผิวน้ำ ในขณะเดียวกัน กรรมวิธีการฝังปุ๋ยโอกาสที่จะทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียม (NH_4^+) มีได้น้อยกว่า เนื่องจากลึกลงไปในดินชั้นที่เรียกว่า รีดิวซ์โซน³⁹ เป็นชั้นดินที่ไม่มีออกซิเจน ส่งผลให้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนจากกรรมวิธีการฝังในกรรมวิธีที่ 3 ในวันที่ 90 มีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wang et al.⁵⁵ และ Xiao¹⁰⁵ พบว่า แอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่า

เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยลงไปแปลงนาข้าวและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงที่สุดหลังจากนั้นจะลดลงภายในสองสัปดาห์หลังจากใส่ปุ๋ย ในขณะที่ไนเตรท-ไนโตรเจนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 กำหนดค่ามาตรฐานค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในแหล่งน้ำผิวดิน ไว้ไม่ควรเกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร⁵⁸ พบว่า ทั้ง 6 กรรมวิธี ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้

ตารางที่ 4.7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.85	1.02	1.68 ^b	0.68 ^c
2. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.84	0.97	1.44 ^c	0.52 ^c
3. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.92	0.80	0.72 ^d	0.46 ^c
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.94	1.75	2.21 ^a	1.95 ^a
5. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.81	1.49	1.86 ^b	1.54 ^b
6. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.86	1.16	1.71 ^b	1.46 ^b

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฟัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.1.8 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ

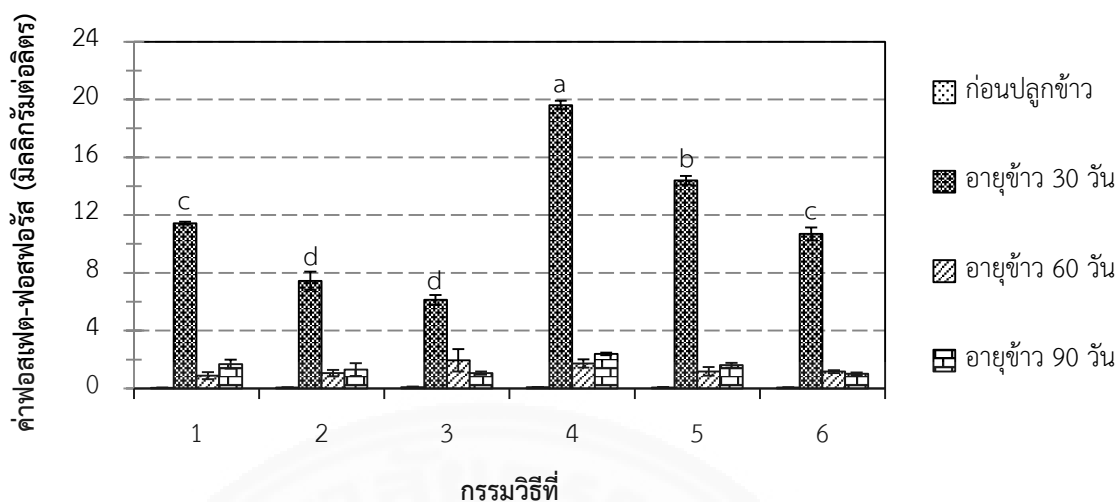
ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำในแปลงนาข้าว แสดงดังในตารางที่ 4.8 พบว่า ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำก่อนปลูกข้าว ค่าที่วัดได้มีค่าอยู่ในพิสัย 0.03-0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากยังไม่มีสารใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว และภายหลังจากการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น สรุปได้ดังนี้

ในระยะอายุข้าว 30 วัน ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 6.12-19.61 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ยและปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่ากรรมวิธีที่ 4 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าสูงสุดเท่ากับ 19.61 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นผลมาจากวิธีการหว่านและปุ๋ยฟอสเฟตที่อยู่ในปุ๋ยผสมที่ใช้กับนาข้าวในช่วงอายุนี้อาจละลายน้ำได้ดี ร่องลงมาในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 14.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 5 ละลายผ่านช่องของดินที่เกิดจากการฝังโดยผ่านกระบวนการไหลไปกับน้ำ (mass flow) ที่ท่วมขังและกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 6.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ฟอสเฟตออกนบางส่วนถูกดินตรึงไว้ และบางส่วนที่ละลายจากเม็ดปุ๋ยขึ้นสู่ผิวน้ำเบื้องบนต้องอาศัยกระบวนการแพร่ (diffusion) ปุ๋ยเคมีละลายน้ำง่ายจึงละลายในน้ำจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่านได้มากกว่าวิธีการฝัง ในส่วนของอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างสองปัจจัย ซึ่งประกอบด้วย อัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยให้สูงขึ้นร่วมกับวิธีการหว่านปุ๋ยค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเวลาในการละลายของเม็ดปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่สูงนี้จะใช้เวลาประมาณ 2 วัน เม็ดปุ๋ยจึงจะละลายหมด ดังนั้น ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำจึงมีค่าสูงในช่วงข้าวอายุนี้ และมีค่าแตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี (ภาพที่ 4.8)

ในระยะอายุข้าว 60 วัน ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 0.89-1.95 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ย และอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่กรรมวิธีที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่องลงมากรรมวิธีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1.72 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าปุ๋ยเคมีที่ใส่ในช่วงข้าวอายุนี้ คือ ปุ๋ยยูเรีย (สูตร 46-0-0) ซึ่งไม่มีส่วนประกอบของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) ในปุ๋ยเคมี จึงส่งผลทำให้ปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำที่วิเคราะห์ได้ในช่วงข้าวอายุนี้ อาจมาจากการตกค้างอยู่ในดินจากการใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้นในระยะอายุข้าว 30 วัน ในแต่ละกรรมวิธี อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ จากตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำในวันที่ 60

ของอายุข้าว มีค่าอยู่ในพิสัย 7.85-8.71 จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าต่ำลงในแต่ละกรรมวิธี เมื่อเปรียบเทียบกับในวันที่ 30 เนื่องจากรูปของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ⁴⁶ กล่าวคือ ที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 6.0 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปของ H_2PO_4^- เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-เบส ระหว่าง 7.0-11.0 อีออนหลักอยู่ในรูป HPO_4^{2-} ¹⁰⁶ ซึ่งทั้ง 2 รูปนี้ต้นข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ดี

ในระยะอายุข้าว 90 วัน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่วัดค่าได้อยู่ในพิสัย 1.02-2.39 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ยส่งผลต่อค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ในกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.39 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมากรรมวิธีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 6 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีค่าต่ำสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจเป็นเพราะว่า ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่มาจากแม่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอายุข้าว 30 วัน บางส่วนถูกดินตรึงไว้ เนื่องจากสมบัติของดินก่อนการทดลองในแปลงทดลองมีอนุภาคดินเหนียวมากที่สุด คือ ร้อยละ 59.53 มากกว่า อนุภาคทรายแป้ง (ร้อยละ 35.26) และอนุภาคดินทราย (ร้อยละ 7.90) ดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูงจะตรึงฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสได้มาก¹⁰² จึงอาจทำให้ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสบางส่วนถูกตรึงโดยดิน ต้นข้าวจึงไม่สามารถดูดดึงฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสไปใช้ได้เต็มที่ และจะสะสมอยู่ในดิน นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำก่อนการเพราะปลูกข้าว พบว่า ในแต่ละกรรมวิธี ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเป็นกรดทุกแปลง และเมื่อดินขังน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 30 ของอายุข้าว และมีค่าเป็นกรดอ่อนในทุกกรรมวิธี จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในวันที่ 90 ของอายุข้าวทั้ง 6 กรรมวิธี ถึงแม้ว่าไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีที่มีฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ดังเช่นในวันที่ 30 ของอายุข้าว แต่ยังคงพบฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในทุกกรรมวิธีในช่วงข้าวอายุนี้ (ตารางที่ 4.8)



หมายเหตุ : ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.8 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

จากตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8 พบว่า การหว่านในกรรมวิธีที่ 4 ในอายุข้าว 30 วัน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส จากทั้ง 3 ระยะของอายุข้าว พบว่า ในอายุข้าว 30 วัน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุด และสูงกว่าในระยะอายุข้าว 60 และ 90 วัน เนื่องจากในระยะต้นข้าวอายุ 30 วัน มีการใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้นสูตร 16-16-8 ซึ่งปุ๋ยสูตรนี้เป็นปุ๋ยผสมที่ได้ฟอสฟอรัสจากแม่ปุ๋ยแอมโมเนียม ฟอสเฟต (Diammonium phosphate, DAP) และแม่ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสในรูปของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ($46\% P_2O_5$) ซึ่งปุ๋ยแอมโมเนียม ฟอสเฟต (DAP) ละลายน้ำได้ดี มีค่าการละลายที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ 588 กรัมต่อลิตร¹⁰⁷ และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิของน้ำจากตารางที่ 4.1 ในวันที่ 30 ของอายุข้าว ค่าอุณหภูมิของน้ำทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าอยู่ในพิสัย 25.80-28.90 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงขึ้นตามการได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ มีส่วนช่วยส่งเสริมการละลายของปุ๋ยเคมีได้ดีจึงส่งผลให้ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าสูงตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่าน ซึ่งแตกต่างจากในอายุข้าว 60 และ 90 วัน มีการใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) เพื่อเร่งการแตกกอ และการสร้างเมล็ด จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในวันที่ 30 ของอายุข้าว ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำจึงมีค่าสูงที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Al Shami, Che Salmah, Siti Szizah, และ Abu Hassan⁷⁰ พบว่า ปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำนั้นจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตของข้าว เนื่องจากอยู่ในช่วงของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวและมีค่าต่ำลงในช่วง

ท้ายของการเจริญเติบโต เนื่องจากต้นข้าวได้ดูดดึงฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสจากปุ๋ยไปใช้และในขณะเดียวกันเป็นผลมาจากระดับน้ำในแปลงนาข้าวที่ลดลงและถูกดินตรึงไว้

ตารางที่ 4.8 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.03	11.43 ^c	0.89	1.68
2. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.05	7.44 ^d	1.06	1.31
3. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.08	6.12 ^d	1.95	1.07
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.07	19.61 ^a	1.72	2.39
5. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.06	14.40 ^b	1.18	1.61
6. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.05	10.70 ^c	1.17	1.02

หมายเหตุ :

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝั่ง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.2 คุณภาพดินในนาข้าว

การศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินในนาข้าวได้นำดินในแปลงนาข้าวทดลองไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินก่อนการปลูกข้าว โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์ดินตามชนิดของพืชที่ทำการเพาะปลูกข้าว พบว่า จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 25¹⁶ เนื้อดินประกอบด้วยอนุภาค ดินเหนียว ทรายแป้ง และดินทราย คือร้อยละ 59.53, 35.26 และ 7.90 ตามลำดับ จัดเป็นดินเหนียวเกิดจากตะกอนชะมาทับถมบนหินตะกอนเนื้อละเอียด พบในส่วนต่ำของพื้นผิวของการกลีบบนผิวดิน สภาพพื้นที่ราบเรียบมีความลาดเทร้อยละ 0-2 การระบายน้ำเลวและการไหลบ่าของน้ำผิวดินช้า นอกจากนั้นการซึมผ่านของน้ำปานกลางในดินบนและช้าในดินล่าง ใช้สำหรับทำนา ลักษณะและสมบัติของดินเป็นดินตื้นถึงชั้นลูกรัง ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลแก่หรือสีแดงปนเหลือง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 1.01 อยู่ในเกณฑ์ระดับต่ำ²¹ ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเท่ากับ 5.58 เป็นกรดอ่อน และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) เท่ากับ 19.48 เซนติโมลต่อกิโลกรัม จัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ระดับต่ำ

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-เบส ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันหรือรีดอกซ์โพเทนเชียล ค่าอินทรีย์วัตถุ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว หลังจากมีการใส่ปุ๋ยในแปลงทดลองนาข้าวในแต่ละครั้งไปแล้ว 2 วัน ผลการศึกษาดังนี้

4.2.1 ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน

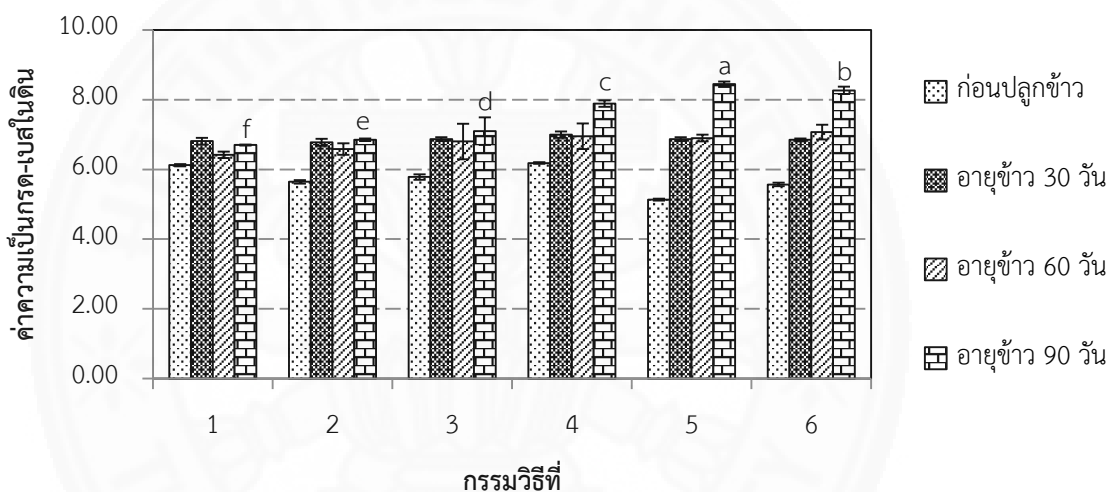
ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน แสดงดังตารางที่ 4.9 มีความสำคัญในแต่ละช่วงเวลาต่อการเจริญเติบโตของข้าว เนื่องจากค่าความเป็นกรด-เบสมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน จากการศึกษาค่าความเป็นกรด-เบสในดินของทุกแปลง พบว่า ระยะก่อนการเพาะปลูกข้าวในแต่ละแปลง ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าอยู่ในพิสัย 5.13-6.18 โดยในแปลงที่ 4 ค่าความเป็นกรด-เบสในดินมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.18 รองลงมาในแปลงที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.12 และในแปลงที่ 5 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.13 ทั้งนี้อาจเนื่องจากสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของชุดดินเดิม ซึ่งเนื้อดินด้านบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียว มีการระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ และมีค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 4.50-6.00 ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มสูงขึ้นหลังจากมีการใส่ปุ๋ยไปแล้วตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ในระยะอายุข้าว 30 วัน พบว่า อัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากดินในกรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 ซึ่งใช้อัตราปุ๋ยสูงกว่ากรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 อาจได้สัมผัสกับเม็ดปุ๋ยซึ่งบริเวณที่ใกล้เม็ดปุ๋ยจะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันวิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยที่ใช้กับวิธีการใส่ปุ๋ยส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสในแต่ละกรรมวิธีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะเมื่อปุ๋ยแพร่ไปในดินความเป็นกรด-เบสของดินจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากดินมีภาวะบัฟเฟอร์และอิออนของธาตุอาหารจากปุ๋ยถูกดินตรึงไว้ โดยที่ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าอยู่ในพิสัย 6.78-6.99 กรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 6.99 รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 3 และ 5 มีค่าเท่ากับ 6.87 และในกรรมวิธีที่ 2 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 6.78 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-เบส ก่อนปลูกข้าวในแต่ละกรรมวิธี พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี สอดคล้องกับคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา²⁸ ได้กล่าวไว้ว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของดินจะเปลี่ยนแปลงทันทีในวันแรก ที่มีน้ำขัง หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2-3 ค่าความเป็นกรด-เบสของดินจะกลับสูงขึ้นจนถึงระดับที่ความเป็นกรด-เบสที่จุดๆ หนึ่งที่ใกล้เป็นกลางจึงหยุด และถ้าไม่มีปัจจัยอื่นจากภายนอกมาเกี่ยวข้องจะรักษาระดับนั้นเท่าที่ดินยังขังน้ำอยู่

ในระยะอายุข้าว 60 วัน เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย และอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะในช่วงข้าวอายุนี้รากข้าวดูดดึงแอมโมเนียมอิออนไปใช้ประโยชน์เพื่อเร่งการแตกกอของข้าวและถูกดินตรึงไว้เช่นเดียวกับในอายุข้าว 30 วันโดยค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าอยู่ในพิสัย 6.42-7.07 สอดคล้องกับทัศนีย์ อัดตะนันท์²⁴ ได้กล่าวไว้ว่า สำหรับดินนาข้าว หลังจากขังน้ำไปหลายสัปดาห์ ค่าความเป็นกรด-เบสของดินจะมีค่าคงที่อยู่ระหว่าง 6.50-7.00 ในขณะที่กรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 7.07 เป็นผลมาจากการฝังปุ๋ยเนื่องจากดินบริเวณที่สัมผัสกับเม็ดปุ๋ยจะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้น รองลงมาในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 6.95 และในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.42 ซึ่งเป็นผลมาจากวิธีการหว่านปุ๋ยเนื่องจากปุ๋ยได้ละลายในน้ำแล้วจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำมีค่าสูงขึ้นในตารางที่ 4.2

ในระยะอายุข้าว 90 วัน เมื่อพิจารณาอัตราปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า เมื่อใช้อัตราปุ๋ยที่สูงขึ้นในกรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 ค่าความเป็นกรด-เบสของดินจะมีค่าสูงขึ้นซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีที่ 1, 2 และกรรมวิธีที่ 3 ในขณะเดียวกัน เมื่อใช้วิธีการหว่าน การฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่า เมื่อใช้วิธีการฝังค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่าน ทั้งนี้เนื่องจากดินได้สัมผัสกับ

บริเวณที่มีการฝังปุ๋ยจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่ากรรมวิธีการหว่าน นอกจากนี้ อาจเนื่องจากการมีระดับน้ำท่วมขังที่ 10 เซนติเมตร ทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์ในกลุ่ม Anaerobic bacteria มีกิจกรรมสูงขึ้น เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เกิดสารประกอบไบคาร์บอเนต จึงทำให้ค่าความเป็น กรด-เบส ของดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้น¹⁰⁸ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการ ใส่ปุ๋ย ยังพบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย กล่าวคือ ค่าความเป็นกรด-เบส ทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 8.44 รองลงมากรรมวิธีที่ 6 มีค่าเท่ากับ 8.27 และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.70 (ตารางที่ 4.9)



ภาพที่ 4.9 ค่าความเป็นกรด-เบสในดินในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการ เจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมทั้ง 3 ระยะของการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามระยะการ เจริญเติบโตของข้าว พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าอยู่ในพิสัย 6.42-8.44 โดยเฉพาะในช่วงต้นข้าว อายุ 90 วัน ค่าความเป็นกรด-เบสจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังปุ๋ยเคมี คือในกรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าความเป็นกรด-เบสสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับ Shan, He, Chan, Huang และ Wang¹⁰⁹ ที่พบว่า ความเป็นกรด-เบสของดินมีค่าเพิ่มขึ้นใน 3 วันหลังจากการใส่ปุ๋ยเคมี ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปุ๋ยยูเรีย ที่ฝังลงไปดินและในดินมีความชื้นจึงละลายในสารละลายดินแล้วได้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้น ดินในบริเวณรอบๆ ที่มีเม็ดปุ๋ยจึงมีสภาพเป็นเบสมากขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่ การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-เบสจะเกิดขึ้นชั่วขณะในบริเวณที่ดินสัมผัสกับเม็ดปุ๋ยเท่านั้น¹⁰²

ตารางที่ 4.9 ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน			
	ก่อนปลูกข้าว	ข้าวอายุ 30 วัน	ข้าวอายุ 60 วัน	ข้าวอายุ 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	6.12	6.81	6.42	6.70 ^f
2. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	5.64	6.78	6.58	6.85 ^e
3. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	5.78	6.87	6.80	7.10 ^d
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	6.18	6.99	6.95	7.89 ^c
5. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	5.13	6.87	6.90	8.44 ^a
6. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	5.57	6.85	7.07	8.27 ^b

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฟัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.2.2 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน

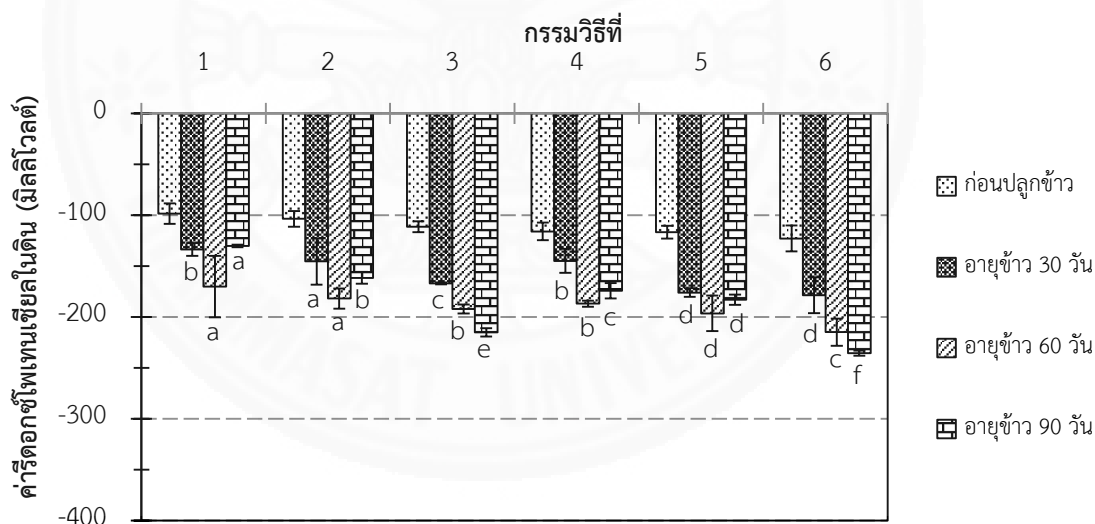
ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล พบว่า ในช่วงก่อนการเพาะปลูกข้าว ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินมีค่าอยู่ในพิสัย -123.00 มิลลิโวลต์ ถึง -98.50 มิลลิโวลต์ โดยพบว่าในแปลงที่ 1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ -98.50 มิลลิโวลต์ รองลงมาคือในแปลงที่ 2 มีค่าเท่ากับ -103.70 มิลลิโวลต์ แปลงที่ 6 มีค่า

ต่ำสุดโดยมีค่าเท่ากับ -123.00 มิลลิโวลต์ เนื่องจากเมื่อดินนามีน้ำท่วมขังจะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นในดินและส่งผลให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) จะมีค่าลดลง จึงส่งผลทำให้ระยะก่อนการปลูกข้าวในแต่ละแปลง ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล มีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม ในช่วงของการเพาะปลูกข้าวสามารถสรุปได้ดังนี้

ในระยะอายุข้าว 30 วัน พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อาจเป็นไปได้ว่าในดินที่มีน้ำขังในแต่ละกรรมวิธีการแพร่กระจายของออกซิเจนจากบรรยากาศลงไปในดินได้น้อยลง ออกซิเจนที่มีอยู่เดิมในดินถูกจุลินทรีย์ดินใช้ไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ดินอยู่ในสภาวะการขาดออกซิเจนส่งผลให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินมีค่าต่ำลงและมีค่าเป็นลบในแต่ละกรรมวิธีจึงส่งผลให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ การควบคุมระดับน้ำในแปลงนาข้าวทดลองไว้ที่ระดับ 10 เซนติเมตร ในแต่ละกรรมวิธี อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) ของดิน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อดินขาดออกซิเจน ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว¹¹⁰ โดยในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ -133.70 มิลลิโวลต์ รองลงมาในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ -144.93 มิลลิโวลต์ และในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ -178.80 มิลลิโวลต์ นอกจากนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินนามีน้ำขังนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในดิน จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยมีอิทธิพลร่วมกันที่จะส่งผลให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลแตกต่างกัน จึงเป็นผลให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในอายุข้าว 30 วัน ทั้ง 6 กรรมวิธี ส่งผลให้ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง (-100 ถึง -300 มิลลิโวลต์)

