ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว

นายเกริก ปิ่นตระกูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF FERTILIZATION ON SOIL AND WATER QUALITY IN PADDY FIELD

Mr. Krerk Pintrakool

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว
โดย	นายเกริก ปิ่นตระกูล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ
(ดร. นิตยา นักระนาด มิลน์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกริก ปิ่นตระกูล: ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว (EFFECT OF FERTILIZATION ON SOIL AND WATER QUALITY IN PADDY FIELD) อ. ที่ปรึกษา: ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 144 หน้า.

การศึกษาการใช้ปุ๋ยบำรุงดินในนาข้าว 3 ชนิดได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) และปุ๋ยเคมี ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว รวมทั้งศึกษาการสะสมของโลหะหนักบางชนิดในเมล็ดข้าว และความคุ้มทุนของการลงทุน โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ผลผลิตข้าว และผลตอบแทนการลงทุน ซึ่งเป็นการศึกษาที่ได้เลือกพื้นที่แปลงนาของเกษตรกร จังหวัดชัยนาท จำนวน 4 ไร่ ซึ่งแต่ละไร่มีกรรมวิธีปฏิบัติคือ 1) ใส่ปุ๋ยคอก 1,000 กิโลกรัม/ไร่ 2) ปุ๋ยชีวภาพ 50 กิโลกรัม/ไร่ 3) ปุ๋ยเคมี 40 กิโลกรัม/ไร่ และ 4) กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่ ทำการเก็บตัวอย่างดินและน้ำ ดังนี้ 1) ช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนหว่านข้าว 2) ช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน 3) ช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน และ 4) ช่วงต้นข้าวอายุ 100 วันหรือก่อนเก็บเกี่ยวข้าว ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดิน พบว่า มีปริมาณอาร์เซนิก (As) 2.12-15.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแมงกานีส (Mn) 212-334 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ก่อนทำการเก็บเกี่ยว) พบว่ามีการตกค้างของ As และ Mn ในดินต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติ ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมีในการทำนา ทำให้เกิดการตกค้างปนเปื้อนของ As ในดิน ซึ่งจากการวิจัยนี้พบการตกค้างของ As ในดินในแปลงนาที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพและแปลงนาที่ใช้กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่ เกินเกณฑ์ค่ามาตรฐานดินเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Mn ในน้ำในแปลงนาของ 4 กรรมวิธี พบว่าอยู่ในช่วง 0.10-0.81 มิลลิกรัม/ลิตร โดยน้ำในแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพและแปลงเกษตรกร มีค่า Mn เกินค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน แต่ไม่พบปริมาณ As ในน้ำในแปลงนาทุกกรรมวิธีทดลอง ในขณะที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินและน้ำ เท่ากับ 4.79-6.62 และ 6.21-8.37 ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่า ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในดินทั้ง 4 ช่วงเวลา มีค่าเท่ากับ 3.34-10.3 และ 30.1-55.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้ปุ๋ยคอกในการทำนาเป็นการเพิ่มธาตุอาหารหลักของพืชในดิน ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่วนปริมาณไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.20-0.95 และ 0.25-0.67 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยพบการปนเปื้อนของไนเตรทและฟอสเฟต ในน้ำก่อนระบายออกจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และพบปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ทั้ง 4 ช่วงเวลา เท่ากับ 1.67-2.62 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินพบว่า ดินในแปลงนาที่ใช้ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด ส่วนแปลงที่ใช้กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำนาโดยใช้ปุ๋ยคอกจะช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ต่างจากการทำนาโดยใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งทำให้ดินเสื่อมโทรม สำหรับคุณภาพน้ำทั้ง 4 ช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่าง พบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) 4.95-9.82 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD) 1.61-25.8 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) 17.5-993 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (EC) 99.4-705 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) ไม่พบการตกค้างของ As ในข้าวสาร และเปลือกข้าวจากของทุกกรรมวิธีทดลอง สำหรับ Mn ในข้าวสารและเปลือกข้าว พบว่า มีปริมาณการสะสม Mn เท่ากับ 56.0-58.8 และ 84.6-137 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จากการศึกษาความคุ้มทุนของการลงทุนในแต่ละกรรมวิธีทดลอง พบว่า กรรมวิธีของการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และเกษตรกรปฏิบัติมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเท่ากับ 1,412, 1,802, 1,824 และ1,881 บาท/ไร่ ตามลำดับ และได้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 604, 510, 496 และ 758 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่า กรรมวิธีการทำนาโดยใช้ปุ๋ยคอกมีค่าการลงทุนต่ำที่สุด ได้ปริมาณผลผลิตข้าวสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร แต่มีผลตอบแทนต่อต้นทุนการผลิตสูงที่สุด นอกจากนี้ ยังเป็นกรรมวิธีที่ส่งผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต เกริก ปิ่นตระกูล

ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

4889057420: MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENT SCIENCE

KEY WORD: ORGANIC FERTILIZER / COMMERCIAL BIOFERTILIZER / CHEMICAL FERTILIZER / SOIL QUALITY / WATER QUALITY

KRERK PINTRAKOOL : EFFECT OF FERTILIZATION ON SOIL AND WATER QUALITY IN PADDY FIELD. THESIS ADVISORS: PANTAWAT SAMPANPANISH, Ph.D. 144 pp.

Environmental impact of using various types of fertilizers namely; organic fertilizer (manure), commercial biofertilizer (pellets), and chemical fertilizer, on soil and water quality including accumulation of heavy metals in rice grains were investigated. In addition, comparison of production costs and rice yields from different types of fertilizer were carried out. The paddy field with the area of 0.64 hectare in Chainat Province was selected for the study. The paddy area was divided into four parts of 0.16 hectare. Each part was subjected to different types of fertilizer use. Rates of fertilizer application were as follows; 1) manure 6,250 kg/ hectare, 2) commercial biofertilizer 312.5 kg/ hectare, 3) chemical fertilizer 250 kg/ hectare, and 4) the conventional practice of local farmers (chemical fertilizer). Soil and water samples were collected for four periods; 1) before preparation of the field (rice aged 0 days), 2) rice aged 30 days, 3) rice aged 70 days, and 4) before harvesting (rice aged 100 days). The amounts of heavy metals found in soil samples from the 4 periods of sampling were in the range of 2.12-15.3, and 211.8-334.0 for arsenic (As) and manganese (Mn), respectively. It was found that, before harvesting time, the experimental field using manure had lowest level of accumulation of As and Mn compared to other practices. In water samples, Mn was detected in the range of 0.10-0.81 mg/l. As in water were non-detectable in all samples. Soil pH was found to be 4.79-6.62 and water pH was 6.21-8.37. The levels of nitrate (NO_3^-) and phosphate (PO_4^{3-}) found in soil samples were 3.34-10.3 and 30.1-55.4 mg/kg, respectively. For the water samples (NO_3^-) and (PO_4^{3-}) were 0.20-0.95 and 0.25-0.67 mg/l, respectively. The organic matter (OM) in soil was 1.67-2.62 percent. The use of manure has led to highest content of organic matter in the paddy soil, while the lowest content of organic matter was detected from the soil samples collected from the paddy using chemical fertilizer in conventional practice. The results of this study indicate that using compost for rice plantation has significantly increased the nutrients in terms of nitrate, phosphate, and also significantly increased organic matter in the paddy soil. Moreover, the lowest level of contamination of NO_3-N and PO_4-P through drained water from the paddy field using manure has been found. The water quality parameters were; DO 4.95-9.82 mg/l, BOD 1.61-25.8 mg/l, SS 17.50-993 mg/l, EC 99.4-705 µs/cm. Arsenic was not found to accumulate in rice grain. Arsenic contamination in the rice grain and rice husks samples was not found from all practices. Manganese was found in the range of 56.0-58.8 and 84.6-137 mg/kg in the rice grain and rice husks, respectively, in which the rice husks from the paddy using chemical fertilizer were found to have highest accumulation of Mn, however, those Mn levels are still under acceptable level that not toxic to the plant. The costs associated with each of the four experiments were 8,825, 11,263, 11,400 and 11,757 baht/hectare, respectively. The quantities of rice harvested from each experiment were 3,775, 3,188, 3,100 and 4,738 kg/hectare. The results of cost-benefit analysis have indicated that, using manure was found to be the most cost-effective method of fertilization. Moreover, this type of manure has advantage on improving paddy soil quality in terms of nutrients and organics, and the least negative impact on the environment in terms of water quality.

Field of study Environmental Science Student's signature Krerk Pintrakool

Academic year 2007 Advisor's signature Pantawat Sampanpanish

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ข้อคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความเมตตากรุณา ความเอาใจใส่ และให้กำลังใจที่ดีต่อลูกศิษย์มาโดยตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานวิทยานิพนธ์ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ ดร. นิตยา นักระนาด มิลน์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งต้องขอกราบขอบพระคุณแหล่งทุนดังกล่าวเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ นายขวัญชัย แตงทอง และครอบครัวที่อนุเคราะห์พื้นที่แปลงนาปลูกข้าว รวมทั้งความเมตตา และความช่วยเหลือที่ดีมาโดยตลอด ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือในการวิเคราะห์ ตลอดจน นางอารียา รัตนวรรณชัย และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในห้องปฏิบัติการ ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ นอกจากนี้ ขอขอบคุณ นายอาร์ม วัฒนเนติกุล นายชาตินาวิน พิศพานต์ นายบุรินทร์ ภูนาเมือง นายนัฐภูมิ บุญใหญ่ นางสาวอัญชลียา ธงชัย นางสาวสุธินี วดีศิริศักดิ์ นางสาวศิริวรรณ วาจามธุระ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวิเชียร คุณแม่จิราภรณ์ ปิ่นตระกูล คุณตา คุณยาย และขอขอบคุณพี่สาว น้องชาย และหลานชายของข้าพเจ้าที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุน ให้ความรัก และเป็นกำลังใจที่สำคัญเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฐ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 เกณฑ์การปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนา 5
2.2 เกณฑ์เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าว 7
2.2.1 แหล่งปลูก 7
2.2.2 การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร 8
2.2.3 การผลิตให้ได้ข้าวเปลือกคุณภาพตรงตามพันธุ์ 8
2.2.4 การจัดการให้ได้ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพสีดีได้ปริมาณต้นข้าวไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 8
2.2.5 การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว 9
2.2.6 การเก็บรักษา และขนย้ายผลผลิต 9
2.3 ปุ๋ย (Fertilizer) 9
2.3.1 ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer) 9
2.3.2 ปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizers) 14
2.3.3 ปุ๋ยเคมี (Chemical Fertilizer) 15
2.4 พฤกษศาสตร์ของข้าว 18
2.4.1 การเจริญเติบโต โครงสร้าง และองค์ประกอบทางเคมีของข้าว 18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่

2.4.2 ข้าวหอมปทุมธานี 1 20
2.4.3 วิธีการผลิตข้าวหอมปทุมธานี 1 22
2.4.4 ธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว 22
2.4.5 ความต้องการธาตุอาหารตามระยะการเจริญเติบโต 23
2.5 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาวิจัย 24
2.5.1 คุณลักษณะอนินทรีย์เคมี 24
2.5.2 คุณลักษณะอินทรีย์เคมี 29
2.5.3 คุณลักษณะสารประกอบอนินทรีย์ 31
2.5.4 คุณลักษณะทางกายภาพ 32
2.5.5 คุณลักษณะทางเคมี 32
3 วิธีดำเนินการวิจัย 33
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 33
3.1.1 วัสดุในการปลูกข้าว 33
3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน และน้ำ 33
3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างข้าว 33
3.1.4 วัสดุและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ 34
3.2 สถานที่ทำการวิจัยและวิเคราะห์ 35
3.2.1 ศึกษาวิจัยภาคสนาม 35
3.2.1 ศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ 35
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย 37
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล 38
3.4.1 การเก็บตัวอย่างดิน 38
3.4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ 39
3.4.3 การเก็บตัวอย่างข้าวพันธุ์หอมปทุมธานี1 40
3.4.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ย และดินที่ใช้ในการทำนา 41
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 44
3.6 ระยะเวลาในการศึกษา 44
4 ผลและวิจารณ์ 45
4.1 คุณภาพน้ำ 45

หน้า

บทที่

4.1.1 คุณลักษณะทางกายภาพในน้ำ 45
4.1.2 คุณลักษณะที่เป็นอินทรีย์เคมีในน้ำ 49
4.1.3 คุณลักษณะที่เป็นอนินทรีย์เคมีในน้ำ 56
4.1.4 คุณลักษณะที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ในน้ำ 63
4.1.5 คุณลักษณะทางเคมีในน้ำ 69
4.2 คุณภาพดิน 72
4.2.1 คุณลักษณะทางกายภาพของดิน 72
4.2.2 คุณลักษณะที่เป็นอนินทรีย์เคมีในดิน 75
4.2.3 คุณลักษณะที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ในดิน 85
4.3 สรุปผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและคุณภาพดินจากการใช้ปุ๋ย 92
4.3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ 92
4.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดิน 95
4.4 คุณภาพข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) 96
4.4.1 คุณลักษณะที่เป็นอนินทรีย์เคมีของข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) 96
4.5 ผลผลิตข้าว 100
4.6 ค่าใช้จ่ายในแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาข้าว 100
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 105
5.1 สรุปผลการวิจัย 105
5.2 ข้อเสนอแนะ 106
รายการอ้างอิง 107
ภาคผนวก 113
ภาคผนวก ก 114
ภาคผนวก ข 140
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 143

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง

2.1 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดของมูลวัว 12
2.2 ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว ข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลี ในต้นพืชระยะแตกกอสูงสุด 23
2.3 ปริมาณโลหะหนักในดินและพืช และระดับความเป็นพิษในข้าว 28
2.4 ปริมาณและระดับอินทรียวัตถุที่ปรากฏในดิน 30
3.1 พารามิเตอร์ วิธีวิเคราะห์ และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน 39
3.2 พารามิเตอร์ วิธีวิเคราะห์ และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 40
3.3 ปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นในปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ก่อนทำการทดลอง 42
3.4 คุณสมบัติของดินเบื้องต้นก่อนทำการทดลอง 43
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำชลประทาน 47
4.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) ในน้ำ 49
4.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) 52
4.4 ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved: BOD) 56
4.5 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในน้ำ 59
4.6 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำ 63
4.7 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำ 66
4.8 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำ 69
4.9 ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) 72
4.10 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM) ในดิน 75
4.11 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (Soil pH) ในดิน 78
4.12 ค่าคุณสมบัติของดินแปลงนาเกษตรกรก่อนการทดลอง 78
4.13 ปริมาณอาร์เซนิก (As) ในดิน 82
4.14 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดิน 85
4.15 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในดิน 88
4.16 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในดิน 91

หน้า

ตาราง

4.17 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ 93
4.18 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดิน 95
4.19 ค่าปริมาณอาร์เซนิก (As) และแมงกานีส (Mn) ในข้าวสาร
และเปลือกข้าว (แกลบ) 97
4.20 ค่ามาตรฐานอาหารและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ของประเทศต่างๆ 97
4.21 ปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆ ในพืช ณ ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช 99
4.22 ปริมาณผลผลิตข้าว 100
4.23 รายละเอียดด้านปัจจัยการลงทุนสำหรับการทำนาในแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติ
ของการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน 102
ผนวกที่ 1 กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ของการปฏิบัติที่ดี
ในการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา 116
ผนวกที่ 2 กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) ขายตามท้องตลาด
ของการปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา 118
ผนวกที่ 3 กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมี ของการปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน
สำหรับการทำนา 120
ผนวกที่ 4 กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร บ้านทับโต ตำบลสามง่าม-ท่าโบสถ์
อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ของการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา 122
ผนวกที่ 5 ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง 124
ผนวกที่ 6 ระดับของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามการวินิจฉัย
ความอุดมสมบูรณ์ของดินนา 124
ผนวกที่ 7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) 125
ผนวกที่ 8 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) 126
ผนวกที่ 9 ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์
(Biological Oxygen Dissolved: BOD) 127
ผนวกที่ 10 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในน้ำ 128
ผนวกที่ 11 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำ 129
ผนวกที่ 12 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำ 130
ผนวกที่ 13 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำ 131
ผนวกที่ 14 ค่าความนำไฟฟ้า (EC)……...……..132

หน้า

ตาราง

ผนวกที่ 15 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM)ในดิน 133
ผนวกที่ 16 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดิน 134
ผนวกที่ 17 ปริมาณอาร์เซนิก (As)ในดิน 135
ผนวกที่ 18 ปริมาณแมงกานีส (Mn)ในดิน 136
ผนวกที่ 19 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-)ในดิน 137
ผนวกที่ 20 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-})ในดิน 138
ผนวกที่ 21 ผลผลิตข้าวเปลือก 139

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูป **หน้า**

1.1 แผนผังแสดงขอบเขตการวิจัย 4
3.1 แผนผังขอบเขตการดำเนินงาน 36
4.1 คุณลักษณะทางกายภาพของปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 46
4.2 ค่าอินทรีย์เคมีของปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 50
4.3 ค่าอินทรีย์เคมีของปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 53
4.4 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 57
4.5 ค่าอนินทรีย์เคมีของปริมาณแมงกานีส (Mn) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 60
4.6 ค่าสารประกอบอนินทรีย์เคมีปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 64
4.7 ค่าสารประกอบอนินทรีย์เคมีของปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 67
4.8 ค่าความนำไฟฟ้า (EC) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 70
4.9 ค่าปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 73
4.10 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 76
4.11 คุณลักษณะอนินทรีย์เคมีของปริมาณอาร์เซนิก (As) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 79
4.12 ค่าอนินทรีย์เคมีของปริมาณแมงกานีส (Mn) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 83

หน้า

รูป

4.13 ค่าสารประกอบอนินทรีย์เคมีของปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในคุณภาพดิน
สำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 86
4.14 ค่าสารประกอบอนินทรีย์เคมีของปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในคุณภาพดิน
สำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน 89
ผนวกที่ 1 การดำเนินงานศึกษาวิจัยในแปลงปฏิบัติ 141
ผนวกที่ 2 การเก็บตัวอย่างในแปลงนา การเตรียมพื้นที่เก็บเกี่ยว
และการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว 142

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย จากรายงานของสำนักเศรษฐกิจการเกษตรปี พ.ศ. 2548 พบว่า ประเทศไทยมีการใช้พื้นที่เพื่อการเพาะปลูกมากที่สุด โดยเฉพาะมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 63,861.066 ไร่ หรือคิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ประเทศทั้งหมด โดยคนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก และข้าวเป็นสินค้าส่งออกสำคัญที่ทำรายได้เข้าประเทศเป็นมูลค่ามากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งมีข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างต่อเนื่องยาวนานกว่า 20 ปี เมื่อปี 2549 ประเทศไทยส่งออกข้าว 7,433,540 ตัน สามารถคิดเป็นมูลค่า 97,539.37 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) ดังนั้น คนไทยกับการทำนาจึงมีความสัมพันธ์กันมาช้านาน ซึ่งการทำนาจะแตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศ ดังจะเห็นได้ว่าจากอดีตถึงปัจจุบันวิธีการทำนาได้ปรับเปลี่ยนและเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเป็นอย่างมาก ในอดีตใช้สัตว์ในกิจกรรมการทำนาต่างๆ เช่น ใช้ในการไถนา การคราด การลากจูง การบรรทุกขน ตลอดจนการย่ำข้าวหรือนวดข้าว เป็นต้น ต่อมาได้เปลี่ยนมาเป็นการใช้เทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกมากขึ้นเช่น การใช้เครื่องจักรกลหรือรถไถที่ต้องใช้พลังงานน้ำมันในกิจกรรมการทำนาทุกขั้นตอนแทนการใช้แรงงานสัตว์ ทำให้สภาพโครงสร้างและเนื้อดินเปลี่ยนแปลง ดินมีสภาพแน่นทึบ การระบายน้ำอากาศไม่ดี อันนำไปสู่แนวโน้มดินเสื่อมโทรมและคุณภาพต่ำลง ทำให้ผลผลิตข้าวที่ได้รับต่ำลงไปด้วย ซึ่งวิธีการแก้ไขของเกษตรกรเพื่อให้ผลผลิตข้าวคงเดิมหรือเพิ่มขึ้นนั้นคือ การใช้สารเคมีเข้ามาช่วยในการเพิ่มผลผลิต อาทิ การใช้ปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูข้าว ในกรรมวิธีการทำนาเพื่อความสะดวกสบาย และรวดเร็ว หากแต่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำนาเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีต่างๆ ในกิจกรรมการทำนามักส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษสิ่งแวดล้อมทางดิน และน้ำ อาทิ เช่นนาข้าวเกิดการตกค้างสะสม และปนเปื้อนด้วยอนินทรีย์เคมี อินทรีย์เคมี สารประกอบอนินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของดินและน้ำด้วย อันเป็นการส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้าวที่นำมาบริโภคนั้น หากมีปริมาณการปนเปื้อนอยู่ในระดับเกินค่ามาตรฐานแล้วย่อมส่งกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคได้ นอกจากนี้ อนินทรีย์เคมีหรือโลหะหนักในรูปแบบต่างๆ สามารถทำให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อมได้ในบริเวณพื้นที่ของการทำนา และอาจเกิดการตกค้างและสะสมมลพิษในข้าวได้ ดังนั้น การปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน น้ำ และข้าว สำหรับการทำนา จึงถือได้ว่าเป็นมลพิษหนึ่งที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งมลพิษดังกล่าวอาจมีการกระจายตัวทั้งในดิน และแหล่งน้ำได้ ในปัจจุบันมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีความสามารถให้ผลการตอบสนองต่อพืชออกไปในทางบวกมากกว่า

ทางลบ ความสนใจที่จะนำปุ๋ยอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์จึงมีมากขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์มีบทบาทที่สำคัญในทางเกษตรทั่วโลกดังนี้

1) ปุ๋ยเคมีมีราคาแพงและมีแนวโน้มแพงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ต้นทุนในการผลิตพืชสูงขึ้นมาก แต่ผลผลิตพืชกลับมีราคาไม่แน่นอน

2) การขาดแคลนปุ๋ยในประเทศที่กำลังพัฒนา และไม่มีกำลังเงินที่จะจัดซื้อได้อย่างพอเพียงตามความต้องการ จึงเป็นสาเหตุให้ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์โดดเด่นขึ้นมาเป็นลำดับ

3) เกษตรกรสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไว้ใช้เองได้ทั้งเกษตรกรรายเล็ก และรายใหญ่

4) ดินในบางพื้นที่มีปัญหา เช่น ดินเสื่อมโทรม ดินแข็ง ดินเปรี้ยว หรือมลพิษที่เกิดจากการใช้สารเคมีต่างๆ ที่เติมลงสู่ดินในพื้นที่เกษตรกรรม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องบำบัดโดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ตามความเหมาะสม

นอกจากนี้ภาคเกษตรกรรมในตลาดโลกปัจจุบัน ยังได้ให้ความสำคัญกับผลผลิตพืชที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน และปลอดภัยจากสารเคมีปนเปื้อนของผลผลิต เพื่อความมั่นใจ และความปลอดภัยของผู้บริโภคที่จะไม่เกิดอันตรายจากการบริโภคผลผลิตนั้นๆ ทางภาครัฐบาลได้ตระหนักถึงความสำคัญ จึงมอบหมายให้กรมวิชาการเกษตร ส่งเสริมวิจัยและพัฒนาการผลิตพืชเศรษฐกิจที่สำคัญรวมทั้งข้าวให้มีคุณภาพได้มาตรฐาน เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทั้งตลาดภายในและต่างประเทศ ซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าภายในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยซึ่งเป็นหนึ่งในสมาชิกแห่งองค์การการค้าโลก (World Trade Organization: WTO) จำเป็นต้องปฏิบัติตามพันธกรณี ในการส่งออกสินค้าเกษตรเข้าสู่ประเทศคู่ค้า ต้องเป็นสินค้าที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับในสากล ปราศจากโรคพืช แมลงศัตรูพืช และสิ่งปนเปื้อน หรือแม้แต่สร้างความเสื่อมโทรมต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการผลิตสินค้านั้นๆ หาไม่แล้วจะถูกกีดกันหรือเป็นข้ออ้างหรือเงื่อนไขในการปฏิเสธการค้าขาย (สมคิด ดิสถาพร, 2549) ซึ่งข้าวเป็นผลผลิตที่ประเทศไทยส่งออกเป็นจำนวนมาก จึงมีการส่งเสริมเป็นผลิตภัณฑ์ (อาหาร) อินทรีย์ตามมาตรฐานสากล อย่างไรก็ตามเกษตรอินทรีย์เป็นระบบการผลิตพืชที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ ที่อาจก่อให้เกิดมลพิษในสภาพแวดล้อม รวมถึงการนำภูมิปัญญาชาวบ้านมาใช้ประโยชน์ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผู้ผลิตและผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารเริ่มคำนึงถึงสุขอนามัย ความปลอดภัยและมลพิษในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้ในการผลิตข้าวจึงจำเป็นต้องไม่ใช้และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีต่างๆ ในกิจกรรมการผลิตข้าว เพื่อไม่ให้มีการปนเปื้อนของสารเคมีในผลผลิต และไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

อย่างไรก็ตามกรรมวิธีหรือวิธีการปลูกข้าวนอกจากจะคำนึงถึงความยั่งยืนในเรื่องของผลิตแล้ว ยังต้องคำนึงถึงในเรื่องคุณภาพสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนาด้วย การศึกษาในครั้งนี้ จึงเป็นการ

ทดสอบเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนา (Best Management Practices, BMPs) ร่วมกับเกณฑ์เกษตรดีที่เหมาะสม (Good Agricultural Practice, GAP) เพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่ปลอดสารพิษหรือข้าวไร้สารหรือข้าวปลอดสารพิษนั่นเอง และเพื่อเป็นการลดการสะสมและตกค้างของมลพิษในสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่แปลงนา และพื้นที่ใกล้เคียง ที่เกิดจากกิจกรรมในการทำนาของเกษตรกร ดังนั้น การทดสอบเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมในการทำนาจะเป็นตัวอย่างข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้พัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนาที่ถูกต้องและเหมาะสมต่อไป

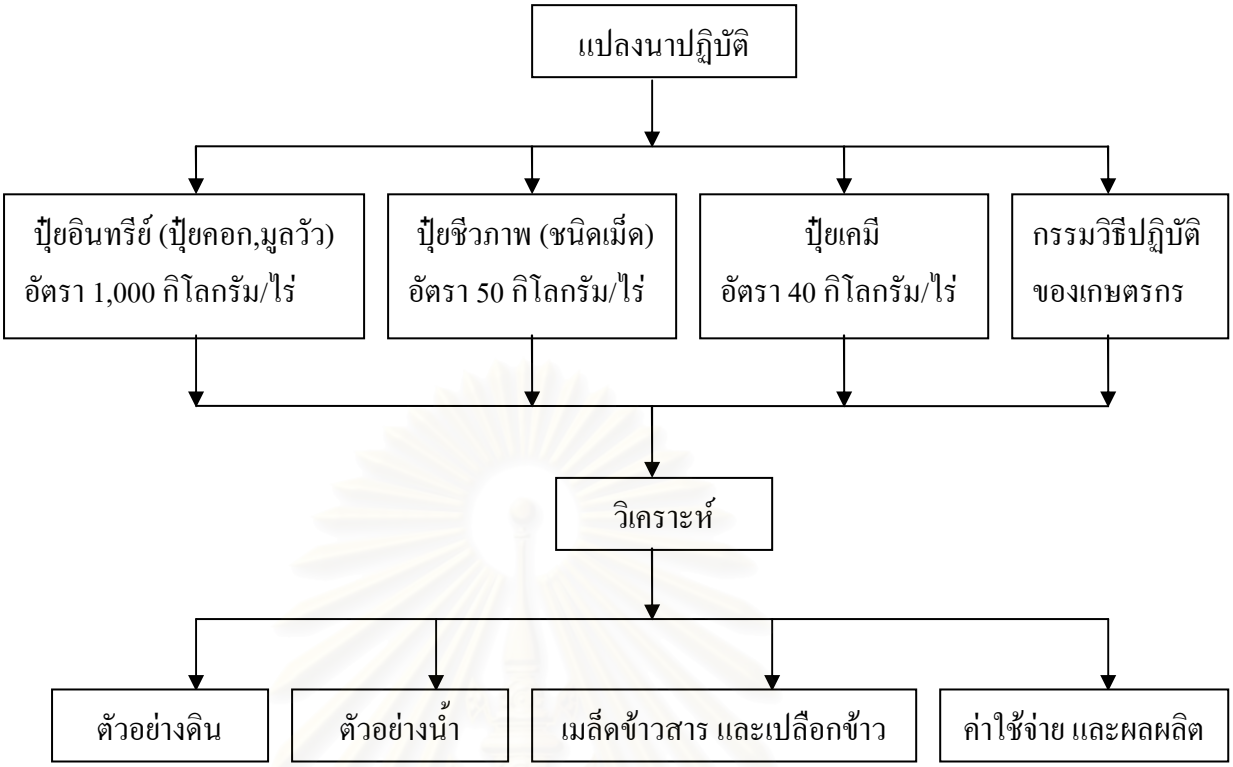
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดิน และน้ำในนาข้าวจากการใช้ปุ๋ย 3 ประเภท ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) และปุ๋ยเคมี
2) ศึกษาการสะสม และตกค้างของโลหะหนักบางประเภทในเมล็ดข้าว
3) เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และผลผลิตของข้าวจากการทำนาในแต่ละกรรมวิธีระหว่างนาข้าวที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของการทำนาต่อคุณสมบัติดินและน้ำจากแปลงนาที่ใช้ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี รวมทั้งแปลงปฏิบัติของเกษตรกร และศึกษาการตกค้างของอนินทรีย์เคมีในเมล็ดข้าวรวมทั้งศึกษาต้นทุนการผลิต และผลผลิตข้าว ซึ่งขอบเขตของการศึกษาวิจัยสามารถแสดงสรุปได้ในรูปที่ 1.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงขอบเขตการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เกษตรกรได้รับทางเลือกในการใช้ปุ๋ยปรับปรุงบำรุงดิน สำหรับการทำนาที่ถูกต้องเหมาะสม และช่วยลดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะดิน และน้ำ ทำให้เกษตรกรได้รับผลผลิตสูง ปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของเกษตรกร และผู้บริโภค สุดท้ายทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้นจากราคาผลผลิตที่ได้รับสูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปลูกข้าวในปัจจุบันมีการใส่ปุ๋ยเคมี และการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็นจำนวนมากเพื่อต้องการเพิ่มปริมาณผลผลิต โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการใช้ปัจจัยการผลิตที่ไม่ถูกต้องทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของเกษตรกร และสิ่งแวดล้อม การใช้เกณฑ์การปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนา (BMPs) และเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าว (GAP) สามารถนำมาประยุกต์ปฏิบัติเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดมลพิษจากการทำนาข้าว

2.1 เกณฑ์การปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนา [Best Management Practices (BMPs)]