ในระยะอายุข้าว 60 วัน ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน มีค่าอยู่ในพิสัย -215.00 ถึง -170.00 มิลลิโวลต์ เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ -170.00 มิลลิโวลต์ รองลงมาในกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเท่ากับ -183.20 มิลลิโวลต์ และในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าต่ำสุด ซึ่งเท่ากับ -215.00 มิลลิโวลต์ เมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละกรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2 อย่างไรก็ตาม ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินในอายุข้าว 60 วัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Rostaminia, Mahmoodi, Gol Sefidi, Pazira, Kafae¹¹¹ ที่พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในนาข้าวจะมีค่าลดลงตามระดับความลึกของดินและน้ำที่ท่วมขังในนาข้าว เนื่องจากการที่มีระดับน้ำที่ท่วมขังสูงจะส่งผลทำให้เกิดสภาวะการขาดออกซิเจนอย่างรวดเร็วในดินและเกิดปฏิกิริยารีดักชันในดินนามีน้ำขัง

ในระยะอายุข้าว 90 วัน ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินมีค่าอยู่ในพิสัย -235.53 ถึง -130.00 มิลลิโวลต์ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ยในนาข้าวส่งผลต่อค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงสุด คือ -130.00 มิลลิโวลต์ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเท่ากับ -161.00 มิลลิโวลต์ โดยที่กรรมวิธีที่ 1 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 2, 3, 4, 5, และกรรมวิธีที่ 6 ในขณะที่กรรมวิธีที่ 4 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ 1, 2, 3, 5 และ 6 นอกจากนี้ กรรมวิธีที่ 6 ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -235.53 มิลลิโวลต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับทุกกรรมวิธี ทั้งนี้ ยังพบว่า การลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินในแต่ละกรรมวิธีนั้น อาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิเนื่องจากที่อุณหภูมิ 25.0-35.0 องศาเซลเซียส เป็นช่วงของอุณหภูมิที่ส่งเสริมให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินลดลงอย่างรวดเร็ว⁹⁴ ดังนั้น จะพบว่า จากตารางที่ 4.1 ในอายุข้าว 90 วัน จากทั้ง 6 กรรมวิธี ค่าอุณหภูมิน้ำในแต่ละกรรมวิธีมีค่าอยู่ในพิสัย 26.80-27.70 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีอิทธิพลต่อค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลทำให้การลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินในแต่ละกรรมวิธีมีค่าแตกต่างกัน (ภาพที่ 4.10 และตารางที่ 4.10)



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.10 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

เมื่อพิจารณาทั้ง 3 ระยะของอายุข้าวทั้ง 6 กรรมวิธี พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน มีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับระยะก่อนการปลูกข้าว ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากในดินมีน้ำขังทั้ง 6 กรรมวิธี เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันในดิน ซึ่งสอดคล้องกับพัชรี แสนจันทร์, โสภณฤทธิ์ โร และเทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์¹¹⁰ ศึกษาผลของซัลเฟตและยูเรียต่อการผลิตก๊าซมีเทนในดินนาภายใต้สภาพการบ่มดินในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลหลังการขังน้ำของทุกตำรับจะลดลงอย่างรวดเร็วจาก 0 ถึง -100 มิลลิโวลต์ ภายในระยะเวลา 2 วัน และลดลงต่ำสุดเท่ากับ -450 มิลลิโวลต์หลังจากที่ขังน้ำได้ที่ 10 วัน และพบว่า ในกรรมวิธีที่มีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร ในอายุข้าว 90 วัน ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล มีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 6 และกรรมวิธีที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ -235.53 มิลลิโวลต์ และ -215.20 มิลลิโวลต์ ทั้งนี้ยังเป็นผลมาจากระดับน้ำในแปลงนาข้าวซึ่งส่งผลต่อการลดลงของออกซิเจนในน้ำและดินจึงส่งผลต่อการลดลงของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล¹¹² อย่างไรก็ตาม ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินจากทั้ง 6 กรรมวิธี ส่งผลให้ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง (-100 ถึง -300 มิลลิโวลต์) แต่ไม่ส่งผลเสียโดยตรงต่อต้นข้าวหากยังคงมีธาตุอาหารที่จำเป็นเพียงพอ นอกจากนี้ ในดินนาที่ขังน้ำ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล จะมีค่าลดลงและจะคงที่ในช่วง +200 ถึง -300 มิลลิโวลต์ นอกจากนั้นแล้ว ต้นข้าวจะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล มีค่าต่ำถึง -200 มิลลิโวลต์²⁴

ตารางที่ 4.10 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (มิลลิโวลต์) (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (มิลลิโวลต์)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	-98.50	-133.70 ^a	-170.00 ^a	-130.00 ^a
2. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	-103.70	-145.50 ^b	-183.23 ^a	-161.00 ^b
3. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	-111.43	-167.13 ^c	-192.30 ^b	-215.20 ^e
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	-116.00	-144.93 ^b	-187.00 ^b	-174.33 ^c
5. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	-116.73	-176.10 ^d	-196.50 ^c	-183.00 ^d
6. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	-123.00	-178.80 ^d	-215.00 ^d	-235.53 ^f

หมายเหตุ :

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฟัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.2.3 ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน

จากผลการศึกษาค่าอินทรีย์วัตถุในดินโดยเก็บดินที่ความลึก 20 เซนติเมตร แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าระยะก่อนการปลูกข้าว ค่าอินทรีย์วัตถุ มีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 0.99-1.26

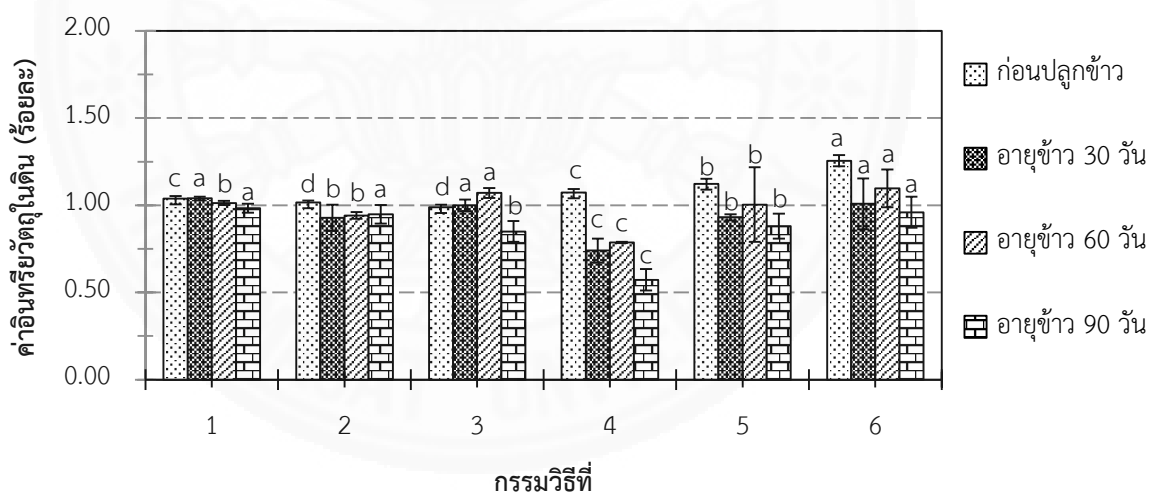
และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการย่อยสลายของเศษหญ้าและฟางข้าวในช่วงของการไถเพื่อเตรียมแปลงปลูก อย่างไรก็ตาม แม้ว่าค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ทั้ง 6 แปลง จะมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก่อนการใส่ปุ๋ยเคมีแต่เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ระดับอินทรีย์วัตถุในดินแล้วอยู่ในเกณฑ์ต่ำ และจัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำใกล้เคียงกันในแต่ละแปลง และในระยะของการเพาะปลูกข้าว สรุปได้ดังนี้

ในระยะอายุข้าว 30 วัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงที่สุด คือร้อยละ 1.04 รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 6 เท่ากับร้อยละ 1.01 และในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.74 โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 1, 3 และ 6 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มอักษร a) อาจเนื่องจากค่าอินทรีย์วัตถุในช่วงข้าวอายุนี้ได้จากการสะสมของค่าอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินและการย่อยสลายของเศษหญ้าและฟางข้าวก่อนการเพาะปลูกข้าว การใส่ปุ๋ยในวันที่ 28 ของอายุข้าว จึงอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในกรรมวิธีที่ 1, 3 และกรรมวิธีที่ 5 แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกรรมวิธีที่ 2, 4 และกรรมวิธีที่ 5 อาจเป็นผลจากค่าอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่เดิมในแต่ละแปลงในระยะก่อนการปลูกข้าวซึ่งมีค่าแตกต่างกันอยู่แล้วจึงอาจส่งผลต่อเนื่องไปในกรรมวิธีที่ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 6 (ตารางที่ 4.11)

ในระยะอายุข้าว 60 วัน ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 0.79-1.10 พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงที่สุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.10 กรรมวิธีที่ 4 มีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 0.79 เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยร่วมกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า อินทรีย์วัตถุในดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อาจเป็นเพราะในช่วงข้าวอายุนี้เป็นช่วงของการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ รวมถึงการแตกกอของต้นข้าว การเนาเปียของต้นข้าวและเศษใบข้าวจากในระยะอายุข้าว 30 วัน จึงอาจส่งผลให้ค่าอินทรีย์วัตถุมีค่าแตกต่างกัน นอกจากนี้ ในช่วงอายุข้าวนี้มีการใช้ปุ๋ยยูเรีย ซึ่งในสภาพธรรมชาติการใช้ยูเรียในนาข้าวจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว และเพิ่มการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์¹¹⁰ จึงอาจส่งผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุได้ เมื่อพิจารณาแต่ละกรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่ 1, 2 และกรรมวิธีที่ 5 ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มอักษร b เหมือนกัน) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3, 4 และกรรมวิธีที่ 6 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อาจเป็นเพราะรากข้าวดูดตั้งไนโตรเจนจากการสลายของอินทรีย์วัตถุไปใช้ได้แตกต่างกันจึงอาจส่งผลต่อค่าอินทรีย์วัตถุในดินแตกต่างกัน (อักษร a และ c)

ในระยะอายุข้าว 90 วัน พบว่า ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 0.57-0.98 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า กรรมวิธีที่

1, 2 และกรรมวิธีที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a) แต่ในขณะที่เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 5 โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ 1 ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 0.98 รองลงมาในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.96 และในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าต่ำสุด เท่ากับร้อยละ 0.57 อาจเนื่องจากกรรมวิธีที่ 4 ใช้วิธีการหว่าน และปุ๋ยยูเรียที่ใช้ในช่วงข้าวอายุนี้เป็นแหล่งของไนโตรเจนที่ใช้สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินส่งผลให้ในกรรมวิธีที่ 4 ค่าอินทรีย์วัตถุจึงมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ นอกจากนั้น ค่าอินทรีย์วัตถุในช่วงอายุข้าวนี้ อาจได้มาจากการเนาเปียกของใบข้าว รวมถึงดอกข้าวที่ร่วงหล่นในแปลงในแต่ละกรรมวิธีและวัชพืชที่ตายแล้วถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จึงส่งผลให้ในแต่ละกรรมวิธีในช่วงข้าวอายุนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าแตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี รวมถึงการย่อยสลายของตอซังข้าวจากการเพาะปลูกในฤดูนาปี และในตอซังข้าวจะมีการสะสมไนโตรเจน ซึ่งจากการศึกษาของอภิวรรณ จุณินิมิ⁷⁶ ได้ศึกษาการปลูกข้าวในแปลงนาข้าวที่มีการใช้ปุ๋ยเคมี โดยใช้ปุ๋ยยูเรียพบว่า ผลของการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวในตอซัง มีค่าเท่ากับ 5.36 กิโลกรัมต่อไร่ จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.11)



หมายเหตุ : ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.11 ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าวตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

เมื่อพิจารณาทั้ง 3 ระยะของอายุข้าว ใน 6 กรรมวิธี พบว่า ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน มีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่อข้าวมีอายุมากขึ้น โดยเฉพาะในกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน แสดงให้เห็นว่า วิธีการหว่านส่งผลให้ค่าอินทรีย์วัตถุสลายไปได้มาก เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินได้รับธาตุอาหารจาก ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งเป็นส่วนช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น จึงไปย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะก่อนการ ปลูกข้าวอย่างชัดเจน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินเป็นแหล่งของธาตุอาหารหลักของข้าวที่สำคัญ คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส¹¹³ และต้นข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตในแต่ละช่วง อายุของการเติบโต นอกจากนั้น ค่าอินทรีย์วัตถุในดินก่อนการปลูกข้าว พบว่า มีค่าอินทรีย์วัตถุต่ำอยู่ แล้ว การใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวไม่ได้ส่งเสริมให้ดินมีอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นโดยตรง แต่เป็นการช่วยเพิ่มธาตุ อาหารที่จำเป็นแก่ข้าว ดังนั้น การใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวเป็นระยะเวลาติดต่อกันยาวนานเป็นอีกเหตุผล หนึ่งที่ทำให้ค่าอินทรีย์วัตถุในดินลดลงซึ่งเป็นผลให้ดินมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อต้นข้าวลดลงตามไปด้วย พบว่า ทั้ง 3 ระยะของการเจริญเติบโตของข้าว ทั้ง 6 กรรมวิธี ในกรรมวิธีที่ 4 ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมี ค่าต่ำที่สุดและต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ และผลการศึกษาขัดแย้งกับมณฑิเยร จินดา, สมศักดิ์ เหลือง ศิโรรัตน์ และเสน่ห์ ฤกษ์วีร์⁷⁵ ที่พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีไม่ทำให้ค่าอินทรีย์วัตถุในดินเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม ค่าอินทรีย์วัตถุในดินในแต่ละกรรมวิธี เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการประเมินค่าอินทรีย์วัตถุใน ดินตามวิธี Walkley และ Black พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ร้อยละ 0.5- 1.0)²¹

ตารางที่ 4.11 ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ)			
	ก่อน ปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	1.04 ^c	1.04 ^a	1.01 ^b	0.98 ^a
2. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	1.02 ^d	0.93 ^b	0.94 ^b	0.95 ^a
3. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.99 ^d	1.00 ^a	1.07 ^a	0.85 ^b
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	1.07 ^c	0.74 ^c	0.79 ^c	0.57 ^c
5. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	1.12 ^b	0.93 ^b	1.00 ^b	0.88 ^b
6. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	1.26 ^a	1.01 ^a	1.10 ^a	0.96 ^a

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฟัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.2.4 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน

ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดินก่อนการเพาะปลูกข้าว ค่าที่วัดได้ มีค่าอยู่ในพิสัย 36.40-70.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบว่าในแปลงที่ 6 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 70.67 มิลลิกรัมต่อ

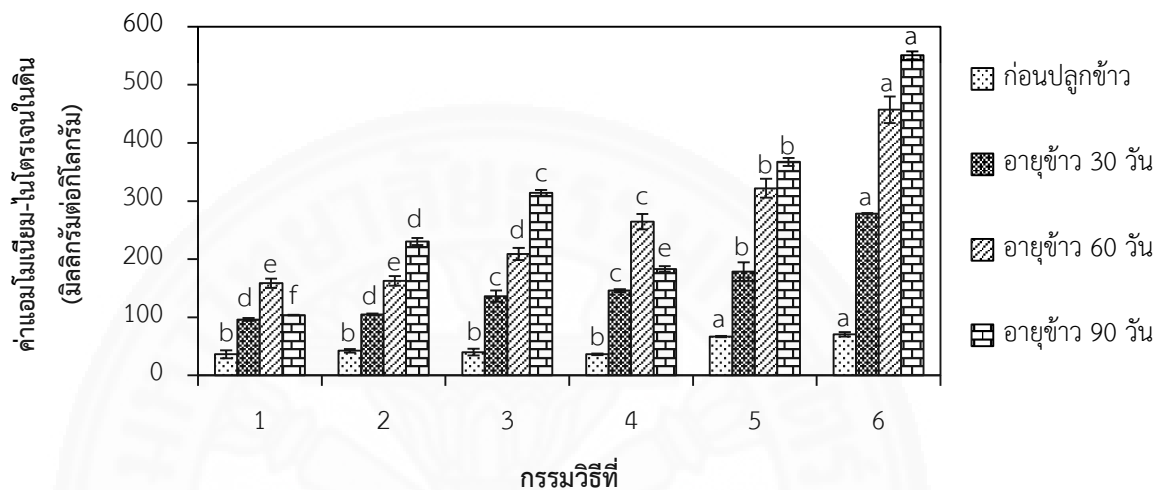
กิโลกรัม รองลงมาคือในแปลงที่ 5 มีค่าเท่ากับ 67.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในแปลงที่ 1 และแปลงที่ 4 มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงดังในตารางที่ 4.12

ในระยะอายุข้าว 30 วัน พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละกรรมวิธี ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 96.25-278.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยที่ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนจากกรรมวิธีที่ 6 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธี ในขณะที่กรรมวิธีที่ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ 1, 2, 5 และกรรมวิธีที่ 6 แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 4 นอกจากนี้ ยังพบว่า กรรมวิธีที่ 5 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่ 1-3 มีค่าต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 โดยในกรรมวิธีที่ 6 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าสูงที่สุด อาจเป็นเพราะแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ถูกดินดูดซับไว้เนื่องจากในดินส่วนใหญ่มีประจุลบและในการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร ก๊าซออกซิเจนในดินมีน้อยจึงส่งผลให้แอมโมเนียมอออนเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทอออนได้น้อยลง

ในระยะอายุข้าว 60 วัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 6 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุด เท่ากับ 458.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากแอมโมเนียมอออนจากปุ๋ยยูเรีย จะถูกดูดซับอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดินและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่อยู่ในสารละลายดิน (soil solution) และมีประจุบวกจึงถูกดินดูดซับไว้ และจะมีส่วนหนึ่งถูกตรึงอยู่ในหลืบของแร่ดินเหนียวทำให้สะสมอยู่ในดินสูงที่สุด¹⁰² เช่นเดียวกับกับในระยะอายุข้าว 30 วัน ซึ่งมีความแตกต่างกันกับทุกกรรมวิธีและในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 159.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเป็นเพราะว่าวิธีการหว่านในกรรมวิธีที่ 1 ใช้อัตราปุ๋ยที่ต่ำกว่าในกรรมวิธีที่ 4-6 และแอมโมเนียมอออนบางส่วนได้ละลายไปกับน้ำในแปลงนาแล้ว จึงส่งผลให้กรรมวิธีที่ 1 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าต่ำสุดและต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ

ในระยะอายุข้าว 90 วัน พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนของทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 550.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าแตกต่างกันกับในทุกกรรมวิธี รองลงมาคือในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 367.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเป็นได้ว่า การฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร การเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยยูเรียจะหยุดอยู่ที่แอมโมเนียมอออนและไม่เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมอออน เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลแล้วมีค่าติดลบซึ่งแสดงถึงการไม่มีออกซิเจนในดิน ทำให้ในดินขาดออกซิเจน หากดินไม่มีก๊าซออกซิเจน แอมโมเนียมอออนจาก

ปุ๋ยจะคงรูปอยู่ไม่เปลี่ยนเป็นไนเตรท⁵² ในขณะเดียวกัน ในกรรมวิธีที่ 1 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าต่ำสุด คือเท่ากับ 103.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเนื่องมาจากวิธีการหว่านปุ๋ยในกรรมวิธีที่ 1 แอมโมเนียม-ไนโตรเจน ละลายไปกับน้ำ และบางส่วนถูกสะสมในดินจึงส่งผลทำให้ในดินมีค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าต่ำ เช่นเดียวกับในระยะอายุข้าว 60 วัน



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.12 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

จากตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.12 พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน มีค่ามากในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝัง เนื่องจากวิธีการฝังโดยเฉพาะที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร โอกาสของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันมีได้น้อย เนื่องจากในชั้นดินดังกล่าวไม่มีออกซิเจน และเมื่อพิจารณาค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน พบว่า มีค่าติดลบและยิ่งติดลบมากแสดงให้เห็นว่าออกซิเจนในดินมีค่าน้อยมากหรือแทบจะไม่มีออกซิเจนเลย ปุ๋ยที่ใส่ลงไปดินจึงไม่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมกลายเป็นไนเตรทได้ จึงถูกสะสมอยู่ในดินในรูปของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนเพื่อให้ข้าวดูดตั้งไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต ในขณะเดียวกันแอมโมเนียมที่เปลี่ยนรูปมาจากปุ๋ยเคมีมีประจุบวกจึงถูกดูดซับโดยดินได้มาก เนื่องจากในดินส่วนใหญ่แล้วจะมีประจุลบ จึงพบว่าทั้ง 3 ช่วงระยะของอายุข้าวหลังการใส่ปุ๋ยเคมีโดยวิธีการฝังจึงมี

การสะสมของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนสูงกว่าในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่านและฝังลึกในดินที่ระดับ 10 เซนติเมตร ในทำนองเดียวกันวิธีการหว่านปุ๋ยลงไปบนดินโดยเฉพาะปุ๋ยยูเรียที่ใส่ลงไปในช่วงอายุข้าว 60 และ 90 วันนั้นละลายน้ำได้ง่าย และมีค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (K) 0.36-0.80 วัน⁻¹³⁴ ส่วนหนึ่งจะถูกกรากข้าวดูดโมเลกุลของยูเรียจากสารละลายดินไปใช้ได้โดยตรง และส่วนหนึ่งก็จะถูกเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ที่อยู่ในดินแปรสภาพให้กลายเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนต แต่เนื่องจากแอมโมเนียมคาร์บอเนตเป็นเกลือที่ไม่มีเสถียรภาพจึงสลายตัวต่อไปอีก ผลผลิตจากการสลายตัวของแอมโมเนียมคาร์บอเนตนั้น คือ แอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีสถานะเป็นแก๊สจึงระเหยออกไปจากดินได้ง่าย¹⁰² และทำให้ไนโตรเจนสูญหายไปจากดินมากขึ้น จึงส่งผลให้แอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่วัดค่าได้ในดินจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่าน คือ กรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 4 มีค่าน้อยตามไปด้วยซึ่งน้อยกว่าในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Gaihre et al.¹¹⁴ พบว่า วิธีการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึกของดิน 7-10 เซนติเมตร ในนาข้าวปุ๋ยไนโตรเจนจะคงอยู่ในรูปของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน เนื่องจากเป็นบริเวณที่เรียกว่า รีติวซิซัน และการแพร่กระจายของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน จะช้ากว่าบริเวณผิวดินหรือในน้ำ ดังตารางที่ 4.12

4.2.5 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน

ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ในแปลงนาข้าว พบว่า ที่ระยะก่อนการเพาะปลูกข้าวค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าอยู่ในพิสัย 0.27-0.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยทั้ง 3 ระยะของการเจริญเติบโตของข้าวหลังการใส่ปุ๋ยเคมี สามารถสรุปได้ดังนี้

ในระยะอายุข้าว 30 วัน เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ อัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นกับวิธีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าที่วัดได้มีค่าอยู่ในพิสัย 5.35-13.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า กรรมวิธีที่ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 13.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมากรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 12.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 5.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ในกรรมวิธีที่ 3 ใช้อัตราปุ๋ย 1 เท่า ซึ่งต่ำกว่าในกรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 แอมโมเนียม-ไนโตรเจน จากปุ๋ยยูเรียเปลี่ยนเป็นไนเตรทโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันได้น้อย เนื่องจากใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ซึ่งในดินน่าน้ำข้างออกซิเจนจะหมดไป อีออนที่ได้จากปุ๋ยจึงเป็นแอมโมเนียมอีออนและแปรสภาพเป็นไนเตรทได้ต่ำ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ในกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.12 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	36.40 ^b	96.25 ^d	159.45 ^e	103.96 ^f
2. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	42.47 ^b	105.08 ^d	162.83 ^e	230.42 ^d
3. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	40.13 ^b	136.33 ^c	209.17 ^d	314.23 ^c
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	36.40 ^b	146.00 ^c	264.42 ^c	183.33 ^e
5. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	67.00 ^a	178.92 ^b	322.02 ^b	367.33 ^b
6. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	70.67 ^a	278.37 ^a	458.50 ^a	550.67 ^a

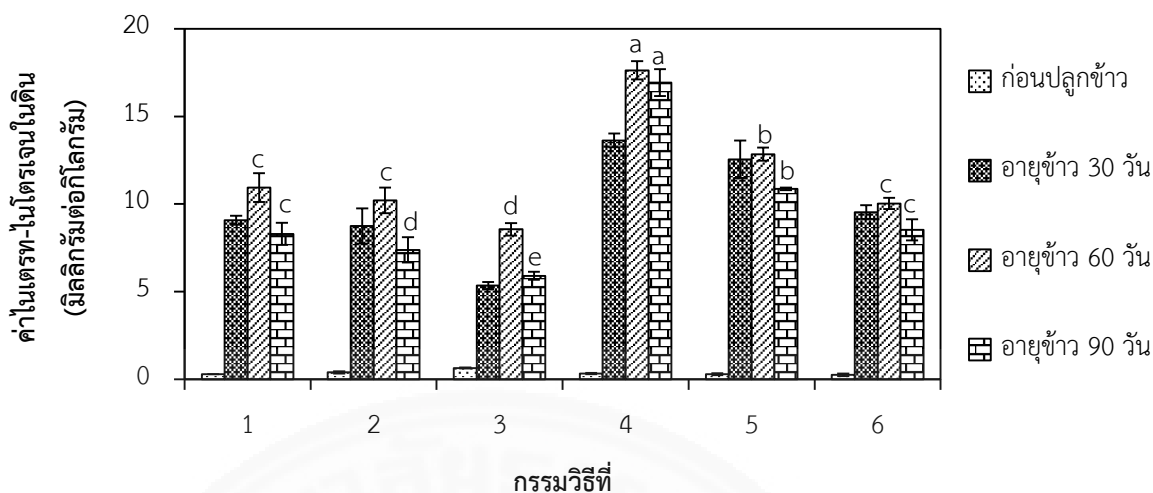
หมายเหตุ :

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฟัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ในระยะเวลาอายุข้าว 60 วัน เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธี ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 มีความแตกต่างกัน

อย่างไม่มีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ 1 และ 6 (อักษร c เดียวกัน) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 5 เมื่อพิจารณาในแต่ละกรรมวิธี ตามวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า กรรมวิธีที่ 1 กับกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่านมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าไนโตรเจน-ไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 10.94 และ 17.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะในกรรมวิธีการหว่านนั้น (กรรมวิธี 1 และ 4) บริเวณรอยต่อระหว่างน้ำกับผิวดินยังคงมีออกซิเจนอยู่ จึงเป็นผลให้แอมโมเนียมอออนเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรท-ไนโตรเจน ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 5 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะใช้อัตราปุ๋ยที่แตกต่างกันและลึกไปในดินขาดออกซิเจน ส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมอออนจากปุ๋ยยูเรียเป็นไนเตรทอออนได้แตกต่างกัน และสอดคล้องกับในกรรมวิธีที่ 3 กับกรรมวิธีที่ 6 ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อาจเนื่องจากในช่วงต้นข้าวอายุนี้ ต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตในระยะสืบพันธุ์ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดินมีค่าแตกต่างกันในกรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 6

ในระยะอายุข้าว 90 วัน เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ อัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า อัตราปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบว่า ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 5.91-16.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน มีค่าสูงสุด เท่ากับ 16.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ เกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมอออน และการย่อยสลายสารอินทรีย์จากเศษใบข้าวและดอกข้าวที่ร่วงหล่นในดินของแบคทีเรียจำพวกที่ใช้ ออกซิเจน ซึ่งธาตุอาหารพืชประเภทไนเตรทในดินตะกอนที่มีน้ำขังจะพบมากในชั้นของดินที่มีการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนบริเวณใกล้ผิวดินเท่านั้น⁹³ จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุดและสูงกว่าในกรรมวิธีอื่นๆ



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.13 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

อย่างไรก็ตาม จากภาพที่ 4.13 และตารางที่ 4.13 สรุปได้ว่า ช่วงอายุข้าว 60 วัน ในกรรมวิธีที่ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 17.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยวิธีการหว่าน เป็นเพราะแอมโมเนียม-ไนโตรเจนถูกออกซิไดส์ (oxidized) ได้ง่ายและค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าต่ำสุดอยู่ในอายุข้าว 90 วัน จากกรรมวิธีที่ 3 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 5.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า กรรมวิธีการฝังโอกาสทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมมีได้น้อยกว่ากรรมวิธีการหว่าน แอมโมเนียมที่ได้จากการแปรสภาพของปุ๋ยที่ใส่ในนาข้าวจึงไม่ถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท (NO_3^-) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันในดินนาข้าวภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว ในขณะที่เดียวกัน กรรมวิธีการหว่านปุ๋ยโอกาสที่จะทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียมมีมากกว่าจึงทำให้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนจากกรรมวิธีการฝังในกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำ และเมื่อพิจารณาค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดินจากตารางที่ 4.12 กับค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน พบว่า แอมโมเนียมในดินมีค่าสูงแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมในดินไปเป็นไนเตรทมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือแปรสภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระบวนการไนตริฟิเคชันและภายในระยะเวลา 2 วัน แอมโมเนียมในดินจึงยังแปรสภาพไปเป็นไนเตรทได้น้อย สอดคล้องกับการศึกษาของ Yang, Gang, Jing, Bin, Hua¹¹⁵ ซึ่งพบว่าในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเรี่ยในนาข้าว ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุดในวันที่ 4 หลังจากมีการใส่ปุ๋ย

และมีน้ำท่วมขัง เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของยูเรียไปเป็นแอมโมเนียมอออนและไนเตรทอออนอย่างสมบูรณ์ในดินใช้เวลาประมาณ 7-14 วัน²⁸

ตารางที่ 4.13 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.30	9.08	10.94 ^c	8.30 ^c
2. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.40	8.75	10.21 ^c	7.39 ^d
3. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.65	5.35	8.56 ^d	5.91 ^e
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.33	13.63	17.62 ^a	16.93 ^a
5. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.30	12.55	12.85 ^b	10.86 ^b
6. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.27	9.54	10.03 ^c	8.53 ^c

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝั่ง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสกับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล และค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน

ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-เบสกับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินจากตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 สามารถนำค่าที่วิเคราะห์ได้แสดงความสัมพันธ์กับค่าไนเตรท-ไนโตรเจน จากสมการของเนินส์ (Nernst equation) ในสมการที่ 2.14 โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (E^0) จาก Standard half reaction ของไนเตรท จากสมการที่ 2.17 ค่าที่วัดได้จากตารางที่ 4.9 ตารางที่ 4.10 และค่าไนเตรท-ไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ จากตารางที่ 4.7 ในแต่ละกรรมวิธี เพื่อหาความสัมพันธ์ ได้ดังสมการ

$$E_h = E^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{[\text{NO}_2^-]^b}{[\text{NO}_3^-]^a} - 0.059 \frac{m}{n} \text{pH}$$

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสกับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลที่มีความสัมพันธ์กับไนเตรทในสารละลายดินทั้ง 6 กรรมวิธี จากสมการข้างต้น ซึ่งมาจากสมการของเนินส์ (Nernst equation) จะได้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน จากการคำนวณ ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) จากการคำนวณตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

กรรมวิธีที่	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน จากการคำนวณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ก่อน ปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	5.30	5.59	7.41	5.11
2. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	6.43	5.23	7.43	5.74
3. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	6.45	6.09	7.04	7.02
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	5.81	5.44	5.66	4.67
5. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	7.87	6.67	8.02	3.78
6. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	7.23	6.69	7.02	5.87

4.2.7 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน

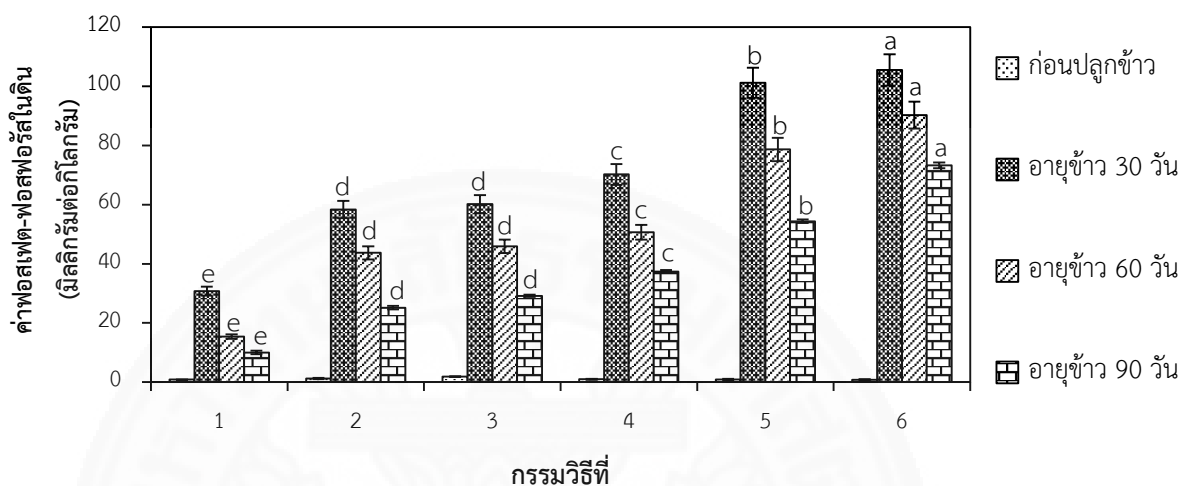
ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินในแปลงนาข้าว พบว่า ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินก่อนการปลูกข้าว มีค่าอยู่ในพิสัย 0.82-1.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบว่า ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินในแต่ละแปลงมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และในช่วงระยะของการปลูกข้าวค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน สรุปลงได้ดังนี้

ในระยะอายุข้าว 30 วัน เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ อัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่วัดได้อยู่ในพิสัย 30.74-105.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยให้สูงขึ้น การสะสมของฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย โดยเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละกรรมวิธี ในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 105.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร รองลงมาในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 101.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 30.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากฟอสเฟตอื้อนบางส่วนจากวิธีการหว่านละลายในน้ำแล้วจึงส่งผลให้ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่อยู่ในสารละลายดินจากกรรมวิธีนี้มีค่าต่ำที่สุด

ในระยะอายุข้าว 60 วัน พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัย ซึ่งประกอบด้วย อัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยและอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยส่งผลต่อค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 15.39-90.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 90.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมากรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 78.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 15.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้อาจเนื่องจากการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร ในกรรมวิธีที่ 6 อาจส่งผลทำให้รากพืชไม่สามารถดูดดึงฟอสเฟตอื้อนไปใช้ได้เต็มที่เนื่องจากอยู่ลึกกว่าที่รากข้าวจะดูดไปใช้นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบสของดินในวันที่ 60 ของอายุข้าว พบว่ามีค่าเป็นกรดอ่อนทุกกรรมวิธีจึงอาจส่งผลต่อการตรึงฟอสเฟตอื้อนในดินทำให้ฟอสเฟตอื้อนสะสมอยู่ในดินปริมาณสูงจากในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝัง (ตารางที่ 4.15)

ในระยะอายุข้าว 90 วัน พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัย คือ อัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ย และอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ยส่งผลต่อค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าที่วัดได้อยู่ในพิสัย 10.03-73.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า กรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 73.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 54.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 10.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากต้นข้าวได้นำฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่ใส่ในวันที่ 30 ไปใช้ในการสร้างรวงและเมล็ดจึงส่งผลทำให้กรรมวิธีที่ 1 มีค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสต่ำสุด นอกจากนี้ อาจเป็นเพราะว่า ไนโตรเจนที่มา

จากปุ๋ยยูเรียมีอันตรกิริยาเชิงบวกกับฟอสฟอรัสเนื่องจากการเพิ่มไนโตรเจนในดินจะส่งเสริมให้รากข้าวดูดฟอสฟอรัสได้มากขึ้น เพราะไนโตรเจนจะช่วยให้รากข้าวพัฒนาเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดและเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัส⁹² (ตารางที่ 4.15)



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.14 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน)

จากภาพที่ 4.14 และตารางที่ 4.15 พบว่า ทั้ง 3 ระยะของอายุข้าว การใส่ปุ๋ยโดยวิธีการฝังค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินมีค่าสูงสุด อาจเป็นเพราะว่า ปุ๋ยเคมี (สูตร 16-16-8) เมื่อใส่ลงไปดินเม็ดปุ๋ยมีการดูดซับน้ำและเกิดการละลายทำให้เกิดกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ที่มีอยู่ในเม็ดปุ๋ยซึ่งกรดฟอสฟอริกจากปุ๋ยจะทำให้เกิดการละลายของ เหล็ก อลูมิเนียม และแมงกานีสในดินในแปลงนาข้าว สืบเนื่องจากดินในนาข้าวอยู่ในชุดดินเพ็ญ¹⁶ ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียว มีอนุภาคดินเหนียวถึงร้อยละ 59.53 ถูกดินตรึงไว้ จึงสะสมอยู่ในดินจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังมากกว่าวิธีการหว่านและเมื่อเปรียบเทียบค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสทั้ง 3 ระยะของอายุข้าว จะพบว่า ในระยะอายุข้าว 30 วัน มีค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินสูงสุด และสูงกว่าในระยะ 60 และ 90 วัน ทั้งนี้ เนื่องจากในระยะข้าวอายุ 30 วัน มีการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-16-8 เป็นปุ๋ยผสมที่ได้ฟอสฟอรัสจากแม่ปุ๋ยแคป (DAP) ซึ่งเป็นแม่ปุ๋ยที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสในรูปของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ($46\%, P_2O_5$) จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในอายุข้าว 30 วัน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินมีค่าสูงสุด ซึ่งต่างจากในวันที่ 60 และ 90 ที่มีการใส่

ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) เพียงชนิดเดียว เพื่อเร่งการแตกกอ และการสร้างรวงและเมล็ด ซึ่งไม่มีฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบในปุ๋ยดังกล่าว จึงส่งผลให้ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินลดลงต่ำกว่าในระยะเวลาอายุข้าว 30 วัน

ตารางที่ 4.15 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว, อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร

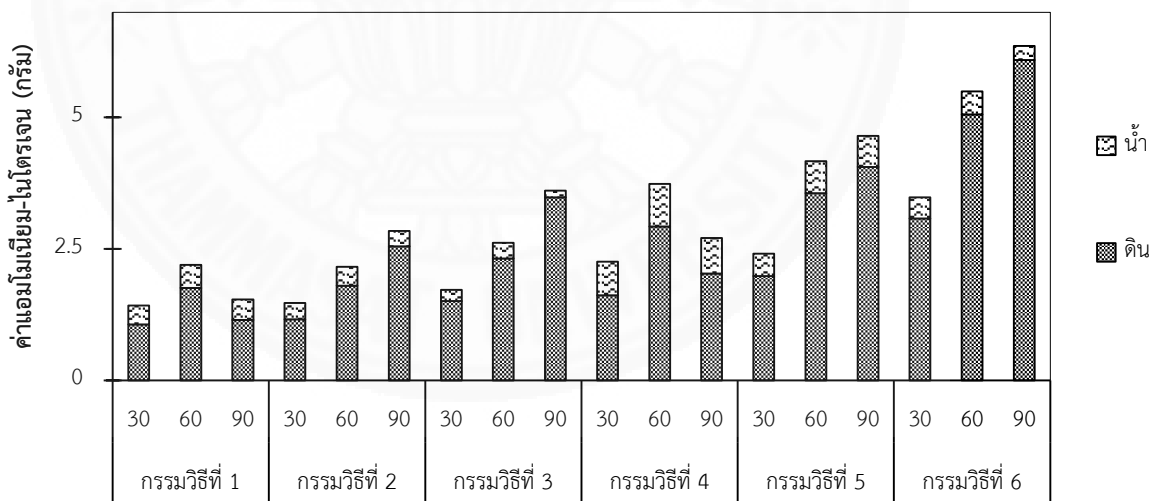
กรรมวิธีที่	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ก่อนปลูกข้าว	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	0.92	30.74 ^e	15.39 ^e	10.03 ^e
2. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	1.23	58.38 ^d	43.70 ^d	25.20 ^d
3. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	1.91	60.23 ^d	45.90 ^d	29.17 ^d
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	1.02	70.25 ^c	50.67 ^c	37.40 ^c
5. ฟัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.92	101.22 ^b	78.76 ^b	54.37 ^b
6. ฟัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	0.82	105.53 ^a	90.30 ^a	73.30 ^a

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฟัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฟัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

4.3 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำและดินนาข้าว

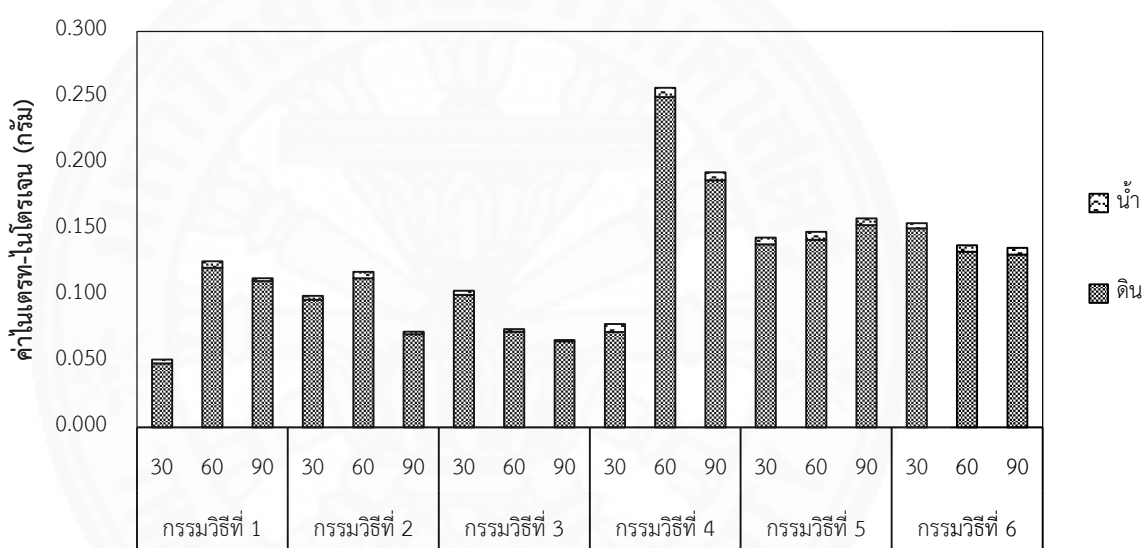
จากการวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำและดินนาข้าวหลังจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีแล้ว 2 วัน คือใส่ปุ๋ยวันที่ 28, 58 และ 88 ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว เก็บน้ำและดินในวันที่ 30, 60 และ 90 คำนวณค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่ละลายในน้ำ โดยพบว่า กรรมวิธีที่ 1 และ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าสูงในทั้ง 3 ระยะของอายุข้าว รองลงมาในกรรมวิธีที่ 2 และ 5 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร และมีค่าต่ำจากกรรมวิธีที่ 3 และ 6 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ในขณะเดียวกัน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนหลังจากมีการใส่ปุ๋ยแล้ว 2 วัน พบว่าสะสมอยู่ในน้ำจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่าน ซึ่งในระยะอายุข้าว 60 วัน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำมีค่าสูงสุดจากกรรมวิธีที่ 4 รองลงมาจากกรรมวิธีที่ 5 นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในแต่ละกรรมวิธีตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวในดินและน้ำจะแปรผกผันต่อกัน กล่าวคือ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำมีค่าสูงสุดจากกรรมวิธีการหว่าน การฝังที่ 10 และ 20 เซนติเมตร ในขณะเดียวกัน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดินจะถูกสะสมอยู่ในดินและมีค่าสูงสุดจากกรรมวิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร สูงกว่า 10 เซนติเมตร และวิธีการหว่าน ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของอัตราความเข้มข้นของปุ๋ยเคมีและวิธีการใส่ปุ๋ย แสดงดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (กรัม) ในน้ำและดินในอายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน หลังการใส่ปุ๋ยเคมีในแต่ละครั้งแล้ว 2 วัน

4.4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำและดินนาข้าว

วิเคราะห์ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำและดินนาข้าวหลังจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีแล้ว 2 วัน ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ทั้ง 3 ระยะของการเจริญเติบโตของต้นข้าว พบว่า ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำจากกรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงกว่าทุกกรรมวิธีและพบการสะสมของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดินสูงสุดจากกรรมวิธีที่ 4 เช่นเดียวกัน คือ ในระยะอายุข้าว 60 และ 90 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ กรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงกว่าในกรรมวิธีที่ 1, 2 และกรรมวิธีที่ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นของปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ยรวมถึงการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน แสดงดังภาพที่ 4.16

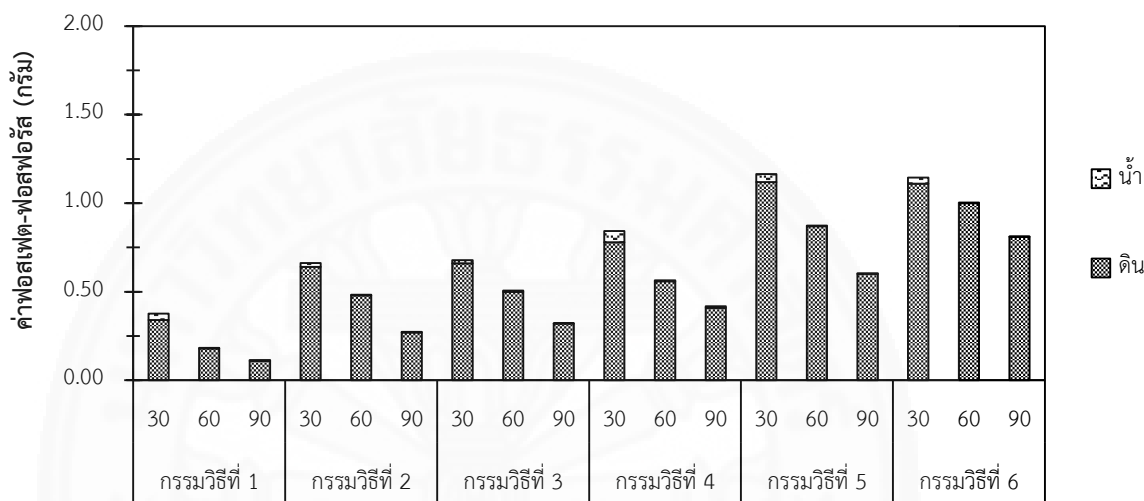


ภาพที่ 4.16 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน (กรัม) ในน้ำและดิน ในอายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน หลังการใส่ปุ๋ยเคมีในแต่ละครั้งแล้ว 2 วัน

4.5 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำและดินนาข้าว

ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำและดินนาข้าวหลังจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีแล้ว 2 วัน ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ทั้ง 3 ระยะ พบว่า ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่าน คือ กรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 1 ในอายุข้าว 30 วัน มีค่ามากกว่าในอายุข้าว 60 และ 90 วัน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสจะถูกสะสมอยู่ในดินจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร สูงกว่าการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร และวิธีการหว่าน กล่าวคือ กรรมวิธีที่ 6 ในอายุข้าว 30, 60 และ 90 วัน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสจะสะสมอยู่ในดินมีค่าสูงสุด ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร

ถึงแม้ว่า ในวันที่ 60 และ 90 มีการใส่ปุ๋ยยูเรียซึ่งไม่มีส่วนประกอบของ ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส แต่ยังคงพบค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และสะสมอยู่ในดินในปริมาณสูงอยู่นั้น อาจเป็นเพราะมีการตกค้างของฟอสฟอรัสจากในอายุข้าว 30 วัน เนื่องจากค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสจะถูกต้นข้าวดูดใช้และสูญเสียไปจากดินน้อยกว่าครึ่งของจำนวนที่ใส่⁵² จึงยังคงทำให้ดินมีการสะสมของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อต้นข้าวสูงในกรรมวิธีที่ 6 แสดงดังในภาพที่ 4.17