เนื่องจากการทำนาข้าวเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรไทย และเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศ จึงมีการปลูกข้าวได้มากกว่าหนึ่งครั้งต่อปี มีการใช้ปุ๋ยและใช้สารเคมีป้องกันศัตรูพืชในปริมาณมากในกิจกรรมการทำนา ซึ่งเป็นการใช้ปัจจัยการผลิตที่ไม่ถูกต้อง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขอนามัยของเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ (2548) จึงได้จัดทำคู่มือ แนวทางการลดและป้องกันมลพิษจากการทำนาข้าว คือเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนา (BMPs) ซึ่งเกษตรกรสามารถนำไปปฏิบัติได้โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่ม เป็นการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัด และลดมลพิษ สำหรับเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนา เป็นขั้นตอนการปฏิบัติในการทำนาข้าวตั้งแต่การเตรียมแปลงปลูกข้าว การจัดการน้ำในนาข้าว การใช้ปุ๋ยและปรับปรุงดิน การควบคุมศัตรูข้าว และการจัดการแปลงนา ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการลด และป้องกันมลพิษจากการทำนาข้าว เพื่อลดมลพิษที่เกิดจากขั้นตอนต่างๆ ในการทำนา แบ่งเกณฑ์การปฏิบัติออกได้ 5 เกณฑ์ ดังนี้

1) เกณฑ์การปฏิบัติที่ดีในการเตรียมดิน การจัดการตอซังและฟางข้าว เพื่อลดปริมาณธาตุอาหารที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำ ลดปริมาณการแพร่ระบาดของวัชพืช โรคพืช และลดปัญหามลพิษอากาศ

2) เกณฑ์การปฏิบัติที่ดีในการจัดการน้ำในนาข้าว และจัดรูปแปลงนา เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำตลอดฤดูปลูกได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ป้องกัน ลด และควบคุมมลพิษ ปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมี ธาตุอาหารพืช ตะกอนน้ำทิ้งที่ระบายลงสู่สระน้ำในแปลงนาหรือคลองธรรมชาติ

3) เกณฑ์การปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยและปรับปรุงดิน เพื่อช่วยลดการปนเปื้อนของธาตุ

อาหารพืชที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

4) เกณฑ์การปฏิบัติที่ดีในการควบคุมศัตรูพืชในนาข้าว สามารถกระทำได้หลายวิธีตามความเหมาะสมต่อศัตรูพืช ช่วยลดการสะสมของสารกำจัดศัตรูพืชในดิน น้ำ และห่วงโซ่อาหารได้

5) เกณฑ์การปฏิบัติที่ดีในการบริหารจัดการแปลงนา เพื่อประโยชน์โดยรวมในการช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว เป็นวิธีการผลิตแบบเศรษฐกิจพอเพียง ยั่งยืน และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

การผลิตข้าวในปัจจุบันต้องคำนึงถึงคุณภาพของสิ่งแวดล้อม สุขภาพอนามัยของผู้บริโภค และผลผลิตที่ได้จะต้องมีความปลอดภัยจากสารพิษสูง ดังนั้นการพิจารณานำเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ย และปรับปรุงดินมาประยุกต์ใช้ในแปลงนาทดลองสามารถช่วยลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนาได้ ซึ่งเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยและปรับปรุงดินมีรายละเอียดดังนี้

1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพในนาข้าวสามารถทำได้ 3 รูปแบบ

1.1) การใช้ปุ๋ยชีวภาพชนิดเม็ด ควรหว่านปุ๋ยชีวภาพก่อนทำการไถกลบตอซังในช่วงเตรียมแปลงปลูกข้าวในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากนั้นจึงทำการไถกลบ

1.2) การใช้ปุ๋ยชีวภาพแบบน้ำ ฉีดพ่นตอซัง และฟางข้าวตามอัตราที่ระบุไว้ในฉลาก นำน้ำเข้านาแล้วไถพรวน

1.3) การหว่านแหนแดงหรือปุ๋ยชีวภาพที่มีส่วนประกอบของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เมื่อต้นข้าวอายุ 20-30 วัน

2) การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยพืชสด หรือปุ๋ยชีวภาพในนาข้าว มีให้เลือกปฏิบัติได้ดังนี้

2.1) การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในช่วงเตรียมแปลง โดยวิธีหว่านในอัตรา 1-3 ตัน/ไร่

2.2) การใส่ปุ๋ยพืชสด ใช้วิธีหว่านเมล็ดพันธุ์ถั่วหรือพืชคลุมดินแล้วไถกลบในช่วงพืชออกดอก

2.3) การใส่ปุ๋ยชีวภาพ ใช้ปุ๋ยชนิดเม็ด หว่านในช่วงเตรียมแปลงปลูกข้าวแล้วไถกลบ สำหรับการใช้ปุ๋ยชีวภาพแบบน้ำควรใช้ฉีดพ่นตอซังและฟางข้าวก่อนการไถกลบ

2.4) การใส่ปุ๋ยเคมี ใส่เมื่อต้นข้าวมีอายุ 20 วัน ดังนี้

2.4.1) ปุ๋ย 16-20-0 หว่านรองพื้นในอัตรา 20-25 กิโลกรัม/ไร่

2.4.2) แต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย (ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0) ในอัตรา 5 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อข้าวเริ่มแทงช่อดอก

3) การใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าว

3.1) ครั้งที่ 1 ใช้ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 ในอัตรา 20-25 กิโลกรัม/ไร่

3.2) ครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยยูเรีย (ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0) แต่งหน้าในอัตรา 5 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อข้าวเริ่มแตกกอ 30-50 วัน

3.3) ครั้งที่ 3 ใช้ปุ๋ยยูเรียแต่งหน้าในอัตรา 5 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อข้าวเริ่มแทงช่อดอก 50-60 วัน

2.2 เกณฑ์เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าว [Good Agricultural Practice (GAP) for Rice]

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวที่ถูกต้อง และเหมาะสมให้เกษตรกรนำไปปฏิบัติ เพื่อให้การผลิตข้าวได้ผลผลิตสูง มีคุณภาพดีตามมาตรฐาน คุ้มค่าต่อการลงทุน ถูกหลักสุขอนามัย และสุขอนามัยพืช เป็นที่ยอมรับของตลาดทั้งภายใน และต่างประเทศ สามารถตรวจสอบแหล่งผลิตได้ และที่สำคัญต้องไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการทำเกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าว มีแนวทางการปฏิบัติที่ทำให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการปลูกข้าวมีดังต่อไปนี้ (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

2.2.1 แหล่งปลูก

1) แหล่งน้ำ

มีแหล่งน้ำที่มีน้ำเพียงพอสำหรับใช้ตลอดฤดูปลูก เป็นน้ำสะอาดปราศจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีพิษปนเปื้อน

2) สภาพพื้นที่ปลูก

ต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่มีวัตถุอันตรายที่จะทำให้เกิดการตกค้าง ห่างไกลจากแหล่งมลพิษ และมีการคมนาคมขนส่งสะดวก

3) ลักษณะดิน

ในพื้นที่นาชลประทานควรเป็นดินเหนียวถึงดินร่วนเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงถึงปานกลางและสามารถอุ้มน้ำได้ดี ระดับหน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 5.0 - 6.5

4) สภาพภูมิอากาศ

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตประมาณ 22 -23 องศาเซลเซียส

2.2.2 การใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร

1) หากมีการใช้วัตถุอันตรายทางการเกษตร ให้ใช้ตามคำแนะนำของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หรือตามคำแนะนำในฉลากที่ขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตร

2) ต้องใช้สารเคมีให้สอดคล้องกับรายการสารเคมีที่ประเทศคู่ค้าอนุญาตให้ใช้ และห้ามใช้วัตถุอันตรายที่ระบุในทะเบียนวัตถุอันตรายทางการเกษตรที่ห้ามใช้

2.2.3 การผลิตให้ได้ข้าวเปลือกคุณภาพตรงตามพันธุ์

1) การเตรียมเมล็ดพันธุ์ ใช้เมล็ดพันธุ์ตรงตามพันธุ์จากแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ที่ได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร

2) การเตรียมดิน และการป้องกันข้าวดีด (เป็นข้าววัชพืชชนิดหนึ่งที่ปะปนอยู่กับข้าวที่ปลูก แย่งธาตุอาหารในดิน ไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้เพราะจะดีดร่วงจากรวงเมื่อกระทบกระเทือน) หว่านปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก อัตรา 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วจึงเตรียมแปลงโดยไถดะ 1 ครั้ง ทิ้งไว้ 7-10 วัน จึงไถแปรอีก 2 ครั้ง ระยะห่างประมาณ 15 วัน จากนั้นจึงปลูกข้าวโดยวิธีปักดำ หรือหว่านน้ำตม เมื่อเมล็ดข้าวงอก และเจริญเติบโตต้องตรวจสอบข้าวดีดในระยะข้าวแตกกอ ระยะออกดอกและระยะโน้มรวง ถ้าพบข้าวดีดต้องตัดทิ้ง

3) การให้ปุ๋ยข้าวนาหว่านน้ำตม ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 หรือ18-22-0 หรือ 20-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากที่ข้าวงอก 20-30 วัน เมื่อต้นข้าวเริ่มออกดอก และหลังจากออกดอกแล้ว 10-15 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่

4) การรักษาระดับน้ำในแปลงนา รักษาระดับน้ำในนาประมาณ 0-10 เซนติเมตร หลังจากหว่านเมล็ดแล้ว ต้องไม่ปล่อยให้น้ำท่วมแปลง อย่าให้น้ำท่วมต้นข้าว และไม่ลึกเกิน 10 เซนติเมตร ไม่ควรให้ต้นข้าวขาดน้ำโดยเฉพาะช่วงเกิดช่อดอกถึงระยะออกรวง

2.2.4 การจัดการให้ได้ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพสีดีได้ปริมาณต้นข้าวไม่น้อยกว่าร้อยละ 40

1) การเก็บเกี่ยวที่อายุเหมาะสม เมื่อเมล็ดข้าวในรวงสุกเหลืองไม่น้อยกว่า 3 ใน 4 หรือรวงข้าวอายุไม่น้อยกว่า 28 วันหลังต้นข้าวร้อยละ 80 ในแปลงนาออกดอก

2) การลดความชื้น ตากฟ่อนข้าวบนลานที่แห้งและสะอาด 2-3 แดด และตากอีกประมาณ 1-2 แดดหลังจากนวดข้าวแล้ว ความหนาของกองข้าวที่ตากประมาณ 5-10 เซนติเมตร และพลิกกลับกองข้าววันละ 4-5 ครั้ง เพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณร้อยละ 14

2.2.5 การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

1) เก็บเกี่ยวที่อายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ควรใช้เครื่องนวดเกี่ยวข้าวรอบนอกก่อนเพื่อกำจัดข้าวพันธุ์อื่นที่ติดมากับรถเกี่ยวนวด และถ้าใช้เครื่องนวดควรทำความสะอาดเครื่องนวดก่อน

2) การเก็บรักษาข้าวเปลือก เก็บไว้ในยุ้งฉางก่อนขนส่งไปยังผู้รับซื้อ ต้องทำความสะอาดโรงเก็บก่อนนำข้าวเปลือกไปเก็บ ควรมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ควรตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นทุกเดือน

2.2.6 การเก็บรักษา และขนย้ายผลผลิต

บรรจุข้าวเปลือกในพาหนะที่ใช้ขนส่งด้วยความระมัดระวัง พาหนะที่ใช้ในการขนส่งต้องมีการทำความสะอาดทุกครั้งก่อนใช้งาน และเมื่อใช้งานเสร็จแล้วต้องทำความสะอาดก่อนนำไปเก็บ

2.3 ปุ๋ย (Fertilizer)

2.3.1 ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งได้มาจากซากพืช ซากสัตว์ รวมทั้งสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ เศษเหลือของสารอินทรีย์ต่างๆ เซลล์จุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ จะเป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์เสียก่อน (ธงชัย มาลา, 2546) และปุ๋ยคอก (Manure) นั้น ถือได้ว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งได้มาจากการเลี้ยงสัตว์และได้มีการนำมาใช้ทางการเกษตรอย่างแพร่หลายเป็นเวลานานหลายปี โดยที่ปุ๋ยคอกจะให้อินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยอินทรีย์ในดินจะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินตามกระบวนการฮิวมิฟิเคชัน (Humification) ทำให้เกิดชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กลงจนเป็นสารที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อีก เรียกว่า ฮิวมัส (Humus) ซึ่งมีความหมายถึง สารอินทรีย์ (Organic Material) ในดินนั่นเอง (Stevenson, 1982) ฮิวมัสเป็นสารที่มีสีดำหรือสีน้ำตาลดำ ไม่มีรูปพรรณสัณฐาน (Amorphous) มีโครงสร้างไม่แน่นอน และมีสภาพเหมือนกับคอลลอยด์ดิน (Soil Colloid) ซึ่งมีผลทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity: CEC) ในดินสูงขึ้น นอกจากนี้สารฮิวมัสยังประกอบด้วยกลุ่มคาร์บอกซี (Carboxy: COOH) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่

มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ที่มีอยู่ในดิน ดังนั้น ฮิวมัสหรือสารอินทรีย์ในดินจึงมีอิทธิพลต่อสมบัติหรือกระบวนการทางด้านกายภาพ เคมี และชีวในดิน ซึ่งกระบวนการต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งโดยทางตรง และทางอ้อม (ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, 2529) นอกจากนี้การสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ยังมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้พืชใช้ประโยชน์ได้ด้วย

1) ปุ๋ยอินทรีย์มีลักษณะ 2 ประการคือ

1.1) ลักษณะเป็นปุ๋ยคือ สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืชให้กับดิน เป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารอยู่ครบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนที่สำคัญที่สุด

1.2) ลักษณะเป็นวัสดุปรับปรุงดินคือ ทำให้ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดีขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน คือ ช่วยให้เกิดเม็ดดินโดยอินทรีย์สารจะช่วยเพิ่มความเสถียรของเม็ดดิน ทำให้ดินมีการระบายอากาศ ดูดยึดน้ำได้อย่างเหมาะสม และมีสภาพเหมาะแก่การเจริญเติบโตของรากพืช ในด้านของการช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินคือ ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยเพิ่ม CEC แก่ดิน ทำให้ดินสามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ได้มาก เนื่องจาก ปุ๋ยอินทรีย์เมื่อถูกย่อยสลายแล้วจะได้ฮิวมัสซึ่งมีประจุลบ ดังนั้น จึงสามารถดูดซับธาตุอาหารประเภทประจุบวกได้เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca_2^+) และแมกนีเซียม (Mg_2^+) ได้มากยิ่งขึ้น และยังช่วยเพิ่มความจุบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) แก่ดินทำให้ดินมีความเปลี่ยนแปลงในด้านความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม ความเป็นพิษจากยากำจัดศัตรูพืช และโลหะหนักที่ใส่ลงไปในดิน ให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป

2) ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่

ปุ๋ยคอกคือ มูลสัตว์ต่างๆ (Manures) เช่น วัว ควาย หมู เป็ด ไก่ ค้างคาว ที่นำมาใส่ให้กับดิน ปริมาณธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยคอกนั้นไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุของสัตว์ วิธีการเลี้ยงตลอดจนการเก็บรักษาอีกด้วย และในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาปุ๋ยคอก 1 ชนิด คือ มูลวัว ซึ่งได้นำมาใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการปลูกข้าว ซึ่งข้อดีของปุ๋ยคอกเมื่อใส่ลงในดินแล้วจะสลายตัวได้ง่ายและรวดเร็วกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม นอกจากนี้ยังสามารถช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ดินมีการระบายน้ำและอากาศดีขึ้น ช่วยเพิ่มความคงทนให้แก่เม็ดดินเป็นการลดการชะล้างพังทลายของดิน และช่วยรักษาหน้าดินไว้ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ในดินอีก สำหรับปุ๋ยคอกหลังจากที่สลายตัวเต็มที่แล้วก็จะเหลือ

สารอินทรีย์ที่สลายตัวยากตกค้างในดิน สารอินทรีย์ส่วนนี้เองที่ช่วยให้ดินมีสมบัติทางกายภาพที่ดี การสลายตัวของปุ๋ยคอกนั้นจะสลายตัวรวดเร็วในระยะแรก และจะค่อยๆ ช้าลงในเวลาต่อมา ในปีแรกปุ๋ยคอกอาจจะสลายตัวประมาณ 50% และการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 65% ในปีที่สอง และหลังจากสลายตัวจะค่อยๆ ช้าลง และจะเหลือสารอินทรีย์ที่คงทนต่อการสลายตัวอยู่ประมาณ 30% ด้วยเหตุที่ปุ๋ยคอกเป็นอินทรียวัตถุที่สลายตัวค่อนข้างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับอินทรียวัตถุชนิดอื่นเช่น ฟางข้าว หรือพืชสด และเมื่อสลายตัวแล้วจะเหลืออินทรียวัตถุที่คงทนต่อการสลายตัวไม่มากนัก ดังนั้นการที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของดินโดยการใส่ปุ๋ยคอกนั้นจำเป็นต้องใส่ในปริมาณมากและใส่อย่างต่อเนื่องทุกปีจึงจะได้ผล (ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, 2536) สารอินทรีย์จากปุ๋ยคอกที่ได้จากมูลสัตว์สามารถปรับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินให้สูงขึ้น และช่วยปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินให้มีปริมาณธาตุอาหารสำหรับการผลิตพืชมากขึ้น (Wong และคณะ, 1999) สำหรับวิธีการใส่ปุ๋ยคอกควรหว่านให้ทั่วแปลงนา แล้วไถกลบทันที ปุ๋ยคอกที่ใช้ควรเป็นปุ๋ยคอกเก่า และใส่ให้ใกล้วันปลูกมากที่สุด โดยให้รีบปลูกข้าวตามทันที และไม่ควรทิ้งดินไว้นาน

3) การย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุอาหารพืช

3.1) ขั้นตอนของการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์ เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดิน และเมื่อปุ๋ยได้รับความชื้น และสภาวะอื่นๆ ที่เหมาะสม ธาตุต่างๆ ที่ละลายน้ำในปุ๋ยจะถูกปลดปล่อยออกมา ในขณะเดียวกันอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกทำให้ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว สำหรับอินทรีย์สารที่มีลักษณะที่ค่อนข้างซับซ้อนก็จะถูกย่อยสลายอย่างช้าๆ

3.2) การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยอินทรีย์ ในขณะที่อินทรีย์สารต่างๆ ในปุ๋ยอินทรีย์กำลังถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์นั้น สารประกอบอินทรีย์รูปต่างๆ ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปที่จุลินทรีย์และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ อย่างไรก็ตาม การปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้วจะเป็นอัตราที่ช้า และสม่ำเสมอกว่ามาก จึงทำให้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองดี และไม่ค่อยเกิดความเป็นพิษต่อพืช

เกษม จันทรุจิรา (2530) รายงานว่า ผลการทดลองในการใช้ปุ๋ยคอกในแปลงนาปลูกข้าวของเกษตรกร จังหวัดอุบลราชธานี ในปี 2522-2527 พบว่า การใส่ปุ๋ยคอกในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ จะเพิ่มผลผลิตข้าวได้ถึง 13-39 เปอร์เซ็นต์

ดาวรุ่ง สังข์ทอง (2539) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืช และโลหะหนักบางชนิดในมูลวัว พบว่า มูลวัวมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 1.24, 0.21 และ 0.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ามูลวัวมีปริมาณแมงกานีส (Mn)

สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และโครเมียม (Cr) เท่ากับ 543.26, 70.41, 19.01 และ 31.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

สุรพล จัตุพร (2538) ทำการศึกษาการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าว พบว่าการใช้ปุ๋ยคอกอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนปักดำ 7 วัน ให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 613 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมาปุ๋ยคอกอัตรา 1,000 1,500 และ 500 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 607, 592 และ 570 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 4-6-4 และ 8-6-4 ในอัตรา 50 และ 40 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตเท่ากับ 603 และ 597 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

Nicholson และคณะ (1999) ทำการศึกษาโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และอาร์เซนิก (As) ในอาหารวัวและในมูลวัว พบว่า ในอาหารวัวมีปริมาณสังกะสีสะสมอยู่ในช่วง 39-289 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทองแดงอยู่ในช่วง 10.60-76.90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และอาร์เซนิกอยู่ในช่วง 0.71-2.47 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อนำมูลวัววิเคราะห์พบว่า มีปริมาณสังกะสีสะสม เท่ากับ 180 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทองแดง 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และอาร์เซนิก 1.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาเฉพาะปุ๋ยคอก (มูลวัว) ที่นำมาใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการปลูกข้าว ดังนั้นจึงขอเสนอรายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมีด้านธาตุอาหารพืช เฉพาะมูลวัว แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดของมูลวัว

ธาตุอาหาร	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (กรัม/กิโลกรัม)
ไนโตรเจน	5.7
ฟอสฟอรัส	2.0
โพแทสเซียม	2.8

ที่มา: สุภัทตรา นุชนารถ, 2545

3) ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ปัจจุบันสภาพพื้นที่เพาะปลูกของประเทศไทยส่วนใหญ่ มีปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน คือ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากดินส่วนใหญ่มีอินทรียวัตถุ (Organic Matter) ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จึงก่อให้เกิดผลดีในการช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินให้ดีขึ้น ทั้งนี้จากความอุดมสมบูรณ์ของดินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับอินทรียวัตถุ กล่าวคือ

3.1) ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยเพิ่มธาตุอาหารหลัก (Major Element) ธาตุอาหารรอง (Minor Element) และจุลธาตุ (Trace Element) ให้แก่พืช โดยเป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P) ธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาช้าๆ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโต (สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2527)

3.2) ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกไว้ให้พืชใช้ได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อปุ๋ยอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ดินย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุต่างๆ ออกมาในรูปสารอนินทรีย์ เหลือแต่ฮิวมัส ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน คงทนต่อการสลายตัว อย่างไรก็ตามปุ๋ยอินทรีย์บางส่วนที่ยังไม่ถูกพืชดูดดึงไปใช้ประโยชน์จะถูกคอลลอยด์ดินดูดซับเอาไว้ไม่ให้สูญหายไปจากดินโดยง่ายเมื่อมีการชะล้าง และพืชก็สามารถดูดไปใช้ได้เมื่อต้องการ (วิโรจน์ วจนานวัช, 2528) นอกจากนี้ การเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ของดินยังช่วยทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดินได้มากขึ้น (ยงยุทธ์ โอสถสภา, 2528)

3.3) ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งธาตุอาหารประจุลบ ธาตุที่อยู่ในรูปอนุมูลประจุลบจะสูญเสียจากดินโดยการชะล้างได้ง่าย เนื่องจากดินมีประจุลบเป็นส่วนใหญ่ ธาตุอาหารพืชในรูปประจุลบก็มีความสำคัญเช่นเดียวกับธาตุอาหารในรูปประจุบวก ดังนั้นปุ๋ยอินทรีย์จึงนับเป็นแหล่งสำคัญ และเป็นแหล่งใหญ่ที่ให้ธาตุอาหารในรูปประจุลบคือ ไนเตรท (NO_3^-) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) โมลิบเดต (MO_4^{2-}) และคลอไรด์ (Cl^-) เป็นต้น

3.4) ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดินกรด และดินแคลคาเรียส (Calcareous Soils) การเน่าเปื่อยของอินทรีย์สาร โดยการกระทำของจุลินทรีย์ดินนั้นจะมีกรดเกิดขึ้น กรดเหล่านี้จะช่วยละลายสารประกอบฟอสเฟต ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้บ้าง (El-Baruni และ Olsen, 1979) โดยทั่วไปปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณร้อยละ 5 ถึง 30 เท่านั้น ส่วนที่เหลือจะถูกตรึงอยู่ในดิน ดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟต และฟอสเฟตในดิน โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ กล่าวคือ กรดอินทรีย์อันเกิดจากการสลายของปุ๋ยอินทรีย์ นอกจากจะละลายสารประเภทฟอสเฟตบางส่วนที่ละลายค่อนข้างยากแล้ว อนุมูลอินทรีย์ยังช่วยป้องกันการตกตะกอนของอนุมูลฟอสเฟตที่ละลายได้ โดยเข้าทำปฏิกิริยากับเหล็ก และอลูมินั่มไอออนอันเป็นตัวการในการตรึงฟอสเฟตไว้บางส่วน ซึ่งไอออนของเหล็ก และอลูมินั่มมีอยู่อย่างจำกัดมากในสารละลายดินในช่วงที่มี pH 3-9 (Struthers และ Sieling, 1950) นอกจากนี้อนุมูลฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่กับแร่ดินเหนียว จะถูกอนุมูลของกรดอินทรีย์เข้าแทนที่ได้บางส่วนแล้วปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากยิ่งขึ้น (Dalton และคณะ, 1952)

Honya (1975) กล่าวว่า การเผาฟางข้าวทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงเพราะการเผาฟางจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน 5-50 กิโลกรัม/เฮกแตร์ และขึ้นอยู่กับปริมาณฟางข้าว และการเผาไหม้ว่าเกิดขึ้นสมบูรณ์เพียงใด

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ (2543) รายงานการไถกลบฟางข้าวทำให้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมกลับสู่ดิน การไถกลบฟางข้าวเป็นการเพิ่มกำมะถัน (S) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) ให้กับดิน และช่วยเพิ่มปริมาณจุลธาตุบางตัวให้กับดิน ซึ่งพบว่า ในฟางข้าวมีทองแดง 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เหล็ก (Fe) 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และยังพบว่า ฟางข้าวมีซิลิเนียม (Se) ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อพืชทางอ้อม

2.3.2 ปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizers) หมายถึง สารพาหนะหรือสิ่งหนึ่งสิ่งใดที่มีจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจน ละลายสารประกอบฟอสเฟต หรือย่อยสลายเซลลูโลส สารนี้อาจใช้สำหรับคลุกเมล็ด ใส่ลงในดินหรือกองปุ๋ยหมักต่างๆ เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และเร่งขบวนการทางจุลชีววิทยา ซึ่งจะมีผลให้ธาตุอาหารต่างๆ อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น หรือปุ๋ยชีวภาพในอีกความหมาย เป็นจุลินทรีย์ที่นำมาใช้เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโต หรือเพิ่มความต้านทานของโรคพืช ช่วยทดแทนปุ๋ยเคมีในพืชตระกูลถั่ว ใส่ครั้งเดียวตลอดชีวิตพืช ช่วยสร้างความสมดุลของธาตุอาหารพืช ใช้ในเพียงปริมาณเล็กน้อย ราคาถูก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในดินทั่วๆ ไป ถ้ามีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์อยู่แล้ว แสดงว่าในดินชนิดนั้นๆ จะมีปุ๋ยชีวภาพอยู่บ้างแล้วในปริมาณต่างๆ กัน ดินที่มีลักษณะทางชีวภาพที่ดีจึงหมายถึง ดินที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีประโยชน์ในการเพิ่มการเจริญเติบโตให้กับพืช ดังนั้น วิธีการที่จะช่วยปรับปรุงดินได้อย่างดี และมีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่งก็คือ การใส่ปุ๋ยชีวภาพ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2545) สำหรับปุ๋ยชีวภาพมีหลายชนิด ได้แก่

1) ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม (Rhizobium) ประกอบด้วยไรโซเบียมสายพันธุ์ไทย ที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูง สามารถใช้ได้กับพืชตระกูลถั่วได้ทุกชนิด ไรโซเบียมเป็นกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบที่อาศัยอยู่ในดิน และบริเวณรากพืชตระกูลถั่วแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน (Symbiotic) โดยไรโซเบียมและถั่วร่วมกันสร้างปมที่บริเวณราก เพื่อใช้เป็นโครงสร้างสำหรับตรึงไนโตรเจนในอากาศให้แก่พืชตระกูลถั่ว

2) ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 (Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR) ประกอบด้วยแบคทีเรีย (Bacteria) ที่สามารถตรึงไนโตรเจน และสามารถสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช 3 ตระกูล ได้แก่ Azotobacter, Azospirillium และ Beijinckia โดยเชื้อเหล่านี้สามารถตรึงไนโตรเจนสร้างฮอร์โมน ส่งเสริมการเจริญของขนรากอ่อน ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวราก และ

ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมี เพิ่มความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารให้กับข้าวโพด และข้าวฟ่าง

3) ปุ๋ยชีวภาพไมโครไรซ่า (Microrhiza) ประกอบด้วยเชื้อไมโครไรซ่าสายพันธุ์ไทยอย่างน้อย 25 สปอร์/กรัม ไมโครไรซ่าเป็นเชื้อราที่เข้าอาศัยอยู่ในดิน และบริเวณรอบๆ รากพืช โดยไมโครไรซ่าจะไม่ทำอันตรายต่อพืช โดยลักษณะการอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืชเป็นแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (Symbiotic) เชื้อไมโครไรซ่ามีความสำคัญทางการเกษตร ได้แก่ เอ็คโตไมโครไรซ่า (Extromicrorizha) และ วี-เอไมโครไรซ่า (VA Microrhiza) โดยทั้ง 2 พวกนี้มีความสำคัญต่อการปลูกป่า และพืชเศรษฐกิจต่างๆ และไมโครไรซ่าจะช่วยเพิ่มปริมาณราก และพื้นที่ผิวราก จึงช่วยทำให้พืชทนแล้ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้ยาก เช่น ฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ca) และจุลธาตุต่างๆ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อราในระบบรากได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

2.3.3 ปุ๋ยเคมี (Chemical Fertilizer) เป็นปุ๋ยที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์ต่างๆ สามารถให้ธาตุอาหารที่สำคัญแก่ดินอย่างรวดเร็ว ปุ๋ยเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปุ๋ยธาตุอาหารหลัก (Major Element) คือปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก ซึ่งได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เมื่อมีการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน ดินมักจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชที่ปลูก ดังนั้นจึงต้องมีการเติมธาตุอาหารเหล่านี้ลงไปในดิน ปุ๋ยเคมีอีกชนิดหนึ่งคือ ปุ๋ยธาตุอาหารรอง (Minor Element) คือ ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากพอๆ กับธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ธาตุแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ส่วนใหญ่ธาตุอาหารรองมักมีอยู่ในดินในปริมาณมาก เมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารหลัก ในการใช้ปุ๋ยเคมีนั้นมีผลเสียหลายประการ เช่น เป็นตัวขัดขวางการสร้างอินทรีย์สารหรือฮิวมัสตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญของความอุดมสมบูรณ์ที่แท้จริงของดิน นอกจากนี้ ปุ๋ยเคมียังเพิ่มความเค็ม และความเปรี้ยวให้แก่ดิน ทำให้ดินแข็ง รากพืชชอนไชลำบาก มีผลให้ปริมาณออกซิเจนในดินลดลงด้วย ทั้งนี้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่

อนนท์ และคณะ (2537) ทำการทดลองการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกพบว่า ในฤดูนาปี 2531 การใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตรา 600 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 8-4-0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ คือ แปลงที่ใส่ปุ๋ยมูลวัว และปุ๋ยเคมี เท่ากับ 633 และ 672 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ แต่แตกต่างกับแปลงนาที่ไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งให้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 474 กิโลกรัม/ไร่ และในปีเดียวกันนี้ได้ทำการทดลองที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท ผลการทดลองปรากฏว่าการใส่ปุ๋ยมูลวัวอัตรา 1,500 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยเคมีอัตรา 8-4-0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ให้ผลผลิตข้าวแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญคือ แปลงที่ใส่ปุ๋ยมูลวัว และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 573 และ 676 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ แตกต่างจากแปลงนาที่ไม่ใส่ปุ๋ยที่ได้ผลผลิตเพียง 469 กิโลกรัม/ไร่

ลักขณา และคณะ (2540) พบว่า การปลูกผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยหมัก และปุ๋ยเคมีสลับปุ๋ยคอก มีปริมาณไนเตรทสูง คือ 3,656, 3,901 และ 3,018 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผักกวางตุ้งที่ใส่ปุ๋ยหมัก ใส่ปุ๋ยคอกอย่างเดียว และไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งมีปริมาณไนเตรทค่อนข้างต่ำมากคือ 445, 402 และ 330 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

สุรพล จัตุพร และคณะ (2542) ทำการทดลองปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และ สูตร 46-0-0 ในฤดูปลูกข้าวนาปี พ.ศ. 2542 ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี ซึ่งมีลักษณะดินเป็นดินเหนียว พบว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 753.26 กิโลกรัม/ไร่ และทำการทดลองในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2543 พบว่า ให้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 827.10 กิโลกรัม/ไร่

กนกพร ชัยวุฒิกุล (2544) ศึกษาผลของการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ต่อองค์ประกอบทางเคมีและผลผลิตของพืช ประกอบด้วยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25, 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ พืชทดลองคือ ข้าวพันธุ์หอมขาวดอกมะลิ 105 ผลการศึกษาพบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 อัตรา ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณซัลเฟอร์ (S) รวมทั้งปริมาณเหล็ก (Fe) ทั้งหมดในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ธาตุพิษ นิเกิล (Ni) และอลูมิเนียม (Al) จากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ พบว่ามีปริมาณสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว สำหรับผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก จากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 อัตรา พบว่า ผลผลิตข้าวสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจน (N) และเหล็ก (Fe) ทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 อัตรา

สิทธิพร เกตุวรสุนทร (2546) ศึกษาผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ตามระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์หอมขาวดอกมะลิ 105 ผลการศึกษาพบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้องไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก อย่างไรก็ตาม ผลผลิตที่ได้รับมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินเดิมได้ผลผลิต 431.87 กิโลกรัม/ไร่ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ระยะทำเทือกได้ผลผลิต 540.45 กิโลกรัม/ไร่ ระยะต้นข้าวแตกกอได้ผลผลิต 543.77 กิโลกรัม/ไร่ และระยะต้นข้าวตั้งท้องได้ผลผลิต 546.94 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารที่ได้จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 ระยะ มีความปลอดภัยจากธาตุพิษคือ นิเกิล (Ni) อยู่ในช่วง 0.42-0.51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียม (Cd) มีปริมาณน้อยกว่า

10 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ยกเว้นปริมาณอลูมิเนียม (Al) ในข้าวสารมีแนวโน้มสูงขึ้นจากดินเดิม 7.45 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็น 7.73, 7.67 และ 7.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 ระยะ และสำหรับปริมาณธาตุพิษในดินก่อนเก็บเกี่ยวทั้ง 3 ระยะ พบว่า นิเกิล มีปริมาณอยู่ในช่วง 11.10-12.61 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียมมีปริมาณอยู่ในช่วง 49.17-58.00 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และมีปริมาณอลูมิเนียมอยู่ในช่วง 25,633-27,358 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 ระยะ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวมีค่าลดลงจากเดิม

อารีรัตน์ ดอกเข็ม (2548) ศึกษาการปลูกข้าวหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยใช้ปุ๋ยเคมี ในระยะก่อนปักดำ 1 วัน และหลังจากปักดำ 1 เดือน พบว่า ค่า pH ของดิน ก่อนใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 และหลังปลูกข้าวมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าสูงขึ้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ต้นข้าวมีความสูงขณะเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 116.83 เซนติเมตร นอกจากนี้พบว่ามีการดูดใช้ไนโตรเจนของตอซัง และเมล็ดข้าว เท่ากับ 9.31 และ 8.77 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ และมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสของตอซัง และเมล็ดข้าว เท่ากับ 2.32 และ 2.03 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

อภิวรรณ จุลนิมิ (2549) ได้ทำการปลูกข้าวในแปลงนาที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องย้อนหลัง 5 ปี คือตั้งแต่ปี 2543-2547 ในการทดลองได้ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) พบว่า ความสูงของต้นข้าวระยะเก็บเกี่ยวเท่ากับ 86.83 เซนติเมตร ผลผลิตที่ความชื้น 14% เท่ากับ 630.54 กิโลกรัม/ไร่ ผลของการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าว พบว่า ในตอซัง เท่ากับ 5.36 กิโลกรัม/ไร่ เมล็ดข้าวเท่ากับ 5.13 กิโลกรัม/ไร่ และการดูดใช้ฟอสฟอรัสของต้นข้าว พบในตอซังเท่ากับ 1.68 กิโลกรัม/ไร่ และในเมล็ดข้าว เท่ากับ 1.40 กิโลกรัม/ไร่

Chen (1992) ศึกษาการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในเมล็ด และรากของข้าวจากแหล่งต่างๆ ในประเทศญี่ปุ่นที่มีการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักมากน้อยแตกต่างกันพบว่า ความเข้มข้นสูงสุดของอาร์เซนิก (As) ทองแดง (Cu) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในเมล็ดข้าว มีค่าเท่ากับ 0.2, 6.0, 5.2, 0.26, 1.0 และ 60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และความเข้มข้นสูงสุดของอาร์เซนิก ทองแดง แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว และสังกะสีในรากข้าวเท่ากับ 1,182, 560, 97, 245, 423 และ 4,510 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักในข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณการปนเปื้อน และแหล่งของการปนเปื้อน

M. Azizur Rahman และคณะ (2007) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของอาร์เซนิก (As) ในส่วนต่างๆ ของต้นข้าวจากพื้นที่เกษตรกรรมปลูกข้าวที่มีการปนเปื้อนของ As พบว่า ข้าวมีการดูดดึง As ไปสะสมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าวได้แก่ รากข้าว 51.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ฟางข้าว 1.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เปลือกข้าว 1.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และข้าวสาร 0.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถสังเกตเห็นได้ว่าปัจจุบันยังขาดการศึกษาวิจัยในเรื่องของผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยบำรุงดินต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนา ในขณะที่ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีในการเพิ่มผลผลิตมากขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงเน้นถึงการศึกษาการปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมในการใส่ปุ๋ย บำรุงดินสำหรับการทำนา เพื่อพัฒนาแนวทางการปฏิบัติหรือเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีที่เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดีสำหรับการทำนา

2.4 พฤกษศาสตร์ของข้าว

ข้าว (Rice) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryza sativa* วงศ์ Gramineae

ข้าวเป็นพืชชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ในตระกูลหญ้า เพราะต้นข้าวมีลักษณะภายนอกบางอย่างคล้ายต้นหญ้า เช่น ใบ กาบใบ ลำต้น และราก เกษตรกรที่อยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่ปลูกข้าวเหนียวและข้าวเจ้า เพราะประชาชนในภาคเหล่านี้เป็นจำนวนมากบริโภคข้าวเหนียว ส่วนเกษตรกรในภาคกลางและภาคใต้ ปลูกข้าวเจ้ากันเป็นส่วนใหญ่ เพราะประชาชนนิยมกินข้าวเจ้า

ข้าวที่ปลูกเพื่อการบริโภคเป็นอาหารมี 2 ชนิด คือ 1) *Oryza sativa* ซึ่งมีปลูกทั่วไปในทุกประเทศ และ 2) *Oryza glaberrima* ซึ่งมีปลูกเฉพาะในแอฟริกาเท่านั้น ข้าวพวก *Oryza sativa* ยังแยกออกได้เป็น *Indica* มีปลูกมากในเขตร้อน และ *Japonica* มีปลูกมากในเขตอบอุ่นสำหรับข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นพวก *Indica* ซึ่งแบ่งออกเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

2.4.1 การเจริญเติบโต โครงสร้าง และองค์ประกอบทางเคมีของข้าว

ต้นข้าวเจริญเติบโตทั้งทางลำต้น และทางสืบพันธุ์ โดยมีระยะเวลาของการเจริญเติบโตทั้ง 2 ทางแยกจากกันแน่นอนคือ

1) การเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative Growth Phase) เริ่มตั้งแต่ต้นข้าวงอกจากเมล็ดข้าวไปจนถึงวันที่สร้างรวงอ่อนหรือช่อดอก ใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยข้าวจะสร้างราก ลำต้น ใบ และการแตกกอ ทำการสะสมอาหารไว้สำหรับการเจริญเติบโตในระยะสืบพันธุ์

1.1) ราก (Root) รากข้าวเป็นระบบรากฝอย (Fibrous) ที่ประกอบด้วยรากย่อย (Rootiets) และรากขนอ่อน (Root Hairs) การเจริญเติบโตของรากสามารถจำแนกได้เป็นระยะๆ คือ รากชุดแรก (Seminal Roots) จะแตกแขนงไม่มาก มีอายุอยู่ไม่นานหลังจากการงอก รากชุดเสริมชุดที่สอง (Secondary Root) จะเป็นรากที่เกิดจากข้อใต้ระดับดินของต้นข้าวที่อ่อน แตกแขนงอย่างอิสระ ต่อมาเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตมากขึ้น จะมีรากอีกชนิด เรียกว่า รากเสริมชนิดค้ำจุนหรือรากฝังดิน (Mat Roots) ซึ่งเกิดจากข้อเหนือระดับผิวดิน บางส่วนจะงอกลงบนดิน แต่บางส่วนจะกระจาย

ไปแนวระดับ รากจะทำหน้าที่ยึดลำต้น และดูดน้ำและแร่ธาตุที่ละลายในดิน ลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของต้นข้าว ผ่านลำต้น และกิ่ง

1.2) ลำต้น (Culm) ต้นข้าว เกิดจากชุดของข้อ (Node) และปล้อง (Internode) ที่ต่อเรียงสลับกัน โดยมีผนังกั้นข้อ (Node Septum) กั้น มีนวมโคนกาบใบ (Sheath Pulvinus) หุ้มอยู่ จึงมีลักษณะบวมใหญ่ขึ้น บริเวณข้อจะเป็นที่เกิดของตาและใบ (Bud) ตาบนต้นข้าวโดยเฉพาะที่ข้อถี่ๆ โคนต้นจะเจริญเติบโตแตกกอ (Tiller) เป็นต้นใหม่ที่มีต้น ใบ ราก และมีรวงอยู่ด้วย การแตกกอเป็นต้นใหม่จะเริ่มเมื่อเกิดใบที่ 5 บนต้นเดิม พันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความสามารถในการแตกกอไม่เท่ากัน ข้าวที่ปลูกในดินดีและปลูกห่างจะแตกกอมาก ลำต้นทำหน้าที่พยุงใบ ดอก และรวง โดยเฉพาะให้ใบชูรับแสงแดด เพื่อสร้างอาหารจากการสังเคราะห์แสง และลำเลียงน้ำ อาหาร และแร่ธาตุไปยังส่วนต่างๆ ของข้าว

1.3) ใบ (Leaf) ใบข้าว ใบแท้ (Foliage Leaf) ชนิดใบเดี่ยว (Single Leaf) เพราะข้าวเป็นธัญญาพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) มีลักษณะเป็นแผ่นแบน บาง และยาวคล้ายหอก เกิดจากข้อของลำต้น เรียงสลับกันเป็นสองแนว ประกอบด้วย ตัวใบ (Leaf Blade) กาบใบหรือก้านใบ (Leaf Sheath) ข้อต่อใบ (Collar) หูใบ (Stipule) หรือเยื่อกั้นน้ำฝน (Ligule) และเขี้ยวกันแมลง (Auricle) ใบข้าวใบแรกที่เกิดจากต้นแม่ (Main Culm) จะเป็นใบที่ไม่สมบูรณ์ มีลักษณะคล้ายกาบใบ ส่วนใบธงจะเป็นใบข้าวที่อยู่บนสุดของต้นข้าว ใต้ช่อดอกข้าวหรือรวงข้าว ในระยะที่ข้าวออกดอกผสมเกสร สร้างรวงและสร้างเมล็ดนั้น จะได้รับอาหารจากใบธงและใบล่างถัดลงมาอีก 2-3 ใบ เป็นส่วนใหญ่ เพราะใบอื่นๆ จะแก่ และปรุงอาหารไม่ได้แล้ว โดยหน้าที่หลักของใบก็คือ การปรุงอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ และการหายใจ

2) การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (Reproductive Growth Phase) เริ่มตั้งแต่วันที่ต้นข้าวสร้างดอกอ่อน จนถึงวันที่รวงเริ่มโผล่ออกจากใบธง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30-40 วัน ระยะแรกเรียกว่าข้าวแต่งตัว ต่อมารวงอ่อนมีขนาดใหญ่พอสมควร ทำให้ต้นข้าวอ้วน กลม ป่องออก เรียกว่าข้าวตั้งท้อง ระยะที่รวงข้าวเริ่มโผล่ออกจากลำต้น เรียกว่าข้าวโพล่ง ต้นข้าวจะสร้างส่วนต่างๆ ของช่อดอก หรือรวงข้าว (Panicle) และดอกข้าว (Spikelet)

2.1) ช่อดอก (รวงข้าว) ประกอบด้วย แขนงอันแรก (Primary Branch) ของช่อดอกเริ่มจากข้อด้านบนของคอรวง (Panicle Base) แขนงต่อไปจะเกิดจากแกนกลาง (Panicle Axis) ของรวงซึ่งมี 2 แบบคือ แกนกลางหลัก (Main Panicle Axis) และแกนกลางทั่วไป ไปจนถึงปลายรวง บนแขนงจะแตกกิ่งเล็ก (Secondary Branch) ซึ่งแต่ละกิ่งจะมีดอกข้าว ความถี่ห่างของแขนงและกิ่งแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ แขนงและกิ่งเล็กนี้เรียกอีกชื่อว่า ระแง้ ถ้าข้าวพันธุ์ใดมีระแง้ถี่แสดงว่ามีดอกในรวงจำนวนมากกว่าข้าวพันธุ์ที่มีระแง้ห่าง

2.2) ดอกข้าว ประกอบด้วยกลีบฝอ (Rudimentary Glumes) มี 2 ปุ่ม ติดอยู่ที่คอรวง และส่วนปลายที่ต่อจากก้านดอกย่อย ขั้วดอก (Rachilla) อยู่ถัดจากกลีบฝอขึ้นมา มีลักษณะเป็นก้านสั้น อยู่ระหว่างกลีบรองดอก (Sterile Lemmas) และดอกเปลือกใหญ่ (Lemma) จะเป็นส่วนที่อยู่ติดกับเมล็ดของข้าว กลีบรองดอกเป็นกลีบเทียม 1 คู่ อยู่ติดกับขั้วดอก และอยู่ระหว่างกลีบฝอและดอกข้าว เปลือกดอกซึ่งมี 2 เปลือกคือ เปลือกดอกใหญ่ (Lemma) และเปลือกดอกเล็ก (Palea) บนส่วนยอดของเปลือกดอกใหญ่ในพันธุ์ข้าวบางพันธุ์จะมีปลายแหลมยื่นไป เรียกว่า หาง (Awn) เปลือกดอกเป็นอวัยวะที่ใหญ่ที่สุดของดอกข้าว ทำหน้าที่ป้องกันและห่อหุ้มดอก (Flower) ไว้ข้างใน ดอกข้าวมีความกว้างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 5-10 มิลลิเมตร เป็นดอกสมบูรณ์ (Perfect Flower) ที่มีอวัยวะเพศครบทั้ง 2 เพศ คือ เกสรตัวผู้ (Stamen) และเกสรตัวเมีย (Pistel) อยู่ภายในดอกเดียวกัน แต่เป็นดอกชนิดที่มีอวัยวะสำคัญของดอกไม่ครบ (Incomplete Flower) คือ มีกลีบเลี้ยง (Sepal) และไม่มีกลีบดอก (Petal) ห่อหุ้มดอกไว้ ดอกข้าวสามารถผสมพันธุ์ได้ด้วยตนเอง (Self-Polinated Plant) ดอกเพศผู้มีอับเกสรเพศผู้ (Anther) 6 อัน อยู่บนก้านอับเกสร (Filament) ภายในอับเกสรเพศผู้จะเต็มไปด้วยละอองเกสร (Pollen Grain) ขนาดเล็ก ดอกเพศเมียมีพู่รับละอองเกสร (Stigma) 2 อัน และรังไข่ (Ovary) 1 รัง ซึ่งเชื่อมกันด้วยก้านพู่รับละอองเกสร (Style) ก้านนี้มีขนาดสั้น เมื่อดอกข้าวบาน ปลายของพู่รับละอองเกสรจะอยู่ประมาณกึ่งกลางของดอกข้าว

สรุปวงจรชีวิตของข้าวในการเจริญเติบโต เริ่มจากต้นข้าวงอกออกจากเมล็ดด้วยการเพาะเมล็ดจนเป็นต้นกล้าใช้เวลาประมาณ 125 ชั่วโมง หรือประมาณ 5 วัน ได้ต้นกล้าที่ต้องนำไปเพาะในระยะกล้า 25-30 วัน จึงปักดำจนต้นข้าวแตกกอเกิดช่อดอกเป็นระยะแตกกอ 45-60 วัน เรียกการเจริญเติบโตทางลำต้น ต่อไปข้าวเข้าสู่การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ โดยระยะตั้งท้องใช้เวลาประมาณ 25-30 วัน เริ่มจากการเกิดช่อดอกจนถึงการออกดอก ระยะต่อไปคือ การสร้างเมล็ดอีก 25-30 วัน จึงได้เมล็ดแก่เต็มที่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้อีกครั้ง จึงครบวงจรชีวิตของข้าว โดยถ้านับจากวันตกกล้า จะใช้เวลาปลูกข้าวประมาณ 120-150 วัน ขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวแต่ละชนิด

2.4.2 ข้าวหอมปทุมธานี 1

ข้าวหอมปทุมธานี 1 คัดเลือกจากคู่ผสมเดี่ยวระหว่างข้าวหอมสายพันธุ์ BKNA6-18-3-2 และ PTT85061-86-3-2-1 ที่ได้ผสมพันธุ์ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2533 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดทางกายภาพและทางเคมี การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน และการศึกษาเสถียรภาพของผลผลิตระหว่างปี 2539-2541 และได้รับการคัดเลือกให้เป็นหนึ่งในข้าวสารสายพันธุ์ดีเด่นของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ให้ปลูกขยายพันธุ์เป็นข้าวพันธุ์หลัก เพื่อเตรียมการขยายพันธุ์ต่อไป (กรมวิชาการเกษตร, 2543)

1) ลักษณะเด่น

1.1) เป็นข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง ลักษณะเมล็ดทางกายภาพมีเมล็ดเรียวยาว คล้ายพันธุ์ข้าวขาวหอมดอกมะลิ 105 เป็นข้าวหุงสุกง่าย เมื่อหุงสุกมีลักษณะนุ่มเหนียว เช่นเดียวกับพันธุ์ข้าวขาวหอมดอกมะลิ 105

1.2) ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โดยมีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลดีกว่าข้าวคลองหลวง 1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และข้าวเจ้าชัยนาท 1

1.3) ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ประมาณ 650 - 774 กิโลกรัมต่อไร่

2) ลักษณะทางการเกษตร

ลักษณะใบธง	ใบธงยาว ตั้งตรงปานกลาง
ลักษณะรวง	รวงยาวเฉลี่ย 31.5 เซนติเมตร รวงแน่นปานกลาง
การยืดของคอรวง	คอรวงสั้น รวงอยู่ใต้ใบธง
ความแข็งของลำต้น	ค่อนข้างแข็ง ถึงปานกลาง
การแก่ของใบ	ใบแก่ช้า
ความสูง	ปานกลาง (104-133 เซนติเมตร)
ความไวต่อช่วงแสง	ไม่ไวต่อช่วงแสง
อายุการเก็บเกี่ยว	นาดำ 113-126 วัน นาหว่านน้ำตม 104-114 วัน
องค์ประกอบผลผลิต	จำนวนรวงต่อตารางเมตร นาดำ 240-272 รวงต่อตารางเมตร นาหว่านน้ำตม 291-269 รวงต่อตารางเมตร จำนวนเมล็ดดีต่อรวง 124 เมล็ด น้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด เฉลี่ย 27 กรัม น้ำหนักข้าวเปลือกต่อถัง 10.52 กิโลกรัม
ค่าดัชนีเก็บเกี่ยว	นาหว่านน้ำตม 0.46 (0.43-0.48) นาปักดำ 0.46 (0.44-0.49)
ระยะพักตัวของเมล็ด	3-4 สัปดาห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.3 วิธีการผลิตข้าวหอมปทุมธานี 1

ข้าวหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวเจ้าพันธุ์ใหม่ของกรมวิชาการเกษตร ได้พัฒนาพันธุ์เพื่อผู้นิยมบริโภคข้าวกลุ่มข้าวหอมมะลิ โดยเฉพาะข้าวหอมปทุมธานี 1 ได้รับการขยายพันธุ์สู่มือเกษตรกรค่อนข้างกว้างขวาง เกษตรกรสามารถใช้ปลูกในพื้นที่นาชลประทานทั้งนาปีและนาปรัง แต่เนื่องจากข้าวหอมปทุมธานี 1 เป็นข้าวหอมนาปรังพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะสำคัญบางประการที่แตกต่างจากพันธุ์ที่เกษตรกรเคยปลูก และโรงสีผู้รับซื้อข้าวไปสี ควรให้การดูแลเอาใจใส่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขบวนการเก็บเกี่ยว และปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม จึงทำให้ข้าวหอมปทุมธานี 1 มีคุณภาพเมล็ดและการสีที่ดีเมล็ดไม่แตกหักง่าย ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวหรือข้าวสารที่มีความยาวไม่น้อยกว่าแปดในสิบส่วนของเมล็ดข้าวสารที่สมบูรณ์ได้ในระดับที่ดี

การปลูกข้าวหอมปทุมธานี 1 ควรเริ่มจากการใช้พันธุ์ข้าวแท้ที่มีความบริสุทธิ์และมีคุณภาพได้มาตรฐานของเมล็ดพันธุ์ การเตรียมดินก่อนปลูกควรกำจัดข้าวที่หลงเหลืออยู่ในแปลงก่อนหว่านข้าวพันธุ์ใหม่ สำหรับอัตราการหว่านข้าวพันธุ์นี้ประมาณ 15 กิโลกรัม/ไร่ ในภาคกลางที่มีดินค่อนข้างสมบูรณ์ ไม่ควรใส่ปุ๋ยมากเกินไป โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน เช่น ยูเรีย เพราะจะทำให้ต้นข้าวเฝือใบ และอาจทำให้หนอนกอม้วนใบระบาดรุนแรงได้ นอกจากนั้นยังทำให้ต้นข้าวล้มง่ายและผลผลิตลดลง พันธุ์ข้าวโดยทั่วไปเมื่อใบธงที่อยู่ใกล้ธงที่อยู่ใกล้รวงข้าวเริ่มเหลืองแห้ง จะเป็นเวลาพร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยว แต่สำหรับข้าวหอมปทุมธานี 1 นั้น ใบธงแก่ช้าแม้รวงข้าวสุกแล้วใบธงยังมีสีเขียวดีอยู่ถ้าเก็บเกี่ยวระยะใบธงเหลืองหรือเริ่มแห้ง ข้าวจะสุกงอมเมล็ดข้าวแห้งมากเกินไป เมื่อนำไปสีเมล็ดจะแตกหักง่าย ดังนั้นระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมควรเริ่มจากการสังเกตข้าวที่เริ่มออกรวง โดยทั่วไปข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ถ้าปลูกแบบนาหว่านน้ำตม จะออกรวงหลังการหว่านประมาณ 85 วัน หรือถ้าแบบปักดำจะออกรวงหลังวันปักดำประมาณ 66-70 วัน และการออกรวงเร็วหรือช้านั้น ขึ้นอยู่กับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยเช่นกัน

2.4.4 ธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว

การจำแนกธาตุอาหารสำหรับข้าวสามารถจัดกลุ่มตามความสำคัญ ปริมาณที่พืชต้องการใช้ปริมาณที่มีอยู่ในดิน และความรุนแรงของการขาดธาตุนั้นๆ ต่อความเสียหายของผลผลิต ดังนี้

1) ธาตุอาหารหลัก (Major Element) ประกอบด้วย ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารในกลุ่มที่ข้าวมีความต้องการในปริมาณมาก เพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโต และสร้างผลผลิตถ้าพืชขาดธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งในกลุ่มนี้ จะแสดงอาการขาดอย่างรุนแรง ทำให้การเจริญเติบโตชะงักลง และถ้ายังไม่ได้รับการแก้ไข จะทำให้พืชต้นนั้นตายในที่สุด

2) ธาตุอาหารรอง (Minor Element) ประกอบด้วย แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) ซัลเฟอร์ (S) เป็นธาตุอาหารที่ข้าวนำไปใช้น้อยกว่ากลุ่มแรก แต่ถ้าขาดธาตุใดธาตุหนึ่งในกลุ่มนี้ ข้าวก็จะแสดงอาการขาดให้เห็น ซึ่งหากมีการเติมธาตุอาหารที่ขาดลงในดิน จะทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติดังเดิม

3) จุลธาตุอาหาร (Trace Element) ประกอบด้วย เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mg) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) เป็นธาตุอาหารประเภทใช้น้อย แต่ยังมีความจำเป็น เพราะเมื่อขาดธาตุอาหารเหล่านี้แล้ว ความสามารถในการเจริญเติบโตของข้าวจะลดลง หรือชะงักการเจริญเติบโต ถ้าขาดรุนแรงอาจตายได้

นอกจากธาตุอาหารที่มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวแล้ว ปริมาณธาตุบางชนิดที่มีมากเกินไปก็อาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของข้าว แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว ข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลี ในต้นพืชระยะแตกกอสูงสุด

ธาตุอาหาร (%)	ข้าว	ข้าวบาร์เลย์	ข้าวสาลี
ไนโตรเจน	2.9-4.2	2.0-4.0	2.5-4.5
ฟอสฟอรัส	0.18-0.26	0.28-0.50	0.25-0.5
โพแทสเซียม	1.8	2.5	3.2

ที่มา: สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2535

2.4.5 ความต้องการธาตุอาหารตามระยะการเจริญเติบโต

ต้นข้าวจะมีลักษณะการดึงดูดธาตุอาหารที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดอย่างน้อย 3 ช่วงด้วยกัน คือ 1) ช่วงแรกที่ต้นข้าวเริ่มงอกและการเจริญเติบโตในระยะแรก 30-45 วัน ต้นข้าวมักจะต้องการธาตุอาหารน้อยและช้าเพราะระยะนี้ต้นข้าวใช้อาหารจากเมล็ด ประกอบด้วยระบบรากยังน้อยและต้นยังเล็กอยู่ 2) ช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นระยะที่กำลังแตกกอ และเป็นระยะกำลังสร้างตาดอก หรือประมาณ 30 วันก่อนออกดอก และ 3) ช่วงที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว เป็นระยะสร้างเมล็ดหรือสร้างผลความต้องการธาตุอาหารในระยะนี้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งฝักแก่หรือเมล็ดแก่ และระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ต้องการธาตุอาหารมากที่สำคัญมี 2 ระยะคือ ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

2.5 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาวิจัย

2.5.1 คุณลักษณะอนินทรีย์เคมี

โลหะหนัก (Heavy Metal) ตามคำจำกัดความของคณะกรรมการการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา (2541) หมายถึง ธาตุที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีเลขเชิงอะตอม (Atomic Number) ในช่วง 23-92 และอยู่ในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539) โลหะหนักจึงมีทั้งหมด 68 ธาตุจากจำนวนธาตุที่เป็นโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ ซึ่งจะอยู่ในกลุ่มของธาตุทรานสิชั่น (Transition Elements) เช่น โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) นิเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) และปรอท (Hg) เป็นต้น และในกลุ่มของธาตุ เรพรีเซนเตติฟ (Representative Elements) เช่น ตะกั่ว (Pb) อาร์เซนิก (As) ซิลิเนียม (Se) และพลวง (Sb) เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ มีคุณสมบัติทางกายภาพคือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ ส่วนคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) ได้หลายรูปแบบที่มีความสถียรกว่าโลหะอิสระโดยเฉพาะเมื่อรวมกับสารประกอบอินทรีย์ เนื่องจากโลหะหนักมีค่าออกซิเดชั่นได้หลายค่า (อินทรา หาญพงษ์พันธ์, 2534) ดังนั้น เมื่อโลหะหนักเกิดการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยการปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ จะเกิดการสะสม และถ่ายทอดสู่มนุษย์ได้ในที่สุดโดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ซึ่งโลหะหนัก และสารประกอบของโลหะหนักเกือบทุกชนิดมีความเป็นพิษสูง และเป็นอันตรายต่อร่างกายโดยอาจทำให้เจ็บป่วย พิการ หรือตายได้ ถ้าได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากเกินไป ธาตุโลหะหนักจัดเป็นพิษ (Toxic Element) ที่สามารถก่อให้เกิดมลพิษเมื่อเกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการขยายตัวทางการผลิตทั้งภาคเกษตรและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่การเพาะปลูกและแหล่งน้ำ เนื่องจากโลหะหนักสามารถถ่ายทอดไปสู่ระบบห่วงโซ่อาหาร และสามารถเกิดการสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสัตว์ได้ (Chaney et al., 2001) การปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่ทางการเกษตรส่วนใหญ่มาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชเช่น ในพื้นที่ทำการปลูกข้าวมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชเป็นส่วนใหญ่ พื้นที่ที่ใช้สารเคมีในการทำการเกษตรจะมีการสะสม ตกค้าง และการกระจายของโลหะหนักไปตามแหล่งน้ำ และพื้นที่ใกล้เคียง มีผลกระทบต่อระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น และมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน

1) อาร์เซนิก (As)

อาร์เซนิกหรือสารหนู (As) เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มของธาตุเรพรีเซนเตติฟ โดยมีเลขอะตอม 33 มวลอะตอม 74.92 จัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งโลหะ และอโลหะ มีจุดหลอมเหลวที่ 817 องศาเซลเซียส (ในภาชนะปิดสนิท และภายใต้ความดัน 36 บรรยากาศ) จุดเดือดที่ 616 องศาเซลเซียส มีเลขออกซิเดชั่นได้หลายค่าคือ -3, 0, +3 และ +5 สารหนูในรูปธาตุหรือโลหะเป็นของแข็งหรือผง มีสีเทา เมื่อเผาจะมีเปลวไฟสีน้ำเงิน และควันสีขาว ไม่ละลายน้ำ และไม่ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟุริกหรือกรดไฮโดรคลอริกที่เย็น แต่ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกหรือกรดซัลฟุริกหรือกรดซัลฟุริกที่ร้อน สามารถเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2530; Parker, 1993) สารประกอบสารหนูส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่ ทางด้านการเกษตรกรรม โดยนำมาใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดแมลง สารฆ่าวัชพืช น้ำยาป้องกันเชื้อรา และแมลงที่ทำลายเนื้อไม้ และใช้ผสมในอาหารสัตว์ปีกเพื่อเร่งการเจริญเติบโต ทางด้านอุตสาหกรรม สารหนูถูกนำมาใช้ผสมกับโลหะอื่นๆ เป็นโลหะผสมเช่น ตะกั่ว ทองแดง เพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน ใช้เป็นวัตถุกึ่งตัวนำในเครื่องทางด้านอิเลกโทรนิค และใช้เป็นสารให้สีแดงหรือไม่มีสีในผลิตภัณฑ์แก้ว และทำให้แก้วหลอมละลาย ใช้ในอุตสาหกรรมกระจกเงาเป็น Silver Reducer ใช้เป็น Antifouling Paints สำหรับทาใต้ท้องเรือ เพื่อป้องกันตะไคร่น้ำจับ และใช้เป็นสารรักษาสภาพหนังสัตว์ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นต้น ด้านการแพทย์ ใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคในคน และสัตว์