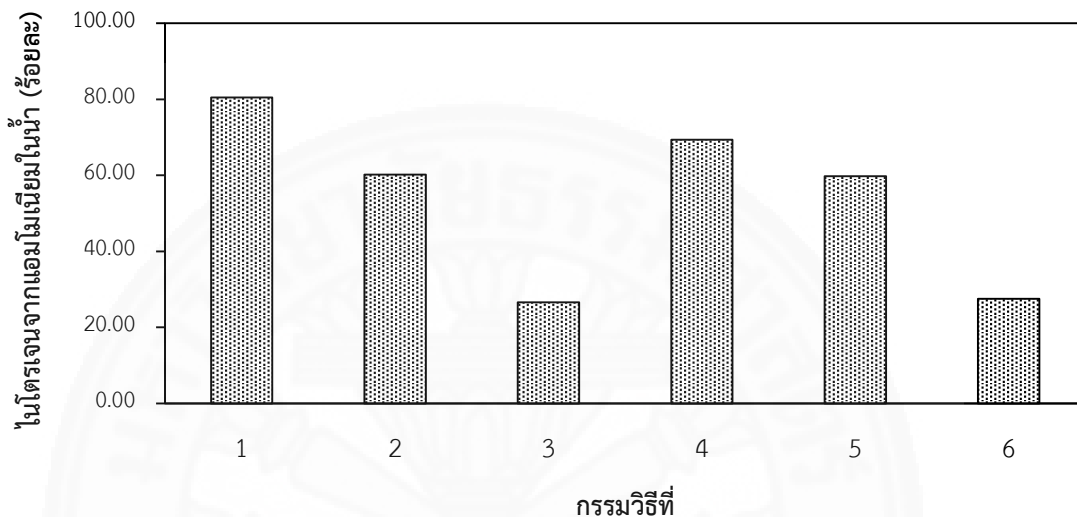


ภาพที่ 4.17 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (กรัม) ในน้ำและดิน ในอายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน และอายุข้าว 90 วัน หลังการใส่ปุ๋ยเคมีในแต่ละครั้งแล้ว 2 วัน

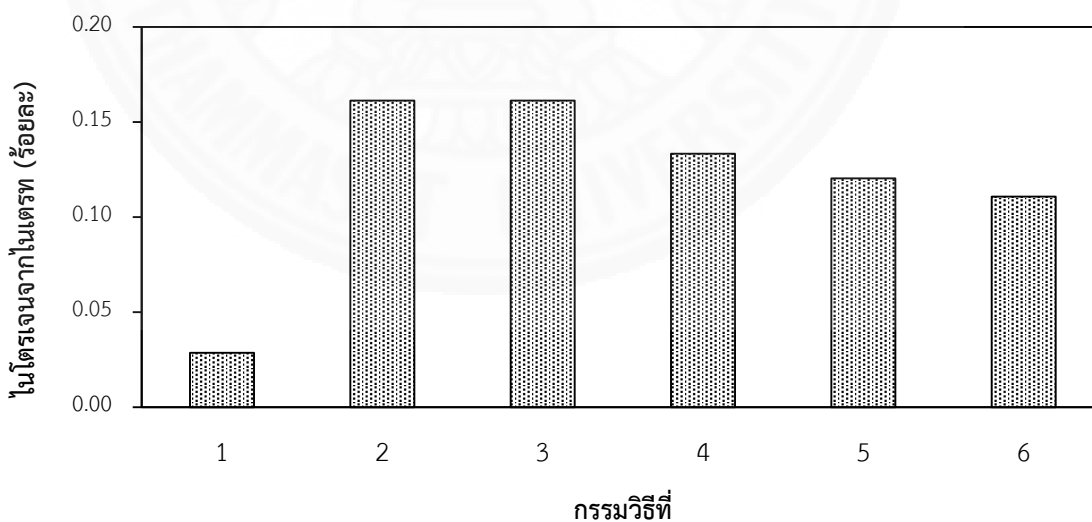
4.6 เปรียบเทียบไนโตรเจนจากแอมโมเนียมและไนเตรทในน้ำจากกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-8 และสูตร 46-0-0 ในนาข้าว

จากการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำจากแปลงนาข้าวทดลอง สามารถคำนวณหาไนโตรเจนในน้ำจากปุ๋ยเคมีที่ใส่ในนาข้าว (สูตร 16-16-8 และ สูตร 46-0-0) ซึ่งมีไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีอยู่ร้อยละ 16 และร้อยละ 46 เปรียบเทียบในแต่ละกรรมวิธี โดยคำนวณหาไนโตรเจนจากความเข้มข้นของแอมโมเนียมและไนเตรทที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละกรรมวิธี ในอายุข้าว 90 วัน ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยเคมีทั้ง 3 ระยะของการเจริญเติบโตของข้าว คือ ในวันที่ 28, 58 และ 88 ของอายุข้าว สรุปได้ว่า กรรมวิธีที่ 1 และ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมและไนเตรทในน้ำ ร้อยละ 80.46, 69.36, 0.03 และ 0.13 ของไนโตรเจนทั้งหมดจากปุ๋ยเคมีที่ใส่ในแปลงนาข้าว ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 และ 5 ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมและไนเตรท ออกมาในน้ำ ร้อยละ 60.20, 59.78, 0.16 และ 0.12 ในขณะที่

ที่ในกรรมวิธีที่ 3 กับในกรรมวิธีที่ 6 ซึ่งใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร พบว่า ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมและไนเตรทในน้ำจากกรรมวิธีที่ 3 และ 6 ร้อยละ 26.59, 27.56, 0.16 และ 0.11 ของไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีที่ใส่ในแปลงนาข้าว โดยพบว่า กรรมวิธีการหว่านส่งผลให้ร้อยละของไนโตรเจนในน้ำสูงกว่ากรรมวิธีการฝังที่ 10 และ 20 เซนติเมตร (ภาพที่ 4.18-4.19 และตารางที่ 4.16)



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบร้อยละของไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในน้ำ วันที่ 90 ของอายุข้าว



ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบร้อยละของไนโตรเจนจากไนเตรทในน้ำ วันที่ 90 ของอายุข้าว

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบไนโตรเจนจากแอมโมเนียมและไนเตรท (ร้อยละของปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนาข้าว) ในน้ำวันที่ 90 ของอายุข้าวจากปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 และ สูตร 46-0-0 ในกรรมวิธีที่ 1-6 ในแปลงทดลองนาข้าว

กรรมวิธีที่	ไนโตรเจนจากแอมโมเนียม (ร้อยละ)	ไนโตรเจนจากไนเตรท (ร้อยละ)
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	80.46	0.03
2. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	60.20	0.16
3. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	26.59	0.16
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	69.36	0.13
5. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	59.78	0.12
6. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	27.56	0.11

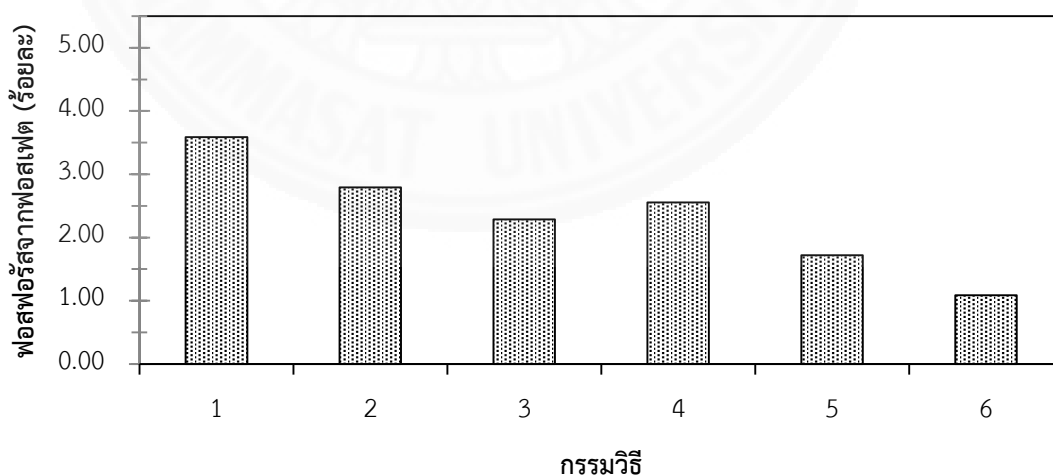
หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร

4.7 เปรียบเทียบฟอสฟอรัสในฟอสเฟตในน้ำจากกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-8 ในนาข้าว

จากการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำในแปลงนาข้าว นำค่าที่ได้มาคำนวณหาฟอสฟอรัสที่ออกมาในน้ำวันที่ 90 จากฟอสฟอรัสในปุ๋ยเคมี (สูตร 16-16-8) ที่ใส่ในแปลงนาข้าว เปรียบเทียบในแต่ละกรรมวิธี โดยคำนวณหาฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละกรรมวิธี สรุปได้ว่า กรรมวิธีที่ 1 กับกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน ฟอสฟอรัสในฟอสเฟตที่ออกมาในน้ำ คิดเป็นร้อยละ 3.60 และ 2.56 ของฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมีที่ใส่

ในแปลงนาข้าว ในขณะเดียวกัน กรรมวิธีที่ 2 กับกรรมวิธีที่ 5 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร ฟอสฟอรัสในฟอสเฟตในน้ำ ร้อยละ 2.80 และ 1.72 ของฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมี ในขณะที่กรรมวิธีที่ 3 กับกรรมวิธีที่ 6 ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ฟอสฟอรัสในฟอสเฟตในน้ำ ร้อยละ 2.28 และ 1.10 ของฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมีในนาข้าว ซึ่งจะพบว่า การฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร จะทำให้ ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการตรึงฟอสเฟตอออนของดิน และอาจฝังลึกเกินกว่า ที่รากข้าวจะดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้จึงส่งผลกระทบต่อการสะสมของฟอสฟอรัสในดินส่งผลกระทบต่อร้อยละของ ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าต่ำ นอกจากนั้น ร้อยละของฟอสฟอรัสในน้ำในวันที่ 90 อาจมาจากการสะสมของ ฟอสฟอรัสในดินจากการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในวันที่ 30 ของอายุต้นข้าว จึงส่งผลให้ในวันที่ 90 ของอายุข้าว ร้อยละของฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าต่ำในทุกกรรมวิธี นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่ามาตรฐาน อัตราปริมาณปุ๋ยที่ลงสู่แหล่งน้ำโดยทั่วไปจะใช้ค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์¹¹⁶ ของปริมาณการใช้ปุ๋ย ทั้งหมดต่อพื้นที่สำหรับใช้อ้างอิงในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของนาข้าว ดังนั้น หากมีการศึกษา เกี่ยวกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากนาข้าวในพื้นที่หนองหาร สามารถนำค่าที่คำนวณได้จากวิธีการหว่านใน กรรมวิธีที่ 1 เป็นค่ามาตรฐานของปริมาณปุ๋ยฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำ (ร้อยละ 3.60) ที่ได้ จากปุ๋ยผสมสูตร 16-16-8 ที่ใช้ในอัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และหากใช้ในอัตราที่เพิ่มขึ้น 2 เท่า สามารถ ใช้ค่าร้อยละ 2.56 เป็นค่าอ้างอิงสำหรับอัตราของปริมาณปุ๋ยฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำ สำหรับใช้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในนาข้าวที่ปลูกข้าวนาปรังในพื้นที่หนองหาร (ภาพที่ 4.20 และตารางที่ 4.17)



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบร้อยละของฟอสฟอรัสจากฟอสเฟตในน้ำ วันที่ 90 ของอายุข้าว

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบฟอสฟอรัสจากฟอสเฟต (ร้อยละของปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนาข้าว) ในน้ำวันที่ 90 ของอายุข้าว จากปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว

กรรมวิธีที่	ฟอสฟอรัสจากฟอสเฟต (ร้อยละ)
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	3.60
2. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	2.80
3. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	2.28
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	2.56
5. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	1.72
6. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	1.10

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร

4.8 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำและดินในนาข้าว

4.8.1 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำ

จากการศึกษาผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำในนาข้าว ในวันที่ 90 ของอายุข้าว ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวครั้งสุดท้ายของการทำนาปรัง ซึ่งหากมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว อาจส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ (ตารางที่ 4.18) สรุปได้ดังนี้

1) ค่าอุณหภูมิของน้ำ พบว่า ทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าไม่เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน กล่าวคือ ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน จึงได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกัน

2) ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ พบว่า มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ที่กำหนดค่าไว้ (5.0-9.0) ในขณะที่ กรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่านปุ๋ยร่วมกับใช้อัตราปุ๋ยเพิ่มเป็น 2 เท่า จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ มีค่าสูงสุด เท่ากับ 8.55 ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ และมีค่าเกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน (6.5-8.5) อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ มีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ในอัตราปุ๋ยที่เท่ากัน คือ กรรมวิธีที่ 6 และกรรมวิธีที่ 3 เท่ากับ 7.68 และ 7.50 ตามลำดับ

3) ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ พบว่า ทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรรมวิธีที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราเพิ่มขึ้นร่วมกับวิธีการหว่านจึงส่งผลกระทบต่อค่าการนำไฟฟ้าในน้ำสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อปริมาณอนินทรีย์สารละลายในน้ำสูงขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าจึงมีค่าสูงขึ้น และสูงกว่ากรรมวิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ดังนั้น ความลึกของการฝังปุ๋ยจึงมีอิทธิพลต่อค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานที่กำหนดไว้

4) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ พบว่า ในกรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 ซึ่งใช้ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ซึ่งกำหนดค่าไว้ ไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน และเมื่อใช้วิธีการหว่านในกรรมวิธีที่ 4 ส่งผลทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 3.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 และหากเกษตรกรมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตลงสู่แหล่งน้ำ อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6

5) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี พบว่า ใน 6 กรรมวิธี มีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ซึ่งกำหนดค่าไว้ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรรมวิธีที่ 4 ที่ใช้วิธีการหว่านและใช้อัตราปุ๋ยเพิ่มเป็น 2 เท่า มีค่าสูงสุด เท่ากับ 21.10 มิลลิกรัมต่อลิตร อีกทั้ง ในกรรมวิธีที่ 4 ยังมีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ซึ่งกำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และหากมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตส่งสู่แหล่งน้ำ ในกรรมวิธีที่ 4 อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำได้

6) ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ พบว่า ในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 216.25 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาในกรรมวิธีที่ 5, 1, 2 และ 6 มีค่าเท่ากับ 186.38, 125.44, 93.84 และ 85.93 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในกรรมวิธีที่ 3 ซึ่งใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 41.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ พบว่า ความลึกมีอิทธิพลต่อค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ ส่งผลให้ค่าต่ำสุดจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ 20 เซนติเมตร และสูงสุดจากกรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่านในอัตราปุ๋ยที่เท่ากัน

7) ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ พบว่า ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ ทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ซึ่งกำหนดค่าไว้ ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มขึ้น 2 เท่า ในกรรมวิธีที่ 4, 5 และกรรมวิธีที่ 6 ส่งผลต่อค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ โดยพบว่า เมื่อใช้วิธีการหว่านในกรรมวิธีที่ 4 ส่งผลทำให้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าสูงสุด เท่ากับ 1.95 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมากรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 1.54 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร

8) ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ พบว่า ในกรรมวิธีที่ 4 และกรรมวิธีที่ 1 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร โดยมีค่าเท่ากับ 2.39 และ 1.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในกรรมวิธีที่ 6 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ส่งผลให้ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.18 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำในนาข้าว (ค่าอุณหภูมิ, ค่าความเป็นกรด-เบส, ค่าการนำไฟฟ้า, ค่าออกซิเจนละลายน้ำ, ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี, ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน, ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส) ในวันที่ 90 ของอายุข้าว เทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และมาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน

พารามิเตอร์	กรรมวิธีที่						มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ⁵⁸	มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ⁹⁶
	1	2	3	4	5	6		
T	27.70	26.80	27.70	27.60	27.20	27.50	ไม่กำหนด	< 40 องศาเซลเซียส
pH	7.74	7.57	7.50	8.55	7.85	7.68	5.0-9.0	6.5-8.5
EC	649.67	449.67	300.00	1,284.17	948.00	545.67	ไม่กำหนด	< 2,000 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
DO	4.18	4.95	4.14	3.21**	3.30**	3.35**	> 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	> 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
BOD	10.90*	9.30*	9.87*	21.10*★	15.80*	11.30*	< 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	< 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
NH ₄ ⁺ -N	125.44	93.84	41.45	216.25	186.38	85.93	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
NO ₃ ⁻ -N	0.68	0.52	0.46	1.95	1.54	1.46	< 5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่กำหนด
PO ₄ ³⁻ -P	1.68	1.31	1.07	2.39	1.61	1.02	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด

หมายเหตุ:

T (temperature) คือ ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), pH คือ ค่าความเป็นกรด-เบส, EC (electrical conductivity) คือ ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร), DO (dissolved oxygen) คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร), BOD (biochemical oxygen demand) คือ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร), NH₄⁺-N คือ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร), NO₃⁻-N คือ ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร), PO₄³⁻-P คือ ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)

* มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3

** มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3

★ มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน

4.8.2 ผลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดิน

จากการศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินในนาข้าว ในวันที่ 90 ของอายุข้าว มีการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวครั้งสุดท้ายของการทำนาปรัง ซึ่งอาจส่งผลต่อการตกค้างของธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และส่งผลต่อคุณภาพดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินในแปลงนาข้าว (ตารางที่ 4.19) สรุปได้ดังนี้

1) ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน ทั้ง 6 กรรมวิธี เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินค่าความเป็นกรด-เบสในดิน พบว่า อยู่ในช่วงเป็นกลาง-เบสอ่อน โดยในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 8.44 จัดเป็นเบสอ่อนตามระดับการประเมิน และในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าความเป็นกรด-เบส ต่ำสุด เท่ากับ 6.70 ซึ่งเป็นกลาง โดยพบว่า เมื่อใช้วิธีการฝังปุ๋ยร่วมกับอัตราปุ๋ยเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบสในดินมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน ทั้ง 6 กรรมวิธีไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าว เนื่องจากดินบริเวณที่สัมผัสกับเม็ดปุ๋ยจะทำให้ดินบริเวณนั้นเป็นเบสมากขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้นชั่วขณะหนึ่งเท่านั้น และในดินที่มีการขังน้ำหลายๆ สัปดาห์ ค่าความเป็นกรด-เบสในสารละลายดินจะมีค่าคงที่อยู่ระหว่าง 6.5-7.0 และข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นกรดอ่อน

2) ค่าริดอกซ์โพเทนเชียลในดิน ใน 6 กรรมวิธี เมื่อเทียบกับเกณฑ์การประเมิน พบว่า จะทำให้ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง กล่าวคือ ดินจะขาดออกซิเจนอย่างรุนแรง เนื่องจากในดินนาข้าว ขัง ออกซิเจนจะหมดไปภายใน 2 วัน²⁴ เมื่อดินขาดออกซิเจนจะส่งผลให้ค่าริดอกซ์โพเทนเชียลมีค่าลดต่ำลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรรมวิธีที่ 3 และ 6 มีค่าต่ำสุด ในกรรมวิธีที่ 6 เท่ากับ -235.53 มิลลิโวลต์ ในกรรมวิธีที่ 3 มีค่าเท่ากับ -215.20 มิลลิโวลต์ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงสุด เท่ากับ -130.00 มิลลิโวลต์ พบว่า ความลึกของการฝังปุ๋ยมีอิทธิพลต่อค่าริดอกซ์โพเทนเชียลในดิน ส่งผลให้ดินขาดออกซิเจนและเกิดสภาพรีดิวซ์รุนแรง อย่างไรก็ตาม ในสภาพรีดิวซ์รุนแรงตามเกณฑ์การประเมิน ทั้ง 6 กรรมวิธี ไม่ส่งผลเสียต่อต้นข้าว เนื่องจากต้นข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าริดอกซ์โพเทนเชียล ลดต่ำลงถึง -200 มิลลิโวลต์²⁴

3) ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่า ทั้ง 6 กรรมวิธี ค่าอินทรีย์วัตถุ จัดอยู่ในเกณฑ์การประเมินในระดับต่ำ (0.5-1.0) โดยในกรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใช้ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าลดต่ำลง เท่ากับร้อยละ 0.57 ซึ่งต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ทั้ง 6 กรรมวิธี พบว่า ค่าอินทรีย์วัตถุมีค่าลดลงจากระยะก่อนปลูกข้าว และหากมีการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันในการทำนาข้าว จะส่งผลให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์และส่งผลต่อคุณภาพดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะหากมีการใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่สูงขึ้นในกรรมวิธีที่ 4

4) ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน พบว่า ในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 550.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 5 เท่ากับ 367.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า กรรมวิธีที่ใช้การฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ดินมีแอมโมเนียมไอออนสะสมอยู่ในดินสูงกว่าวิธีการหว่าน ส่งผลให้ดินมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อต้นข้าวและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่ดิน โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร และพบว่า ค่าริดอกซ์โพเทนเชียลลดลงจะส่งเสริมให้ค่าแอมโมเนียมสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในดินจากวิธีการฝังที่ 20 เซนติเมตร หากข้าวไม่สามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ จะเป็นการสูญเสียธาตุอาหารที่จำเป็นต่อต้นข้าว มากกว่าวิธีการหว่าน และอาจทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนเมื่อใช้ไปเป็นระยะเวลานานจะทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด

5) ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน พบว่า ทั้ง 6 กรรมวิธี ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน จากวิธีการหว่าน มีค่าสูงกว่าวิธีการฝังที่ 10 และ 20 เซนติเมตร ในอัตราปุ๋ยที่เท่ากัน และการใช้ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มขึ้น 2 เท่า ร่วมกับวิธีการหว่านในกรรมวิธีที่ 4 จะช่วยเพิ่มค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดินสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ในขณะที่ กรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร จะทำให้ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าต่ำลงและต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่านและฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร โดยพบว่า ความลึกมีอิทธิพลต่อการสะสมของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน เมื่อค่าริดอกซ์โพเทนเชียลลดลงจะส่งผลให้ไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงและสูญหายไปจากดินโดยเฉพาะในกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

6) ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน พบว่า วิธีการฝังที่ 10 และ 20 เซนติเมตร ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส สะสมอยู่ในดินสูงกว่าวิธีการหว่าน ในอัตราปุ๋ยเท่ากัน โดยในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 73.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสะสมอยู่ในดินสูงกว่ากรรมวิธีที่ใช้วิธีการหว่านและฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร ช่วยเพิ่มฟอสฟอรัสในดินและความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสกับเกณฑ์การประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ทั้ง 6 กรรมวิธี มีค่าการประเมินอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลของกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินในนาข้าว (ค่าความเป็นกรด-เบส, ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล, ค่าอินทรีย์วัตถุ, ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน, ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส) และระดับการประเมิน ในวันที่ 90 ของอายุข้าว

พารามิเตอร์	กรรมวิธีที่						ระดับการประเมิน
	1	2	3	4	5	6	
pH	6.70	6.85	7.10	7.87	8.44	8.27	กลาง-เบสอ่อน ²⁸ (6.6-9.5)
Eh	-130.00	-161.00	-215.20	-174.33	-183.00	-235.53	สภาพรีดิวซ์รุนแรง ²⁴ (-100 ถึง -300)
OM	0.98	0.95	0.85	0.57	0.88	0.96	ต่ำ ²¹ (0.5-1.0)
NH ₄ ⁺ -N	103.96	230.42	314.23	183.33	367.33	550.67	ไม่กำหนด
NO ₃ ⁻ -N	8.30	7.39	5.91	16.93	10.86	8.53	ไม่กำหนด
PO ₄ ³⁻ -P	10.03	25.20	29.17	37.40	54.37	73.30	ต่ำมาก ⁵⁰