การปนเปื้อนอาร์เซนิกในสิ่งแวดล้อม สามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมทั้งจากธรรมชาติ โดยเกิดจากการสึกกร่อนของเปลือกโลก หรือจากก๊าซของภูเขาไฟ จากการใช้สารป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตร และจากการใช้ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (ปุ๋ยเคมีสูตร 0-46-0) ซึ่งในปุ๋ยจะมีอาร์เซนิกประกอบอยู่ร้อยละ 0.1 จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนของอาร์เซนิกในดิน แหล่งน้ำ และปะปนอยู่ในน้ำเสียได้เช่น ในน้ำเสียของโรงงานโลหะผสมตะกั่ว-สังกะสีมีปริมาณอาร์เซนิกปะปนอยู่ประมาณ 0.15 ถึง 0.22 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้การปนเปื้อนของอาร์เซนิกในพื้นที่การเกษตร มีค่ามาตรฐานคุณภาพดินสำหรับการเกษตร ที่กำหนดค่าการปนเปื้อนของอาร์เซนิกไว้ไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และค่าการปนเปื้อนอาร์เซนิกในแหล่งน้ำทางการเกษตร มีเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ,2548) อย่างไรก็ตามอาร์เซนิกยังสามารถผ่านเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ รับประทาน และทางผิวหนัง ทำให้เกิดโรคผิวหนัง เกิดการสะสมที่ปอดทำให้เกิดหลอดลมอักเสบ ปลายประสาทอักเสบ และอาจเป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนังและที่ปอดได้

2) แมงกานีส (Mn)

แมงกานีสเป็นโลหะสีเทา มีจุดหลอมเหลว 1,220 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 7.21 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แมงกานีสเป็นโลหะที่แข็ง ทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้นเมื่อเผาให้ร้อน ทำปฏิกิริยากับอโลหะได้เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำอุ่นจะได้แก๊สไฮโดรเจน แมงกานีสละลายได้ในกรดเจือจาง เช่น กรดกำมะถัน กรดเกลือ แล้วเกิดเป็นแมงกานีส (II) อิออนกับแก๊สไฮโดรเจน แมงกานีสเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังต่อไปนี้

2.1) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญของเอมไซม์

2.2) ช่วยในขบวนการหายใจ ขบวนการออกซิเดชั่น (Oxidation) ของคาร์โบไฮเดรตจากคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ

2.3) ช่วยในขบวนการเปลี่ยนแปลงธาตุไนโตรเจน

2.4) ช่วยควบคุม Redox Potential ในเซลล์ของพืชระหว่างกลางคืนกับกลางวัน

2.5) ช่วยในการสร้างเอมไซม์หลายชนิด เช่น Oxidase, Peroxidase, Dehydrogenase Decarboxylase และ Kinase

การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากแมงกานีสอยู่ในรูปสารประกอบที่พบในธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ที่นำเอาแร่แมงกานีสในธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ จึงทำให้แมงกานีสสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้คือ มีการแพร่กระจายสู่บรรยากาศ โดยการปลดปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมที่นำแมงกานีสมาใช้ประโยชน์ ส่วนปริมาณแมงกานีสในแหล่งน้ำธรรมชาติจะเพิ่มความเข้มข้นได้ จากการที่ฝนตกชะล้างเอาแมงกานีสในบรรยากาศให้ละลายลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้กิจกรรมบางอย่างของมนุษย์ ทำให้ปริมาณของแมงกานีสเพิ่มในแหล่งน้ำธรรมชาติได้ โดยการระบายน้ำที่มีแมงกานีสเจือปนลงสู่แหล่งน้ำ สำหรับแมงกานีสในดินจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดคือ หินที่เกิดการสลายตัวเป็นดิน ถ้าเป็นหินที่มีแร่แมงกานีสเจือปนอยู่ดินที่เกิดจากหินนั้นก็จะมีปริมาณแมงกานีสสูง ถ้าพบปริมาณมากในแหล่งน้ำมักเกิดจากการทิ้งของเสียอุตสาหกรรมลงไป โดยค่ามาตรฐานคุณภาพดินสำหรับการเกษตร ที่กำหนดค่าการปนเปื้อนของแมงกานีสไว้ไม่เกิน 1,800 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และค่าการปนเปื้อนอาร์เซนิกในแหล่งน้ำทางการเกษตร มีเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) อย่างไรก็ตามแมงกานีสเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อพืช แต่ถ้าพืชรับเข้าไปมาก

เกินขีดจำกัดความเป็นพิษของแมงกานีสก็เกิดขึ้นได้เช่น การทำลายฮอร์โมนออกซิน (Auxin) ใน Japanese Morning Glory เป็นต้น หากร่างกายได้รับแมงกานีสมากเกินไปจะไปทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งจะปรากฏอาการทางด้านจิตใจเช่น ประสาทหลอน พฤติกรรมแปรปรวน เมื่อได้รับสารติดต่อกันเป็นเวลานานจะมีอาการทางระบบประสาทร่วมด้วยเช่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง พูดจาวกวน และปวดหัว

นอกจากนี้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมโลหะหนักในดินและพืช ได้แก่ ลักษณะสมบัติของดินมีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักของพืช Orawan Siriratpiriya, Vierust และ Selmer-Olsen (1985) ศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุลงในดินจะช่วยลดความเป็นประโยชน์ของโลหะหนักในดินได้ เนื่องจากอินทรียวัตถุสามารถจับยึดโลหะหนักไว้ได้จึงทำให้โลหะหนักสะสมอยู่ในรูปอินทรียวัตถุ และถูกพืชดูดดึงเข้าไปได้น้อย นอกจากนี้ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโลหะหนักในดิน โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การดูดดึงโลหะหนักของพืชลดลงได้ เพราะว่าไอออนของโลหะหนักต่างๆ อยู่ในรูปที่เปลี่ยนประจุได้ และละลายน้ำได้จะมีปริมาณลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น (Davies, 1980) อย่างไรก็ตาม คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) ได้ทำการรายงานปริมาณโลหะหนักในดิน และพืช และระดับความเป็นพิษในข้าว แสดงไว้ดังตารางที่ 2.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ปริมาณโลหะหนักในดินและพืช และระดับความเป็นพิษในข้าว (ppm)

ธาตุ	ปริมาณที่พบ		เปลือกโลก	แม่น้ำ (ppb)	ระดับความเป็นพิษต่อข้าว	
	ดิน	พืช			ต้น	ราก
As	0.1-7	0.1-5	1.8	2	20-1000	1,000
Cd	0.1-7	0.2-0.8	0.2	0.1	5-10	100-600
Pb	2-200	0.1-1.0	12.5	3	50.0-2,000	300
Hg	ND	n.a.	0.08	0.07	n.a.	n.a.
B	2-100	30-75	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	10-620	15-200	70	20	500-1,000	n.a.
Mn	100-4,000	15-100	n.a.	n.a.	200-600	500-1,000
Ni	10-1,000	1	75	0.3	200-400	200-600
Fe	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	200-400

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544

หมายเหตุ ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

n.a. หมายถึง ไม่มีรายงาน

3) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) หมายถึง หน่วยวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่า pH มากกว่า 7 หมายถึง ความเป็นด่าง ค่า pH น้อยกว่า 7 หมายถึง ความเป็นกรด ซึ่งความเป็นกรดเป็นด่าง มีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ โดยปกติน้ำสะอาดจะมีค่า pH เท่ากับ 7 ค่า pH ของน้ำเสียควรอยู่ระหว่าง 6.5-9 ทั้งนี้ค่า pH มาตรฐานของการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-8.5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) สำหรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินนั้นมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

2.5.2 คุณลักษณะอินทรีย์เคมี

1) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำคือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ละลายในน้ำ แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic Bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ดังนั้น ในน้ำที่สะอาดจะมีค่าออกซิเจนละลายสูง และน้ำเสียจะมีค่าออกซิเจนละลายต่ำ มาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ประมาณ 5-8 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำเสียจะมีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่าออกซิเจนละลาย มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้น มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตมากน้อยเพียงใด (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2522)

2) ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved: BOD)

ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะต้องการออกซิเจน (Aerobic Condition) น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ สูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะจัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย สำหรับคุณภาพน้ำจากแหล่งเกษตรกรรมค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ของน้ำที่ระบายลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ชลประทานที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) ทั้งนี้การหาค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ จึงเกี่ยวข้องกับปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำจะเป็นค่าแสดงความสกปรกของน้ำว่ามีมากหรือน้อยตามค่าของความสกปรกในรูปสารอินทรีย์

3) อินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM)

อินทรียวัตถุเป็นวัสดุที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตคือ พืชและสัตว์ พืชเมื่อร่วงหล่นหรือเมื่อสัตว์ถ่ายของเสีย และตายทับถมลงในดิน ก็จะเน่าเปื่อยผุพังสลายตัวกลายเป็นอินทรียวัตถุในดิน อินทรียวัตถุถึงแม้ว่าจะมีปริมาณน้อยในดิน แต่ก็มีอิทธิพลต่อสมบัติของดินทั้งทางเคมี และกายภาพของดินเป็นอย่างมาก ทางด้านกายภาพจะมีอิทธิพลต่อความคงทนในการเกาะตัวกันเป็นเม็ดดิน (Soil Aggregate) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Moisture Holding Capacity) สีดิน (Soil Color) ทางด้านเคมีเช่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (Cation Exchange Capacity: CEC) เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินมีประจุลบ (Net Negatively Charge) เป็นจำนวนมากและมี

ความสามารถดูดซับไอออนบวกได้สูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงของ pH ได้ดี ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Equilibrium Reaction ฉะนั้นไม่ว่าจะมีการเพิ่มสารประกอบที่มีสมบัติเป็นกรดหรือด่างลงไปในดินก็ตาม ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันที เพื่อรักษา Equilibrium โอกาสที่กรดหรือด่างจะสะสมอยู่ในสารละลายดิน (Soil Solution) จึงมีน้อยมาก และเป็นเหตุให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเท่านั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) และทางด้านชีวภาพ อินทรียวัตถุจะให้พลังงานแก่จุลินทรีย์ในการประกอบกิจกรรมต่างๆ แหล่งที่สำคัญของอินทรียวัตถุในดินได้จากพืช และสัตว์ แต่ส่วนใหญ่แล้วได้มาจากเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งเนื้อเยื่อของพืชไม่ว่าจะเป็นส่วนของต้น ราก ใบ ต่างก็เพิ่มปริมาณอินทรีย์สารให้แก่ดินเป็นปริมาณมากๆ ดังนั้น องค์ประกอบของอินทรียวัตถุในดินจึงคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน เป็นส่วนใหญ่ Smith และคณะ (1992) ได้อธิบายว่า ธรรมชาติทางเคมีที่มีความซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาของอินทรียวัตถุในดิน ทำให้อินทรียวัตถุในดินเป็นแหล่งของธาตุอาหารหลักของพืชที่สำคัญคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ถึง 95, 40 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รวมทั้งจุลธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งธาตุอาหารพืชที่อยู่ในสารอินทรีย์เหล่านี้ต้องมีการสลายตัว โดยจุลินทรีย์ให้กลายไปเป็นสารอนินทรีย์ก่อนแล้วพืชจึงจะนำไปใช้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ปรัชญา และคณะ (2540) ได้รายงานเกณฑ์ปริมาณและระดับอินทรียวัตถุในดิน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 นอกจากนี้ ยังมีธาตุอื่นๆ ที่มีบทบาทที่สำคัญในการเป็นธาตุอาหารพืชเช่น ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น (ดุสิต มานะจุติ, 2535)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณและระดับอินทรียวัตถุที่ปรากฏในดิน

ปริมาณอินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	ระดับ
< 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

ที่มา: ปรัชญา และคณะ, 2540

2.5.3 คุณลักษณะสารประกอบอนินทรีย์

1) ไนเตรท (NO_3^-)

เนื่องจากไนโตรเจนมีหลายวาเลนซี่ด้วยกัน จึงเกิดสารประกอบได้หลายอย่างในธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงในรูปสารประกอบไนโตรเจนนี้ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยสิ่งมีชีวิต และขึ้นกับสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1.1) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen Compound) คือ สารประกอบไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบหรือโครงสร้างของพืชและสัตว์ สิ่งขับถ่ายจากสัตว์ และจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโน ยูเรีย และกรดยูริก เป็นต้น

1.2) สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic Nitrogen Compound) ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งเกิดจากกระบวนการ Nitrification อันเป็นการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สาร โดยกลุ่มของแบคทีเรียในดินและน้ำที่มีชื่อว่า Nitrifying Bacteria ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำ เพราะไนเตรทเป็นสารอาหารที่ต้องการของพืชน้ำ ในทางกลับกันหากเกิดออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยา Denitrification โดย Denitrifying Bacteria ทำให้สูญเสียปุ๋ยในดินและน้ำ โดยปกติปริมาณสารประกอบไนโตรเจน 2 ประเภท จะละลายเจือปนอยู่น้อยในแหล่งน้ำผิวดินธรรมชาติที่ยังไม่เน่าเสีย เช่น แอมโมเนียจะละลายอยู่น้อยกว่า 1 มิลลิกรัม NH_3-N/L ส่วนไนเตรทมีอยู่ประมาณ 0.3 มิลลิกรัม NO_3 N/L น้ำบาดาลหรือน้ำใต้ดิน มักจะมีไนเตรทอยู่สูงกว่าน้ำผิวดิน (อุดร จารุรัตน์ และ จารุรัตน์ วรนิสรากุล, 2542)

สำหรับไนเตรทเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนสภาพ จากสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นสารอนินทรีย์ การที่สิ่งมีชีวิตปล่อยของเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนออกมา และเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง หรือไนโตรเจนยังได้มาจากปุ๋ยที่ใส่ลงในดิน ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยอินทรีย์ ไนโตรเจนอื่นๆ โปรตีนในสิ่งมีชีวิตจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งพืชนำไปใช้สร้างโปรตีนได้ หากมีมากเกินความต้องการ แอมโมเนียจะถูก oxidize โดยแบคทีเรียไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ต่อไป

2) ฟอสเฟต (PO_4^{3-})

ฟอสเฟตเป็นสารประกอบอนินทรีย์ของฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นปริมาณของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้ แต่พืชจะนำไปใช้เป็นประโยชน์จริงๆ หรือไม่นั้นไม่มีใครทราบ ทั้งนี้เพราะมีปัจจัยของระดับ pH ในดิน ระดับความชื้นในดิน อุณหภูมิดิน และปัจจัยอื่นๆ สำหรับ

ฟอสเฟตในน้ำ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2527) รายงานว่า ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติมีอยู่เป็นจำนวนน้อยและส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ทั้งอินทรีย์ฟอสเฟตและอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้หรือดูดซับอยู่กับตะกอน สาเหตุที่ปริมาณฟอสเฟตในแหล่งน้ำสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากการใช้ผงซักฟอกซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนหรือชุมชน (Domestic Waste) และบางส่วนของปุ๋ยที่ใช้ปลูกพืชในพื้นที่เกษตรกรรมที่ถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำลำคลอง นอกจากนั้น ฟอสเฟตในดินและในน้ำ ยังได้มาจากฮิวมัสในตะกอนดินที่ถูกพัดพามายังบริเวณนั้นๆ จากพื้นที่ทางการเกษตร และจากการขับถ่ายของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ไร่นา จากปุ๋ยในการเกษตร และจากน้ำทิ้งของแหล่งอุตสาหกรรม และชุมชนเมือง

2.5.4 คุณลักษณะทางกายภาพ

1) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ของแข็งหรือสารที่เจือปนอยู่ในน้ำ ของแข็งแขวนลอยประกอบด้วยสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ และของเหลวที่ไม่ผสมกับน้ำเช่น น้ำมัน สำหรับน้ำบาดาลมักไม่พบของแข็งแขวนลอย เนื่องจากน้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดินจะถูกกรองด้วยชั้นดิน และชั้นหินต่างๆ ส่วน มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดเกณฑ์ไว้สูงที่สุดไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

2.5.5 คุณลักษณะทางเคมี

1) ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC)

เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำแหล่งนั้นๆ โดยค่าความนำไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องโดยตรงต่อผลรวมของแคตไอออนและแอนไอออนทั้งหมดของน้ำ ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าจะชี้ให้เห็นถึงความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ เช่น กรด-ด่าง เกลือ ที่ละลายน้ำหรือปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ความนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่งแต่เป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้มิได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ หากบอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของไอออนที่ละลายน้ำเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าค่าความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีสารที่แตกตัวในน้ำเพิ่มขึ้นหรือถ้าค่าความนำไฟฟ้าลดลงก็แสดงว่า สารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง ความนำไฟฟ้านิยมวัดออกมาในรูปอัตราส่วนของความต้านทาน โดยหน่วยเป็น ไมโครซีเมนต์ (Microsiemen) /เซนติเมตร หรือ us/cm

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุในการปลูกข้าว

1) ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก, มูลวัว)

2) ปุ๋ยชีวภาพชนิดเม็ด (ขายตามท้องตลาด)

3) ปุ๋ยเคมี (ขายตามท้องตลาด)

4) ข้าวพันธุ์หอมปทุมธานี 1

5) สารกำจัดหอยเชอรี่ (กากชา)

6) สารชีวภัณฑ์ที่เกษตรกรผลิตใช้เองจากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ สารสกัดชีวภาพหอยเชอรี่ และ ฮอร์โมนไข่

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน และน้ำ (ภาคสนาม)

1) พลั่วตักดิน และเสียม

2) ถุงพลาสติก และเชือก

3) ปากกาทำเครื่องหมาย

4) ขวดพลาสติกขนาด 200 มิลลิลิตร และขวดแก้วขนาด 50 มิลลิลิตร

5) กระดาษกาว

6) กล่องโฟมสำหรับบรรจุน้ำแข็งเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำ

7) เครื่อง DO Meter

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างข้าว

1) เชือกใช้เป็นกรอบขนาด 2×5 เมตร เพื่อเป็นพื้นที่เก็บเกี่ยว

สำนักวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ถุงกระสอบ เคียวเกี่ยวข้าว

3) ถุงกระดาษ

4) กระดาษ ปากกาทำเครื่องหมาย

5) เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.1.4 วัสดุและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

1) สารเคมี ในการทดลองใช้สารเคมีเกรดงานวิเคราะห์ (Analytical Reagent Grade) สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ และข้าว ได้แก่ อินทรียวัตถุ (OM) อาร์เซนิก (As) แมงกานีส (Mn) ไนเตรท (NO_3^-) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD)

2) วัสดุในห้องปฏิบัติการ เป็นเครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เช่น ขวดรูปชมพู่ (Erlenmayer Flask) กระบอกตวง (Cylinder) บิวเรต (Buret) บิกเกอร์ (Beaker) ปิเปต (Pipet) ถ้วยกระเบื้อง ตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 มิลลิเมตร และช้อนตักสาร

3) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.1) เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH Meter)

3.2) เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (Analytical Balance)

3.3) เครื่องอบอุณหภูมิสูง (Oven)

3.4) เตาแผ่ความร้อน (Hot Plate)

3.5) เครื่องเขย่า (Shaker)

3.6) เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter)

3.7) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Phamacia Biotech รุ่น Novaspec II

3.8) เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Analis 800

3.9) เครื่อง Microwave ยี่ห้อ Milestone รุ่น Ethos Sel

3.2 สถานที่ทำการวิจัยและวิเคราะห์

3.2.1 ศึกษาวิจัยภาคสนาม

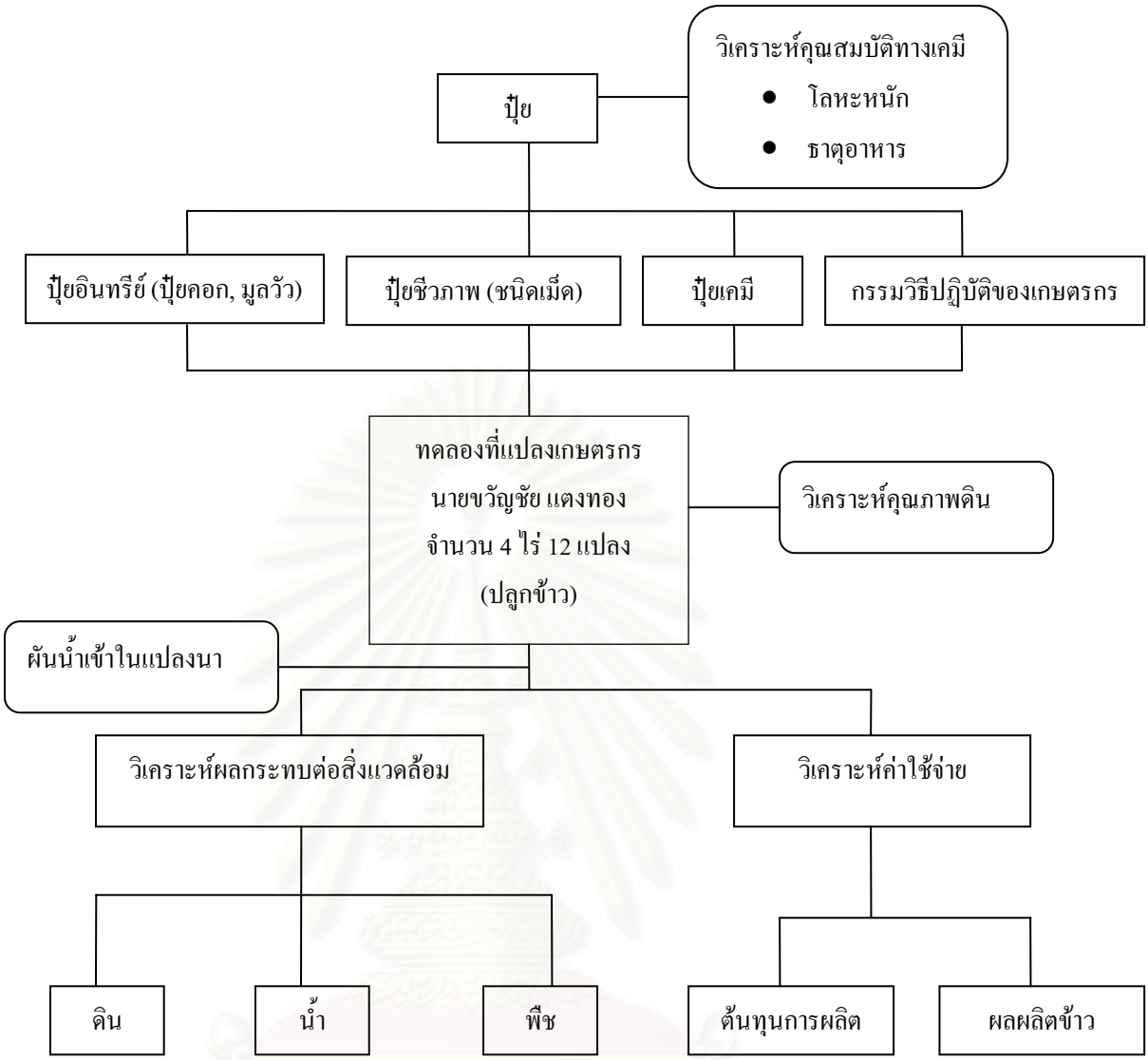
ศึกษาวิจัยภาคสนามในแปลงนาของ นายขวัญชัย แตงทอง บ้านทับโต หมู่ที่ 9 ตำบลสามง่าม-ท่าโบสถ์ อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ทั้งนี้ ได้เลือกพื้นที่ในการทำนาแปลงนาปลูกข้าวพื้นที่ 4 ไร่ จำนวน 12 แปลง ปลูกโดยใช้พันธุ์ข้าวหอมปทุมธานี 1 ดังแสดงไว้ในรูปผนวกที่ 1-2

3.2.2 ศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ

ศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของตัวอย่างดิน และตัวอย่างน้ำ รวมทั้งการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างดิน น้ำ ข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) ดังแสดงไว้ในรูปผนวกที่ 3-4

สำหรับขอบเขตการดำเนินงานแสดงไว้ในรูปที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนผังขอบเขตการดำเนินงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

1) การประสานงานกับกรมวิชาการเกษตร และกรมควบคุมมลพิษ โดยได้ทำการติดต่อเกษตรกรเจ้าของแปลงนาในพื้นที่คือ นาย ขวัญชัย แตงทอง บ้านทับโต หมู่ที่ 9 ตำบลสามง่าม-ท่าโบสถ์ อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ทั้งนี้ ได้เลือกพื้นที่ในการทำแปลงนาปลูกข้าว พื้นที่ 4 ไร่ จำนวน 12 แปลง ปลูกโดยใช้พันธุ์ข้าวหอมปทุมธานี 1 ทำการปลูกข้าวแบบนาหว่าน

2) การจัดทำแปลงปลูกข้าว และการดำเนินการตามขั้นตอนของเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับการทำนา ซึ่งประกอบด้วย 3 กรรมวิธีสำหรับการทำนา ดังนี้

2.1) แปลงใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) โดยทำการแบ่งพื้นที่แปลงนาออกเป็น 3 แปลง/ไร่ และมีการใส่ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ปริมาณ 1,000 กิโลกรัม/ไร่ จำนวนการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง คือ 1) ใส่ปุ๋ยมูลวัว 500 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงของการเตรียมแปลงปลูก (ต้นข้าวอายุ 0 วัน) 2) ใส่ปุ๋ยมูลวัว 300 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงต้นข้าวอายุ 20 วัน และ 3) ใส่ปุ๋ยมูลวัว 200 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงต้นข้าวอายุ 60 วัน

2.2) แปลงใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) โดยแบ่งพื้นที่แปลงนาออกเป็น 3 แปลง/ไร่ และใส่ปุ๋ยชีวภาพปริมาณ 50 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งมีระยะของการใส่ปุ๋ยจำนวน 3 ครั้ง ดังนี้ 1) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ 20 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงการเตรียมแปลงปลูก (ต้นข้าวอายุ 0 วัน) 2) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ 20 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงต้นข้าวอายุ 20 วัน และ 3) ใส่ปุ๋ยชีวภาพ 10 กิโลกรัม/ไร่ในช่วงต้นข้าวอายุ 60 วัน

2.3) แปลงใส่ปุ๋ยเคมี (สูตร 16-20-0 และ 46-0-0) โดยทำการแบ่งแปลงนาออกเป็น 3 แปลง/ไร่ ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และสูตร 46-0-0 ในอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีเท่ากับ 25 และ 15 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ โดยมีระยะของการใส่ปุ๋ยเคมีจำนวน 3 ครั้งได้แก่ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงของต้นข้าวอายุ 20 วัน 2) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในอัตราการใส่ปุ๋ย 10 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงต้นข้าวอายุ 60 วัน และ 3) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในอัตรา 5 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงต้นข้าวอายุ 80 วัน

นอกจากนี้ กรรมวิธีปฏิบัติสำหรับการทำนาที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก, มูลวัว) ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ได้ทำการใส่สารกำจัดหอยเชอรี่ในอัตรา 6 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงของการเตรียมแปลงปลูก และมีการใส่สารเร่งการเจริญเติบโตได้แก่ สารสกัดชีวภาพหอยเชอรี่ในปริมาตร 50 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร ในช่วงต้นข้าวอายุ 20 และ 60 วัน และมีการใส่สารเร่งดอกได้แก่ ฮอร์โมนไข่ในปริมาตร 10 มิลลิลิตร/น้ำ 20 ลิตร ในช่วงต้นข้าวอายุ 60 วัน และ 80 วัน

2.4) แปลงนาที่มีการปฏิบัติโดยทั่วไปของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท และเป็นพื้นที่ใกล้กับแปลงนาทดลองในครั้งนี้ ได้มีการแบ่งพื้นที่แปลงนาออกเป็น 3 แปลง/ไร่ และมีขั้นตอนของการใส่ปุ๋ยเคมีจำนวน 2 ครั้งดังนี้ 1) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 20:4 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงต้นข้าวอายุ 25 วัน 2) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 20:4 กิโลกรัม/ไร่ ในระยะต้นข้าวสร้างรวงข้าวอ่อนที่ต้นข้าวอายุ 60 วัน นอกจากนี้ มีการใส่สารกำจัดหอยเชอรี่ในอัตรา 6 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงของการเตรียมแปลงปลูก และมีการฉีดสารป้องกันกำจัดโรคพืช และฉีดอาหารเสริมสำหรับข้าวในปริมาตร 120 มิลลิลิตร/น้ำ 12 ลิตร ในช่วงต้นข้าวอายุ 90 วัน

โดยกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด รวมทั้งกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่ดังแสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 1-4

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินได้ดำเนินการ โดยสุ่มตัวอย่างดินจากหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง ที่ความลึก 30 เซนติเมตร แล้วนำมารวมกัน โดยแยกของแต่ละกรรมวิธี โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน 4 ช่วงเวลาดังนี้

1) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าว 0 วัน (ก่อนหว่านข้าว) วันที่ 4 ธ.ค. 2549

2) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน (ระยะต้นข้าวแตกกอ) วันที่ 4 ม.ค. 2550

3) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน (ระยะต้นข้าวสร้างรวง) วันที่ 13 ก.พ. 2550

4) ตัวอย่างดินช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ก่อนเก็บเกี่ยวข้าว) วันที่ 15 มี.ค. 2550

ตัวอย่างดินที่ได้นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ใช้ในการวิเคราะห์ค่าอินทรียวัตถุ ไนเตรท และฟอสเฟตในดิน สำหรับการวิเคราะห์หาอาร์เซนิก และแมงกานีสในดินได้นำดินที่ผึ่งจนแห้งเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาทุบให้ละเอียดร่อนดินผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิทแล้วนำไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ วิธีวิเคราะห์ และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	เครื่องมือวิเคราะห์
1. pH	Method 4500-H^+B.	pH Meter
2. NO_3^-	Method 4500-NO_3^- D.	Titrate
3. PO_4^{3-}	Ascorbic Acid Method 4500-P E.	Spectrophotometer
4. As	USEPA 3052	AAS
5. Mn	USEPA 3052	AAS
6. Organic Matter	Wet Oxidation	Titrate

3.4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำได้ดำเนินการ โดยสุ่มตัวอย่างน้ำจากหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลงก่อนระบายออกจากแปลงนา นำมารวมกัน โดยแยกของแต่ละกรรมวิธี และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 4 ช่วงเวลาดังนี้

1) ตัวอย่างน้ำช่วงต้นข้าว 0 วัน (ก่อนหว่านข้าว) วันที่ 4 ธ.ค. 2549

2) ตัวอย่างน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน (ระยะต้นข้าวแตกกอ) วันที่ 4 ม.ค. 2550

3) ตัวอย่างน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน (ระยะต้นข้าวสร้างรวง) วันที่ 13 ก.พ. 2550

4) ตัวอย่าน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ก่อนเก็บเกี่ยวข้าว) วันที่ 15 มี.ค. 2550

นำตัวอย่างน้ำเก็บในขวดพลาสติกปิดฝาให้สนิท และตัวอย่างน้ำที่นำไปวิเคราะห์โลหะหนัก ได้ทำการเก็บไว้ในขวดแก้วใส่กรดไนเตริก 1-2 หยด ปิดฝาให้สนิท เก็บขวดตัวอย่างน้ำใส่กล่องโฟมแช่เย็น เพื่อรักษาอุณหภูมิตัวอย่างน้ำ เพื่อไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวอย่างน้ำในระหว่างการขนส่งจากแปลงปฏิบัติไปยังห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นได้นำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ วิธีวิเคราะห์ และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	เครื่องมือวิเคราะห์
1. pH	Method 4500-H^+B.	pH Meter
2. DO	Partition -Gravimetric Method 5520 B.	DO Meter
3. BOD	5-Days BOD Test 5210 B.	DO Meter
4. Conductivity	2520 B. Electrical conductivity	Conductivity Meter
5. NO_3^-	Nitrate Electrode Method 4500-NO_3^- D.	ISE Meter
6. PO_4^{3-}	Ascorbic Acid Method 4500-P E.	Spectrophotometer
7. As	USEPA 3015A	AAS
8. Mn	USEPA 3015A	AAS
9. SS	Total Suspended Solids Dried At 103-105°C 2540 D.	Oven

3.4.3 การเก็บตัวอย่างข้าวพันธุ์หอมปทุมธานี 1

1) สุ่มเก็บต้นข้าวในพื้นที่เก็บเกี่ยว 2×5 เมตร ของแปลงนาในแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวในช่วงการเก็บเกี่ยวข้าว

2) นำข้าวที่เก็บเกี่ยวมา นวด ฝัด ทำความสะอาด และชั่งน้ำหนัก สุ่มตัวอย่างข้าวเพื่อหาความชื้น โดยประสานกับศูนย์วิจัยข้าวชัยนาทในการช่วยเหลือเก็บเกี่ยวข้าว และคำนวณผลผลิตข้าวเปลือก (Grain Yield) ที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

ผลผลิตข้าวที่ความชื้น 14% คำนวณได้โดยใช้สูตร

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

a = น้ำหนักของเมล็ดข้าวที่ความชื้น b (กิโลกรัม)

b = % ความชื้นที่ระดับต่างๆกันของเมล็ดข้าวที่หาได้จากเครื่องวัดความชื้น

c = พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าเท่ากับ 10 ตารางเมตร

3) นำตัวอย่างเมล็ดข้าวไปแยกเป็นส่วนข้าวสาร และเปลือกข้าว จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด นำส่วนที่แยกได้ใส่ถุงพลาสติกปิดให้สนิท และดำเนินการหาปริมาณการปนเปื้อนของอาร์เซนิก (As) และแมงกานีส (Mn) ในข้าวสาร และเปลือกข้าว ใช้วิธีการของ

USEPA method 3052 โดยการย่อยด้วยกรด (Acid Digestion) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer: AAS)

3.4.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ย และดินที่ใช้ในการทำนา

การศึกษาผลกระทบของการใช้ปุ๋ยปรับปรุง บำรุงดิน สำหรับการทำนาต่อคุณภาพดิน และน้ำ ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในช่วงก่อนทำการเตรียมแปลงปลูก และคุณสมบัติของปุ๋ยเบื้องต้น ซึ่งในการวิเคราะห์คุณสมบัติดังกล่าวเบื้องต้นพบว่า ปริมาณการสะสมของอาร์เซนิก (As) และแมงกานีส (Mn) ในดิน และในปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองมีแนวโน้มของปริมาณการสะสมที่สูง [จากการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ปรอท (Hg) แมงกานีส อาร์เซนิก นิเกิล (Ni) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) ซิลิเนียม (Se) โคบอลล์ (Co) และแคลเซียม (Ca) ดังนั้น ในการศึกษา จึงเลือกเฉพาะโลหะหนักที่มีปริมาณการสะสม และตกค้างในปุ๋ย และในดินที่ศึกษาสูงได้แก่ อาร์เซนิก (As) และแมงกานีส (Mn) ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานสูงสุดของดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรม โดยได้ทำการศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดในดิน น้ำ ข้าวสาร และเปลือกข้าว ซึ่งในการวิเคราะห์เบื้องต้นยังพบว่า ปุ๋ยชีวภาพที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณอาร์เซนิก และแมงกานีสเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 12.35 และ 2,140 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3.9 และ 1,800 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 มีปริมาณอาร์เซนิกเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 5.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมเช่นเดียวกัน แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 3.3 อย่างไรก็ตามอาร์เซนิกเป็นโลหะหนักที่มีความสามารถในการถ่ายทอดไปสู่ระบบห่วงโซ่อาหาร และสามารถสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นอาร์เซนิกจึงเป็นสารที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต หากร่างกายได้รับหรือสัมผัสติดต่อกันเป็นระยะเวลานานอาจทำให้เกิดการสะสมสารพิษที่ปอด อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ สำหรับแมงกานีสหากมีการสะสมในร่างกายมากเกินไป จะทำลายระบบประสาทของผู้ได้รับสารพิษ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงให้ความสำคัญและเลือกทำการศึกษาเฉพาะโลหะหนัก 2 ชนิดได้แก่อาร์เซนิก และแมงกานีสเท่านั้น นอกจากนี้ สารชีวภัณฑ์ที่เกษตรกรผลิตขึ้นใช้เอง ทำมาจากวัสดุทางธรรมชาติ และของเหลือจากครัวเรือน จึงคาดว่าไม่มีการปนเปื้อนหรือการสะสมของสารพิษ อันจะเป็นการเพิ่มอันตรายหรือเพิ่มความเป็นพิษให้กับคุณภาพดิน และคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา รวมทั้งคุณภาพของผลผลิตข้าว นอกจากนี้ ส่วนผสมบางอย่างในสารชีวภัณฑ์ได้มาจากกรมพัฒนาที่ดินที่มีการส่งเสริมให้ใช้สำหรับการทำนาได้

ตารางที่ 3.3 ปริมาณโลหะหนักเบื้องต้นในปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ก่อนทำการทดลอง

พารามิเตอร์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ชนิดของปุ๋ยและสารกำจัดหอยเชอรี่				มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
	ปุ๋ยอินทรีย์ (มูลวัว)	ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด)	ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0	ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0	
ไนเตรท (NO_3^-)	14.89	1,220	1,351	4,084	ไม่กำหนด
ฟอสเฟต (PO_4^{3-})	1,307	1,169	1,865	23.1	ไม่กำหนด
อาร์เซนิก (As)	0.84	12.35	5.80	ND	<3.9
แมงกานีส (Mn)	94.6	2,140	422	ND	<1,800
ตะกั่ว (Pb)	3.39	18.2	1.36	ND	<400
แคดเมียม (Cd)	ND	0.19	3.02	0.15	<37
ปรอท (Hg)	ND	ND	ND	ND	<23
สังกะสี (Zn)	32.4	270	95.2	8.6	ไม่กำหนด
เหล็ก (Fe)	2,770	13,800	2,160	27	ไม่กำหนด
ทองแดง (Cu)	16.9	82.7	19.8	ND	ไม่กำหนด
โครเมียม (Cr)	2.98	4.7	67.4	ND	ไม่กำหนด
แมกนีเซียม (Mg)	3,780	1,940	2,560	67.4	ไม่กำหนด
โซเดียม (Na)	1,230	521	1,210	222	ไม่กำหนด
โคบอล (Co)	28.7	41.2	31.5	35.4	ไม่กำหนด
แคลเซียม (Ca)	4,480	6,240	420	205	ไม่กำหนด
ซิลิเนียม (Se)	3.39	18.2	1.36	ND	<390
นิเกิล (Ni)	23.9	25.6	24.7	19.1	<1,600

หมายเหตุ ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

นอกจากนี้ พื้นที่แปลงนาที่ใช้ในการทำการทดลองปลูกข้าวครั้งนี้ ได้มีการนำดินในพื้นที่แปลงนามาวิเคราะห์ เพื่อหาคุณสมบัติดินเบื้องต้นของพื้นที่ก่อนเตรียมแปลง ซึ่งผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของดินเบื้องต้นก่อนทำการทดลอง (ช่วงก่อนการเตรียมแปลงปลูกข้าว)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าวิเคราะห์	มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	-	6.74	-
ความชื้น (Moisture)	เปอร์เซ็นต์	0.18	-
อินทรียวัตถุ (Organic Matter)	เปอร์เซ็นต์	2.10	-
ไนเตรท (NO_3^-)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	2.30	-
ฟอสเฟต (PO_4^{3-})	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	28.4	-
ค่าความจุไฟฟ้าประจุบวก (CEC)	เซนติโมล/กิโลกรัม	14.3	-
อนุภาคทราย (Sand)	เปอร์เซ็นต์	27.6	-
อนุภาคแป้ง (Silt)	เปอร์เซ็นต์	36.4	-
อนุภาคดินเหนียว (Clay)	เปอร์เซ็นต์	36.0	-
เนื้อดิน (Soil Texture)	ดินร่วนปนดินเหนียว		
อาร์เซนิก (As)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	3.00	<3.9
แมงกานีส (Mn)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	190	<1,800
ตะกั่ว (Pb)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	17.1	<400
แคดเมียม (Cd)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	0.14	<37
ปรอท (Hg)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ND	<23
สังกะสี (Zn)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	54.8	ไม่กำหนด
เหล็ก (Fe)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	19,283	ไม่กำหนด
ทองแดง (Cu)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	23.8	ไม่กำหนด
โครเมียม (Cr)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	35.1	ไม่กำหนด
แมกนีเซียม (Mg)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	2,308	ไม่กำหนด
โซเดียม (Na)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	673	ไม่กำหนด
โคบอล (Co)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	36.8	ไม่กำหนด
แคลเซียม (Ca)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	615	ไม่กำหนด
ซิลิเนียม (Se)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ND	<390
นิเกิล (Ni)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	35.3	<1,600

หมายเหตุ ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การประมวลและการวิเคราะห์ผล กระทำได้โดยการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้จากแปลงนาปลูกข้าวทั้งหมด และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Statistical Package for the Social Sciences: SPSS) นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และผลผลิตข้าวที่ได้รับจากกรรมวิธีปฏิบัติในการใส่ปุ๋ยทั้ง 4 กรรมวิธีสำหรับการทำนา

3.6 ระยะเวลาในการศึกษา

ทำการศึกษาผลกระทบของการใช้ปุ๋ยบำรุงดินต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าวตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน 2549 – ตุลาคม 2550

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์

การทดลองผลกระทบของการใช้ปุ๋ยปรับปรุง บำรุงดินต่อคุณภาพน้ำ และคุณภาพดินในนาข้าว ในพื้นที่แปลงนาของเกษตรกร อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท จำนวน 4 ไร่ โดยการใช้ปุ๋ยบำรุงดินในนาข้าว 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก, มูลวัว) ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) และปุ๋ยเคมี รวมทั้งกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำ และดิน และทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และคุณภาพดิน ตามช่วงเวลาของกิจกรรมการทำนาที่เกษตรกรปฏิบัติโดย แบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลาได้แก่ ช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน (ก่อนทำการหว่านข้าว) ช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน ช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน และช่วงข้าวอายุ 100 วัน (ก่อนเก็บเกี่ยวข้าว) สำหรับคุณภาพของผลผลิตข้าวได้ทำการเก็บตัวอย่างข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว และวิเคราะห์คุณภาพข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และผลผลิตข้าวจากกรรมวิธีปฏิบัติทั้ง 4 กรรมวิธีของการใส่ปุ๋ย ซึ่งผลการศึกษาวิจัยสามารถกล่าวได้ดังต่อไปนี้

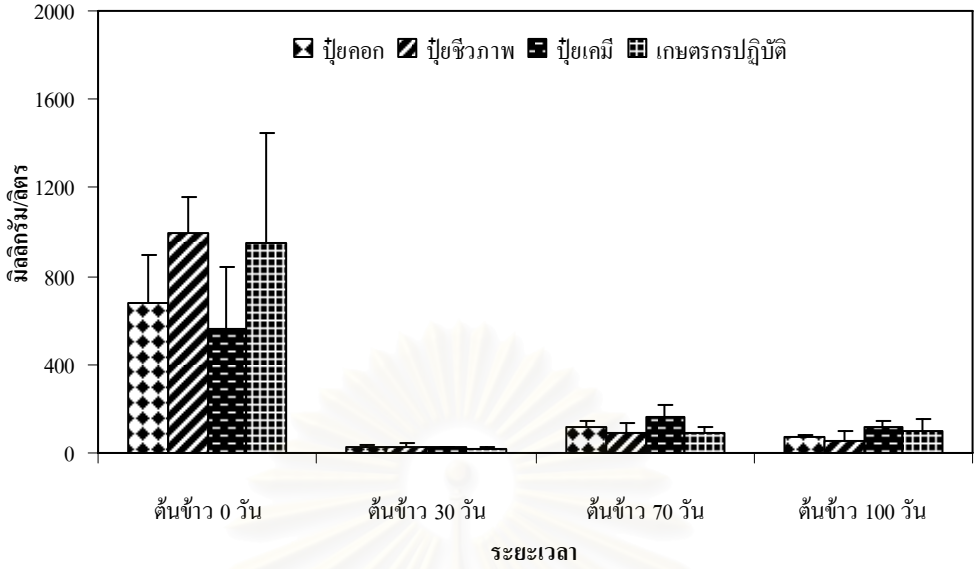
4.1 คุณภาพน้ำ

4.1.1 คุณลักษณะทางกายภาพในน้ำ

1) ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

จากการศึกษาปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาพบว่า

1.1) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน (ช่วงก่อนทำการหว่านข้าว) พบว่าคุณภาพน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่ มีค่าของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยในคุณภาพน้ำของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 993 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ แปลงนาเกษตรกร แปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี มีค่าเท่ากับ 947, 681 และ 527 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 761 มิลลิกรัม/ลิตร ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 คุณลักษณะทางกายภาพของปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

1.2) ปริมาณของแข็งแขวนลอย ในคุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน พบว่า คุณภาพน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีใส่ปุ๋ยของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 14.0 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอย ในคุณภาพน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 31.0 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ มีค่าของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 25.0, 22.8 และ 17.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยทุกจุดมีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับคลองชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทานที่กำหนดค่าของแข็งแขวนลอยไว้ไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

1.3) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว มีค่าของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 159 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 120, 90.7 และ 89.6 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 69.0 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำชลประทาน

ดัชนีวิเคราะห์	น้ำชลประทาน				มาตรฐานการระบายน้ำลงทางชลประทาน (หน่วย)
	ต้นข้าว อายุ 0 วัน	ต้นข้าว อายุ 30 วัน	ต้นข้าว อายุ 70 วัน	ต้นข้าว อายุ 100 วัน	
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	7.46	7.77	6.96	6.82	6.5-8.5
ไนเตรท (NO_3^-)	0.44	0.47	0.77	0.33	ไม่กำหนด
ฟอสเฟต (PO_4^{3-})	0.33	0.23	0.10	0.16	ไม่กำหนด
ค่าออกซิเจนละลาย (DO)	6.05	5.47	4.04	5.02	ไม่กำหนด
ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD)	4.03	4.08	4.83	1.20	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าความนำไฟฟ้า (EC)	203.00	153.70	165.80	174.60	ไม่กำหนด
ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)	761.33	14.00	69.00	70.00	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร
อาร์เซนิก (As)	ND	ND	ND	ND	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร
แมงกานีส (Mn)	0.11	0.12	0.12	0.34	ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร

หมายเหตุ ช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน หมายถึง คุณภาพน้ำชลประทานก่อนผันน้ำเข้าแปลงนาในช่วงก่อนทำการหว่านข้าว

ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

1.4) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน หรือช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าวพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติเกษตรกรในพื้นที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกันทางสถิติที่

ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 70 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำของแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 119.42 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ แปลงนาของเกษตรกร ปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพ มีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 101.58, 76.00 และ 55.58 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 70 มิลลิกรัม/ลิตร

จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำสำหรับการทำนา ซึ่งสามารถสรุปได้คือ ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 17.5-993 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า คุณภาพน้ำตัวอย่างของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน (ก่อนการหว่านข้าว) พบในปริมาณที่สูง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากกิจกรรมการทำนาในช่วงของการเตรียมแปลงปลูกข้าวที่มีการพลิกดิน ไถดะ ไถแปร และการคราดพื้นแปลงนาให้สม่ำเสมอ ประกอบกับเป็นช่วงปลายฤดูฝน บางครั้งมีฝนตกหนัก นอกจากนี้คุณภาพน้ำจากคลองชลประทานที่ระบายเข้าแปลงนาในช่วงก่อนหว่านข้าวนี้ มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงถึง 761 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้น้ำตัวอย่างมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำสูงเกินกว่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดเกณฑ์ไว้สูงสุดไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับในช่วงต้นข้าวอายุ 30, 70 และ 100 วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยลดลงทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน อธิบายได้ว่าในช่วงเวลาดังกล่าว ไม่มีกิจกรรมในแปลงนาที่รบกวนทำให้เกิดความขุ่นของคุณภาพน้ำในแปลงนา จึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำต่ำ และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน จึงสามารถกล่าวได้ว่าน้ำของทุกกรรมวิธีของการใส่ปุ๋ยมีค่าของแข็งแขวนลอยก่อนระบายน้ำทิ้งในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ระบายลงทางน้ำชลประทาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	681.22±215.80	25.00±9.87	119.67±21.31	76.00±4.78
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	992.67±169.83	31.00±16.50	90.67±44.90	55.58±40.74
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	526.67±277.95	22.83±2.50	159.08±61.85	119.42±26.34
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	946.67±500.00	17.50±13.00	89.58±29.44	101.58±50.39

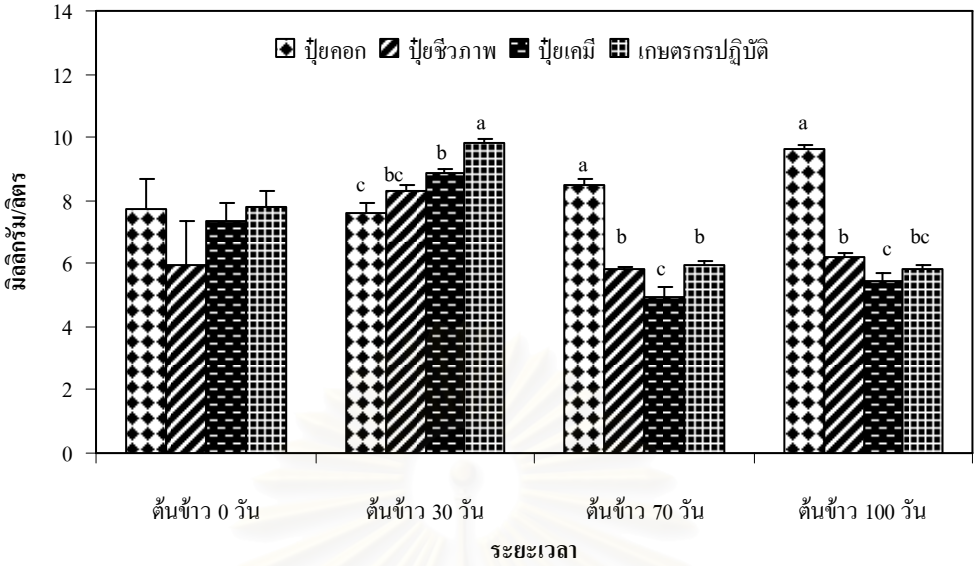
หมายเหตุ ปริมาณของแข็งแขวนลอยของทุกช่วงกรรมวิธีปฏิบัติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.2 คุณลักษณะที่เป็นอินทรีย์เคมีในน้ำ

1) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถระบุถึงระดับคุณภาพน้ำในแต่ละช่วงอายุของต้นข้าว ก่อนระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ผลการศึกษามีดังนี้

1.1) ค่าออกซิเจนละลายของน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วันหรือช่วงก่อนทำการหว่านข้าวพบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยคุณภาพน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าออกซิเจนละลายสูงเท่ากับ 7.81 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ แปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก แปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี และแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 7.71, 7.34 และ 5.97 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 6.05 มิลลิกรัม/ลิตร ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 ค่าอินทรีย์เคมีของปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

1.2) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน (รูปที่ 4.2) พบว่า น้ำจากแปลงเกษตรกรมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด (DO = 9.82^{a} มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยอื่นๆ สำหรับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ สูงกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพเพียงเล็กน้อย (DO = 8.86^{b} มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าปริมาณออกซิเจนละลาย จากแปลงนาที่ทำการใส่ปุ๋ยคอกมีค่าต่ำกว่ากรรมวิธีปฏิบัติอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามมีปริมาณออกซิเจนละลาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (DO = 7.63^{c} และ 8.28^{bc} มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ทั้งนี้น้ำจากคลองชลประทานมีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 5.47 มิลลิกรัม/ลิตร

1.3) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 8.46 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a อย่างไรก็ตาม ค่าออกซิเจนละลายน้ำแตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน สำหรับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 4.95 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร c ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งมีออกซิเจนละลายน้ำ แตกต่างกันทางสถิติกับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ในขณะที่น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และแปลงนาของเกษตรกรมีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 5.81 และ 5.95

มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าออกซิเจนละลายน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 5.67 มิลลิกรัม/ลิตร

1.4) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (รูปที่ 4.2) พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่าออกซิเจนละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 9.62 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ซึ่งมีค่าออกซิเจนละลายน้ำ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว นอกจากนี้พบว่า น้ำจากคลองชลประทานมีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 5.02 มิลลิกรัม/ลิตรในขณะที่น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำที่สุดเท่ากับ 5.45 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร c อย่างไรก็ตามมีค่าออกซิเจนละลายน้ำ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำจากแปลงของเกษตรกรที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 5.81 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร bc ทั้งนี้พบว่า น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 6.19 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในน้ำตัวอย่างจากแปลงนาในทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยพบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำทั้ง 4 ช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างน้ำ มีค่าที่ใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วง 4.95-9.82 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน พบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้เนื่องจากว่าน้ำจากคลองชลประทานที่ผันเข้าแปลงนาของทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 6.05 มิลลิกรัม/ลิตร จึงเป็นผลให้มีค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน ซึ่งเป็นผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของปุ๋ยคอก (มูลวัว) ที่ใส่ลงในแปลงนาซึ่งมีปริมาณมาก และเศษซากตอซังจากการพลิกดิน และการไถกลบช่วงเตรียมแปลงปลูก โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะมีออกซิเจนใช้ย่อยสลายอินทรีย์สาร จึงสามารถทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำลดลง สำหรับน้ำของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงนาเกษตรกรในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นเพราะปุ๋ยที่ใส่ทั้ง 3 แปลงที่กล่าวนี้ เป็นปุ๋ยที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปไนเตรทไนโตรเจน (NO_3-N) และฟอสเฟตฟอสฟอรัส (PO_4-P) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ง่าย โดยเฉพาะแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกรคือ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ทั้งนี้ในช่วงต้นข้าวอายุ 70 และ 100 วัน ของน้ำในแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากมีการใส่ปุ๋ยคอกครั้งสุดท้ายเมื่อต้น

ข้าวอายุ 60 วัน ในขณะที่น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน มีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วันหรือก่อนทำการหว่านข้าว อาจเนื่องมาจากในช่วงนี้มีเศษซากพืช (ตอซัง) จำนวนน้อยลงเป็นผลให้จุลินทรีย์มีความต้องการออกซิเจน เพื่อใช้ในกิจกรรมในการย่อยสลายน้อยลงตามไปด้วย ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน มีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่าน้ำช่วงต้นข้าว 0 วัน สาเหตุอาจเกิดจากช่วงระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยเคมีของแปลงนาเคมีที่ใส่ปุ๋ยครั้งสุดท้ายเมื่อต้นข้าวอายุ 80 วัน จึงเป็นผลให้ จุลินทรีย์ยังมีความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ย่อยปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงในแปลงนา และสลายเศษซากพืชที่ยังตกค้างเหลืออยู่ในพื้นที่ อย่างไรก็ตามในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าว) ของกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงต่ำกว่าน้ำช่วงต้นข้าว 0 วัน นอกจากนี้ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ของน้ำแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกันกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ รองลงมาได้แก่ แปลงเกษตรกร และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี ตามลำดับ อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำก่อนระบายน้ำทิ้งของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยมีค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ระบายลงทางน้ำชลประทาน ซึ่งค่าออกซิเจนละลายน้ำมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายพวกเศษซากพืช ซากสัตว์ เมื่อระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานอาจมีผลทำให้คุณภาพน้ำในคลองชลประทานเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

ตารางที่ 4.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

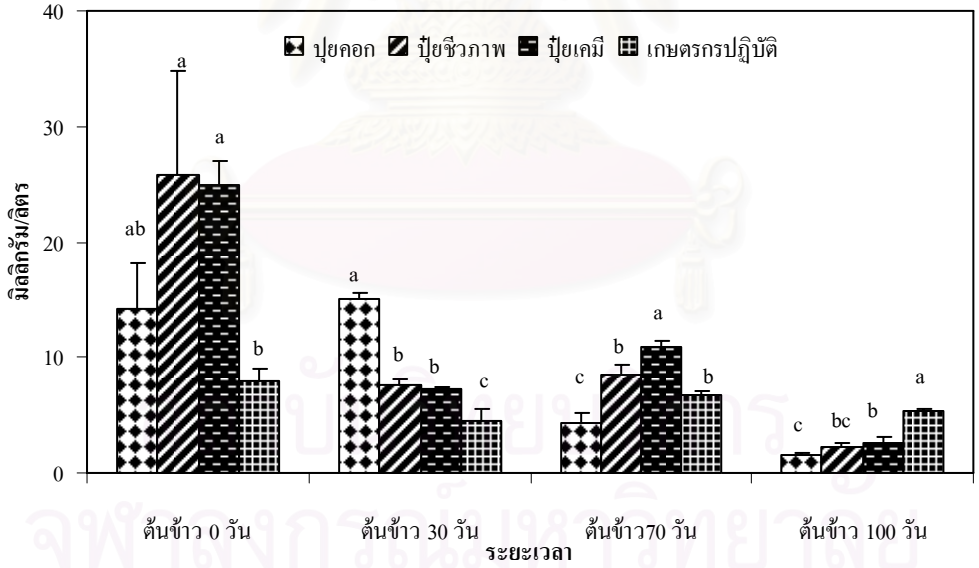
กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.71±1.00	7.63^{c}±0.30	8.46^{a}±0.25	9.62^{a}±0.14
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	5.97±1.35	8.28^{bc}±0.24	5.81^{b}±0.10	6.19^{b}±0.13
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	7.34±0.60	8.86^{b}±0.16	4.95^{c}±0.31	5.45^{c}±0.27
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	7.81±0.47	9.82^{a}±0.15	5.95^{b}±0.14	5.81^{bc}±0.15

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

2) ปริมาณค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved: BOD)

กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่ามาตรฐานของการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานของปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) จากการศึกษาพบว่า

2.1) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าว 0 วัน (ช่วงก่อนทำการหว่านข้าว) ดังรูปที่ 4.3 พบว่า น้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว (BOD = 7.92^{b} มิลลิกรัม/ลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี หากแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคุณภาพน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก (BOD = 14.3^{ab} มิลลิกรัม/ลิตร) ในขณะที่น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เท่ากับ 24.9 และ 25.8 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูงกว่าคุณภาพน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์เท่ากับ 4.03 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 4.3 ค่าอินทรีย์เคมีของปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

2.2) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน ดังรูปที่ 4.3 พบว่า ทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้ น้ำจากแปลง

นาของเกษตรกร มีปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์เท่ากับ 4.54 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร c ซึ่งมีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว ในขณะที่น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เท่ากับ 7.31 และ 7.54 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b ตามลำดับ หากแต่ทุกกรรมวิธีปฏิบัติมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.10 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เท่ากับ 4.08 มิลลิกรัม/ลิตร โดยทุกจุดมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ชลประทานที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน (รูปที่ 4.3) พบว่า น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เท่ากับ 4.33 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร c ซึ่งเป็นค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ที่ต่ำกว่ากรรมวิธีปฏิบัติอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่น้ำจากแปลงนาของเกษตรกร และแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เท่ากับ 6.67 และ 8.43 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ที่สูงกว่าน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ยังพบว่า น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์เท่ากับ 10.92 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a อย่างไรก็ตามน้ำแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย นอกจากนี้น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เท่ากับ 4.83 มิลลิกรัม/ลิตร โดยทุกจุดมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ชลประทานที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร

2.4) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ดังรูปที่ 4.3 มีปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ โดยน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว (BOD = 1.61^{c} มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (BOD = 2.32^{bc} มิลลิกรัม/ลิตร) ในขณะที่น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์เท่ากับ 2.64 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b และมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ สำหรับน้ำจากคลองชลประทานมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เท่ากับ 1.20 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้น้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูงที่สุดเท่ากับ 5.43 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a อย่างไรก็

ตาม ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ชลประทานที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร

จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ ในน้ำของทุกช่วงกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวอยู่ในช่วง 1.61-25.8 มิลลิกรัม/ลิตร โดยพบว่า น้ำจากแปลงใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี ในช่วงก่อนทำการหว่านข้าวหรือช่วงต้นข้าว 0 วัน มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูง โดยแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ อยู่ในระดับที่สูงเท่ากับ 25.8 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ แปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก และแปลงนาของเกษตรกรมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ เท่ากับ 24.9, 14.3 และ 7.92 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ของน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน เมื่อทำการระบายน้ำออกจากแปลงนาในช่วงก่อนทำการหว่านข้าวอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำคลองชลประทาน เนื่องจากมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ที่กำหนดเกณฑ์ไว้สูงสุดไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) ทั้งนี้ในช่วงของการเตรียมแปลงปลูกข้าวของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ในนาข้าวมีการไถกลบตอซัง ประกอบกับในช่วงนี้มีค่าของแข็งแขวนลอยสูง ซึ่งเป็นผลทำให้จุลินทรีย์มีความต้องการออกซิเจนในปริมาณมากเพื่อใช้ในย่อยสลายเศษซากตอซัง จึงเป็นผลทำให้ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ยุพาพร ชินอรุณชัย (2524) รายงานว่า วัสดุที่เหลือใช้จากไร่นา เช่น ปุ๋ยคอก เศษพืชหรือเศษหญ้าหมัก อาหารสัตว์สามารถทำให้น้ำเป็นพิษได้ เพราะการเน่าเปื่อยผุพังของพืชทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงจนถึงจุดที่ทำให้สิ่งมีชีวิตตายได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะต้องการออกซิเจนเพื่อย่อยสลายอินทรีย์สาร ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในช่วงเตรียมแปลงปลูกข้าวได้ทำการเผาเศษซากตอซังข้าว จึงทำให้ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ต่ำกว่ากรรมวิธีปฏิบัติอื่นๆ ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วันหรือช่วงก่อนทำการหว่านข้าว จึงทำให้มีปริมาณเศษตอซังให้จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายเศษซากตอซังน้อยกว่ากรรมวิธีปฏิบัติอื่นๆ อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น เพราะมีเศษซากพืชเหลือในปริมาณที่น้อย ทำให้จุลินทรีย์ต้องการใช้ออกซิเจนปริมาณที่ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์เท่ากับ 1.61 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน หรือช่วงก่อนเก็บเกี่ยวข้าวมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ อยู่ในมาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ดังนั้นเมื่อระบายน้ำสู่คลองชลประทานก็จะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4.4 ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved: BOD)

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	14.26^{ab}±0.40	15.10^{a}±0.10	4.33^{c}±0.92	1.61^{c}±0.11
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	25.76^{a}±8.97	7.54^{b} ±0.64	8.43^{b}±1.00	2.32^{bc}±0.20
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	24.86^{a}±2.19	7.31^{b}±0.13	10.92^{a}±0.56	2.64^{b}±0.51
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	7.92^{b}±1.00	4.54^{c}±1.00	6.67^{b}±0.37	5.43^{a}±0.12