หมายเหตุ:

pH คือ ค่าความเป็นกรด-เบส, Eh (redox potential) คือ ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (มิลลิโวลต์), OM (organic matter) คือ ค่าอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ), NH₄⁺-N คือ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), NO₃⁻-N คือ ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), PO₄³⁻-P คือ ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

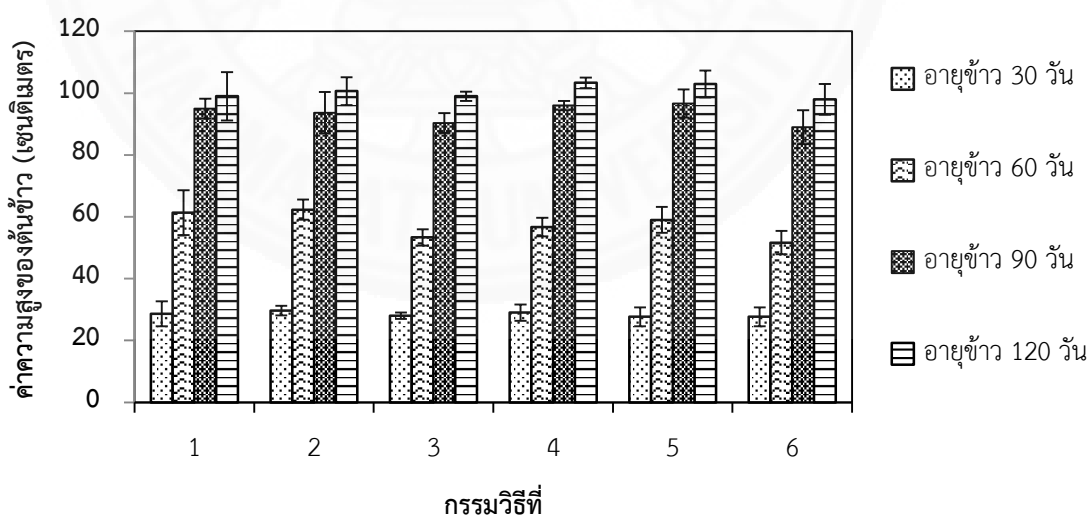
4.9 ความสูงของต้นข้าว

จากการวัดความสูงของต้นข้าวภายหลังมีการใส่ปุ๋ยเคมีตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ในแต่ละกรรมวิธี พบว่า ความสูงของต้นข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเจริญเติบโตของต้นข้าวซึ่งสรุปได้ดังนี้

ในวันที่ 30 ของอายุข้าว ความสูงของต้นข้าวมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยในกรรมวิธีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 29.60 เซนติเมตร กรรมวิธีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 29.00 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 5 กับกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเท่ากับ 27.60 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาความสูงของต้นข้าว พบว่า ความสูงของต้นข้าววัดค่าได้น้อยกว่าอายุของต้นข้าว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำนาดำนั้นรากเดิมที่ติดกับต้นข้าวนั้นยังไม่สามารถใช้ประโยชน์ในการดูดธาตุอาหาร

ได้ แต่จะทำหน้าที่ยึดลำต้นอยู่ไว้กับดินไม่ให้ต้นข้าวล้ม รากชุดเดิมนี้อาจจะผอและแห้งตายไปและต้นข้าวก็จะผลัดรากใหม่ออกมาแทนที่เพื่อใช้ในการดูดน้ำและแร่ธาตุและพวงลำต้นในการเจริญเติบโตต่อไป⁴⁵ การใส่ปุ๋ยในวันที่ 28 ของอายุข้าวและวัดความสูงในวันที่ 30 นั้น ต้นข้าวยังไม่สามารถดูดตั้งธาตุอาหารไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพจึงส่งผลให้ข้าวในช่วงอายุนี้ความสูงของต้นข้าวไม่สูงกว่าอายุของต้นข้าว นอกจากนั้นการปลูกข้าวโดยวิธีการปักดำต้นข้าวในแปลงนาลึกประมาณ 2-3 เซนติเมตรจึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ซึ่งเมื่อวัดความสูงในช่วงอายุนี้แล้วต้นข้าวจึงยังไม่สูงไปกว่าอายุของต้นข้าว (ตารางที่ 4.20)

ในวันที่ 60 ของอายุข้าว ความสูงของต้นข้าวมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในกรรมวิธีที่ 2 เท่ากับ 62.30 เซนติเมตร ในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 61.30 เซนติเมตร พบว่า ต้นข้าวมีความสูงไม่เกินอายุของต้นข้าว อาจเป็นได้ว่าในช่วงอายุนี้ต้นข้าวต้องการธาตุอาหารไปใช้ในการแตกกอสร้างแขนงใหม่จากการเจริญเติบโตของตาข้างที่ข้อของลำต้น ซึ่งการแตกกอเกิดขึ้นเฉพาะช่วงแรกของการเจริญเติบโต คือ ประมาณ 60-65 วัน¹¹⁷ จึงอาจทำให้ต้นข้าวในช่วงอายุนี้ไม่สูงไปกว่าอายุของต้นข้าว อีกทั้งการมีระดับน้ำในแปลงนาข้าวที่ไม่สูงเกินกว่า 10 เซนติเมตร อาจทำให้ต้นข้าวไม่สูงไปกว่าอายุของข้าว เนื่องจากระดับน้ำในแปลงนาข้าวจะมีผลต่อการยืดปล้องของข้าวและส่งผลกระทบต่อความสูงของต้นข้าว อาทิเช่น ในกรณีของข้าวขึ้นน้ำเมื่อมีการเพิ่มระดับน้ำในแปลงนาข้าวจะทำให้ต้นข้าวมีการยืดปล้องให้ยาวขึ้นได้ โดยเฉลี่ยวันละ 2-10 เซนติเมตร⁴⁵



ภาพที่ 4.21 ค่าความสูงของต้นข้าว (เซนติเมตร) ที่ระยะอายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน, อายุข้าว 90 วัน และอายุข้าว 120 วัน

ในวันที่ 90 ของอายุข้าว ความสูงของต้นข้าวมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในกรรมวิธีที่ 5 โดยมีค่าเท่ากับ 96.60 เซนติเมตร ในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 96.00 เซนติเมตร ความสูงของต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 6 มีค่าเท่ากับ 89.00 เซนติเมตร อาจเนื่องจากในกรรมวิธีที่ 5 ต้นข้าวอาจได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยที่ฝังลึกไปในดินจึงทำให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตโดยการยืดปล้องส่งผลทำให้ความสูงของต้นข้าวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ในกรรมวิธีที่ 6 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ทำให้รากข้าวไม่สามารถได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นจากปุ๋ยเคมีได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากฝังลึกเกินกว่าความยาวของรากข้าวจะดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ และเมื่อพิจารณาปริมาณแอมโมเนียมและ ไนเตรทจากตารางที่ 4.12 และ 4.13 พบว่า ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจนและไนเตรท-ไนโตรเจน ซึ่งข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตจะถูกสะสมอยู่ในดินจากกรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงที่สุด จึงอาจส่งผลให้กรรมวิธีที่ 6 ความสูงของต้นข้าวมีค่าต่ำสุด อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปรากข้าวจะมีความยาวเฉลี่ยไม่เกิน 15 เซนติเมตร ลึกลงไปในดิน จึงอาจส่งผลให้ความสูงของต้นข้าวในกรรมวิธีที่ 3 และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรรมวิธี (ภาพที่ 4.21)

ในวันที่ 120 ของอายุข้าว ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวความสูงของต้นข้าว ความสูงของต้นข้าวมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 103.30 เซนติเมตร ในกรรมวิธีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 103.00 เซนติเมตร และในกรรมวิธีที่ 1 และ 3 มีค่าเท่ากับ 99.00 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาความสูงของต้นข้าว จะพบว่าความสูงของต้นข้าวไม่สูงไปกว่าอายุของต้นข้าว อธิบายได้ว่า ต้นข้าวจะได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยเพื่อนำไปใช้ในการสร้างรวงและเมล็ด ซึ่งรวงข้าวเป็นส่วนหนึ่งของลำต้นในการทำหน้าที่ชูช่อดอกข้าวและรับน้ำหนักเมล็ดข้าวที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในช่วงอายุนี้เป็นช่วงที่ต้นข้าวสร้างรวงและเมล็ดแล้วจึงอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ความสูงของต้นข้าวไม่เพิ่มขึ้นไปกว่าอายุของต้นข้าวเนื่องจากความสูงของต้นข้าวจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของข้าว คือช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ สอดคล้องกับการศึกษาของนันทนา ชื่นอิม, วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์, สมชาย กริชาภิรมณ์ และนุชรา สีนบัวทอง⁸⁰ ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อความแตกต่างกันในการเพิ่มความสูงของต้นข้าว แต่จะมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าว

ตารางที่ 4.20 ค่าความสูงของต้นข้าว (เซนติเมตร) ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน, อายุข้าว 60 วัน, อายุข้าว 90 วัน และอายุข้าว 120 วัน) ในกรรมวิธีที่ 1-6 ของแปลงทดลองนาข้าว

กรรมวิธีที่	ค่าความสูงของต้นข้าว (เซนติเมตร)			
	อายุข้าว 30 วัน	อายุข้าว 60 วัน	อายุข้าว 90 วัน	อายุข้าว 120 วัน
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	28.60	61.30	95.00	99.00
2. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	29.60	62.30	93.60	100.00
3. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	28.00	53.30	90.30	99.00
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	29.00	56.60	96.00	103.30
5. ฝั่ง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	27.60	59.00	96.60	103.00
6. ฝั่ง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	27.60	51.60	89.00	98.00

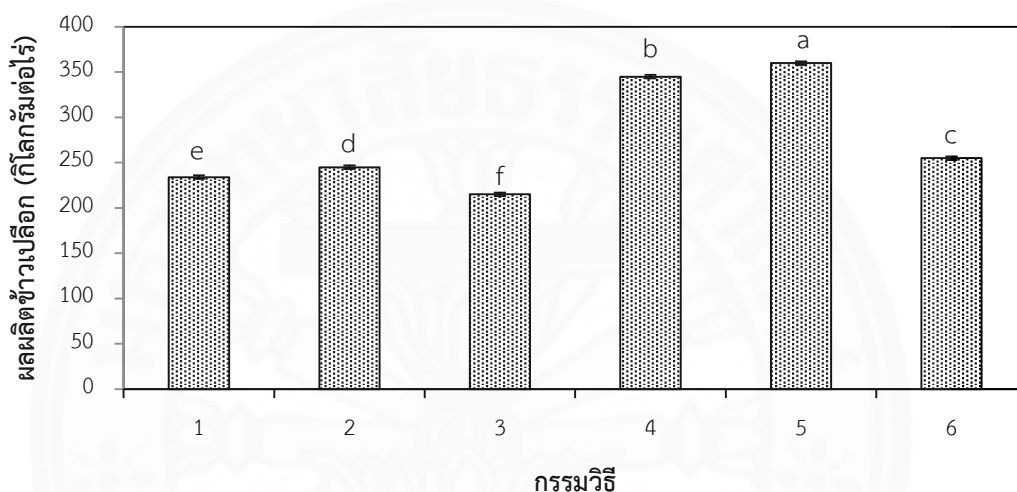
หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝั่ง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝั่ง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 และใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ค่าความสูงของต้นข้าว แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.10 ผลผลิตข้าวเปลือก

ปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกที่ผลิตได้ในแต่ละแปลงทำให้ทราบถึงกรรมวิธีของการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวเพื่อเป็นข้อมูลกรรมวิธีการปฏิบัติในการทำนาและใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนทำนาปรังในฤดูกาลถัดไปได้ ตารางที่ 4.21 แสดงถึงปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกของแต่ละกรรมวิธี โดยพบว่าผลผลิตข้าวเปลือกในกรรมวิธีที่ 5 ให้ผลผลิตสูงสุดซึ่งใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร โดยผลผลิตข้าวมีค่าเท่ากับ 360.20 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาในกรรมวิธีที่ 4 ให้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 345.30 กิโลกรัมต่อไร่ และในกรรมวิธีที่ 3 ซึ่งใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร ให้ผลผลิตข้าวเปลือกต่ำที่สุดเท่ากับ 215.0 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ย และอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราปุ๋ยกับวิธีการใส่ปุ๋ย พบว่า ผลผลิตข้าวเปลือกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบอัตราปุ๋ย วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีที่ 1, 2, และ 3 พบว่า ผลผลิตข้าวให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจาก ต้นข้าวต้องการธาตุอาหารอย่างเพียงพอตั้งแต่ข้าวเริ่มแตกกอเป็นต้นไป โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว การเพิ่มธาตุอาหารที่ข้าวต้องการในแต่ละช่วงอายุจะทำให้ข้าวมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น เพราะข้าวได้รับธาตุอาหาร ไนโตรเจน และฟอสเฟต ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น ใบ ดอก และช่วยในการสร้างดอกติดเมล็ด และผลผลิตข้าวเปลือก (ตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.22) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อรพิน เกิดชูชื่น และผ่องพรรณ พุทธาโร⁷⁷ ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยใช้ปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 10, 20, 40 และ 80 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ซึ่งพบว่า ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่ใส่แต่ข้าวที่ใช้ปุ๋ยต่ำกว่า 20 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่จะมีการเจริญเติบโตช้า ลำต้นแคระแกรน และข้าวที่ได้รับปุ๋ยในอัตรา 80 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่จะทำให้จำนวนใบติดปกติและไม่ได้รับผลผลิต เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละกรรมวิธีตามวิธีการใส่ปุ๋ยในนาข้าว พบว่า วิธีการหว่านในกรรมวิธีที่ 1 และ 4 ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรส่วนใหญ่ในพื้นที่หนองหารปฏิบัติในการใส่ปุ๋ยในนาข้าว ผลผลิตข้าวเปลือกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อใช้อัตราปุ๋ยเพิ่มขึ้นในกรรมวิธีที่ 4 เป็น 2 เท่าของกรรมวิธีที่ 1 ผลผลิตข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น จึงอาจเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกษตรกรบางส่วนที่ปลูกข้าวนาปรังใส่ปุ๋ยในอัตราเพิ่มเป็น 2 เท่า และสูงกว่าที่ทางราชการแนะนำเพื่อมุ่งหวังผลผลิตมากกว่าโดยไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบที่อาจส่งผลตามมาในด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะดินและน้ำ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 และ 5 และกรรมวิธีที่ 3 และ 6 ผลผลิตข้าวเปลือกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ 1 และ 4 ซึ่งผลผลิตข้าวเปลือกมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 3 อย่างไรก็ตาม ผลผลิตข้าวเปลือกทั้ง 6 กรรมวิธี ในกรรมวิธีที่ 1, 2, 3 และกรรมวิธีที่ 6 ได้ผลผลิต

ข้าวเปลือกต่ำกว่าผลผลิตข้าวเปลือกของเกษตรกร ซึ่งผลผลิตข้าวเปลือกของเกษตรกรที่ปลูกข้าวนาปรัง พันธุ์ข้าวเจ้าแตก เฉลี่ยเท่ากับ 260-300 กิโลกรัมต่อไร่⁷⁹ อาจเป็นผลมาจากในแปลงนาข้าวทดลองใช้ระยะห่างในการปักดำต้นกล้าที่ 25 x 25 เซนติเมตร ในขณะที่การทำนาปรังของเกษตรกรในพื้นที่หนองหารใช้วิธีการหว่านเมล็ดข้าวในแปลงนาข้าวซึ่งวิธีการหว่านจะทำให้ระยะห่างระหว่างกอและแถวของต้นข้าวแคบลง และส่งผลทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นและสูงกว่าการใช้ระยะห่างระหว่างกอและแถวที่มากกว่า เนื่องจากปัจจัยหนึ่งส่งผลให้ต้นข้าวมีผลผลิตข้าวที่สูงขึ้นคือจำนวนต้นของข้าว⁴⁵



หมายเหตุ: ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 4.22 ผลผลิตข้าวเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่) ในแปลงทดลองนาข้าว

นอกจากนั้น กรรมวิธีที่แตกต่างส่งผลให้ผลผลิตข้าวเปลือกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นได้ว่า การฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร ทำให้ข้าวได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว เนื่องจากรากข้าวสามารถดูดดึงธาตุอาหารที่มาจากปุ๋ยไปใช้ได้เต็มที่ สอดคล้องกับการศึกษาของ Huda et al.¹⁰³ ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตข้าวจากการใช้วิธีการฝังปุ๋ยในนาข้าวเปรียบเทียบกับวิธีการหว่าน ซึ่งพบว่า ได้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าว เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 35 เป็นร้อยละ 63-67 เปรียบเทียบกับวิธีการหว่าน และจากการศึกษาของ Liu, Fan, Zhang, Chen, Li และ Cao¹¹⁸ พบว่าการฝังปุ๋ยลึกลงไปในดินเป็นวิธีที่ช่วยลดการระเหยของแอมโมเนีย และเพิ่มการดูดใช้ปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นว่าการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร ทำ

ให้ได้ผลผลิตข้าวมากกว่ากรรมวิธีการหว่านและการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ในอัตราปุ๋ยที่เท่ากัน นอกจากนี้ การใช้อัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นและเพียงพอต่อความต้องการธาตุอาหารของต้นข้าวจะช่วยในการเพิ่มผลผลิตข้าวให้ได้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.21 ผลผลิตข้าวเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่)

กรรมวิธีที่	ผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่)
1. หว่าน อัตราปุ๋ย 1 เท่า	234.0 ^e
2. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	245.3 ^d
3. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 1 เท่า	215.0 ^f
4. หว่าน อัตราปุ๋ย 2 เท่า	345.3 ^b
5. ฝัง 10 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	360.2 ^a
6. ฝัง 20 เซนติเมตร อัตราปุ๋ย 2 เท่า	255.1 ^c

หมายเหตุ:

- (1) กรรมวิธีที่ 1 (แปลงที่ 1) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 28 ใส่ปุ๋ยยูเรีย 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 2 (แปลงที่ 2) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 28 ใส่ปุ๋ยยูเรีย 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 3 (แปลงที่ 3) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 28 ใส่ปุ๋ยยูเรีย 15 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 4 (แปลงที่ 4) หว่าน ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 28 ใส่ปุ๋ยยูเรีย 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว
กรรมวิธีที่ 5 (แปลงที่ 5) ฝัง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 28 ใส่ปุ๋ยยูเรีย 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 10 เซนติเมตร
กรรมวิธีที่ 6 (แปลงที่ 6) ฝัง ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 28 ใส่ปุ๋ยยูเรีย 30 กิโลกรัมต่อไร่ วันที่ 58 และวันที่ 88 ของอายุข้าว ลึก 20 เซนติเมตร
- (2) ตัวอักษรอารบิกพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว ในฤดูทำนาปรัง พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร โดยการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและดินตามช่วงเวลาการทำนาที่เกษตรกรปฏิบัติในการใส่ปุ๋ยเคมี แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ตามการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ระยะที่ 1 อายุข้าว 30 วัน คือ ระยะที่ต้นข้าวเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ระยะที่ 2 อายุข้าว 60 วัน คือระยะสีบพันธุ์ และระยะที่ 3 อายุข้าว 90 วัน คือ ระยะสร้างรวงและเมล็ด ในแปลงนาข้าวทดลอง ขนาด 16 ตารางเมตร จำนวน 6 แปลง ได้แก่ แปลงที่ 1 ใช้วิธีการหว่านปุ๋ย แปลงที่ 2 ใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร แปลงที่ 3 ใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร ครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 2 และ 3 ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนแปลงที่ 4, 5 และ 6 ทำเหมือนแปลงที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ แต่ใส่ปุ๋ยเป็นอัตรา 2 เท่า โดยใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1, 2 และ 3 เมื่ออายุข้าว 28, 58 และ 88 วัน เก็บตัวอย่างดินและน้ำหลังจากใส่ปุ๋ยในแต่ละครั้งแล้ว 2 วัน คือ อายุข้าว 30, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ และเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในอายุข้าว 120 วัน ผลการวิจัยสรุปได้ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 อิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว

อิทธิพลของกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว พื้นที่หนองหาร จังหวัดสกลนคร สรุปได้ดังนี้

ในอัตราปุ๋ยเท่ากัน ในอายุข้าว 90 วัน ในดิน เมื่อใช้วิธีการหว่าน ค่ารีดอกซ์ โพเทนเชียล มีอิทธิพลต่อค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน และค่าไนเตรท-ไนโตรเจน โดยพบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ -130.00 มิลลิโวลต์ ส่งผลต่อค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 103.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุด เท่ากับ 8.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ -161.00 และ -215.20 มิลลิโวลต์ พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 230.42 และ 314.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 7.39 และ 5.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยแปรผกผันกับค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน พบว่า อิทธิพลของการฝังมีผลต่อค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน และ ค่า

ไนเตรท-ไนโตรเจน ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่ 3 และต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 1 เท่ากับ 29.17 และ 10.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกรรมวิธีที่ 4 พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล มีค่าเท่ากับ -174.00 มิลลิโวลต์ ส่งผลต่อค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 183.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุด เท่ากับ 16.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีค่าเท่ากับ 37.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ในกรรมวิธีที่ 5 และ 6 มีค่าเท่ากับ -176.10 และ -178.80 มิลลิโวลต์ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 367.33 และ 550.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ในกรรมวิธีที่ 5 และ 6 เท่ากับ 10.86 และ 8.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในน้ำ พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน จากวิธีการหว่านในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงกว่าวิธีการฝัง มีค่าเท่ากับ 125.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน เท่ากับ 0.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เท่ากับ 1.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอายุข้าว 30 วัน และอายุข้าว 60 วัน มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับในดินและน้ำในอายุข้าว 90 วัน

5.1.2 ปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และสมบัติบางประการของดินและน้ำในนาข้าว

โดยการใส่ปุ๋ยเคมี ในวันที่ 28, 58 และ 88 ของอายุต้นข้าว เก็บตัวอย่างน้ำและดินในวันที่ 30, 60 และ 90 ของอายุต้นข้าว หลังจากใส่ปุ๋ยเคมี แล้ว 2 วัน สรุปได้ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ใช้วิธีการหว่าน โดยใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ในพิสัย 21.20-28.90 องศาเซลเซียส ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 649.67-836.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ไม่เกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว พบค่าสูงสุดในอายุข้าว 30 วัน เท่ากับ 5.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี มีค่าลดลงจากระยะก่อนปลูกข้าว คือ เท่ากับ 7.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำ มีค่าระหว่าง 5.79-8.37 ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ มีค่าเท่ากับ 125.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ 0.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ มีค่าเท่ากับ 1.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ในดิน พบค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าสูงขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว มีค่าสูงสุดในอายุข้าว 30 วัน เท่ากับ 6.81 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล มีค่าต่ำสุด ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ -130.00 มิลลิโวลต์ อยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง และค่าอินทรีย์วัตถุลดลงจากระยะก่อนปลูกข้าว เท่ากับร้อยละ 0.98 จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 103.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าไนเตรท-

ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 8.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีค่าเท่ากับ 10.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 2 ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และ สูตร 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว มีค่าสูงสุด ในอายุข้าว 60 วัน เท่ากับ 8.00 ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 449.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ไม่เกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ในขณะที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 4.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ลดลงจากระยะก่อนปลูกข้าว และในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 9.30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ มีค่าเท่ากับ 93.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 0.52 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ มีค่าเท่ากับ 1.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ในดิน พบค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มขึ้น ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.85 เป็นกลาง พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ -161.00 มิลลิโวลต์ ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าลดลงจากระยะก่อนปลูกข้าว มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.95 อยู่ในเกณฑ์ต่ำ พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าเพิ่มขึ้นและสะสมในดินสูงสุด เท่ากับ 230.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 7.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีค่าเท่ากับ 25.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 3 ใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 46-0-0 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ในน้ำ พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าลดลง ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 7.50 ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว และอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 300.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ไม่เกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ 4.14 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และมาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี มีค่าลดลงจากระยะก่อนปลูกข้าว คืออยู่ในระหว่าง 9.33-14.40 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ในน้ำ ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 41.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว มีค่า

เท่ากับ 1.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ในดิน พบค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว และมีค่าสูงสุด ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ 7.10 ซึ่งเป็นกลาง พบว่า ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ -215.20 มิลลิโวลต์ ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง และค่าอินทรีย์วัตถุในดิน มีค่าลดลงในวันที่ 90 ของอายุข้าว เท่ากับร้อยละ 0.85 จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าเพิ่มขึ้นและสะสมในดินสูงสุด เท่ากับ 314.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 5.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน มีค่าเท่ากับ 29.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 4 ใช้วิธีการหว่าน เช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ 1 แต่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ สูงขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว ในอายุข้าว 90 วัน สูงสุดเท่ากับ 8.55 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน แต่เกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 1,284.17 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ในขณะที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว และมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ในอายุข้าว 60 และ 90 วัน เท่ากับ 3.47 และ 3.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ในอายุข้าว 60 และ 90 วัน มีค่าเท่ากับ 21.41 และ 21.10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า มีค่าเกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 216.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 1.95 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ มีค่าเท่ากับ 2.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ในดิน พบค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว และในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 7.89 ในขณะที่ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง และค่าอินทรีย์วัตถุ มีค่าต่ำสุด ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับร้อยละ 0.57 อยู่ในเกณฑ์ต่ำ พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน มีค่าสูงสุด ในอายุข้าว 60 วัน เท่ากับ 246.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุดในอายุข้าว 30 วัน เท่ากับ 146.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุดในวันที่ 60 ของอายุข้าว เท่ากับ 17.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุดในวันที่ 30 ของอายุข้าว เท่ากับ 13.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส มีค่าสูงสุดในอายุข้าว 30 วัน เท่ากับ 70.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ 37.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 5 ใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร เช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ 2 แต่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ในน้ำ พบว่า ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าสูงสุดในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ 7.85 ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และมาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ค่าการนำไฟฟ้า ในอายุข้าว 90 วัน ไม่เกินมาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน มีค่าเท่ากับ 948.00 ไมโคร

ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในขณะที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว และในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 3.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี มีค่าลดลงจากระยะก่อนปลูกข้าว ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 15.80 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ เท่ากับ 186.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 เท่ากับ 1.54 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้น มีค่าเท่ากับ 1.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ในดิน พบค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว และในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 8.44 ซึ่งเป็นเบสอ่อน ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ทำให้ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง และค่าอินทรีย์วัตถุมีค่าลดลง ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับร้อยละ 0.88 จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนสะสมในดินสูงสุด เท่ากับ 367.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน มีค่าสูงสุด ในอายุข้าว 60 วัน เท่ากับ 12.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 10.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน มีค่าสูงสุดในอายุข้าว 30 วัน เท่ากับ 101.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 54.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 6 ใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร เช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ 3 แต่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ และสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ในน้ำ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้า มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนปลูกข้าว ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 545.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 ในอายุข้าว 60 และ 90 วัน คือ มีค่าเท่ากับ 3.49 และ 3.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี มีค่าลดลงจากระยะก่อนปลูกข้าว มีค่าเท่ากับ 11.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเท่ากับ 7.68 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ ในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 85.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 1.46 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เท่ากับ 1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับในดิน พบค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าเพิ่มขึ้น ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ 8.27 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ในอายุข้าว 90 วัน เท่ากับ -235.53 มิลลิโวลต์ ดินอยู่ในสภาพรีดิวซ์รุนแรง ค่าอินทรีย์วัตถุมีค่าลดลง จากระยะก่อนปลูกข้าว และในอายุข้าว 90 วัน ร้อยละ 0.96 อยู่ในเกณฑ์ต่ำ พบว่า ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน สะสมในดินสูงสุด มีค่าเท่ากับ 550.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด ในอายุข้าว 30 วันเท่ากับ 278.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน มีค่าสูงสุดในอายุข้าว 60 วันเท่ากับ 10.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุด ในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 8.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน มีค่าสูงสุดใน

อายุข้าว 30 วัน เท่ากับ 105.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และต่ำสุดในอายุข้าว 90 วัน มีค่าเท่ากับ 73.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5.1.3 เปรียบเทียบกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว และ ผลผลิตข้าว

กรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าวทั้ง 6 กรรมวิธี โดยกรรมวิธีที่ 1 และ 4 ใช้วิธีการหว่าน กรรมวิธีที่ 2 และ 5 ใช้วิธีการฝังที่ 10 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 3 และ 6 ใช้วิธีการฝังที่ 20 เซนติเมตร กรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 และสูตร 46-0-0 ในอัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ และ 15 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 และสูตร 46-0-0 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพน้ำในนาข้าว พบว่า กรรมวิธีที่ 1 และ 4 ซึ่งใช้วิธีการหว่าน ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-เบส ค่าการนำไฟฟ้า มีค่าเพิ่มขึ้น รวมทั้งค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำ มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ 2, 3, 5 และกรรมวิธีที่ 6 ในขณะเดียวกัน ในกรรมวิธีที่ 3 และ 6 ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ มีค่าต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 2 และ 5 และอัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นในกรรมวิธีที่ 4, 5 และ 6 ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน มีค่าสูงในกรรมวิธีที่ใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร รองลงมาในกรรมวิธีที่ 2 กับ 5 และกรรมวิธีที่ 1 กับ 4 มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการฝัง ในอัตราการใช้ปุ๋ยที่เท่ากัน ในขณะที่ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสมีค่าลดลงในกรรมวิธีการหว่าน และมีค่าสูงขึ้นในวิธีการฝัง โดยพบว่า วิธีการหว่านส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในน้ำมีค่าสูงกว่าวิธีการฝังที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร และเมื่อคำนวณไนโตรเจนจากแอมโมเนียมและไนเตรทในน้ำ ในวันที่ 90 ของอายุต้นข้าว ก่อนการระบายน้ำออกจากแปลงนาข้าว เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเปรียบเทียบกับไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีในแต่ละกรรมวิธี พบว่า ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในน้ำจากวิธีการหว่านมีค่าสูงสุด ได้แก่ ในกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 4 คือ ร้อยละ 80.46 และ 69.36 รองลงมา วิธีการฝังที่ความลึก 10 เซนติเมตร ในกรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 5 คือ ร้อยละ 60.20 และ 59.78 และจากวิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร ในกรรมวิธีที่ 6 และกรรมวิธีที่ 3 คือ ร้อยละ 27.56 และ 26.59 ในขณะที่ฟอสฟอรัสจากฟอสเฟตในกรรมวิธีที่ 1 มีค่าสูงสุด ร้อยละ 3.60 รองลงมา กรรมวิธีที่ 2 ร้อยละ 2.80 และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าต่ำสุด คือ ร้อยละ 1.10 ของปริมาณฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-8 ที่ใช้ในแปลงนาข้าว

เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินในนาข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว จากอัตราปุ๋ยที่ใช้และวิธีการใส่ปุ๋ย พบค่าความเป็นกรด-เบสในดินสูงสุด กรรมวิธี

ที่ 5 เท่ากับ 8.44 และมีค่าต่ำสุดในกรรมวิธีที่ 1 เท่ากับ 6.42 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน มีแนวโน้มลดลง โดยกรรมวิธีที่ 6 มีค่าต่ำสุด คือ -235.53 มิลลิโวลต์ ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน พบค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ในกรรมวิธีที่ 4 มีค่าต่ำสุดและต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ คือ ร้อยละ 0.57 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน ในกรรมวิธีที่ 6 ซึ่งใช้วิธีการฝังที่ความลึก 20 เซนติเมตร และใช้อัตราปุ๋ย 2 เท่า พบค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนสะสมในดินสูงสุด ในวันที่ 90 ของอายุข้าว มีค่าเท่ากับ 550.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรรมวิธีที่ 1 ค่าต่ำสุด เท่ากับ 103.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 4 พบว่า ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ในอายุข้าว 60 วัน มีค่าสูงสุด เท่ากับ 17.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรรมวิธีที่ 3 มีค่าต่ำสุด 5.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส จากกรรมวิธีที่ 6 ในวันที่ 30 ของอายุข้าว มีค่าสูงสุด เท่ากับ 105.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรรมวิธีที่ 1 มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 10.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการเปรียบเทียบกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวต่อผลผลิตข้าว 6 กรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่ 5 ซึ่งใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และใช้อัตราปุ๋ยเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด คือ เท่ากับ 360.20 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา กรรมวิธีที่ 4, 6, 2, 1 และ 3 คือ ให้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 345.30, 255.10, 245.30, 234.00 และ 215.00 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นว่าการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และใช้อัตราปุ๋ยเพิ่มขึ้น 2 เท่า ทำให้ได้ผลผลิตข้าวสูงสุด (360.2 กิโลกรัมต่อไร่) เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ อย่างไรก็ตาม การฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และใช้อัตราปุ๋ย 1 เท่า เป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งส่งผลให้ได้ผลผลิตข้าวปริมาณสูง (245.3 กิโลกรัมต่อไร่) เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องคุณภาพน้ำที่อายุข้าว 90 วัน กรรมวิธีดังกล่าว ส่งผลต่อแอมโมเนียม-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (93.84 และ 0.52 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งต่ำกว่าการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และใช้อัตราปุ๋ย 2 เท่า (186.38 และ 1.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) นอกจากนี้ เทียบกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 พบว่า การฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และใช้อัตราปุ๋ย 1 เท่า มีเพียงค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีที่สูงกว่ามาตรฐาน ในขณะที่การฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และใช้อัตราปุ๋ย 2 เท่า ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีสูงกว่า และค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมีในน้ำในแต่ ละช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของข้าว ทั้ง 3 ระยะ หลังการใส่ปุ๋ยไปแล้ว 2 วัน ในแต่ละครั้ง พบ ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำจากกรรมวิธีการหว่านปุ๋ย มีค่าสูงกว่าการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ดังนั้น การทำนาที่ใช้วิธีการหว่านปุ๋ยในนาข้าว เกษตรกรควรกักเก็บน้ำในแปลง นาข้าวไว้ หลังการใส่ปุ๋ย เพื่อเป็นการลดการสูญเสียธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี และไม่ควรให้น้ำต้นข้าว หลังการใส่ปุ๋ยเคมีมากเกินไปจนความจำเป็น โดยเฉพาะในวันที่ 30 ของอายุต้นข้าว เพราะจะทำให้ปุ๋ยที่มี ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบจากปุ๋ยที่ใส่รองพื้น (สูตร 16-16-8) ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ หนองหารได้ อีกทั้งยังเป็นการใช้ปุ๋ยไม่มีประสิทธิภาพสำหรับข้าว จึงแนะนำให้เกษตรกรลดกรรมวิธี การหว่าน และหันมาใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร ในช่วงแรกของการปักดำต้นกล้าข้าว เพื่อลดการสูญเสียธาตุอาหารไปกับน้ำ และในวันที่ 90 ของอายุต้นข้าว หลังการใส่ปุ๋ยเคมี ควรกักเก็บ น้ำไว้ในแปลงนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเพื่อลดการชะละลายปุ๋ยออกไปกับน้ำลงสู่แหล่งน้ำ โดยปล่อยให้ น้ำในแปลงนาข้าวแห้งพอดีกับวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

5.2.2 การศึกษานี้ พบว่า กรรมวิธีที่ 5 คือ วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และ ใช้ปุ๋ยในอัตราเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ของกรรมวิธีที่ 1, 2 และกรรมวิธีที่ 3 ให้ผลผลิตข้าวสูงสุด แต่อย่างไร ก็ตาม ในขณะที่ กรรมวิธีที่ 2 ซึ่งใช้วิธีการฝังปุ๋ยเช่นเดียวกันกับในกรรมวิธีที่ 5 แต่ใช้อัตราปุ๋ยเคมีต่ำ กว่าในกรรมวิธีที่ 4, 5 และ กรรมวิธีที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตข้าวเปลือกในกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยอัตรา เดียวกัน จะได้ผลผลิตข้าวสูงกว่าวิธีการหว่านและฝังปุ๋ยที่ความลึก 20 เซนติเมตร และเมื่อพิจารณา ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดินและน้ำในนาข้าว นับได้ว่าเป็นอีกกรรมวิธีหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อ คุณภาพน้ำและดินน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรให้ข้อมูลกับเกษตรกรใน ทางเลือกของการใช้อัตราปุ๋ยในนาข้าว โดยแนะนำเกษตรกรให้ใช้อัตราปุ๋ย 1 เท่า ร่วมกับการนำ วิธีการฝังปุ๋ยประยุกต์ใช้กับการทำนาปรังโดยการฝังกลบปุ๋ยเคมีให้ลึกลงไปใต้ดิน 10 เซนติเมตร ใน วันที่ 30 ของอายุข้าว ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

5.2.3 จากการศึกษา พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าว ทั้ง 6 กรรมวิธี ส่งผลทำให้ปริมาณ อินทรีย์วัตถุในดินมีค่าต่ำลง ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยเฉพาะในกรรมวิธีที่ 4 ในวันที่ 90 ของอายุข้าว มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้น หากเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวเป็นระยะเวลายาวนานจึงอาจ ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงเรื่อยๆ และดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณ อินทรีย์วัตถุให้แก่ดินนาข้าวหนองหาร เกษตรกรควรหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ อาทิ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ฯลฯ และลดการใช้ปุ๋ยเคมีโดยอาจใช้ร่วมกันกับปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินและ ความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้อีกทางหนึ่ง

5.2.4 ผลการศึกษา พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ จากวิธีการหว่านในกรรมวิธีที่ 1 ในวันที่ 30 ของอายุข้าว พบ ฟอสฟอรัสในน้ำ ในวันที่ 90 ของอายุข้าว คิดเป็นร้อยละ 3.60 ของปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ใส่ในนาข้าว และหากใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร ฟอสฟอรัสในน้ำ คิดเป็นร้อยละ 2.80 ของปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ใส่ในนาข้าว ดังนั้น หากมีการศึกษาเกี่ยวกับบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (water footprint) จากนาข้าวในพื้นที่หนองหาร สามารถนำค่าที่คำนวณได้ (ร้อยละ 3.60) เป็นอัตราปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูญเสียแหล่งน้ำจากการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ซึ่งโดยทั่วไปใช้ค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณการใช้ปุ๋ยทั้งหมดต่อพื้นที่สำหรับใช้อ้างอิงในการคำนวณบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (gray water footprint) จากนาข้าว และถ้าหากใช้วิธีการฝังปุ๋ยที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร จะใช้ค่าร้อยละ 2.80 เป็นอัตราปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สูญเสียแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นการใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ค่าการใช้น้ำสำหรับการเจือจางมลพิษหรือน้ำเสียที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวจะน้อยลง

5.2.5 เพื่อให้ได้ผลผลิตข้าวมีปริมาณสูง และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับต่ำเมื่อเทียบทั้ง 6 กรรมวิธี จึงแนะนำให้เกษตรกรปลูกข้าวโดยฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร และใช้อัตราปุ๋ย 1 เท่า ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 2×0.7 กรัมต่อกอ ใช้ซ้อนดวงที่สามารถดวงปุ๋ยได้ 0.7 กรัม หรือนับเม็ดปุ๋ยให้ได้น้ำหนัก 0.7 กรัม หยอดห่างจากต้นข้าว 5 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร โดยใช้ไม้ไผ่ยาว 60 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ตัดสเกลที่ระยะ 10 เซนติเมตร และใช้ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร ระบุสเกลที่ระยะ 10 เซนติเมตร โดยใช้ท่อพีวีซียาว 50 เซนติเมตร จากนั้น สวมท่อพีวีซีกับไม้ไผ่ปักลึกลงไปในดินที่ระยะ 10 เซนติเมตร (ตรงกับเครื่องหมายที่ทำไว้) หลังจากนั้นดึงไม้ไผ่ออกจากท่อพีวีซี แล้วหยอดปุ๋ย 0.7 กรัมลงในท่อพีวีซี ทำเช่นนี้ทั้งสองข้าง โดยห่างจากต้นข้าวข้างละ 5 เซนติเมตร เมื่อปุ๋ยลงไปสู่ระดับที่ต้องการแล้ว จึงดึงท่อพีวีซีออก จากนั้นปิดปากถุงให้เรียบร้อย รักษาระดับน้ำในแปลงให้อยู่ 10 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาเพาะปลูก

5.2.6 เพื่อให้สะดวก รวดเร็ว ในการฝังปุ๋ยที่ความลึก 10 เซนติเมตร อาจใช้เครื่องหยอดปุ๋ย โดยควรมีการศึกษาวิจัยระยะปักดำต้นข้าวให้มีระยะห่างพอเหมาะ เพื่อให้เหมาะสมกับการหยอดปุ๋ยเพียงครั้งเดียวต่อกอ

รายการอ้างอิง

1. วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์. เกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย. [อินเทอร์เน็ต]. 2551 [สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ก.ย. 2556]; จาก: <http://www.budmgt.com/agri01/org-agri3thai.html>.
2. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มิ.ย. 2558]; จาก: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577.
3. สุวพงษ์ สวัสดิ์พาณิชย์. โครงการฟื้นฟูทรัพยากรสิ่งแวดล้อมหนองหารเพื่อชุมชนยั่งยืน: ทรัพยากรการเกษตร. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร. 2008.
4. Gong W, Yan X, Wang J, Hu T, Gong Y. Long-term applications of chemical and organic fertilizers on plant-available nitrogen pools and nitrogen management index. *Biol Fertil Soils*. 2011;47(7):767-75.
5. Luo LG, Itoh S, Zhang QW, Yang SQ, Zhang QZ, Yang ZL. Leaching behavior of nitrogen in a long-term experiment on rice under different N management systems. *Environ Monit Assess*. 2011;177(1-4):141-50.
6. Xing GX, Zhu ZL. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China. *Nutr Cycl Agroecosys*. 2000;57(1):67-73.
7. Konnerup D, Koottatep T, Brix H. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia. *Ecol Eng*. 2009;35(2):248-57.
8. Cao Y, Tian Y, Yin B, Zhu Z. Assessment of ammonia volatilization from paddy fields under crop management practices aimed to increase grain yield and N efficiency. *Field Crops Res*. 2013;147:23-31.
9. Xu J, Liao L, Tan J, Shao X. Ammonia volatilization in gemmiparous and early seedling stages from direct seeding rice fields with different nitrogen management strategies: A pots experiment. *Soil Till Res*. 2013;126:169-76.
10. Das P, Sa JH, Kim KH, Jeon EC. Effect of fertilizer application on ammonia emission and concentration levels of ammonium, nitrate, and nitrite ions in a rice field. *Environ Monit Assess*. 2009;154(1-4):275-82.

11. Iqbal MT. Nitrogen leaching from paddy field under different fertilization rates. MJSS. 2011;15:101-14.
12. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. รายงานสถานการณ์มลพิษจากนาข้าวและการจัดการ. 2554.
13. Zhang Z, Rengel Z, Meney K. Interactive effects of nitrogen and phosphorus loadings on nutrient removal from simulated wastewater using *Schoenoplectus validus* in wetland microcosms. Chemosphere. 2008;72(11):1823-8.
14. Singh VP, Wickham TH, Corpuz IT, editors. Nitrogen movement of Laguna Lake through drainage from rice fields. 9th annual scientific meeting of the Crop Science Society of the Philippines; 11-13 May 1978; Iloilo city, Philippines; 1978.
15. วีระศักดิ์ หอมสมบัติ. รายงานวิจัยกลุ่มวิชาการข้อมูลเบื้องต้นและลักษณะประจำพันธุ์ข้าว เล้าแตก: ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว; 2557.
16. ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร. การจัดการเขตศักยภาพการผลิตข้าว จังหวัดสกลนคร: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2551.
17. Jenny H. Factors of Soil Formation. McGraw-Hill; 1941.
18. Brady NC, Weil RR. The nature and properties of soil. 13th ed: Prentice Hall; 2002.
19. Sparks DL. Environmental Soil Chemistry: Academic Press Inc.; 1995.
20. นันทรัตน์ ศุภกานีนิ. การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์และการแปลผล. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มี.ค. 2557]; จาก http://www.kehakaset.com/index.php/component/document/doc_download/835-update?itemid.
21. Walkley A, Black IA. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 1934;37(1):29-38.
22. Jensen TL. Soil pH and the availability of plant nutrients 2010(3).
23. Brady NC, Weil RR. The nature and properties of soil. 14th ed: Prentice Hall; 2008.
24. ทศนีย์ อัดตะนันท์. ดินที่ใช้ปลูกข้าว: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2531.
25. Havlin JL, Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD. Soil Fertility and Fertilizers. 7th ed. New Jersey: Prentice Hall; 2005.

26. Moss B. Water pollution by agriculture. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2008;363(1491):659-66.
27. Sharpley AN, Haygarth PM, Jarvis SCI. Section 1. Agriculture: potential sources of water pollution. *Agriculture, hydrology and water Quality.* Wallingford: CABI Publishing; 2002.
28. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2544.
29. สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. ปุ๋ยกับการพัฒนาการเกษตร ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2535.
30. ปัทมา วิทยากร. ความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นสูง. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2547.
31. อรวรรณ ฉัตรสีรุ่ง. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน: ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2551.
32. Azeem B, KuShaari K, Man ZB, Basit A, Thanh TH. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *J of Controlled Release.* 2014;181:11-21.
33. Mikkelsen R. Ammonia emission from agriculture operations: Fertilizer. *Better Crops.* 2009;93(4):9-11.
34. Chowdary VM, Rao NH, Sarma PBS. A coupled soil water and nitrogen balance model for flooded rice fields in India. *Agric Ecosyst Environ.* 2004;103(3):425-41.
35. Zhou S, Sakiyama Y, Riya S, Song X, Terada A, Hosomi M. Assessing nitrification and denitrification in a paddy soil with different water dynamics and applied liquid cattle waste using the ^{15}N isotopic technique. *Sci Total Environ.* 2012;430:93-100.
36. Poth M. Dinitrogen production from nitrite by a *Nitrosomonas* isolate. *Appl Environ Microbiol.* 1986;52(4):957-9.
37. Inselsbacher E, Wanek W, Strauss J, Zechmeister-Boltenstern S, Müller C. A novel ^{15}N tracer model reveals: Plant nitrate uptake governs nitrogen transformation rates in agricultural soils. *Soil Biol Biochem.* 2013;57:301-10.
38. Bock E, Schmidt I, Stüven R, Zart D. Nitrogen loss caused by denitrifying *Nitrosomonas* cells using ammonium or hydrogen as electron donors and nitrite as electron acceptor. *Arch Microbiol.* 1995;163(1):16-20.

39. Kögel-Knabner I, Amelung W, Cao Z, Fiedler S, Frenzel P, Jahn R, et al. Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma*. 2010;157(1–2):1-14.
40. Choi BY, Yun SY, Kim K, Kim KH, Lee JH, Han JS. A mesocosm study on biogeochemical role of rice paddy soils in controlling water chemistry and nitrate attenuation during infiltration. *Ecol Eng*. 2013;53:89-99.
41. Liang XQ, Chen YX, Li H, Tian GM, Ni WZ, He MM, et al. Modeling transport and fate of nitrogen from urea applied to a near-trench paddy field. *Environ Pollut*. 2007;150(3):313-20.
42. Dodds WK. *Freshwater ecology concepts and environmental applications*. Kentucky: University of Louisville; 2002.
43. Arth I, Frenzel P, Conrad R. Denitrification coupled to nitrification in the rhizosphere of rice. *Soil Biol Biochem*. 1998;30(4):509-15.
44. Li SX. *Dry agriculture in China*. Beijing, China: Science Press; 2007.
45. บุญหงษ์ จงคิด. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2553.
46. Mullins G. *Phosphorus agriculture and the environment*: Virginia State University; 2009.
47. Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD, Havlin JL. . *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th ed. New York: MacMillan; 1993.
48. Reddy KR, Wetzel RG, Kadlec RH. *Biogeochemistry of phosphorus in wetlands*. . *Phosphorus: agriculture and the environment*. Madison: Soil Science Society of America; 2005. p. 263-316.
49. Darilek JL, Huang B, Li D-C, Wang Z-G, Zhao Y-C, Sun W-X, et al. Effect of land use conversion from rice paddies to vegetable fields on soil phosphorus fractions. *Pedosphere*. 2010;20(2):137-45.
50. Bray RH, Kurtz LT. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. 1945;59(1):39-46.
51. กรมการข้าวสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. องค์ความรู้เรื่องข้าว (Rice Knowledge Bank) [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2556]; จาก <http://www.brrd.in.th/rkb/management/index.php-file=content.php&id=1.htm>.

52. อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2553.
53. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ก.ค. 2554]; จาก www.oae.go.th.
54. U.S. EPA. IRIS Toxicological Review of Urea (External Review Draft). U.S. Environmental Protection Agency W, DC, EPA/635/R-10/005A. 2010.
55. Wang J, Wang D, Zhang G, Wang Y, Wang C, Teng Y, et al. Nitrogen and phosphorus leaching losses from intensively managed paddy fields with straw retention. *Agric Water Manage.* 2014;141:66-73.
56. บริษัทไทยรุ่งเจริญดีจำกัด. ปุ๋ยยูเรีย. [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ก.ย.2556]; จาก <http://www.thaifertilizer.com/urea-fertilizer>.
57. Butso O, Isvilanonda S. Two decades of the rice economy of Thailand. *Applied Economics Journal* 2010;17(1):70-92.
58. ไทย. กฎหมาย, ราชกิจจานุเบกษา. กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. (ฉบับที่ 8) ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537. กรมควบคุมมลพิษ. 2537.
59. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน. มาตรฐานของแม่น้ำลำคลองและคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ. [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มี.ค. 2557]; จาก <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi3/subwater1/standard.htm>.
60. มลิวรรณ บุญเสนอ. นิเวศพิชวิทยา. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2552.
61. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2538.
62. Qin B. Lake eutrophication: Control countermeasures and recycling exploitation. 2009;35(11):1569-76.
63. เซาวเลข ชยพัฒนางกูร, หทัยการ มิละโฮ, ผุสดี ช่วยแก้ว. สภาพน้ำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งทั้งหมด สภาพต่าง และพีเอช [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [สืบค้นเมื่อวันที่ 12 พ.ค. 2557]; จาก <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc53/content/nstkc-010.html>.
64. Yamane I. Electrochemical changes in rice soils. *Soils and rice*. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute; 1978. p. 337-58.
65. Ponnampurna FN. The chemistry of submerged soil. *Adv Agron.* 1972;24:29-96.

66. Ji XH, Zheng SX, Lu YH, Liao YL. Study of dynamics of floodwater nitrogen and regulation of its runoff loss in paddy field-based two-cropping rice with urea and controlled release nitrogen fertilizer application. *ASC*. 2007;6(2):189-99.
67. Lin DX, Fan XH, Hu F, Zhao HT, Luo JF. Ammonia volatilization and nitrogen utilization efficiency in response to urea application in rice fields of the Taihu lake region, China. *Pedosphere*. 2007;17(5):639-45.
68. Evanylo G, Sherony C, Spargo J, Starner D, Brosius M, Haering K. Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agric Ecosyst Environ* 2008;127(1-2):50-8.
69. Somura H, Takeda I, Mori Y. Influence of puddling procedures on the quality of rice paddy drainage water. *Agric Water Manag*. 2009;96(6):1052-8.
70. Al-Shami SA, Che-Salmah MR, Siti-Azizah MN, Abu-Hassan A. The influence of routine agricultural activities on the quality of water in a tropical rice field ecosystem. *Appl Ecol Env Res*. 2010;8(1):11-8.
71. Kim MK, Kwon SI, Ko BG, Park SJ, Lee JS, Lee DB, editors. Influence of the pig manure-based liquid fertilizers on the water quality properties in an agricultural catchment with different land uses. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 - 6 August 2010; Brisbane, Australia; 2010.
72. Chen SK, Jang CS, Chen SM, Chen KH. Effect of N-fertilizer application on return flow water quality from a terraced paddy field in Northern Taiwan. *Paddy Water Environ*. 2013;11(1-4):123-33.
73. Yu QG, Ye J, Yang SN, Fu JR, Ma JW, Sun WC, et al. Effects of nitrogen application level on rice nutrient uptake and ammonia volatilization. *Rice Science*. 2013;20(2):139-47.
74. Zhou Q, Zhu Y. Potential pollution and recommended critical levels of phosphorus in paddy soils of the southern Lake Tai area, China. *Geoderma*. 2003;115(1-2):45-54.
75. มณเฑียร จินดา, สมศักดิ์ เหลืองศิริรัตน์, เสน่ห์ ฤกษ์วีรี. อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่มีต่อสมบัติของดินและผลผลิตข้าวในดินนาชุมชนนครปฐม.

รายงานผลการค้นคว้าวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2536-2539. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2542.

76. อภิวรรณ จุลนิมิ. การตอบสนองของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 ต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่ปลูกในชุดดินสระบุรีที่เคยมีการใส่ปุ๋ยเคมีสำหรับข้าวอย่างต่อเนื่อง [Responses to nitrogen fertilizers of Pathumthani 1 aromatic rice variety grown on Saraburi soil series that used to be regularly applied with chemical fertilizers for rice]: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.

77. อรุณ เกิดชูชื่น, ผ่องพรรณ พุทธาโร. อิทธิพลของปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตต่อ growth rate, leaf area index และ net assimilation rate ของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2002;25(3):233-43.

78. เกริก ปิ่นตระกูล. ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว [Effect of fertilization on soil and water quality in paddy field] [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2550.

79. ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช. การวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางแก้ไขปัญหาการเสียดุลระบบนิเวศในแปลงนาและแหล่งน้ำ รายงานการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2553.

80. นันทนา ชื่นอิม, วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์, สมชาย กริทธิภรณ์, นุชรา สิบบัวทอง. การใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าการวิเคราะห์ดิน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2553.

81. อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ. ผลของการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับการจัดการธาตุอาหารอาหารเฉพาะพื้นที่ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานีในชุดดินสระบุรี. 2014;42(3):369-74.

82. สำนักงานเทศบาลตำบลเชียงเคี่ยน. สภาพทั่วไปและข้อมูลพื้นฐาน. [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 11 ต.ค. 2558]; จาก <http://www.chkr.go.th/1/index.php/component/content/category/79-2014-09-19-14-25-44>.

83. สถาบันอุตุนิยมหาวิทยาลัยสกลนคร. เอกสารรายงานข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัย จังหวัดสกลนคร ประจำเดือนมกราคม- ธันวาคม 2557. กรมอุตุนิยวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2558.

84. จรรย์ จันทลักขณา. สถิติวิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช; 2527.

85. พิศมัย หาญมงคลพิพัฒน์. สถิติและการวางแผนการทดลองทางการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2553.
86. กรมวิชาการเกษตรกลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการเกษตร. เทคนิคทางสถิติในการปฏิบัติงานวิจัยเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร; 2552.
87. U.S.EPA. Guidance on choosing a sampling design for environmental data collection for use in developing a quality assurance project plan. U.S.A.: U.S. Environmental Protection Agency, 2002.
88. American Public Health Association, American Water Work Association, Water Pollution Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington D.C. USA: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Federation; 1998.
89. Jones JB. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton: CRC Press; 2001.
90. Murphy J, Riley JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*. 1962;27:31-6.
91. กรรณิการ์ สิริสิงห. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2544.
92. สมคิด เฉลิมเกียรติ. รายงานผลการดำเนินงานเรื่องการส่งเสริมเกษตรกรลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าวในภาคตะวันตก: ศูนย์บริหารศัตรูพืช จังหวัดสุพรรณบุรี, สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 จังหวัดราชบุรี, กรมส่งเสริมการเกษตร; 2554.
93. จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. ดินตะกอน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.; 2548.
94. Alexander M. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. New York: Wiley&Sons, Inc.; 1977.
95. สุบัณฑิต นิर्मรัตน์. จุลชีววิทยาทางดิน. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์; 2549.
96. กลุ่มงานเคมี ส่วนวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์ กรมชลประทาน. มาตรฐานคุณภาพน้ำ [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 28 พ.ค. 2558]; จาก <http://water.rid.go.th/wrd/const14/images/KL/KL3.pdf>.
97. นภาพร ทิพมาสน์, สมนิมิต พุกงาม. การตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่ป่าไม้ เกษตรกรรม ป่าไม้ผสมเกษตรกรรม โดยใช้ลุ่มน้ำขนาดเล็ก ในลุ่มน้ำสาขาแม่ถาง จังหวัดแพร่ วารสารวนศาสตร์. 2552;28(1):51-66.

98. Natuhara Y. Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. *Ecol Eng.* 2013;56:97-106.
99. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, นิตยา รื่นสุข. ผลของพันธุ์ข้าวและชนิดของปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.* 2013;18(1):105-15.
100. Xiao M, Yu S, Wang Y, Huang R. Nitrogen and phosphorus changes and optimal drainage time of flooded paddy field based on environmental factors. *WSE.* 2013;6(2):164-77.
101. Zhou S, Nishiyama K, Y. W, M. H. Nitrogen budget and ammonia volatilization in paddy fields fertilizer with liquid cattle waste. *Water Air Soil Poll.* 2009;201:135-47.
102. ยงยุทธ โอสภสภ, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, ขวลิต ฮงประยูร. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2556.
103. Huda A, Gaihre YK, Islam MR, Singh U, Islam MR, Sanabria J, et al. Floodwater ammonium, nitrogen use efficiency and rice yields with fertilizer deep placement and alternate wetting and drying under triple rice cropping systems. *Nutr Cycl Agroecosys.* 2016:1-14.
104. Muhibbullah MD, Momotaz S, Chowdhury AT. Use of agrochemical fertilizers and their impact on soil, water and human health in the Khamargao Village of Mymensingh District, Bangladesh. *J Agron.* 2005;4(2):109-15.
105. Xiao MH, YU SE, Wang YY, Huang R. Nitrogen and phosphorus changes and optimal drainage time of flooded paddy field based on environmental factors. *WSE.* 2013;6(2):164-77.
106. Dojlido JR, Best GA. *Chemistry of water and water pollution.* Hemel Hempstead: Ellis Horwood; 1993.
107. Institute IPN. Diammonium Phosphate. [อินเทอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พ.ค.2558]; จาก: <http://www.ipni.net/specifcics-en>.
108. อรรถพล โสภางค์, สมเกียรติ ปิยะธีรฉัตรกุล, กนกพร บุญส่ง. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวอินทรีย์ที่มีระดับน้ำท่วมขังต่างกัน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.* 2011;13(3):71-8.
109. Shan L, He Y, Chen J, Huang Q, Wang H. Ammonia volatilization from a Chinese cabbage field under different nitrogen treatments in the Taihu Lake Basin, China. *J Environ Sci (China).* 2015;38:14-23.

110. พัชรี แสนจันทร์, โสภณฤทธิ์ โร, เทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์. ผลของซัลเฟตและยูเรียต่อการผลิตก๊าซมีเทนในดินนาภายใต้สภาพการบ่มดินในห้องปฏิบัติการ. เกษตร 2554;39:5-12.
111. Rostaminia M, Mahmoodi S, Sefidi HTG, Pazira E, Kafaei SB. Study of reduction-oxidation potential and chemical characteristics of a paddy field during rice growing season. J Appl Sci. 2011;11(6):1004-11.
112. Minamikawa K, Sakai N. The effect of water management base on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soils in Japan. Agric Ecosyst Environ. 2005;107:397-407.
113. Smith JL, Paapendick RI, Bezdicek DF, Lynch JM. Soil organic matter dynamics and crop residue management. Soil Microbial Ecology. New York: Marcel Dekker Inc; 1992.
114. Gaihre YK, Singh U, Islam SMM, Huda A, Islam MR, Satter MA, et al. Impacts of urea deep placement on nitrous oxide and nitric oxide emissions from rice fields in Bangladesh. Geoderma. 2015;259:370-9.
115. Yang J, Gang L, Jing M, Bin ZG, Hua X. Effects of urea and controlled release urea fertilizers on methane emission from paddy fields: A multi-year field study. Pedosphere. 2014;24(5):662-73.
116. Ayers A, Westcot DW. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper 29 Rev.1. FAO Corporate Document Repository. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985.
117. เกรียงศักดิ์ ไพรวรรณ. รูปแบบการแตกกอ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและกายภาพของต้นและรวงข้าวเพาะปลูกแบบปักดำในฤดูนาปีด้วยข้าว *Oryza japonica* L. และ *Oryza indica* L. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 2008; 2(2):9-26.
118. Liu TQ, Fan DJ, Zhang XX, Chen J, Li CF, Cao CG. Deep placement of nitrogen fertilizers reduces ammonia volatilization and increases nitrogen utilization efficiency in no-tillage paddy fields in central China. Field Crops Res. 2015;184:80-90.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ข้อมูลคุณภาพน้ำและดินในนาข้าว

ตารางที่ ก.1 ค่าอุณหภูมิของน้ำ

กรรมวิธี	ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	24.00	23.80	24.00	23.90	0.07	1	28.50	29.10	29.20	28.90	0.22
2	24.00	25.00	24.50	24.50	0.29	2	27.40	27.10	27.30	27.30	0.09
3	25.20	25.10	24.20	24.80	0.32	3	27.00	26.50	26.00	26.50	0.29
4	25.20	25.30	24.80	25.10	0.15	4	27.30	28.20	27.60	27.70	0.26
5	25.00	25.00	26.00	25.30	0.33	5	26.80	26.80	26.60	26.70	0.07
6	26.10	26.20	25.70	26.00	0.15	6	25.70	25.70	26.00	25.80	0.10
กรรมวิธี	ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	21.30	21.00	21.30	21.20	0.10	1	27.40	27.80	27.90	27.70	0.15
2	21.20	21.10	21.00	21.10	0.06	2	26.90	26.70	26.80	26.80	0.06
3	21.20	21.20	21.00	21.10	0.07	3	27.70	27.60	27.70	27.70	0.03
4	21.20	21.20	21.20	21.20	0.00	4	27.60	27.60	27.50	27.57	0.03
5	21.00	21.10	21.10	21.10	0.03	5	27.10	27.10	27.50	27.20	0.13
6	21.30	21.40	21.50	21.40	0.06	6	27.60	27.20	27.60	27.50	0.13

ตารางที่ ก.2 ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ

กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	5.77	5.78	5.82	5.79	0.02	1	6.88	6.90	6.92	6.90	0.01
2	5.97	5.98	5.96	5.97	0.01	2	6.89	6.90	6.88	6.89	0.01
3	5.99	5.96	5.95	5.97	0.02	3	6.80	6.87	6.88	6.85	0.03
4	6.26	6.31	6.23	6.27	0.03	4	6.88	6.92	6.90	6.90	0.01
5	5.85	5.86	5.93	5.88	0.01	5	6.88	6.87	6.86	6.87	0.01
6	6.20	6.19	6.21	6.20	0.01	6	6.75	6.77	6.70	6.74	0.02
กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำ อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	8.67	7.83	8.62	8.37	0.27	1	6.97	8.04	8.21	7.74	0.39
2	7.69	8.24	8.07	8.00	0.16	2	7.53	7.64	7.55	7.57	0.03
3	7.90	7.87	7.78	7.85	0.04	3	8.11	7.16	7.22	7.50	0.31
4	8.67	8.69	8.78	8.71	0.03	4	8.69	8.51	8.45	8.55	0.07
5	8.51	8.49	8.03	8.34	0.16	5	7.60	7.52	8.43	7.85	0.29
6	8.34	8.30	7.78	8.14	0.18	6	7.81	7.70	7.54	7.68	0.08

ตารางที่ ก.3 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ

กรรมวิธี	ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ ($\mu\text{S/cm}$) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ ($\mu\text{S/cm}$) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	158.70	151.30	158.80	156.27	2.48	1	867.00	816.00	825.00	836.00	15.72
2	138.80	137.00	137.10	137.63	0.58	2	566.00	516.00	517.00	533.00	16.50
3	136.60	136.50	138.00	137.03	0.48	3	417.30	463.00	472.00	450.77	16.93
4	134.30	141.30	141.50	139.03	2.37	4	1,626.00	1,543.00	1,745.00	1,638.00	58.62
5	156.50	156.20	143.20	151.97	4.38	5	1,185.00	1,186.00	1,177.00	1,182.67	2.82
6	151.90	168.00	171.10	163.67	5.95	6	905.00	927.00	883.00	905.00	12.70
กรรมวิธี	ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ ($\mu\text{S/cm}$) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ ($\mu\text{S/cm}$) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	818.00	825.00	816.00	819.67	2.73	1	654.00	664.00	631.00	649.67	9.77
2	525.00	533.00	518.00	524.73	4.33	2	454.00	464.00	431.00	449.67	9.77
3	329.00	340.00	343.00	337.33	4.26	3	312.00	304.00	284.00	300.00	8.33
4	1,442.00	1443.00	1452.00	1445.67	3.18	4	1,218.00	1,317.00	1,317.50	1,284.17	33.08
5	1185.00	1152.00	1112.00	1149.67	21.11	5	810.00	986.00	1,048.00	948.00	71.28
6	637.00	613.00	509.00	586.33	39.28	6	546.00	528.00	548.00	545.67	6.36

ตารางที่ ก.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

กรรมวิธี	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	2.60	2.40	2.80	2.60	0.12	1	7.30	5.64	4.81	5.92	0.73
2	2.50	2.40	2.60	2.50	0.06	2	7.67	7.17	8.78	7.87	0.48
3	2.60	2.70	2.80	2.70	0.06	3	6.55	6.46	5.86	6.29	0.22
4	2.70	2.50	3.10	2.77	0.18	4	6.45	6.80	6.92	6.72	0.14
5	2.90	2.90	3.00	2.93	0.03	5	7.03	6.09	6.32	6.48	0.28
6	2.60	2.50	2.80	2.63	0.09	6	6.55	6.87	6.72	6.71	0.09
กรรมวิธี	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	4.69	3.46	4.90	4.35	0.45	1	4.26	4.10	4.20	4.18	0.05
2	5.15	5.46	5.40	5.34	0.09	2	6.43	4.23	4.18	4.95	0.74
3	5.10	4.65	3.70	4.48	0.41	3	3.57	4.25	4.61	4.14	0.30
4	3.03	4.02	3.36	3.47	0.29	4	4.26	3.11	2.25	3.21	0.58
5	3.87	5.69	4.51	4.69	0.53	5	3.04	4.44	2.41	3.30	0.60
6	4.28	2.15	4.05	3.49	0.67	6	2.95	3.60	3.50	3.35	0.20

ตารางที่ ก.5 ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี

กรรมวิธี	ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	25.00	26.00	26.00	25.67	0.33	1	9.00	7.80	6.60	7.80	0.69
2	27.00	26.00	28.00	27.00	0.58	2	6.60	7.00	6.90	6.83	0.12
3	26.00	24.20	25.00	25.07	0.52	3	7.80	9.90	10.30	9.33	0.78
4	27.00	22.00	20.00	23.00	2.08	4	13.20	12.00	10.80	12.00	0.69
5	26.00	22.00	28.00	25.33	1.76	5	9.60	12.90	9.90	10.80	1.05
6	21.00	24.00	21.00	22.00	1.00	6	9.90	10.50	11.10	10.50	0.35
กรรมวิธี	ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	16.80	16.20	16.50	16.50	0.17	1	12.00	10.50	10.20	10.90	0.56
2	13.15	15.20	11.10	13.15	1.18	2	8.40	10.20	9.30	9.30	0.52
3	15.00	14.60	14.20	14.40	0.23	3	9.80	10.20	9.60	9.87	0.18
4	22.20	21.00	21.20	21.47	0.37	4	21.00	21.10	21.20	21.10	0.06
5	13.50	13.50	15.30	14.10	0.60	5	13.80	17.80	15.80	15.80	1.15
6	13.60	13.20	13.20	13.37	0.13	6	11.30	12.60	10.00	11.30	0.75

ตารางที่ ก.6 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ

กรรมวิธี	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	2.24	2.12	2.20	2.19	0.04	1	112.79	111.57	123.47	115.94	3.78
2	4.20	1.68	2.80	2.89	0.73	2	98.64	99.13	96.75	98.17	0.73
3	3.36	3.60	4.48	3.38	0.34	3	66.71	66.72	68.85	67.43	0.71
4	2.80	3.12	2.68	2.87	0.13	4	205.70	203.35	204.27	204.44	0.68
5	5.60	3.92	3.28	4.27	0.69	5	139.33	138.56	136.98	138.29	0.69
6	2.80	1.96	3.36	2.71	0.41	6	129.76	129.50	125.67	128.31	1.32
กรรมวิธี	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	138.50	144.20	133.52	138.74	3.09	1	124.92	123.72	127.68	125.44	1.17
2	115.24	112.79	119.66	115.90	2.01	2	93.92	90.55	97.05	93.84	1.88
3	94.17	96.96	97.60	96.24	1.05	3	46.74	33.26	44.37	41.45	4.16
4	256.42	262.58	250.20	256.40	3.57	4	217.79	212.35	218.61	216.25	1.96
5	190.68	188.89	199.24	192.94	3.19	5	185.35	188.72	185.07	186.38	1.17
6	143.71	141.35	133.27	139.44	3.16	6	82.09	86.20	89.49	85.93	2.14

ตารางที่ ก.7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ

กรรมวิธี	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	0.87	0.89	0.80	0.85	0.03	1	0.98	1.03	1.04	1.02	0.02
2	1.03	0.74	0.75	0.84	0.10	2	0.92	0.98	1.02	0.97	0.03
3	1.11	0.78	0.87	0.92	0.10	3	0.53	0.90	0.97	0.80	0.14
4	0.89	1.10	0.82	0.94	0.08	4	1.83	1.75	1.67	1.75	0.05
5	0.61	0.91	0.92	0.81	0.10	5	1.59	1.24	1.64	1.49	0.13
6	0.85	0.87	0.86	0.86	0.01	6	1.11	1.35	1.03	1.16	0.10
กรรมวิธี	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	1.82	1.77	1.45	1.68	0.12	1	0.59	0.77	0.69	0.68	0.05
2	1.26	1.62	1.44	1.44	0.10	2	0.74	0.57	0.24	0.52	0.15
3	0.64	0.74	0.77	0.72	0.04	3	0.40	0.42	0.57	0.46	0.05
4	2.15	2.02	2.45	2.21	0.13	4	1.78	1.97	2.10	1.95	0.09
5	1.86	1.98	1.72	1.86	0.08	5	1.49	1.57	1.56	1.54	0.03
6	1.63	1.89	1.60	1.71	0.09	6	1.53	1.65	1.20	1.46	0.13

ตารางที่ ก.8 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ

กรรมวิธี	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	0.01	0.07	0.01	0.03	0.02	1	10.12	11.67	12.50	11.43	0.70
2	0.03	0.01	0.12	0.05	0.03	2	8.50	7.50	6.33	7.44	0.63
3	0.03	0.07	0.15	0.08	0.04	3	6.67	6.20	5.50	6.12	0.34
4	0.06	0.07	0.08	0.07	0.01	4	19.57	19.60	19.66	19.61	0.03
5	0.05	0.08	0.06	0.06	0.01	5	13.83	14.83	14.54	14.40	0.30
6	0.01	0.03	0.12	0.05	0.03	6	10.20	10.30	11.60	10.70	0.45
กรรมวิธี	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	0.50	1.33	0.83	0.89	0.24	1	1.67	1.17	2.20	1.68	0.30
2	0.83	0.85	1.50	1.06	0.22	2	2.12	0.56	1.24	1.31	0.45
3	3.50	1.17	1.17	1.95	0.78	3	1.22	0.86	1.13	1.07	0.11
4	1.83	2.17	1.17	1.72	0.29	4	2.55	2.33	2.30	2.39	0.08
5	1.17	0.67	1.70	1.18	0.30	5	1.30	1.88	1.65	1.61	0.17
6	1.00	1.17	1.33	1.17	0.10	6	1.20	0.89	0.96	1.02	0.09