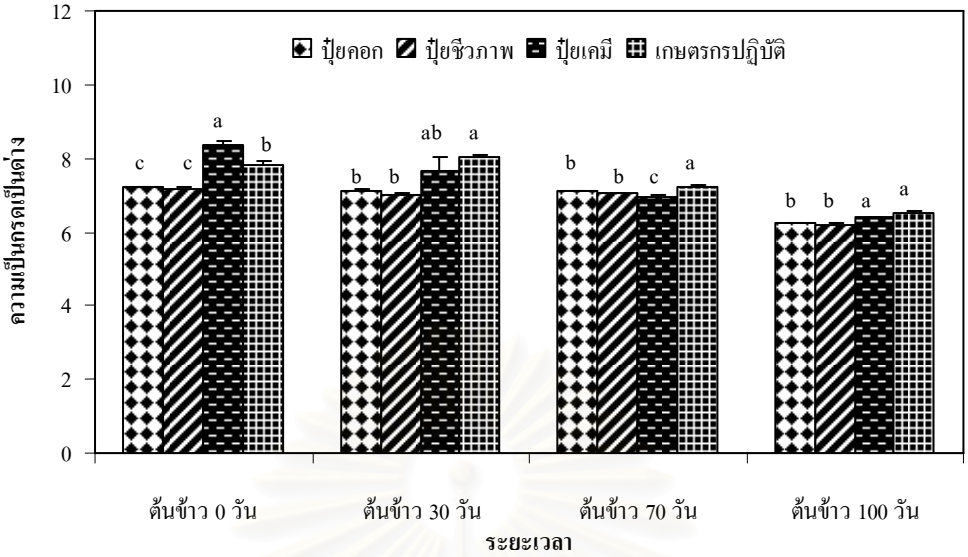
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

4.1.3 คุณลักษณะที่เป็นอนินทรีย์เคมีในน้ำ

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร จากการศึกษาพบว่า

1.1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในคุณภาพน้ำช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนการหว่านข้าวพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (pH = 7.18, กลุ่มอักษร c) หากแต่ไม่แตกต่างกัน กับน้ำจากแปลงนาใส่ปุ๋ยคอก (pH = 7.21, กลุ่มอักษร c) ทั้งนี้น้ำจากแปลงนาของเกษตรกร มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 2 กรรมวิธีปฏิบัติข้างต้นเพียงเล็กน้อย (pH = 7.81, กลุ่มอักษร b) นอกจากนี้พบว่า น้ำแปลงใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุดเท่ากับ 8.37, กลุ่มอักษร a ดังรูปที่ 4.4 ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.46 (ตารางที่ 4.1) โดยทุกจุดมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-8.5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)



รูปที่ 4.4 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าว อายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

1.2) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน (รูปที่ 4.4) ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร พบว่า น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี (pH = 6.98^{b}, 7.13^{b} และ 7.63^{ab} ตามลำดับ) ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.77 นอกจากนี้พบว่า น้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงเท่ากับ 8.01, กลุ่มอักษร a ซึ่งมากกว่าน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามทุกจุดมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน

1.3) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน (รูปที่ 4.4) พบว่า ค่า pH ของน้ำจากแปลงนาของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 6.95, กลุ่มอักษร c และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (pH = 7.06 และ 7.10 กลุ่มอักษร b เดียวกัน) ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำที่สุดเท่ากับ 6.96 สำหรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของน้ำจากแปลงนาเกษตรมีค่าสูง

ที่สุดเท่ากับ 7.23 กลุ่มอักษร a ซึ่งพบว่า ทุกจุดมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน

1.4) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของคุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน จากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำเท่ากับ 6.21, กลุ่มอักษร b (รูปที่ 4.4) ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ดังกล่าวต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว แต่อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับคุณภาพน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก (pH = 6.23, กลุ่มอักษร b) สำหรับคุณภาพน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำกว่าคุณภาพน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่เพียงเล็กน้อย และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (pH = 6.39 และ 6.50 ตามลำดับ, กลุ่มอักษร a เดียวกัน) ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 6.82 อย่างไรก็ตามทุกแปลงนาของการใส่ปุ๋ยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำพบว่า การเก็บตัวอย่างน้ำในทุกช่วงเวลา และทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ การใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่ พบค่า ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.21-8.37 ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ก่อนผันน้ำเข้าแปลงนาในช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนการหว่านข้าว เท่ากับ 7.46 (ตารางที่ 4.1) โดยทุกจุดมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมไว้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 สำหรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าลดลงในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างน้ำ เมื่อต้นข้าวมีอายุ 30, 70 และ 100 วัน เท่ากับ 7.13, 7.10 และ 6.23 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำผันแปรตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างของคุณภาพดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าลดลงทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดินเช่นกัน และอาจเป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสารอินทรีย์ในดินซึ่งมีส่วนช่วยให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สรสิทธิ์ วัชโรทยาน (2535) รายงานว่า ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเกิดจากพวกประจุบวกของ Ca^{2+}, Mg^{2+} และ K^{+} เข้าไปสะเทิน (Neutralize) กับ H^{+} ในสารละลายในดิน ทำให้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่นั้นแปรผันตามระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินด้วย ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างของ

น้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยว) ของกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงต่ำกว่าช่วงต้นข้าว 0 วัน หรือช่วงก่อนการหว่านข้าว อธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำผันแปรตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินของทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติ ซึ่งหากน้ำจากแปลงนามีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงมากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำนั้น อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา ทำให้น้ำในแปลงนามีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ระบายลงทางชลประทาน

ตารางที่ 4.5 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.21^{c}±0.02	7.13^{b}±0.03	7.10^{b}±0.02	6.23^{b}±0.02
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	7.18^{c} ±0.03	6.98^{b}±0.10	7.06^{b}±0.02	6.21^{b}±0.05
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	8.37^{a}±0.10	7.63^{ab}±0.42	6.95^{c}±0.05	6.39^{a}±0.04
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	7.81^{b}±0.10	8.01^{a}±0.10	7.23^{a}±0.03	6.50^{a}±0.06

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

2) ปริมาณอาร์เซนิก (As)

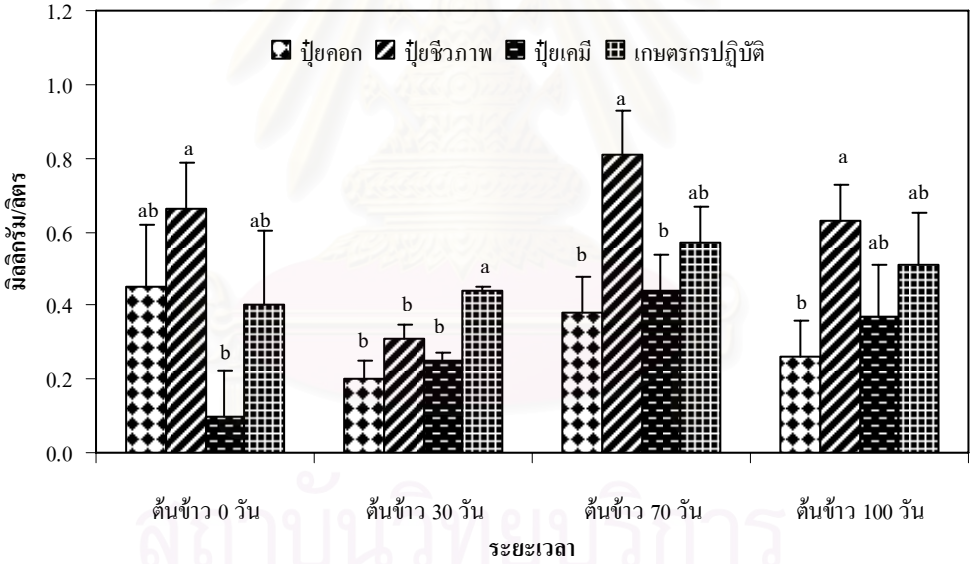
อาร์เซนิกเป็นธาตุที่สามารถเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งการปนเปื้อนของอาร์เซนิกสู่สิ่งแวดล้อม มักทำให้เกิดการสะสมในดิน และน้ำ ทั้งนี้หากมีการสะสมในแปลงนาปลูกข้าวอาจเกิดการดูดดึงไปสะสมในต้นข้าว ไปสู่ส่วนต่างๆ เช่น ราก ตอซัง ใบ และผลผลิต ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค เพราะอาร์เซนิกเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ผลการศึกษาพบว่า

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณอาร์เซนิกในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติการใส่ปุ๋ยในนาข้าวทั้ง 4 ช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างน้ำได้แก่ ช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน พบว่า มีปริมาณอาร์เซนิกน้อยมากจนไม่สามารถตรวจหาค่าได้ กล่าวคือ ปริมาณอาร์เซนิกที่ตรวจวัดได้จากเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer: AAS) น้อยกว่า 10 ไมโครกรัม/ลิตร อธิบายได้ว่าปริมาณอาร์เซนิกที่ไม่มีการปนเปื้อนในน้ำสำหรับการทำนา เนื่องจาก

อาร์เซนิกเป็นโลหะหนักจึงตกค้างในดิน ทำให้ไม่แขวนลอยในน้ำ จึงไม่พบอาร์เซนิกในน้ำประกอบกับน้ำจากคลองชลประทานที่ผันเข้าแปลงนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ก็ไม่พบการปนเปื้อนของอาร์เซนิก ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์อาร์เซนิกในดินพบว่า อาร์เซนิกสามารถสะสมในดินทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาไม่มีการปนเปื้อนของอาร์เซนิก เมื่อทำการระบายน้ำออกจากแปลงนา จึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

3) ปริมาณแมงกานีส (Mn)

แมงกานีสเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และช่วยในระบบการทำงานของเอมไซม์ในร่างกายมนุษย์โดยต้องการในปริมาณที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามหากมีแมงกานีสปนเปื้อนอยู่ในน้ำมากเกินไปก็อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ จากผลการศึกษาปริมาณแมงกานีสในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวมีดังนี้



รูปที่ 4.5 ค่าอนินทรีย์เคมีของปริมาณแมงกานีส (Mn) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

3.1) จากรูปที่ 4.5 ค่าปริมาณแมงกานีสในน้ำของทุกๆ กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนทำการหว่านข้าวพบว่า แมงกานีสในน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าแมงกานีสต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว (Mn = 0.10^{b} มิลลิกรัม/ลิตร) อย่างไรก็ตามค่าแมงกานีสไม่แตกต่างกันกับน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ และแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก (Mn = 0.40 และ 0.45

มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ, กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) นอกจากนี้ น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุดเท่ากับ 0.66 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ซึ่งมีค่าแมงกานีส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงเกษตรกร และแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าแมงกานีสเท่ากับ 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร

3.2) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน (รูปที่ 4.5) พบว่า ปริมาณแมงกานีสในน้ำจากแปลงใส่ปุ๋ยคอกมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b ซึ่งมีค่าแมงกานีสต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว อย่างไรก็ตามค่าแมงกานีสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับคุณภาพน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ (Mn = 0.25 และ 0.31 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ, กลุ่มอักษร b เดียวกัน) ซึ่งพบว่า ทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติการใส่ปุ๋ยข้างต้น มีปริมาณแมงกานีสในน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ ซึ่งน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรนี้มีค่าแมงกานีสสูงที่สุดเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าแมงกานีส เท่ากับ 0.12 มิลลิกรัม/ลิตร โดยทุกจุดมีค่าแมงกานีสอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทานที่กำหนดแมงกานีสสูงสุดไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

3.3) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน พบว่า คุณภาพน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก มีปริมาณแมงกานีส ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว (Mn = 0.38^{b} มิลลิกรัม/ลิตร) อย่างไรก็ตามมีค่าแมงกานีสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ (Mn = 0.44^{b} และ 0.57^{ab} มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ในขณะที่น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีปริมาณแมงกานีสสูง เท่ากับ 0.81 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาของเกษตรกร ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ทั้งนี้น้ำจากคลองชลประทานมีค่าแมงกานีสเท่ากับ 0.12 มิลลิกรัม/ลิตร

3.4) ปริมาณแมงกานีสของคุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ของทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรพบว่า น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณแมงกานีสในน้ำเท่ากับ 0.26 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามค่าแมงกานีส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ (Mn = 0.37^{ab} และ 0.51^{ab} มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุดเท่ากับ 0.63 มิลลิกรัม/

ลิตร, กลุ่มอักษร a และเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ที่กำหนดแมงกานีสสูงสุดไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้น้ำจากคลองชลประทานมีค่าแมงกานีส เท่ากับ 0.34 มิลลิกรัม/ลิตร

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำ พบว่าในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน หรือก่อนทำการหว่านข้าวพบว่า แปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงเกษตรกร มีปริมาณการปนเปื้อนของแมงกานีสในน้ำเท่ากับ 0.45, 0.66, 0.10 และ 0.40 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่น้ำชลประทานที่ทำการระบายน้ำเข้าแปลงนาในช่วงก่อนการหว่านข้าว มีค่าเท่ากับ 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร โดยแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีปริมาณแมงกานีสในน้ำในแปลงนาสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อทำการระบายน้ำลงทางคลองชลประทานในช่วงก่อนทำการหว่านข้าว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำได้ นอกจากนี้ พบว่า มีปริมาณแมงกานีสสะสมในน้ำจากแปลงที่มีการใส่ปุ๋ยคอกอยู่ในช่วง 0.20-0.45 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 4.5) อย่างไรก็ตามน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพ มีปริมาณการสะสมแมงกานีสในน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ลดลงต่ำกว่าช่วงก่อนหว่านข้าวหรือช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ทั้งนี้สามารถกล่าวได้ว่าน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณแมงกานีสลดลงคิดเป็น 42.22 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากปริมาณอินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้นในดิน ทำให้ปริมาณแมงกานีสมีการสะสมอยู่ในอินทรียวัตถุ เพราะอินทรียวัตถุมีคุณสมบัติที่เป็นประจุลบสามารถจับยึดแมงกานีสซึ่งเป็นประจุบวกไว้ได้ จึงทำให้แมงกานีสสะสมอยู่ในรูปอินทรียวัตถุ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Orawan Siriratpiriya, Vigerust และ Selmer-Olsen (1985) รายงานว่า ปริมาณอินทรียวัตถุที่สูงในดินจะช่วยลดความเป็นประโยชน์ของโลหะหนักในดินได้ เนื่องจากอินทรียวัตถุสามารถจับยึดโลหะหนักไว้ได้ ทำให้โลหะหนักสะสมอยู่ในรูปอินทรียวัตถุ และจากการพิจารณาข้อมูล พบว่า ปุ๋ยคอกมีปริมาณแมงกานีสเป็นองค์ประกอบน้อย จึงเป็นผลทำให้ปุ๋ยคอกมีการสะสมแมงกานีสหรือละลายอยู่ในน้ำลดลง ในขณะที่น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีปริมาณแมงกานีสในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน มีค่าเท่ากับ 0.63 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และเป็นค่าที่มีปริมาณแมงกานีสมากกว่ากรรมวิธีปฏิบัติอื่นๆ ในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างน้ำ อาจเนื่องมาจากแมงกานีสเป็นองค์ประกอบในปุ๋ยชีวภาพสูง โดยเฉพาะพบการสะสมแมงกานีสในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน ของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และมีปริมาณแมงกานีส สูงสุดเท่ากับ 0.81 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ไม่มีการระบายออกจากแปลงนาในช่วงนี้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ปริมาณแมงกานีสที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะมีการใส่ปุ๋ยชีวภาพในช่วงต้นข้าวอายุ 20 และ 60 วัน จึงเป็นผลทำให้มีแมงกานีสละลายอยู่ในน้ำเพิ่มขึ้น สำหรับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี และแปลงนาเกษตรกรในพื้นที่มีปริมาณแมงกานีสในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วันมีปริมาณ

เพิ่มขึ้นจากเดิม โดยเฉพาะน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อพิจารณาข้อมูลพบว่า จากระยะเวลาที่ใส่ปุ๋ยในแปลงนา ปริมาณของการใส่ปุ๋ยเคมี และชนิดของปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ที่ใส่ในกิจกรรมการทำนาของทั้ง 2 กรรมวิธีปฏิบัติ พบว่า มีปริมาณแมงกานีสเป็นองค์ประกอบ ซึ่งปัจจัยที่เป็นผลให้ค่าแมงกานีสในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนา ปริมาณแมงกานีสที่เป็นองค์ประกอบในปุ๋ย การดูดดึงของต้นข้าว และการถูกน้ำชะล้าง จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรทำให้เกิดการปนเปื้อนแมงกานีสในคุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วันหรือก่อนทำการเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นค่าที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และเมื่อทำการระบายน้ำที่มีการปนเปื้อนแมงกานีสสูงลงคลองชลประทาน อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ และคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณแมงกานีสในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.45^{ab}±0.17	0.20^{b}±0.05	0.38^{b}±0.10	0.26^{b}±0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.66^{a}±0.13	0.31^{b}±0.04	0.81^{a}±0.12	0.63^{a}±0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.10^{b}±0.12	0.25^{b}±0.02	0.44^{b}±0.10	0.37^{ab}±0.14
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	0.40^{ab}±0.20	0.44^{a}±0.01	0.57^{ab}±0.10	0.51^{ab}±0.14

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

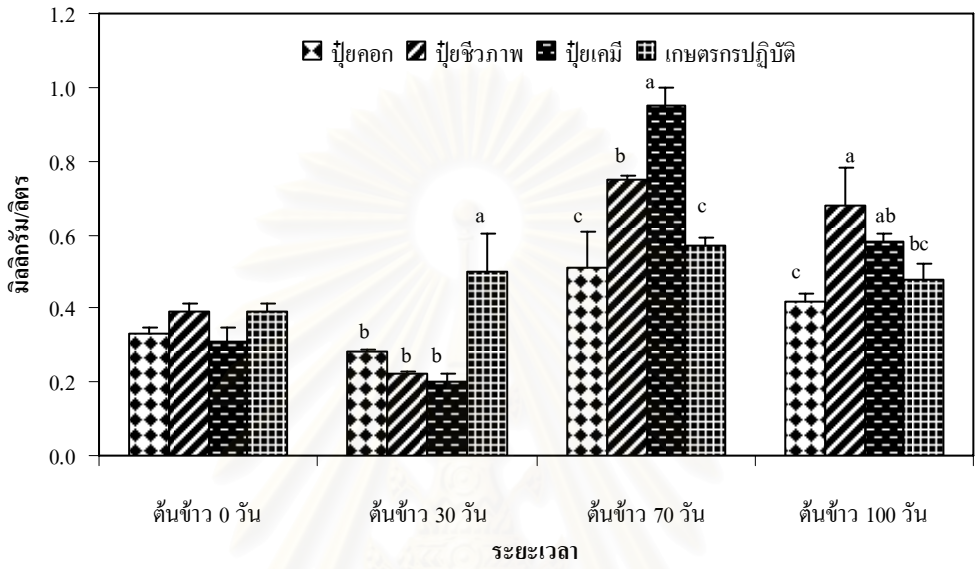
4.1.4 คุณลักษณะที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ในน้ำ

1) ปริมาณไนเตรท (NO_3^-)

ไนเตรท (NO_3^-) เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชน้ำ หากมีปริมาณไนเตรทในน้ำมากเกินความจำเป็นอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำบริเวณนั้นๆ ผลการศึกษามีดังนี้

1.1) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนการหว่านข้าวของกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร พบว่า น้ำจากแปลงนาทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว มีปริมาณไนเตรทไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณไนเตรทต่ำที่สุดเท่ากับ 0.31

มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนเตรท เท่ากับ 0.33 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าไนเตรทเท่ากันคือ 0.39 มิลลิกรัม/ลิตร ดังรูปที่ 4.6 ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าไนเตรทเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 4.6 ค่าสารประกอบอนินทรีย์เคมีปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

1.2) รูปที่ 4.6 แสดงค่าไนเตรทของคุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวพบว่า ปริมาณไนเตรทของน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัม/ลิตร กลุ่มอักษร b ซึ่งมีค่าไนเตรทต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยคอก (NO_3^- = 0.22 และ 0.28 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ) สำหรับน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าไนเตรท เท่ากับ 0.50 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำของทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติข้างต้น ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าไนเตรทเท่ากับ 0.47 มิลลิกรัม/ลิตร

1.3) ปริมาณไนเตรทในคุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 พบว่าน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าใกล้เคียงกันกับแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ (NO_3^- = 0.51^c และ 0.57^c มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ซึ่งไนเตรทดังกล่าว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้ปริมาณไนเตรทของน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีค่าเท่ากับ 0.75 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานก่อนระบายเข้าแปลงนา

มีค่าไนเตรทเท่ากับ 0.77 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณไนเตรทเท่ากับ 0.95 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา

1.4) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวีธีปฏิบัติของเกษตรกร พบว่า ปริมาณไนเตรทในน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าเท่ากับ 0.42 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร c อย่างไรก็ตามค่าไนเตรทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับคุณภาพน้ำจากแปลงนาเกษตรกรในพื้นที่ (NO_3^- = 0.48^{bc} มิลลิกรัม/ลิตร) นอกจากนี้พบว่า น้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณไนเตรทเท่ากับ 0.58 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร ab ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (NO_3^- = 0.68^{a} มิลลิกรัม/ลิตร) และแปลงนาของเกษตรกร โดยเฉพาะน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพที่มีค่าไนเตรทสูงที่สุด ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าไนเตรท เท่ากับ 0.33 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้นจากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 สามารถสรุปปริมาณไนเตรทที่สะสมในน้ำของทุกช่วงกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาโดยพบปริมาณไนเตรทสะสมในคุณภาพน้ำเฉลี่ยในช่วง 0.20-0.95 มิลลิกรัม/ลิตร และพบว่าปริมาณไนเตรทในน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติในการใส่ปุ๋ย มีปริมาณไนเตรทสูงกว่าช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ไม่มีการระบายน้ำออกจากแปลงนาในช่วงนี้ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งปริมาณไนเตรทที่เพิ่มขึ้นคาดว่าอาจเกิดจากปริมาณการใส่ปุ๋ย และชนิดของปุ๋ยที่ใส่ลงไปในกิจกรรมการทำนาของแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติ ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ หรือปุ๋ยเคมี ที่เกิดจากการสลายตัวเป็นไนเตรท และสามารถถูกชะล้างออกสู่แหล่งน้ำได้ ทำให้ค่าปริมาณไนเตรท มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรใช้สำหรับกิจกรรมการทำนาพบว่า น้ำในนาข้าวมีปริมาณ ไนเตรทสูง ซึ่งเป็นอนินทรีย์สารที่อาจถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์ไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) และ ไนเตรท (NO_3^-) ได้ง่าย ทั้งนี้ปริมาณไนเตรทในช่วงของการเก็บตัวอย่างน้ำ เมื่อต้นข้าวอายุ 100 วัน พบว่า น้ำของทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวมีปริมาณไนเตรทลดลงจากช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากต้นข้าวมีการดูดดึงไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ วัลนิภา หมั่นเพียรสุข (2547) รายงานว่ามีการสะสมของไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือก ฟางข้าว ตอซัง และรากข้าว โดยพบปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดข้าวเปลือกสูงที่สุด อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในการทำนา ทำให้มีปริมาณไนเตรทในน้ำเพิ่มขึ้นจากช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน โดยเฉพาะแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกร ทั้งนี้หากมีการปนเปื้อนไนเตรทน้ำในปริมาณมากเกินความจำเป็น จะทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพ

สิ่งแวดล้อมคือ จะก่อให้เกิดความเป็นพิษ เพราะเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของแพลงก์ตอนพืช สาหร่ายและพืชน้ำ อีกทั้งเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว และเกิดปรากฏการณ์ Eutrophication เพราะจะทำให้มีปริมาณออกซิเจนน้อยลง ในขณะเดียวกันก็เป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 4.7 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณไนเตรทในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.33±0.02	0.28^{b}±0.01	0.51^{c}±0.10	0.42^{c}±0.02
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.39±0.02	0.22^{b}±0.01	0.75^{b}±0.01	0.68^{a}±0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.31±0.04	0.20^{b}±0.02	0.95^{a}±0.05	0.58^{ab}±0.02
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	0.39±0.02	0.50^{a}±0.10	0.57^{c}±0.02	0.48^{bc}±0.04

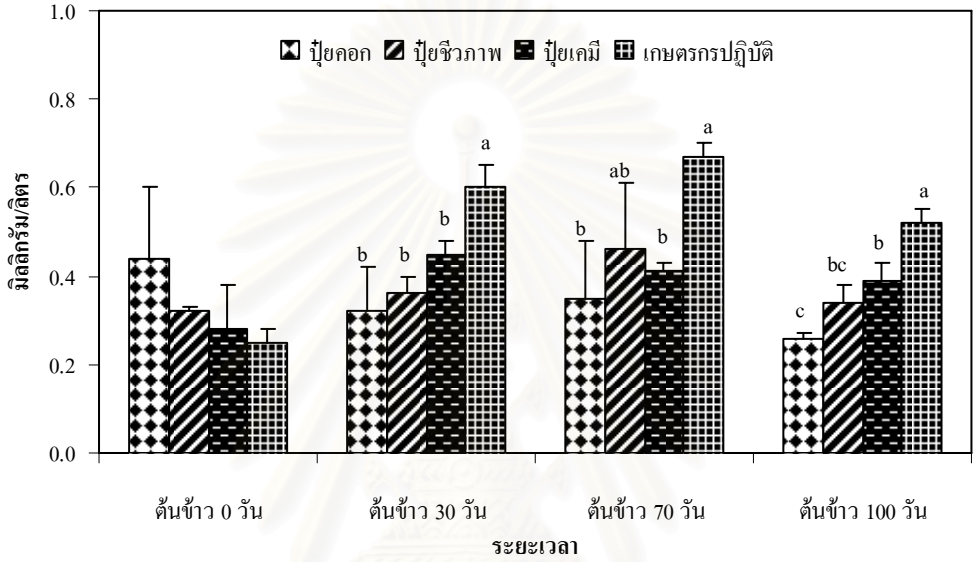
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

2) ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-})

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปของพลังงาน ซึ่งฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำมีหลายรูปด้วยกัน อย่างไรก็ตามส่วนมากอยู่รูปของฟอสเฟต (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2539) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นเช่นเดียวกับไนเตรท ซึ่งสามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้หากมีปริมาณฟอสเฟตมากเกินความจำเป็นอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษของแหล่งน้ำ จากการศึกษาพบว่า

2.1) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าว 0 วัน หรือช่วงก่อนการหว่านข้าวพบว่า ทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีปริมาณฟอสเฟตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพบว่า น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสเฟตสูงที่สุดเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร เท่ากับ 0.32, 0.28 และ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงไว้รูปที่ 4.7 ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าฟอสเฟตเท่ากับ 0.33 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน มีปริมาณฟอสเฟตในน้ำ ดังรูปที่ 4.7 พบว่า น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสเฟตเท่ากับ 0.32 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าฟอสเฟตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี (PO_4^{3-} = 0.36^b และ 0.45^b มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ในขณะที่น้ำจากแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณฟอสเฟตเท่ากับ 0.60 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a ทั้งนี้น้ำจากคลองชลประทานก่อนที่ระบายเข้าแปลงนามีค่าฟอสเฟตเท่ากับ 0.23 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 4.7 ค่าสารประกอบอนินทรีย์เคมีของปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

2.3) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร พบว่าปริมาณฟอสเฟตในน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าฟอสเฟตเท่ากับ 0.35 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b ซึ่งมีค่าฟอสเฟตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ (PO_4^{3-} = 0.41^b และ 0.46^{ab} มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) โดยค่าฟอสเฟต ของทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้างต้นต่ำกว่าน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (PO_4^{3-} = 0.67 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a) ทั้งนี้น้ำจากคลองชลประทานมีค่าฟอสเฟตเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร

2.4) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าว) น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสเฟตเท่ากับ 0.26 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร c หากแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งมีค่า

ฟอสเฟตเท่ากับ 0.34 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร bc สำหรับน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณฟอสเฟตเท่ากับ 0.39 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าฟอสเฟตไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ค่าปริมาณฟอสเฟตของน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าเท่ากับ 0.52 มิลลิกรัม/ลิตร, กลุ่มอักษร a และมีค่าฟอสเฟตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยข้างต้น ดังรูปที่ 4.7

การศึกษาปริมาณฟอสเฟตในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนา (รูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.8) สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณฟอสเฟตในน้ำของทุกช่วงกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรพบว่า มีปริมาณฟอสเฟตใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.25-0.67 มิลลิกรัม/ลิตร โดยพบว่า ในช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนทำการหว่านข้าว ค่าฟอสเฟตในน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาได้แก่ แปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่าฟอสเฟตเท่ากับ 0.32, 0.28 และ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่น้ำชลประทานที่ทำการผันน้ำเข้าแปลงนาในช่วงก่อนการหว่านข้าวมีปริมาณฟอสเฟตเท่ากับ 0.33 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้ในช่วงเตรียมแปลงปลูกข้าวมีการใส่ปุ๋ยคอกลงในแปลงนาในปริมาณที่สูงคือ 500 กิโลกรัม/ไร่ และแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ได้ทำการใส่ปุ๋ยชีวภาพในอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ในช่วงเตรียมแปลงเช่นกัน ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรไม่มีการใส่ปุ๋ยในช่วงเตรียมแปลงปลูก จึงทำให้มีค่าฟอสเฟตต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพ อย่างไรก็ตามค่าฟอสเฟตจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 30, 70 และ 100 วัน โดยเฉพาะปริมาณฟอสเฟตในน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วันหรือช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าวของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณลดลงต่ำกว่าช่วงต้นข้าว 0 วัน (ช่วงก่อนทำการหว่านข้าว) คิดเป็น 40.90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณฟอสเฟตลดลงต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย อาจเนื่องมาจากต้นข้าวดูดดึงไปใช้ประโยชน์ และมีการสะสมอยู่ในดิน ในขณะที่ค่าฟอสเฟตในน้ำของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีของเกษตรกร มีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงต้นข้าวอายุ 30, 70 และ 100 วัน เนื่องจากปุ๋ยที่ใส่ในแปลงนาทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติ มีปริมาณฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบสูง เกิดการสลายตัวเป็นฟอสเฟต และสามารถถูกน้ำชะล้างให้ออกสู่แหล่งน้ำได้ จึงทำให้มีปริมาณฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าปริมาณฟอสเฟตในคุณภาพน้ำของกรรมวิธีปฏิบัติของแปลงนาเกษตรกรในช่วงต้นข้าวอายุ 30, 70 และ 100 วัน สูงกว่ากรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยอื่นๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากข้อมูลการใส่ปุ๋ยในแปลงนาเกษตรกรพบว่า มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 เมื่อต้นข้าวมีอายุ 25 และ 60 วัน ซึ่งปุ๋ยที่ใส่ในการทำนาของแปลงนาเกษตรกรมีปริมาณฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งสามารถถูกชะล้างออกสู่แหล่งน้ำได้ จึงทำให้ค่าปริมาณฟอสเฟต เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ค่าปริมาณฟอสเฟต