ตารางที่ ก.9 ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน

กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	6.12	6.09	6.15	6.12	0.02	1	6.88	6.85	6.70	6.81	0.06
2	5.69	5.65	5.59	5.64	0.03	2	6.86	6.67	6.80	6.78	0.06
3	5.87	5.72	5.76	5.78	0.04	3	6.90	6.90	6.80	6.87	0.03
4	6.21	6.16	6.18	6.18	0.01	4	6.93	7.10	6.95	6.99	0.05
5	5.12	5.11	5.16	5.13	0.02	5	6.90	6.80	6.90	6.87	0.03
6	5.56	5.62	5.52	5.57	0.03	6	6.87	6.87	6.80	6.85	0.02
กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-เบสในดิน อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	6.31	6.49	6.45	6.42	0.05	1	6.60	6.80	6.65	6.70	0.06
2	6.39	6.66	6.69	6.58	0.10	2	6.89	6.84	6.86	6.85	0.01
3	6.80	6.90	6.70	6.80	0.06	3	7.20	7.10	7.10	7.10	0.03
4	6.80	6.96	7.10	6.95	0.09	4	7.88	7.98	7.80	7.89	0.05
5	6.80	6.90	7.1	6.90	0.09	5	8.53	8.41	8.39	8.44	0.04
6	6.90	7.01	7.30	7.07	0.12	6	8.35	8.30	8.15	8.27	0.06

ตารางที่ ก.10 ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน

กรรมวิธี	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (มิลลิโวลต์) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (มิลลิโวลต์) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	-87.30	-95.80	-112.40	-98.50	7.37	1	-125.80	-116.00	-159.30	-133.70	13.11
2	-96.50	-112.00	-102.60	-103.70	4.51	2	-152.60	-145.30	-145.50	-145.50	2.40
3	-116.20	-105.80	-112.30	-111.43	3.03	3	-167.10	-166.10	-168.20	-167.13	0.61
4	-126.00	-112.00	-110.00	-116.00	5.03	4	-143.20	-133.10	-156.50	-144.93	6.78
5	-111.20	-123.60	-115.40	-116.73	3.64	5	-171.2	-179.20	-178.00	-176.10	2.49
6	-125.00	-112.00	-132.00	-123.00	5.86	6	-171.80	-165.80	-198.90	-178.80	10.18
กรรมวิธี	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (มิลลิโวลต์) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดิน (มิลลิโวลต์) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	-142.00	-167.00	-202.00	-170.33	17.40	1	-129.00	-131.00	-131.00	-130.33	0.67
2	-194.00	-174.20	-181.50	-183.23	5.78	2	-162.00	-167.00	-155.40	-161.00	3.36
3	-192.00	-195.20	-186.60	-192.30	2.51	3	-210.50	-215.60	-218.90	-215.20	2.44
4	-187.00	-190.00	-184.00	-187.00	1.73	4	-167.00	-174.00	-182.00	-174.33	4.33
5	-195.20	-210.50	-184.00	-196.50	7.68	5	-179.60	-189.00	-181.20	-183.00	2.90
6	-195.00	-222.00	-228.00	-215.00	10.15	6	-237.20	-236.80	-232.60	-235.53	1.47

ตารางที่ ก.11 ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน

กรรมวิธี	ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	1.06	1.03	1.03	1.04	0.01	1	1.05	1.04	1.03	1.04	0.01
2	1.00	1.02	1.03	1.02	0.01	2	1.01	0.86	0.91	0.93	0.04
3	0.99	1.00	0.97	0.99	0.01	3	1.00	0.97	1.03	1.00	0.02
4	1.05	1.08	1.08	1.07	0.01	4	0.79	0.66	0.77	0.74	0.04
5	1.09	1.12	1.15	1.12	0.02	5	0.95	0.92	0.92	0.93	0.01
6	1.24	1.23	1.29	1.26	0.02	6	1.10	0.84	1.08	1.01	0.08
กรรมวิธี	ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	1.00	1.02	1.02	1.01	0.01	1	1.01	0.98	0.96	0.98	0.01
2	0.92	0.96	0.94	0.94	0.01	2	1.01	0.94	0.90	0.95	0.03
3	1.05	1.06	1.10	1.07	0.02	3	0.86	0.78	0.90	0.85	0.04
4	0.79	0.78	0.79	0.79	0.00	4	0.56	0.64	0.52	0.57	0.04
5	1.10	1.15	0.76	1.00	0.12	5	0.99	0.80	0.85	0.88	0.06
6	1.19	1.12	0.98	1.10	0.06	6	0.99	1.03	0.86	0.96	0.05

ตารางที่ ก.12 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน

กรรมวิธี	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	36.40	43.40	29.40	36.40	4.04	1	98.75	93.50	96.50	96.25	1.52
2	44.80	43.40	39.20	42.47	1.68	2	104.25	104.50	106.50	105.08	0.71
3	39.20	35.00	46.20	40.13	3.27	3	133.50	147.00	128.50	136.33	5.53
4	36.00	35.20	38.00	36.40	0.83	4	145.00	144.00	149.00	146.00	1.53
5	68.00	66.00	67.00	67.00	0.58	5	193.75	162.00	181.00	178.92	9.22
6	73.50	72.00	66.50	70.67	2.13	6	278.60	276.50	280.00	278.37	1.02
กรรมวิธี	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	165.00	164.91	146.00	159.45	6.32	1	103.13	104.31	103.44	103.96	0.35
2	151.00	156.00	181.50	162.83	9.44	2	224.38	236.56	230.31	230.42	3.52
3	210.50	211.50	205.50	209.17	1.86	3	310.20	312.50	320.10	314.23	2.99
4	260.00	267.25	266.00	264.42	2.24	4	185.50	186.50	178.00	183.33	2.68
5	325.20	330.66	310.25	322.02	6.10	5	365.65	361.25	375.19	367.33	4.11
6	458.00	456.50	457.00	458.50	0.44	6	546.50	558.50	547.00	550.67	3.92

ตารางที่ ก.13 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน

กรรมวิธี	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	0.30	0.30	0.30	0.30	0.00	1	9.40	8.55	9.25	9.08	0.26
2	0.40	0.50	0.30	0.40	0.06	2	10.50	7.00	8.75	8.75	1.01
3	0.70	0.65	0.60	0.65	0.03	3	5.00	5.50	5.65	5.35	0.20
4	0.30	0.30	0.40	0.33	0.03	4	13.13	14.40	13.37	13.63	0.39
5	0.20	0.30	0.40	0.30	0.06	5	10.70	12.55	14.40	12.55	1.07
6	0.20	0.40	0.20	0.27	0.07	6	10.17	9.10	8.90	9.54	0.39
กรรมวิธี	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	10.20	12.50	9.90	10.90	0.82	1	7.24	8.54	9.41	8.30	0.63
2	10.94	10.94	8.75	10.21	0.73	2	7.66	8.47	6.03	7.39	0.72
3	8.55	7.80	9.00	8.56	0.35	3	6.22	6.03	5.47	5.91	0.23
4	19.00	17.50	17.37	17.62	0.52	4	15.47	18.03	17.28	16.93	0.76
5	13.50	12.19	12.85	12.85	0.38	5	10.68	10.84	10.60	10.86	0.07
6	10.60	10.00	9.50	10.03	0.32	6	8.50	7.50	9.60	8.53	0.61

ตารางที่ ก.14 ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน

กรรมวิธี	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ก่อนปลูกข้าว					กรรมวิธี	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 30 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	0.92	0.92	0.92	0.92	0.00	1	32.00	30.13	30.08	30.74	0.63
2	1.23	1.53	0.92	1.23	0.18	2	56.50	62.20	56.45	58.38	1.91
3	1.91	1.99	1.84	1.91	0.04	3	60.20	60.00	60.23	60.23	0.07
4	0.92	0.92	1.23	1.02	0.10	4	69.25	70.35	71.15	70.25	0.55
5	0.61	0.92	1.23	0.92	0.18	5	100.07	101.10	102.50	101.22	0.70
6	0.61	1.23	0.61	0.82	0.21	6	105.50	104.60	106.50	105.53	0.55
กรรมวิธี	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 60 วัน					กรรมวิธี	ค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อายุข้าว 90 วัน				
	1	2	3	เฉลี่ย	SEM		1	2	3	เฉลี่ย	SEM
1	14.66	16.00	15.50	15.39	0.39	1	10.05	11.00	9.04	10.03	0.57
2	45.00	43.50	42.60	43.70	0.70	2	26.05	25.46	24.00	25.20	0.61
3	44.00	46.00	47.70	45.90	1.07	3	29.50	28.40	29.60	29.17	0.38
4	50.50	53.50	48.00	50.67	1.59	4	37.50	36.50	38.30	37.40	0.52
5	81.57	74.85	79.85	78.86	2.02	5	54.60	54.30	54.20	54.37	0.12
6	89.60	90.00	91.20	90.30	0.48	6	74.30	71.20	73.60	73.30	0.94

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ตารางที่ ข.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิของน้ำใน 6 แปลง ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	1.169	0.234	1.536 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	1.827	0.152	
Total	17	2.996		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิของน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	3.04	3.04	27.24 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	14.30	7.15	64.03 ^{ns}
A*B	2	0.40	0.20	1.796 ^{ns}
Total	17	19.08		
ERROR	12	0.004	0.11	

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิของน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	.027	.027	2.45 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.103	0.052	4.65 ^{ns}
A*B	2	0.081	0.041	3.65 ^{ns}
Total	17	0.345		
ERROR	12	0.133	0.011	

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิของน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.005	0.005	0.15 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	1.37	0.68	21.32 ^{ns}
A*B	2	0.363	0.18	5.63 ^{ns}
Total	17	2.129		
ERROR	12	0.387	0.032	

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.5 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำใน 6 แปลง ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	0.281	0.06	1.144 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	0.590	0.049	
Total	17	0.871		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.6 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.008	0.008	12.46 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.038	0.019	27.83 [*]
A*B	2	0.010	0.005	7.47 ^{ns}
Total	17	0.012		
ERROR	12	0.008	0.001	

หมายเหตุ : ^{*} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.7 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.474	0.474	5.921*
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.940	0.470	5.875*
A*B	2	0.003	0.001	0.017 ^{ns}
Total	17	2.376		
ERROR	12	9.960	0.080	

หมายเหตุ : * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.8 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.811	0.811	4.73 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	1.021	0.511	2.985 ^{ns}
A*B	2	0.341	0.170	0.995 ^{ns}
Total	17	4.225		
ERROR	12	2.053	0.171	

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.9 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้าในน้ำใน 6 แปลง ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	556.092	111.218	2.593 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	514.753	42.896	
Total	17	1070.845		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.10 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้าในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	181876	181876	815.90**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	979494	489747.0	219.70**
A*B	2	90448.15	45224.07	20.288**
Total	17	2915461.48		
ERROR	12	26749.59	2229.133	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

* แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้าในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	1084373	1084373	800.37**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	1408763	704381	519.9**
A*B	2	66058.38	66058.38	48.75*
Total	17	1.460		
ERROR	12	16258.00	66058.38	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

* แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.12 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้าในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	943251.12	943251.12	291.28**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	896368	448184	138.40**
A*B	2	120019.08	60009.45	18.53*
Total	17	16630		
ERROR	12	38859.16	3238.26	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

* แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.13 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าออกซิเจนละลายในน้ำใน 6 แปลง ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	0.338	0.068	2.252 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	0.360	0.030	
Total	17	0.698		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.14 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าออกซิเจนละลายในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.01	0.01	0.03 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	2.44	1.22	2.50 ^{ns}
A*B	2	4.14	2.07	4.24*
Total	17	12.10		
ERROR	12	5.508	0.45	

หมายเหตุ : * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.15 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าออกซิเจนละลายในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	3.167	3.167	5.255 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	4.541	2.274	3.77 ^{ns}
A*B	2	0.092	0.046	0.077 ^{ns}
Total	17	15.039		
ERROR	12	7.232	0.603	

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.16 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าออกซิเจนละลายในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	8.364	8.364	8.801*
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.659	0.329	0.347 ^{ns}
A*B	2	0.358	0.179	0.188 ^{ns}
Total	17	20.785		
ERROR	12	11.404	0.950	

หมายเหตุ : * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.17 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในน้ำ ใน 6 แปลงตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	50.811	10.162	2.219 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	54.960	4.580	
Total	17	105.771		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.18 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในน้ำ หลังการใส่ปุ๋ยเคมีตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	43.556	43.556	31.05**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	4.768	2.384	1.699 ^{ns}
A*B	2	8.548	4.274	3.047 ^{ns}
Total	17	73.704		
ERROR	12	16.833	1.403	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.19 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในน้ำ หลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	10.81	10.81	10.81**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	107.99	53.99	54.00 ^{ns}
A*B	2	29.95	14.97	14.19*
Total	17	4499.21		
ERROR	12	11.99	1.00	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.20 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	164.40	164.40	130.94**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	90.22	45.11	35.92*
A*B	2	58.10	29.05	23.14**
Total	17	327.80		
ERROR	12	15.06	1.26	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.21 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำใน 6 แปลง ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	8.859	1.772	2.705 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	7.859	0.655	
Total	17	16.718		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.22 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	17954.49	17954.49	1996.19**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	12122.38	6061.159	583.88**
A*B	2	1767.32	883.66	85.14**
Total	17	31948.77		
ERROR	12	107.91	8.99	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.23 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	28294.21	28294.21	1190.45**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	19112.32	9556.16	352.78**
A*B	2	4170.16	2085.08	76.97**
Total	17	51862.88		
ERROR	12	285.21	23.76	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.24 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	25949.45	25949.45	1624.97**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	36532.51	18266.25	1143.86**
A*B	2	2230.40	1115.20	86.82**
Total	17	64905.18		
ERROR	12	191.62	15.96	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.25 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำใน 6 แปลง ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	0.034	0.007	0.371 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	0.222	0.018	
Total	17	0.256		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.26 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	1.30	1.30	55.34 ^{**}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.46	0.23	10.49 ^{**}
A*B	2	0.13	0.05	2.20 ^{ns}
Total	17	2.18		
ERROR	12	0.28	0.024	

หมายเหตุ : ^{**} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.27 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	1.87	1.87	64.22 ^{**}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	1.61	0.80	28.96 ^{**}
A*B	2	0.28	0.14	4.68 [*]
Total	17	4.09		
ERROR	12	0.33	0.028	

หมายเหตุ : ^{**} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

^{*} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.28 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	5.40	5.40	198.20**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.427	0.214	7.84**
A*B	2	0.066	0.033	1.21*
Total	17	6.22		
ERROR	12	0.32	0.027	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.29 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำใน 6 แปลง ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	0.005	0.001	0.520 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	0.023	0.002	
Total	17	0.029		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.30 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	203.68	203.68	880.09**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	167.79	83.89	362.50**
A*B	2	7.34	3.674	15.87**
Total	17	381.602		
ERROR	12	2.777	0.231	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.31 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.016	0.016	0.035 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.576	0.288	0.645 ^{ns}
A*B	2	1.96	0.98	2.20 ^{ns}
Total	17	7.922		
ERROR	12	5.361	0.447	

หมายเหตุ : ^{ns} หมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.32 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในน้ำหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.464	0.464	2.67 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	2.987	1.49	8.59 ^{**}
A*B	2	0.442	0.221	1.271 ^{ns}
Total	17	5.977		
ERROR	12	2.085	0.174	

หมายเหตุ : ^{**} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.33 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-เบสในดินใน 6 แปลง ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	1.052	0.210	1.932 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	1.307	0.109	
Total	17	2.358		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.34 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-เบสในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.03	0.03	5.40*
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.019	0.01	1.62 ^{ns}
A*B	2	0.03	0.01	2.61 ^{ns}
Total	17	0.15		
ERROR	12	0.07	0.00	

หมายเหตุ : * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.35 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-เบสในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.598	0.598	23.16 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.218	0.109	4.216*
A*B	2	0.067	0.033	1.297 ^{ns}
Total	17	1.192		
ERROR	12	0.310	0.026	

หมายเหตุ : * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.36 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-เบสในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	7.67	7.67	1165.08*
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.62	0.31	47.10*
A*B	2	0.173	0.087	13.15*
Total	17	0.15		
ERROR	12	0.05	0.00	

หมายเหตุ : * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.37 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินใน 6 แปลง ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	777.196	155.439	2.601 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	717.10	59.758	
Total	17	1494.29		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.38 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	1280.18	1280.18	7.67*
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	2263.24	1131.62	6.78*
A*B	2	1644.76	822.38	4.928*
Total	17	7190.75		
ERROR	12	2002.56	166.88	

หมายเหตุ : * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.39 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	1458	1458	5.82*
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	14179.11	7089.55	2.73 ^{ns}
A*B	2	545.36	272.68	1.08*
Total	17	6381.8		
ERROR	12	3006.14	250.51	

หมายเหตุ : * หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.40 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	30258	30258	1960.56**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	17182.33	8591.16	556.66**
A*B	2	4449	2224.5	144.14**
Total	17	52606		
ERROR	12	282.43	23.53	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.41 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอินทรีย์วัตถุในดินใน 6 แปลง ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	0.138	0.28	55.271*
ภายในกลุ่ม	12	0.006	0.001	
Total	17	0.144		

หมายเหตุ : * แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.42 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอินทรีย์วัตถุในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.04	0.04	12.66**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.03	0.01	6.07*
A*B	2	0.09	0.04	14.16**
Total	17	0.24		
ERROR	12	0.06	0.005	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.43 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอินทรีย์วัตถุในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.00	0.00	0.97 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.10	0.05	5.32 [*]
A*B	2	0.07	0.03	4.09 ^{**}
Total	17	0.30		
ERROR	12	0.11	0.01	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.44 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอินทรีย์วัตถุในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F
อัตราปุ๋ย (A)	1	0.06	0.06	14.00 ^{**}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	0.069	0.034	31.68 ^{**}
A*B	2	0.21	0.105	22.03 ^{**}
Total	17	0.40		
ERROR	12	0.05	0.005	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.45 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดินใน 6 แปลง ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	3696.36	739.273	41.779 [*]
ภายในกลุ่ม	12	212.34	17.695	
Total	17	3908.70		

หมายเหตุ : * แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.46 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	24910.98	24910.98	363.98**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	13224.66	6612.32	96.621**
A*B	2	1866.36	933.18	13.64**
Total	17	40728.39		
ERROR	12	684.39	68.43	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.47 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	146391.20	146391.20	1090.11**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	45395.07	22697.54	169.02**
A*B	2	15278.25	7639.12	56.88**
Total	17	208503.90		
ERROR	12	1342.90	134.29	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.48 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	79583.88	79583.88	4876.58**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	514489.50	257244.80	15762.92**
A*B	2	10429.18	5214.58	319.53**
Total	17	604851.30		
ERROR	12	163.19	16.31	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.49 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดินใน 6 แปลง ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	0.073	0.015	2.234 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	0.078	0.007	
Total	17	0.151		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.50 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	76.75	76.75	59.68 ^{**}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	53.93	26.96	20.97 ^{**}
A*B	2	0.466	0.233	0.181 ^{ns}
Total	17	146.59		
ERROR	12	15.43	1.28	

หมายเหตุ : ^{**} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.51 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	1.86	1.86	66.38 ^{**}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	1.625	0.813	28.96 ^{**}
A*B	2	0.280	0.140	4.99 ^{**}
Total	17	462.47		
ERROR	12	0.337	0.028	

หมายเหตุ : ^{**} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.52 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	105.12	105.12	109.505**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	91.68	45.84	47.75**
A*B	2	31.69	15.84	16.507**
Total	17	462.47		
ERROR	12	15.33	1.53	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.53 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินใน 6 แปลง ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ก่อนปลูกข้าว)

SOV	df	SS	MS	F-test
ระหว่างกลุ่ม	5	0.559	0.112	1.372 ^{ns}
ภายในกลุ่ม	12	0.978	0.081	
Total	17	1.537		

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.54 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	2684.94	2684.94	105.67**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	50328.41	25164.20	990.38**
A*B	2	1453.91	726.95	28.61**
Total	17	54728.65		
ERROR	12	254.08	25.40	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.55 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	6578.42	6578.42	1528.60**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	4142.59	2071.29	481.29**
A*B	2	84.64	42.32	9.83**
Total	17	10857.30		
ERROR	12	51.64	4.30	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.56 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในดินหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F
อัตราปุ๋ย (A)	1	5046.77	5046.77	5031.90**
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	2269.21	1134.60	1131.26**
A*B	2	244.73	122.36	122.00**
Total	17	7572.75		
ERROR	12	12.03	1.003	

หมายเหตุ : ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ตารางที่ ข.57 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสูงของต้นข้าวหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 30 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	2.00	2.00	0.265 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	3.444	1.722	0.228 ^{ns}
A*B	2	1453.91	726.95	0.287 ^{ns}
Total	17	100.44		
ERROR	12	90.667	7.556	

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.58 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสูงของต้นข้าวหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 60 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	22.222	22.222	1.183 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	203.44	101.722	5.417 ^{ns}
A*B	2	2.778	1.389	0.074 ^{ns}
Total	17	58708.0		
ERROR	12	225.333	18.778	

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.59 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสูงของต้นข้าวหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 90 วัน)

SOV	df	SS	MS	F-test
อัตราปุ๋ย (A)	1	3.556	3.556	0.323 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	128.778	64.389	5.854 ^{ns}
A*B	2	14.111	7.056	0.641 ^{ns}
Total	17	278.44		
ERROR	12	132.00	11.00	

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.60 วิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงของต้นข้าวหลังการใส่ปุ๋ยเคมี ตามระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (อายุข้าว 120 วัน)

SOV	df	SS	MS	F
อัตราปุ๋ย (A)	1	16.056	16.056	1.194 ^{ns}
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	37.333	18.667	1.388 ^{ns}
A*B	2	21.778	10.889	0.810 ^{ns}
Total	17	236.50		
ERROR	12	161.33	13.444	

หมายเหตุ : ^{ns} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางที่ ข.61 วิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's new multiple range test เปรียบเทียบผลผลิตข้าวเปลือก (กิโลกรัมต่อไร่) ใน 6 กรรมวิธี

SOV	df	SS	MS	F
อัตราปุ๋ย (A)	1	35378.00	35378.00	8844.50*
วิธีการใส่ปุ๋ย (B)	2	15391.0	7695.50	1923.87*
A*B	2	5341.0	2670.50	667.62*
Total	17	56158.00		
ERROR	12	48.00	4.00	

หมายเหตุ : * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ภาคผนวก ค
ปริมาณน้ำฝนรายวัน

หน่วย: มิลลิเมตร

วันที่/เดือน	มกราคม 2557	กุมภาพันธ์ 2557	มีนาคม 2557	เมษายน 2557	พฤษภาคม 2557
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
3	0.0	0.0	0.0	2.7	27.6
4	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
7	0.0	0.0	0.0	14.7	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
9	0.0	0.0*	0.0	0.0	5.6
10	0.0	0.0	0.4	0.0*	0.0
11	0.0	0.0**	0.0*	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0**	0.0***
13	0.0	0.0	0.0**	0.0	0.6
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
17	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.4	0.0	5.0
20	0.0	0.0	16.6	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	3.5	26.6
28	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
29	0.0	-	0.0	35.2	6.3
30	0.0	-	0.0	9.2	10.8
31	0.0	-	0.0	-	13.3
รวม	0.0	0.0	18.0	73.1	135.9

หมายเหตุ: ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจากสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสกลนคร ประจำเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2557

* วันที่ใส่ปุ๋ย ** วันที่เก็บตัวอย่างน้ำและดิน *** วันที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นายอนุรักษ์ เครือคำ
วันเดือนปีเกิด	15 มกราคม พ.ศ. 2522
วุฒิการศึกษา	ครุศาสตรบัณฑิต (สาขาการศึกษา) มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร พ.ศ. 2545 ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาการจัดการมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2547
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2553-2556 กองทุนพัฒนาบุคลากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ปีงบประมาณ 2557: ทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทวิจัยทั่วไป สำหรับนักศึกษาบัณฑิตศึกษา กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

1. อนุรักษ์ เครือคำ บัณฑิต อนุรักษ์ และณัฐธา หังสพฤกษ์. ปริมาณสารอินทรีย์และธาตุอาหารในดินตะกอน พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร จังหวัดสกลนคร. วันนิทรรศการวิชาการ รร.จปร. 2556; 2556.
2. Khruetakham A, Anurugsa B, Hungspreug N. Influence of Chemical Fertilizer Applications on Water Quality in Paddy Fields in Nong Harn, Sakon Nakhon Province, Thailand. Kasetart J. (Nat. Sci.) 2015:49(6)868-879.