ในน้ำในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณลดลงจากช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน แต่ยังมีปริมาณสูงกว่าช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน (ช่วงก่อนทำการหว่านข้าว) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากมีการดูดดึงฟอสเฟตของต้นข้าวไปใช้ในการสร้างดอก สร้างรวงข้าว ประกอบกับมีการตกค้าง และสะสมอยู่ในดิน ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของอรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น (2527) รายงานว่าระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวต้องการธาตุอาหารมากที่สำคัญ 2 ระยะคือ ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง จึงทำให้มีปริมาณฟอสเฟตลดลง แต่อาจเนื่องจากปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี ที่ใส่ในกิจกรรมการทำนามีปริมาณฟอสเฟตมากจึงมีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำที่ทำการปลูกข้าวเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังนั้นเมื่อทำการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมคือ การปนเปื้อนของปริมาณฟอสเฟตในน้ำที่มากเกินความจำเป็นจะก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพน้ำเช่นเดียวกันกับการปนเปื้อนปริมาณไนเตรทในน้ำ เพราะเป็นธาตุอาหารที่พืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืชต้องการในการเจริญเติบโต

ตารางที่ 4.8 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณฟอสเฟตในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.44±0.16	0.32^{b}±0.10	0.35^{b}±0.13	0.26^{c}±0.01
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.32±0.01	0.36^{b}±0.04	0.46^{ab}±0.15	0.34^{bc}±0.04
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.28±0.10	0.45^{b}±0.03	0.41^{b}±0.02	0.39^{b}±0.04
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	0.25±0.03	0.60^{a} ±0.05	0.67^{a}±0.03	0.52^{a}±0.03

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

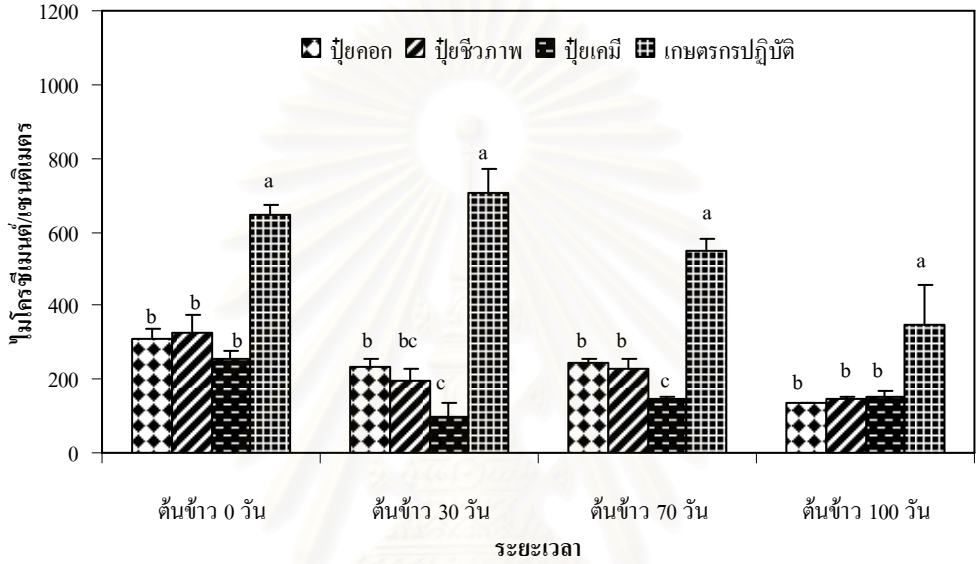
4.1.5 คุณลักษณะทางเคมีในน้ำ

1) ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC)

ค่าความนำไฟฟ้าในน้ำเป็นค่าที่สามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ เช่น กรด ด่าง เกลือที่ละลายน้ำได้หรือปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด จากผลการศึกษาพบว่า

1.1) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าว 0 วัน หรือช่วงก่อนการหว่านข้าว (รูปที่ 4.8) พบว่าน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำที่สุดเท่ากับ 254 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าดังกล่าวต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว อย่างไรก็ตามค่าความนำ

ไฟฟ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพเท่ากับ 312 และ 327 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า น้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 646 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าความนำไฟฟ้า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยข้างต้น ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความนำไฟฟ้า เท่ากับ 203 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร



รูปที่ 4.8 ค่าความนำไฟฟ้า (EC) ในคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

1.2) รูปที่ 4.8 แสดงค่าความนำไฟฟ้าในคุณภาพในน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาพบว่า ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว (EC = 99.4^{c} ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) อย่างไรก็ตามค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (EC = 196^{bc} ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) ทั้งนี้น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 236 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้น้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 705 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร a ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานก่อนระบายเข้าแปลงนามีค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 154 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร

1.3) คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน มีค่าความนำไฟฟ้า (รูปที่ 4.7) ในน้ำจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำที่สุดเท่ากับ 147 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร c ซึ่งค่าดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว ในขณะที่น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพกับปุ๋ยคอก มีค่าความนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (EC = 231 และ 245 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า น้ำจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 547 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร a ทั้งนี้น้ำจากคลองชลประทานมีค่าความนำไฟฟ้า เท่ากับ 166 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร

1.4) ค่าความนำไฟฟ้าของคุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ดังรูปที่ 4.8) พบว่า น้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี มีค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 133, 147 และ 152 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยนี้มีค่าความนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่น้ำจากคลองชลประทานก่อนระบายเข้าแปลงนามีค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 175 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร นอกจากนี้พบว่า น้ำจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 348 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร, กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าความนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี

จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 ค่าความนำไฟฟ้าในคุณภาพน้ำของทุกช่วงกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร พบว่า มีค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 99.4-705 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร โดยพบว่า ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ค่าความนำไฟฟ้าในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยมีค่าสูง โดยเฉพาะค่าความนำไฟฟ้าของน้ำแปลงนาเกษตรกรมีค่าสูงสุด อาจเนื่องมาจากแปลงนาเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีมาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งปุ๋ยเคมีมีสมบัติเป็นอนินทรีย์สาร เมื่อถูกน้ำชะล้างจึงสามารถละลายอยู่ในน้ำสูง ซึ่งปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายอยู่ในน้ำมีค่าสูง ส่งผลทำให้ค่าความนำไฟฟ้าในน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ประกอบกับน้ำคลองชลประทานที่ผันเข้าแปลงนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน มีค่าความนำไฟฟ้าสูงถึง 761 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร อย่างไรก็ตามในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน พบว่าค่าความนำไฟฟ้าของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยมีค่าลดลง แต่ยังพบว่าค่าความนำไฟฟ้าของแปลงเกษตรกรมีค่าสูงกว่าทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ย เมื่อทำการระบายน้ำลงคลองชลประทานน้ำจากแปลงนาเกษตรกรอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ทำการระบายลงไปได้

ตารางที่ 4.9 ค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC)

กรรมวิธีปฏิบัติ	ค่าความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	312.00^{b}±24.25	236.00^{b}±18.45	244.67^{b}±9.28	133.23^{b}±1.74
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	327.00^{b}±46.76	196.13^{bc}±30.00	230.60^{b}±26.52	146.73^{b}±7.43
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	254.00^{b}±21.00	99.40^{c}±34.00	146.60^{c}±4.29	152.03^{b}±17.60
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	646.00^{a}±28.75	705.33^{a}±65.43	547.33^{a}±36.20	347.87^{a}±108.70

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

4.2 คุณภาพดิน

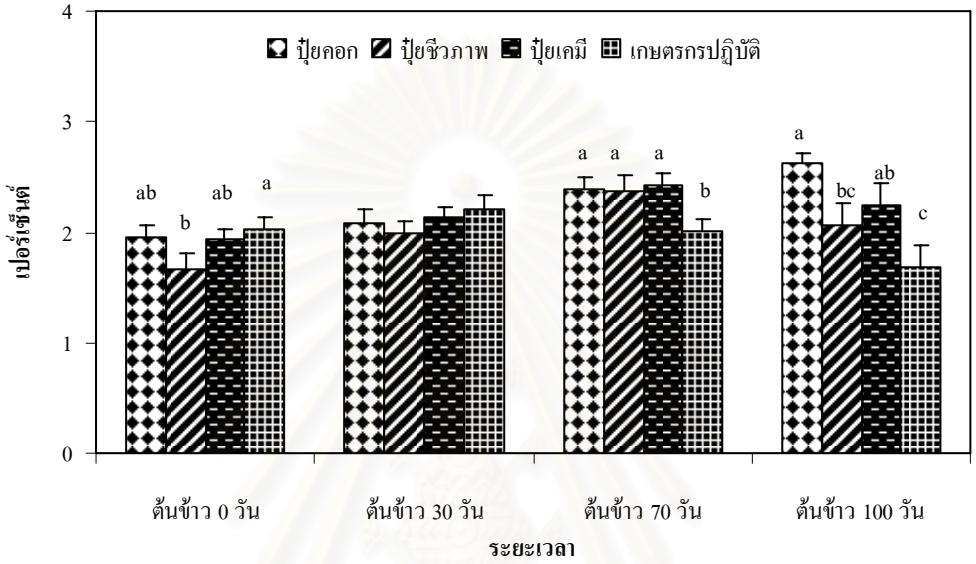
4.2.1 คุณลักษณะทางกายภาพของดิน

1) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM)

อินทรียวัตถุมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และทางชีวะ สำหรับบทบาทของอินทรียวัตถุ สามารถช่วยทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง เพิ่มความอุ้มน้ำ ลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชในดินจากการชะล้างของน้ำลดลง และมีสภาพเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช ในด้านของการช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินช่วยเพิ่ม CEC แก่ดิน ทำให้ดินสามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ได้มาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Hasit, ed., 1986) อย่างไรก็ตาม การทราบปริมาณอินทรียวัตถุในดิน จะสามารถช่วยในการวางแผนของการใส่ปุ๋ยบำรุงดินที่เหมาะสมในฤดูปลูกถัดไป จากผลการศึกษาพบว่า

1.1) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนทำการหว่านข้าว (รูปที่ 4.9) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.67 %, กลุ่มอักษร b อย่างไรก็ตาม ค่าอินทรียวัตถุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยคอก (OM = 1.93 และ 1.97 %, กลุ่มอักษร ab เดียวกันตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินของแปลงนาเกษตรกรในพื้นที่มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 2.03 %, กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับกรรมวิธีการที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ

1.2) รูปที่ 4.9 ค่าปริมาณอินทรียวัตถุในคุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่ โดยพบว่า ดินของแปลงนาเกษตรกรมีค่าอินทรียวัตถุสูงเท่ากับ 2.21 % รองลงมาได้แก่ แปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี เท่ากับ 2.13, 2.09 และ 2.00 % ตามลำดับ และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.9 ค่าปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

1.3) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าเท่ากับ 2.01 %, กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าดังกล่าวต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว และค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินของแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ซึ่งทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยนี้มีค่าอินทรียวัตถุเท่ากับ 2.39, 2.38 และ 2.43 %, กลุ่มอักษร a เดียวกัน ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.9

1.4) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าว) ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร โดยพบค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีค่าอินทรียวัตถุ เท่ากับ 1.68 %, กลุ่มอักษร c ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (OM = 2.06 %, กลุ่มอักษร bc) สำหรับดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 2.25 %, กลุ่มอักษร ab ซึ่งค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ

เชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยคอก โดยเฉพาะคุณภาพดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 2.62%, กลุ่มอักษร a

ดังนั้น แนวโน้มปริมาณอินทรียวัตถุในดินของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่ มีค่าอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 1.67-2.62 % ดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 และพบว่า ดินในแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกในทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดิน มีแนวโน้มของปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นทุกช่วงเวลาโดยเฉพาะดินในช่วงต้นข้าว 100 วัน (ช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าว) ของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 2.62 % ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากผลของการไถกลบตอซังในช่วงเตรียมแปลงปลูกข้าว และผลของการใส่ปุ๋ยคอกในแปลงนาปริมาณที่สูงเท่ากับ 1,000 กิโลกรัม/ไร่ จึงเป็นผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น มีจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น ช่วยให้ดินร่วนซุยดินไม่แข็งตัว ในขณะที่ดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มของปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นในช่วงต้นข้าว 0-70 วัน ซึ่งเป็นผลจากการไถกลบตอซังในแปลงนาในช่วงเตรียมแปลงปลูกข้าว อย่างไรก็ตามปริมาณอินทรียวัตถุลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน หากแต่ยังมีค่าอินทรียวัตถุสูงกว่าช่วงต้นข้าว 0 วัน ทั้งนี้อาจเกิดจากต้นข้าวมีการดูดซับอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารอื่นๆ จากดินเข้าไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้พบค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินของแปลงนาของเกษตรกรในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน หรือช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าว มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดต่ำลงน้อยกว่าช่วงก่อนหว่านข้าวหรือช่วงต้นข้าว 0 วัน อาจเนื่องมาจากต้นข้าวมีการดูดซับอินทรียวัตถุไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต และการใช้ปุ๋ยเคมีในแปลงนาอาจเป็นผลทำให้มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลง เป็นผลทำให้ดินมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อต้นข้าวลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าการไถกลบตอซังในช่วงเตรียมแปลงปลูก ร่วมกับการใส่ปุ๋ยที่ทำให้ดินมีอินทรียวัตถุที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตต่อต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะการไถกลบตอซังร่วมกับการใส่ปุ๋ยคอก ในขณะที่แปลงนาของเกษตรกรที่ใช้ปุ๋ยเคมีและมีการเผาตอซังทำให้คุณภาพดินเสื่อมโทรมลง คือ ทำให้สูญเสียปริมาณอินทรียวัตถุที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Honya (1975) ที่กล่าวว่า การเผาฟางข้าวทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงเพราะการเผาฟางจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน

ตารางที่ 4.10 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	1.96^{ab}±0.10	2.09±0.11	2.39^{a}±0.10	2.62^{b}±0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	1.67^{b}±0.14	2.00±0.10	2.38^{a}±0.14	2.06^{bc}±0.21
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	1.93^{ab}±0.10	2.13±0.10	2.43^{a}±0.11	2.25^{ab}±0.20
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	2.03^{a}±0.10	2.21±0.12	2.01^{b}±0.10	1.68^{c}±0.20

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

4.2.2 คุณลักษณะที่เป็นอนินทรีย์เคมีในดิน

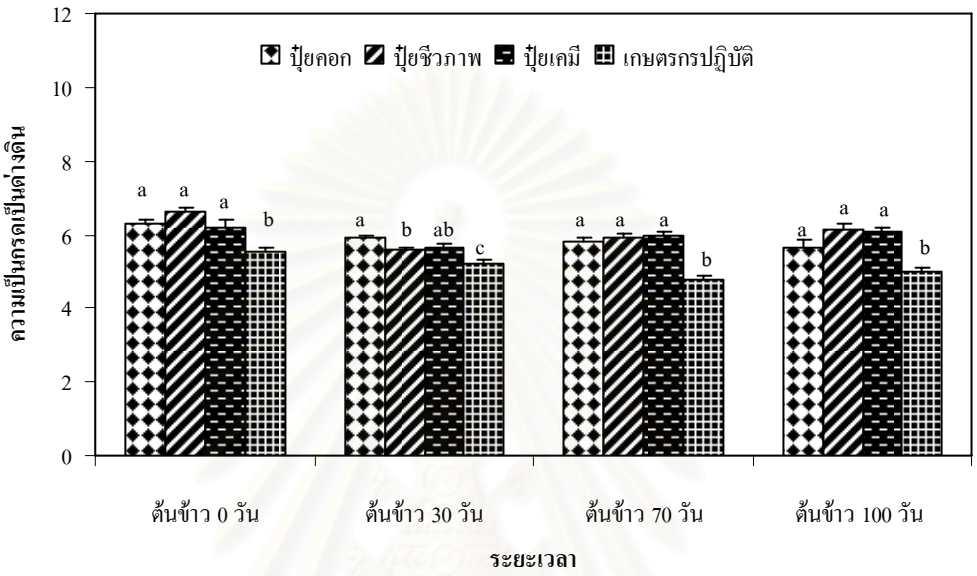
1) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความเป็นกรดเป็นด่างในดินของแต่ละช่วงเวลา มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว เนื่องจากค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลกระทบต่อปริมาณธาตุอาหาร และโลหะหนักบางชนิดในดิน ซึ่งจากการศึกษาค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยพบว่า

1.1) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนการหว่านข้าวพบว่า ดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 5.56, กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว นอกจากนี้พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 6.62, กลุ่มอักษร a รองลงมาได้แก่ ดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 6.32 และ 6.21, กลุ่มอักษร a ตามลำดับ ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างของคุณภาพดินทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยนี้มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.10 พบว่า ดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 5.22, กลุ่มอักษร c ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าต่ำที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ในขณะที่ดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินใกล้เคียงกันกับดินของแปลงที่ใส่

ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างดังกล่าว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (pH = 5.61 และ 5.67, กลุ่มอักษร a และ ab ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 5.90, กลุ่มอักษร a ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุด



รูปที่ 4.10 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าว อายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

1.3) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน พบว่า ดินแปลงนาของเกษตรกร มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 4.79, กลุ่มอักษร b ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว นอกจากนี้พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเท่ากับ 5.96, กลุ่มอักษร a และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และดินแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก (pH = 5.91 และ 5.80, กลุ่มอักษร a เดียวกัน ตามลำดับ)

1.4) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ช่วงก่อนการเก็บเกี่ยวข้าว) ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินจากแปลงนาของเกษตรกรเท่ากับ 5.01, กลุ่มอักษร b ซึ่งต่ำที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว นอกจากนี้พบว่า ดินแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุดเท่ากับ 6.15, กลุ่มอักษร a หากแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

ความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยคอก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.06 และ 5.67, กลุ่มอักษร a เดียวกัน ตามลำดับ

จากการเก็บตัวอย่างดิน ในทุกช่วงกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา พบค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน เท่ากับ 4.79-6.62 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 ซึ่งพบว่า ดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.67-6.32 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดปานกลาง (ตารางผนวกที่ 5) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเปลี่ยนรูปจากอินทรีย์ของเศษซากฟาง ตอซัง และมูลวัว โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลทำให้เกิด (H^+) มีอิทธิพลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ในขณะที่ดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยเคมี มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 5.61-6.62 และ 5.67-6.21 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างของทั้ง 2 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยนี้ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 30, 70 และ 100 วัน แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดิน จากแปลงนาเกษตรกรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.79-5.56 ซึ่งต่ำกว่ากรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะคุณสมบัติดินเดิมของแปลงนาเกษตรกรมีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างในระดับต่ำเท่ากับ 5.76 (ตารางที่ 4.12) อันเกิดมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และ 46-0-0 และปุ๋ยเคมีสูตรต่างๆ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน จึงอาจเป็นสาเหตุให้สภาพดินของแปลงนาเกษตรกรมีสภาพความเป็นกรดถึงกรดจัด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสิทธิพร เกตุวรสุนทร (2546) ซึ่งรายงานว่า การเติมปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 ในแปลงนาปลูกข้าวมีผลทำให้ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดต่ำลงกว่าเดิม อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า ดินจากทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ทั้ง 4 ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตต่อต้นข้าว แต่อาจจะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์สารในแปลงนา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	6.32^{a}±0.11	5.90^{a}±0.10	5.80^{a}±0.13	5.67^{a}±0.19
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	6.62^{a}±0.10	5.61^{b}±0.01	5.91^{a}±0.10	6.15^{a}±0.15
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	6.21^{a}±0.22	5.67^{ab}±0.10	5.96^{a}±0.10	6.06^{a}±0.12
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	5.56^{b}±0.10	5.22^{c}±0.10	4.79^{b}±0.10	5.01^{b}±0.12

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

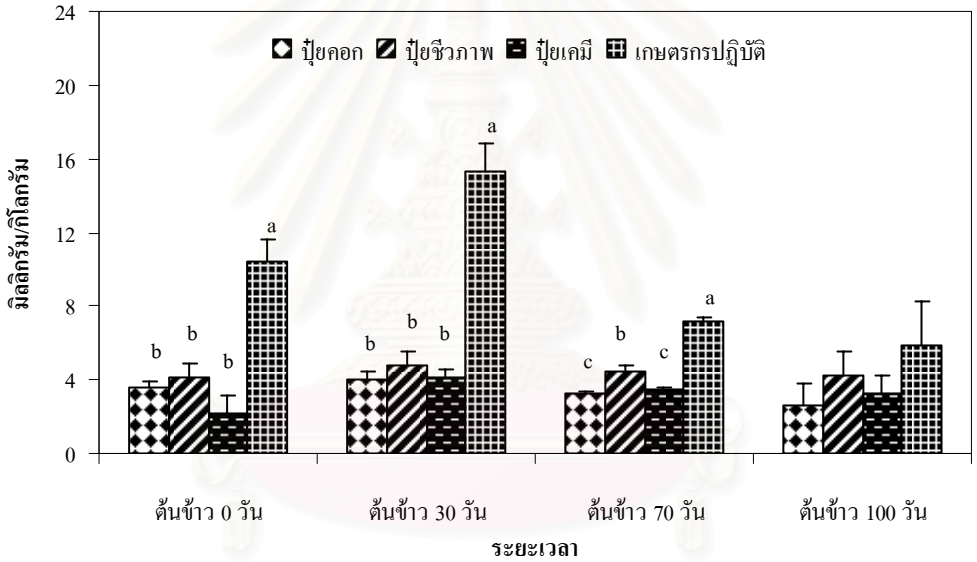
ตารางที่ 4.12 ค่าคุณสมบัติของดินแปลงนาเกษตรกรก่อนการทดลอง

พารามิเตอร์	หน่วย	ดินแปลงเกษตรกร
1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	-	5.76
2. อินทรียวัตถุ (OM)	เปอร์เซ็นต์	1.99
3. ไนเตรท (NO_3^-)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	6.45
4. ฟอสเฟต (PO_4^{3-})	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	28.54
5. อาร์เซนิก (As)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	9.36
6. แมงกานีส (Mn)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	271.48

2) ปริมาณอาร์เซนิก (As)

อาร์เซนิกเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และอาจเป็นสารก่อมะเร็งที่ผิวหนังและปอดได้ และถ้าเกิดการสะสมในดินในปริมาณมากอาจส่งผลให้พืชดูดดึงไปสะสมในส่วนต่างๆ เช่น ราก ใบ ตอซัง และส่วนของผลผลิตที่สามารถนำไปรับประทานได้ อย่างไรก็ตาม อาร์เซนิกสามารถถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยปริมาณของอาร์เซนิกในคุณภาพดินสามารถช่วยให้ทราบถึงแนวทางการจัดการเตรียมดินได้อย่างปลอดภัย และวางแผนการทำนาในฤดูปลูกถัดไปได้อย่างเหมาะสม ซึ่งปริมาณอาร์เซนิกในคุณภาพดินของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร แสดงได้ดังรูปที่ 4.11

2.1) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วันหรือช่วงก่อนการหว่านข้าวพบว่า ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ปริมาณอาร์เซนิกในดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 2.12 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพ (As = 3.63 และ 4.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณอาร์เซนิกสูงที่สุดเท่ากับ 10.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a และเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547) อย่างไรก็ตามดินจากแปลงเกษตรกรในพื้นที่มีค่าอาร์เซนิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวข้างต้น



รูปที่ 4.11 คุณลักษณะอนินทรีย์เคมีของปริมาณอาร์เซนิก (As) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนาในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

2.2) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน พบว่า ปริมาณอาร์เซนิกในดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 4.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b อย่างไรก็ตามมีค่าอาร์เซนิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ (As = 4.14 และ 4.83 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 15.30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และเป็นค่าอาร์เซนิกที่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวข้างต้น ดังรูปที่ 4.11

2.3) ปริมาณอาร์เซนิกในดินในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน พบว่า ดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี มีปริมาณอาร์เซนิกเท่ากับ 3.24 และ 3.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร c เดียวกัน ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าอาร์เซนิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามทั้ง 2 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยข้างต้นนี้ มีปริมาณอาร์เซนิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (As = 4.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b) และแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่ โดยเฉพาะดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณอาร์เซนิกสูงที่สุดเท่ากับ 7.21 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a ซึ่งการสะสมปริมาณอาร์เซนิกในดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และแปลงนาของเกษตรกรค่าปริมาณสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.4) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ช่วงก่อนเก็บเกี่ยวข้าว) ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่าอาร์เซนิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพบว่า ดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 5.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยคอก เท่ากับ 3.23, 4.24 และ 2.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งค่าของทั้ง 3 แปลงดังกล่าวไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม แสดงได้ดังรูปที่ 4.11

ปริมาณอาร์เซนิก สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.13 ซึ่งปริมาณอาร์เซนิกในดินของทุกช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวพบว่า ดินมีปริมาณเท่ากับ 2.12-15.30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยพบว่า ดินก่อนทำการทดลองของแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี มีปริมาณอาร์เซนิกเท่ากับ 3.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่ดินก่อนการทดลองของแปลงนาเกษตรกรมีค่าเท่ากับ 9.36 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งนี้ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วันหรือช่วงก่อนทำการหว่านข้าว ดินของแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงเกษตรกรมีปริมาณอาร์เซนิกเท่ากับ 3.63, 4.10, 2.12 และ 10.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อพิจารณาดินในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีพบว่า มีปริมาณอาร์เซนิกในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ลดลงจากช่วงก่อนทำการทดลอง เนื่องจากว่าการเก็บตัวอย่างดินมีการเก็บดินในตำแหน่งที่เปลี่ยนไปเล็กน้อย ซึ่งดินที่เก็บในตำแหน่งที่ต่างกันก็อาจมีการสะสมและตกค้างของอาร์เซนิกในปริมาณแตกต่างกัน จากการศึกษา

ครั้งนี้พบว่า ดินในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณอาร์เซนิกต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยอื่นๆ ในทุกช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน และในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยว) ของคุณภาพดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณอาร์เซนิก เท่ากับ 2.62 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ที่กำหนดไว้ให้มีอาร์เซนิกไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปุ๋ยคอกที่ใส่มีปริมาณอาร์เซนิกเป็นองค์ประกอบต่ำ และอาจมีการดูดดึงอาร์เซนิกของต้นข้าวไปสะสมยังส่วนต่างๆ ของต้นข้าว ซึ่งคุณภาพดินนาในกรรมวิธีของการใส่ปุ๋ยคอกสำหรับการทำนาสรุปได้ว่า มีปริมาณการสะสมและตกค้างของอาร์เซนิกในดินต่ำ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ของดินในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี พบว่า มีปริมาณอาร์เซนิกเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยเฉพาะดินแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีปริมาณอาร์เซนิกสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรม ซึ่งเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี พบว่า มีอาร์เซนิกเป็นองค์ประกอบสูง ทั้งนี้ปริมาณอาร์เซนิกในดินที่เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี อาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ที่อาศัยในดิน นอกจากนี้ปริมาณอาร์เซนิกในดินทั้ง 4 ช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดินในแปลงนาตามกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรพบว่า มีค่าการปนเปื้อนของอาร์เซนิกสูงกว่ากรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยอื่นๆ ซึ่งค่าการปนเปื้อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงได้ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีในแปลงนาของเกษตรกร ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ที่เกษตรกรใส่ในกิจกรรมการทำนาพบว่า มีค่าอาร์เซนิกเป็นองค์ประกอบที่สูงถึง 5.80 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยเฉพาะดินในแปลงนาของเกษตรกรที่มีปริมาณอาร์เซนิกสูงมากในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วันโดยมีค่าเท่ากับ 15.30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งค่าการปนเปื้อนของอาร์เซนิกอยู่ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินสำหรับการเกษตรที่กำหนดค่าการปนเปื้อนของอาร์เซนิกไว้ไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งปริมาณอาร์เซนิกในดินที่สูงอาจจะส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาข้อมูลการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรพบว่า มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในแปลงนาของเกษตรกรเมื่อต้นข้าวอายุ 25 วัน ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ปริมาณอาร์เซนิกของดินในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกร ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน พบว่า ค่าอาร์เซนิกลดลงจากช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน โดยพบว่าปริมาณอาร์เซนิกในดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าเท่ากับ 5.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ประกอบกับในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ในแปลงนาของเกษตรกรได้ทำการฉีดสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ซึ่งมีอาร์เซนิกเป็นองค์ประกอบอย่างไรก็ตามการลดลงของปริมาณอาร์เซนิกในดินนั้น อาจเกิดมาจากการดูดดึงโดยข้าวไปสะสมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ วัลนิภา หมั่นเพียรสุข (2547)

รายงานว่าต้นข้าวมีการดูดดึงอาร์เซนิกไปสะสมที่รากของต้นข้าว ตอซัง ฟาง และข้าวเปลือก โดยที่รากต้นข้าวมีปริมาณอาร์เซนิกสะสมสูงกว่าส่วนต่างๆ ของต้นข้าว

ตารางที่ 4.13 ปริมาณอาร์เซนิก (As) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณอาร์เซนิกในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	3.63^{b}±0.31	4.01^{b}±0.44	3.24^{c}±0.12	2.64±1.20
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	4.10^{b}±0.74	4.83^{b}±0.74	4.43^{b}±0.36	4.24±1.30
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	2.12^{b}±1.00	4.14^{b}±0.45	3.43^{c}±0.18	3.23±1.00
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	10.40^{a}±1.20	15.30^{a}±1.50	7.21^{a}±0.17	5.88±2.40

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

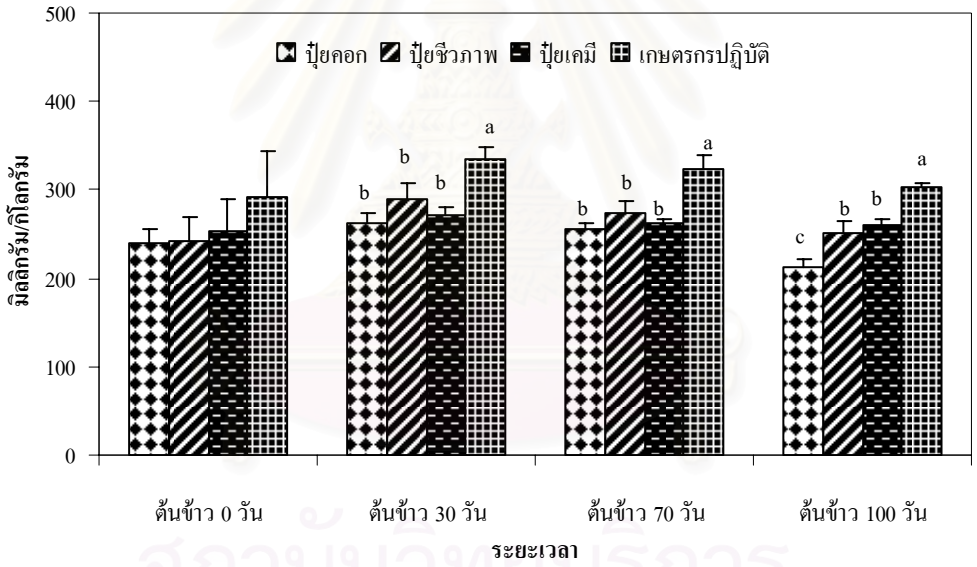
3) ปริมาณแมงกานีส (Mn)

แมงกานีสเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อพืช แต่ถ้าพืชรับเข้าไปในปริมาณที่มากจนเกินขีดจำกัดความเป็นพิษของพืชก็จะแสดงอาการออกมาได้เช่น การทำลายฮอร์โมนออกซิน (Auxin) ใน Japanese morning glory เป็นต้น หากร่างกายได้รับแมงกานีสมากเกินไปจะทำให้มีอาการทางระบบประสาท ทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง พูดจาวกวน นอกจากนี้ ปริมาณแมงกานีสในดินสามารถช่วยให้ทราบถึงแนวทางในการจัดการในการเตรียมดิน การใส่ปุ๋ยบำรุงดินได้อย่างปลอดภัย นอกจากนี้แมงกานีสมีส่วนช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง การสร้างคาร์โบไฮเดรต เมตาบอลิซึม และกระตุ้นเอมไซม์ให้ทำงาน (Clarkson และ Hanson, 1980) ซึ่งปริมาณแมงกานีสในดินของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวทั้ง 4 ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12

3.1) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนการหว่านข้าวของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของการเกษตรกร มีค่าแมงกานีสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพบว่า ปริมาณแมงกานีสมีการสะสมในดินแปลงนาของเกษตรกรมีค่าสูงที่สุดเท่า 291 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ดินแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยคอก เท่ากับ 254, 242 และ 241 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยบำรุงดินมีค่าแมงกานีส อยู่ในเกณฑ์

มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดไว้มีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 1,800 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547)

3.2) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน พบว่า ปริมาณแมงกานีสในดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 263 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b อย่างไรก็ตามมีค่าแมงกานีสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยชีวภาพ ที่มีการสะสมแมงกานีสเท่ากับ 272 และ 291 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับโดยทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติการใส่ปุ๋ยข้างต้นมีค่าแมงกานีส ในดินต่ำกว่า และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินแปลงนาของเกษตรกร ซึ่งมีค่าแมงกานีสสูงที่สุดเท่ากับ 334 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a แสดงได้ดังรูปที่ 4.12 โดยทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน มีค่าแมงกานีสอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม



รูปที่ 4.12 ค่าอนินทรีย์เคมีของปริมาณแมงกานีส (Mn) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

3.3) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน พบว่า ดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณแมงกานีสต่ำกว่ากรรมวิธีปฏิบัติการใส่ปุ๋ยอื่นๆ (Mn = 256 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยชีวภาพ (Mn = 262 และ 274 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุดเท่ากับ 324 มิลลิกรัม/

กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวข้างต้น โดยทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน มีค่าแมงกานีสอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

3.4) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าว) พบว่า ดินของแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก มีปริมาณแมงกานีสต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว (Mn = 212 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร c) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธีปฏิบัติอื่นๆ ในขณะที่ค่าแมงกานีสในดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพกับปุ๋ยเคมี (Mn = 251 และ 260 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ) มีค่าแมงกานีสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ พบว่า ดินของแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุดเท่ากับ 303 มิลลิกรัม/กิโลกรัม กลุ่มอักษร a และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับกรรมวิธีปฏิบัติการใส่ปุ๋ยอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย มีค่าแมงกานีสในดินอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

ปริมาณแมงกานีสในดินของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย สำหรับการทำนาอยู่ในช่วง 212-334 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (รูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.14) อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยพบว่า ค่าปริมาณการสะสมแมงกานีสอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,800 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งนี้พบว่า ดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณแมงกานีสต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ในทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดิน โดยมีปริมาณแมงกานีสลดลงจากช่วงต้นข้าว 0-100 วัน มากที่สุดคิดเป็น 12 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากปุ๋ยคอกมีแมงกานีสเป็นองค์ประกอบต่ำ และอาจเกิดจากการดูดดึงไปสะสมยังส่วนต่างๆ ของต้นข้าว เมื่อดินแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกถูกชะล้างด้วยน้ำทำให้มีการปนเปื้อนแมงกานีสในน้ำต่ำ ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ระบายลงทางน้ำคลองชลประทาน ดังตารางที่ 4.6 ในขณะที่ปริมาณแมงกานีสในดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน มีแมงกานีสเพิ่มขึ้นจากช่วงต้นข้าว 0 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ที่ใส่ในนาข้าวมีค่าแมงกานีสเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง ซึ่งเป็นผลทำให้แมงกานีสถูกน้ำชะล้างออกจากดินทำให้พบแมงกานีสปนเปื้อนในน้ำในปริมาณที่สูงตามไปด้วย และเมื่อทำการระบายน้ำออกจากแปลงนาอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ดินในแปลงกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่พบค่าแมงกานีสสะสมอยู่ในดินมากที่สุดเท่ากับ 290.87-334.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณการสะสมแมงกานีสที่สูงกว่ากรรมวิธีปฏิบัติในการใส่ปุ๋ยอื่นๆ และอาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของดินเดิมในแปลงนาเกษตรกรมีปริมาณแมงกานีสในดินสูงอยู่เดิมเท่ากับ 271 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อันเกิดมาจากการใส่ปุ๋ยเคมี ประกอบกับการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชมา

เป็นเวลานาน และการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ในแปลงนา ซึ่งมีแมงกานีสเป็นองค์ประกอบ มีผลทำให้เป็นการเพิ่มแมงกานีสลงไปในดินจึงทำให้แปลงนาที่ปฏิบัติโดยเกษตรกรในพื้นที่มีค่าการสะสมแมงกานีสเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ต้นข้าวมีการดูดดึงแมงกานีสไปใช้ประโยชน์ และแมงกานีสส่วนที่เกินความต้องการของต้นข้าว ก็เหลือตกค้างในดิน และปนเปื้อนอยู่ในน้ำในแปลงนา และหากมีการปนเปื้อนในน้ำสูง เมื่อทำการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีการสะสม และตกค้างของปริมาณแมงกานีสในดินไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอกช่วยลดการสะสมของแมงกานีสในดินให้ต่ำลง ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีแนวโน้มทำให้เกิดการสะสม และตกค้างของแมงกานีสในดินเพิ่มขึ้น ทำให้มีการปนเปื้อนของแมงกานีสในน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ถูกระบายลงในทางน้ำชลประทาน

ตารางที่ 4.14 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณแมงกานีสในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	240.67±14.34	263.10^{b}±10.00	256.43^{b}±6.15	211.78^{c}±10.24
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	242.33±27.34	290.57^{b}±16.00	274.03^{b}±12.42	251.00^{b}±13.87
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	254.27±34.34	272.30^{b}±7.51	261.67^{b}±5.17	259.59^{b}±6.91
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	290.87±52.53	334.00^{a}±14.84	324.00^{a}±15.14	303.07^{a}±3.98

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

4.2.3 คุณลักษณะที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ในดิน

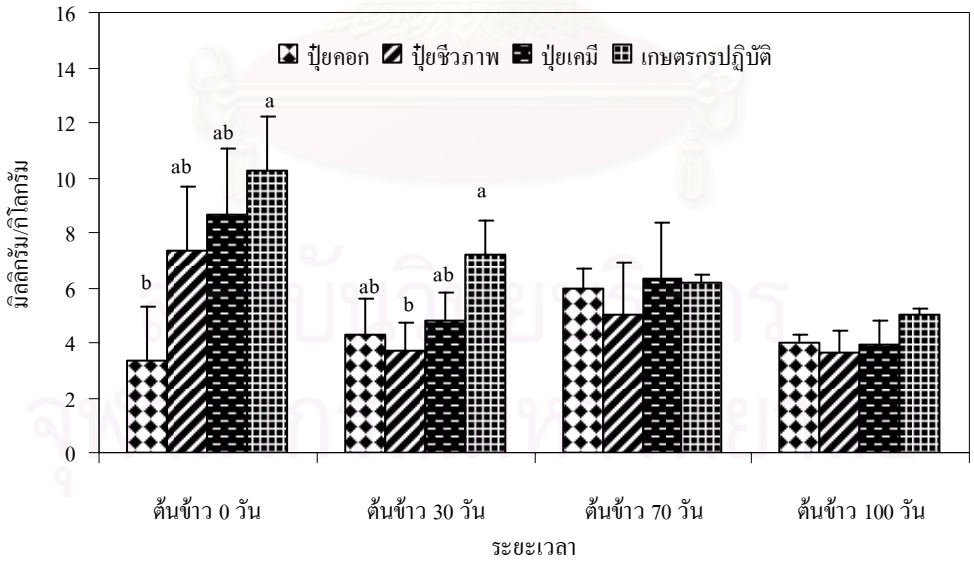
1) ปริมาณไนเตรท (NO_3^-)

ไนเตรทเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งเกิดจากกระบวนการ Nitrification อันเป็นการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สาร โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ไปอยู่ในรูปที่พืชสามารถดึงดูดไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตทางลำต้น ใบ ดอก จนถึงการให้ผลผลิตข้าว และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของคุณภาพดิน และน้ำ ซึ่งช่วยในการวาง

แผนการทำนาได้อย่างเหมาะสม จากผลการศึกษาปริมาณไนเตรทในดินของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.13

1.1) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าว 0 วัน (ช่วงก่อนทำการหว่านข้าว) แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 จากการเก็บตัวอย่างดินและน้ำวิเคราะห์พบว่า ดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณไนเตรทเท่ากับ 3.34 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b หากแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี (NO_3^- = 7.33^{ab} และ 8.67^{ab} มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ) สำหรับดินจากแปลงนาของเกษตรกรในพื้นที่มีปริมาณไนเตรทเท่ากับ 10.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a

1.2) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน (รูปที่ 4.13) พบว่า ปริมาณไนเตรทในดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ เท่ากับ 3.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าดังกล่าวต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรทไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมี (NO_3^- = 4.27^{ab} และ 4.79^{ab} มิลลิกรัม/กิโลกรัม, ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณไนเตรทเท่ากับ 7.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ



รูปที่ 4.13 ค่าสารประกอบอนินทรีย์เคมีของปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในคุณภาพดินสำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

1.3) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน พบว่าทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่มีปริมาณไนเตรทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยปริมาณไนเตรทในดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงนาที่เกษตรกรมีค่าเท่ากับ 5.98, 5.02, 6.36 และ 6.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.13)

1.4) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (ช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าว) แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 พบว่า ปริมาณไนเตรทในดินทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพบว่า ดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกรมีค่าไนเตรทเท่ากับ 4.03, 3.62, 3.90 และ 5.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.15 สามารถสรุปได้ว่าปริมาณไนเตรทในคุณภาพดินของทุกช่วงกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนามีค่าเท่ากับ 3.34-10.26 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยพบว่า กรรมวิธีปฏิบัติในการใส่ปุ๋ยคอกมีค่าไนเตรทในทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดินเท่ากับ 3.34-5.98 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณ ไนเตรทเพิ่มสูงขึ้น ในทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดินคิดเป็น 20.66 % ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณการใส่ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ปริมาณ 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ลงไปในแปลงนา ซึ่งปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีคุณสมบัติเป็นอินทรีย์สาร ซึ่งต้องใช้เวลาในการย่อยสลายให้เป็นอนินทรีย์สาร ทำให้เกิดปฏิกิริยาในดิน และเมื่อเกิดสภาวะที่เหมาะสม จึงทำให้มีการเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนเตรท โดยจุลินทรีย์ในดิน จากนั้นต้นข้าวจึงจะสามารถดูดดึง ไนเตรทไปใช้ประโยชน์ได้ อย่างไรก็ตามพบว่า ในช่วงต้นข้าวมีอายุ 100 วันหรือช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวข้าวไนเตรทมีปริมาณลดลงจากช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน ในทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ต้นข้าวมีความสามารถในการดูดดึงไนเตรทไปใช้ในการเจริญเติบโตทาง ลำต้น ใบ และการเพิ่มผลผลิตข้าว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ วัลนิภา หมั่นเพียรสุข (2547) ที่ศึกษาและพบว่า มีการสะสมปริมาณของไนโตรเจนในส่วนของฟางข้าว รากข้าว ลูกข้าว และเมล็ดข้าวเปลือก ในขณะที่ดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มของปริมาณไนเตรท ในดินไปในทิศทางเดียวกันคือ มีปริมาณไนเตรทในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ลดลงต่ำกว่าช่วงต้นข้าว 0 วัน (ช่วงก่อนทำการหว่านข้าว) เนื่องจากต้นข้าวมีการดูดดึงไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต นอกจากนี้ปริมาณไนเตรทในดินของแปลงนาเกษตรกรในช่วงต้นข้าว 0 วัน มีปริมาณสูง อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรทลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 30, 70 และ 100 วัน ซึ่งเป็นผลจากคุณสมบัติของปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และ 46-0-0 ที่ใส่ลงในแปลงนา ที่ละลายน้ำได้ง่าย จึงเป็นผลทำให้มีการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมตามไปด้วย ประกอบกับการที่ต้นข้าวดูดดึงไนเตรทไปใช้ประโยชน์ โดยระยะที่ต้นข้าวต้องการธาตุอาหารมาก

มี 2 ระยะคือ ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอก ทำให้ดินในแปลงนามีธาตุไนโตรเจนในรูปไนเตรทเพิ่มขึ้น ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรทำให้ธาตุอาหารในดินนาที่จำเป็นต่อพืชลดลงคือ ไนเตรทลดลง

ตารางที่ 4.15 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณไนเตรทในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	3.34^{b}±2.00	4.27^{ab}±1.30	5.98±0.71	4.03±0.25
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	7.33^{ab}±2.36	3.70^{b}±1.00	5.02±1.88	3.62±0.81
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	8.67^{ab}±2.40	4.79^{ab}±1.00	6.36±2.00	3.90±0.90
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	10.26^{a}±1.94	7.23^{a}±1.20	6.15±0.31	5.05±0.22

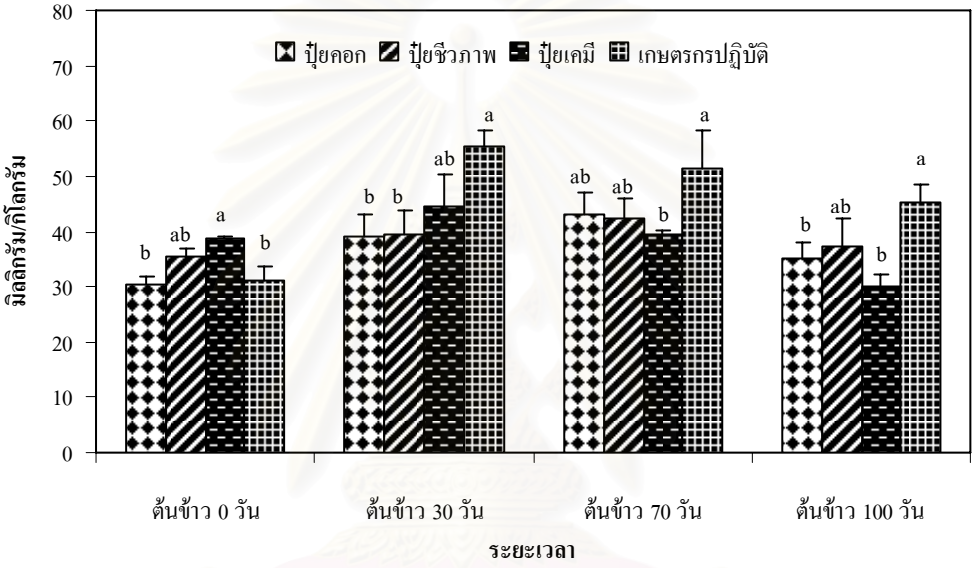
หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

2) ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-})

ฟอสเฟตเป็นปริมาณของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้ โดยฟอสเฟตจะถูกนำไปสร้าง Adenosinetriphosphate (ATP) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ช่วยในการสร้างดอก ผสมเกสร การติดเมล็ด สำหรับปริมาณฟอสเฟตในดินแต่ละช่วงเวลาจะช่วยในการวางแผนเกี่ยวกับธาตุอาหารในฤดูปลูกถัดไปได้อย่างเหมาะสม จากการศึกษาปริมาณฟอสเฟตในคุณภาพดินของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว พบว่า

2.1) ปริมาณฟอสเฟตในคุณภาพดินในช่วงต้นข้าว 0 วันหรือช่วงก่อนการหว่านข้าว (รูปที่4.14) พบว่า ในดินของแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสเฟตเท่ากับ 30.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b หากแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงนาของเกษตรกร และแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (PO_4^{3-} = 31.0^{b} และ 35.6^{ab} มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณฟอสเฟตเท่ากับ 38.9 มิลลิกรัมกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ

2.2) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน พบว่า ดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก มีปริมาณฟอสเฟตเท่ากับ 39.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี (PO_4^{3-} = 39.6 และ 44.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม,กลุ่มอักษร b และ ab ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณฟอสเฟตมีค่าท่ากับ 55.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a และไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทีระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.14 ค่าสารประกอบอนินทรีย์เคมีของปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในคุณภาพดิน สำหรับการทำนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 0, 30, 70 และ 100 วัน

2.3) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน แสดงดังรูปที่ 4.14 โดยพบว่า ปริมาณฟอสเฟตในดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว (PO_4^{3-} = 39.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b) อย่างไรก็ตาม ค่าฟอสเฟตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยคอก (PO_4^{3-} = 42.2 และ 43.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร ab เดียวกัน ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า ดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าฟอสเฟตสูงเท่ากับ 51.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าฟอสเฟตดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี ดังรูปที่ 4.14

2.4) คุณภาพดินในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน (รูปที่ 4.14) พบว่า ปริมาณฟอสเฟตในดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 30.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร b ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในนาข้าว อย่างไรก็ตามมีค่าฟอสเฟตไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก และปุ๋ยชีวภาพ (PO_4^{3-} = 35.0^{b} และ 37.3^{ab} มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ) ในขณะที่ปริมาณฟอสเฟตในดินจากแปลงนาของเกษตรกรมีค่าสูงเท่ากับ 45.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร a อย่างไรก็ตามมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับดินของแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ

ปริมาณฟอสเฟต ในคุณภาพดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่สำหรับการทำนาพบว่า ในทุกช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดินพบปริมาณการสะสมฟอสเฟตเท่ากับ 30.56-43.14, 35.59-42.21, 30.07-44.56 และ 31.04-55.36 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.14 และตารางผนวกที่ 6) อย่างไรก็ตาม ค่าปริมาณฟอสเฟตอยู่ในเกณฑ์ที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของต้นข้าว ดังตารางที่ 4.18 ซึ่งพบว่า ดินจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณฟอสเฟตในดินเพิ่มขึ้นจากช่วงต้นข้าว 0 วัน (ช่วงก่อนการหว่านข้าว) ทั้งนี้เพราะในแปลงนามีเศษซากพืช และปุ๋ยคอกที่ใส่ในกิจกรรมการทำนาเมื่อสลายตัวทำให้มีฟอสเฟตสะสมในดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีปริมาณฟอสเฟต ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน สูงกว่าในช่วงต้นข้าว 0 วัน เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพมีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ ในขณะที่ดินของกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมีในแปลงนา ในช่วงต้นข้าวอายุ 70 วันพบว่า ดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณฟอสเฟตต่ำกว่าทุกกรรมวิธีของการใส่ปุ๋ย เป็นผลทำให้มีผลผลิตต่ำตามไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.20 เนื่องจากในช่วงนี้ต้นข้าวอยู่ในระยะสร้างดอก ดังนั้นต้นข้าวจึงต้องการฟอสเฟตในปริมาณสูง เพราะเป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการสร้างดอก ผสมเกสร และติดเมล็ด โดยเฉพาะในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีค่าฟอสเฟตต่ำที่สุดเท่ากับ 30.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ที่ใส่ในแปลงนาในช่วงที่ต้นข้าวอายุ 60 และ 80 วัน มีปริมาณฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบในปุ๋ยต่ำมาก จึงทำให้มีปริมาณฟอสเฟตในดินลดลง และอาจเกิดจากการดูดดึงฟอสเฟตของต้นข้าวเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่า ช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน ของดินแปลงนาที่เกษตรกรปฏิบัติมีค่าปริมาณของฟอสเฟตสูง เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 20 : 4 กิโลกรัม/ไร่ หลังปลูกข้าว 25 วัน ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยสูตรดังกล่าวที่นำมาใช้พบว่า ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 มีค่าปริมาณของฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบที่สูง อย่างไรก็ตามคุณภาพดินแปลงนาของเกษตรกรมีค่าฟอสเฟตลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 70 และ 100 วัน เนื่องจากต้นข้าวมีการเจริญเติบโตตลอดระยะเวลาตั้งแต่ต้นข้าวงอกจนถึงออกรวง และมีการดูดดึงธาตุอาหารจากดินเพื่อใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะฟอสเฟตที่ข้าวนำไปใช้ในการสร้างดอก ผสมเกสร และติดเมล็ด ซึ่งจากผลการศึกษา

สามารถสรุปได้ว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และกรรมวิธีของเกษตรกร มีปริมาณฟอสเฟตที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว แต่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวมีการเติมฟอสเฟตในปริมาณที่ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยเป็นผลให้ได้ผลผลิตข้าวที่ต่ำ

ตารางที่ 4.16 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณฟอสเฟตในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)			
	ต้นข้าว 0 วัน	ต้นข้าว 30 วัน	ต้นข้าว 70 วัน	ต้นข้าว 100 วัน
1. ใส่ปุ๋ยคอก	30.56^{b}±1.22	38.95^{b}±4.26	43.14^{ab}±4.08	35.01^{b}±3.03
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	35.59^{ab}±1.39	39.63^{b}±4.20	42.21^{ab}±3.87	37.30^{ab}±5.00
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	38.86^{a}±0.30	44.56^{ab}±5.83	39.51^{b}±0.75	30.07^{b}±2.04
4. กรรมวิธีของเกษตรกร	31.04^{b}±2.56	55.36^{a}±3.00	51.34^{a}±7.00	45.31^{a}±3.36

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

นอกจากนี้ตามหลักที่ว่ามวลสารไม่มีการสูญหาย Mass input = Mass output หมายความว่า มวลสารที่เข้า เท่ากับ มวลสารที่ออก ซึ่งมวลสารที่เข้าคือ ปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรท และปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปฟอสเฟต ของปุ๋ยที่เติมลงในแปลงนา ซึ่งในแปลงนาประกอบด้วยดิน น้ำ และต้นข้าว สำหรับมวลสารที่ออกคือ ปริมาณไนเตรท และฟอสเฟตที่สะสมในดิน น้ำ และต้นข้าว ในการปลูกข้าว เมื่อใส่ปุ๋ยซึ่งเป็นการเติมธาตุอาหารลงในดินในแปลงนา ธาตุอาหารที่เติมลงไปจะถูกต้นข้าวนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนที่เหลือจะดูดซับอยู่ในดิน และบางส่วนที่เกินความต้องการของต้นข้าวละลายอยู่ในน้ำในแปลงนา จากการศึกษาพบว่า

กรณีการใช้ปุ๋ยคอกในการทำนา นอกจากจะเป็นการเติมธาตุอาหารหลักในดินนาปลูกข้าว ยังเป็นการเพิ่มจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ มีอินทรียวัตถุในดินสูงขึ้น และมีการปนเปื้อนของไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำในปริมาณที่ต่ำกว่าทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ย เนื่องจากปุ๋ยคอกมีสมบัติที่ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ ซึ่งผลการวิจัยพิสูจน์ยืนยันได้ว่า ดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ดังตารางที่ 4.10 สำหรับปริมาณไนเตรท และฟอสเฟตในดินพบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิมในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ดังตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16 ในขณะที่ปริมาณไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำของแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าต่ำกว่าทุกกรรมวิธีการใส่ปุ๋ย ในช่วงก่อนทำการระบายน้ำออกจากแปลงนา ดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

กรณีการใช้ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมีพบว่า ธาตุอาหารจากปุ๋ยที่เติมลงในดินนาปลูกข้าว จะถูกต้นข้าวดูดดึงนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และดินก็ไม่สามารถดูดซับธาตุอาหารนี้ไว้ได้หากมีปริมาณที่มากเกินไป เนื่องจากไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่าย จึงพบปริมาณไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำในแปลงนาสูง ซึ่งผลการวิจัยพิสูจน์ยืนยันได้ว่าดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี รวมทั้งแปลงนาของเกษตรกรที่ใช้ปุ๋ยเคมีมีปริมาณไนเตรทลดลงต่ำกว่าช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ดังตารางที่ 4.15 สำหรับปริมาณฟอสเฟตในดินของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และแปลงนาของเกษตรกรมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ดังตารางที่ 4.16 ในขณะที่ดินแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณฟอสเฟตในดินลดต่ำลงกว่าเดิม อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงนาของเกษตรกร มีค่าปริมาณการปนเปื้อนไนเตรท และฟอสเฟตในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน เพิ่มขึ้นจากเดิม ดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ดังนั้น การใช้ปุ๋ยคอกในการทำนา ช่วยทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น มีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น ทั้งยังช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ในดิน หากใส่ปุ๋ยคอกในปริมาณที่สูงไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน และน้ำ เพราะปุ๋ยคอกจะถูกย่อยอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ให้เป็นอนินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ต่อต้นข้าวอย่างช้าๆ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี ในการทดลองครั้งนี้ทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำสูง ก่อนระบายออกสู่แปลงนา เมื่อทำการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานอาจก่อให้เกิดแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของพืชน้ำ สาหร่าย และแพลงก์ตอนพืช ทั้งยังอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์การ Eutrophication ในแหล่งน้ำที่ทำการระบายลงไป อย่างไรก็ตามเกษตรกรควรลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าว เพื่อลดการปนเปื้อนของไนเตรท และฟอสเฟตสู่แหล่งน้ำ ทั้งยังช่วยลดต้นทุนการผลิตข้าว

4.3 สรุปผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ และคุณภาพดินจากการใช้ปุ๋ย

4.3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

จากการใช้ปุ๋ย 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร สามารถสรุปได้ดังนี้ ตารางที่ 4.17

1) ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ พบว่า คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยมีค่าสูง ดังตารางที่ 4.17 และเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากกิจกรรมในการเตรียมแปลงทำให้มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงในช่วงนี้ แต่พบว่าในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วันทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในแปลงนาลดลงจากเดิม

2) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) พบว่า กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอก มีค่าออกซิเจนละลายในน้ำเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน เช่นเดียวกับน้ำจากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม (ตารางที่ 4.17) ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงจากเดิม อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในการทำนา มีค่าออกซิเจนละลายไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำที่ระบายลงในน้ำคลองชลประทาน

ตารางที่ 4.17 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ								มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน
	ปุ๋ยคอก		ปุ๋ยชีวภาพ		ปุ๋ยเคมี		เกษตรกรปฏิบัติ		
	0 วัน	100 วัน	0 วัน	100 วัน	0 วัน	100 วัน	0 วัน	100 วัน	
SS	681.22*	ลดลง	992.67*	ลดลง	526.67*	ลดลง	946.67*	ลดลง	<30 มิลลิกรัม/ลิตร
DO	7.71	เพิ่มขึ้น	5.97	เพิ่มขึ้น	7.34	ลดลง	7.81	ลดลง	ไม่กำหนด
BOD	14.26	ลดลง	25.76*	ลดลง	24.86*	ลดลง	7.92	ลดลง	<20 มิลลิกรัม/ลิตร
pH	7.21	ลดลง	7.18	ลดลง	8.37	ลดลง	7.81	ลดลง	6.5-8.5
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.25 มิลลิกรัม/ลิตร
Mn	0.45	ลดลง	0.66*	ลดลง*	0.10	เพิ่มขึ้น	0.40	เพิ่มขึ้น*	< 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร
NO_3^-	0.33	เพิ่มขึ้น	0.39	เพิ่มขึ้น	0.31	เพิ่ม	0.39	เพิ่ม	ไม่กำหนด
PO_4^{3-}	0.44	ลงลง	0.32	เพิ่มขึ้น	0.28	เพิ่ม	0.25	เพิ่ม	ไม่กำหนด
EC	312	ลดลง	327	ลดลง	254	ลดลง	646	ลดลง	ไม่กำหนด

หมายเหตุ * หมายถึง มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

3) ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD) พบว่า คุณภาพน้ำในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในการทำนา มีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูง โดยเฉพาะน้ำในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี มีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 4.17) อย่างไรก็ตามในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยมีค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ลดลงจากเดิม เมื่อทำการระบายน้ำออกจากแปลงจึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

4) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) พบว่า ทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในการปลูกข้าว ทำให้น้ำมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานที่กำหนดค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำไว้ 6.5-8.5 เมื่อทำการระบายน้ำลงน้ำคลองชลประทานจึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

5) สำหรับปริมาณอาร์เซนิก (As) พบว่า ทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในแปลงนาไม่พบการปนเปื้อนของอาร์เซนิกในน้ำ เมื่อทำการระบายออกจากแปลงนาลงน้ำคลองชลประทานจึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

6) ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำ พบว่าในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน น้ำในแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ มีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ดังตารางที่ 4.17 เมื่อต้นข้าวอายุ 100 วันพบว่า กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอกในการทำนามีปริมาณแมงกานีสปนเปื้อนในน้ำลดลงจากเดิม ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีแนวโน้มการปนเปื้อนแมงกานีสในน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยเฉพาะน้ำจากแปลงเกษตรกรปฏิบัติ ก่อนระบายออกจากแปลงนามีปริมาณแมงกานีสสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำคลองชลประทานกำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เช่นเดียวกับน้ำในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพที่มีแมงกานีสในน้ำสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อทำการระบายน้ำออกจากแปลงอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้

7) ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำ พบว่า ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ค่าไนเตรทในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อต้นข้าวอายุ 100 วัน พบว่า น้ำในแปลงนาของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในการทำนา มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม แต่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอก มีปริมาณไนเตรทในน้ำต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรทในน้ำที่สูงอาจทำให้เกิดการแพร่พันธุ์ของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว และอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ Eutrophication

8) สำหรับปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำ พบว่า ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในการทำนามีปริมาณฟอสเฟตในน้ำที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.17) เมื่อต้นข้าวอายุ 100 วันพบว่า กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอกในแปลงปลูกข้าวมีปริมาณฟอสเฟตในน้ำลดต่ำลงจากเดิม ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ทำให้มีปริมาณไนเตรทในน้ำเพิ่มขึ้นสูงจากเดิม หากมีการระบายน้ำที่มีปริมาณฟอสเฟตในน้ำสูงเกินไปลงทางน้ำชลประทาน ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกันไนเตรท

9) ค่าความนำไฟฟ้า (EC) พบว่า ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน น้ำในแปลงนาของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย มีค่าความนำไฟฟ้าสูง โดยเฉพาะน้ำจากแปลงนาของเกษตรกรปฏิบัติ เมื่อต้นข้าวอายุ 100 วัน พบว่า ค่าความนำไฟฟ้าในน้ำของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามน้ำในแปลงของเกษตรกรยังมีค่าความนำฟ้าสูงกว่าทุกกรรมวิธีของการใส่ปุ๋ย ซึ่งค่าความนำไฟฟ้าในน้ำเป็นตัวบ่งชี้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ

4.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดิน สามารถสรุปได้นี้

1) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ในดิน พบว่า กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยคอก ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดินและมีปริมาณสูงกว่ากรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยอื่นๆ (ตารางที่ 4.18) สำหรับดินในแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมีมีอินทรียวัตถุในดินเพิ่ม เพราะในช่วงเตรียมแปลงทำการไถกลบตอซัง ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในการทำนา ทำให้อินทรียวัตถุในดินนาลดลง

ตารางที่ 4.18 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดิน

พารามิเตอร์	ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดิน								มาตรฐานดินใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม
	ปุ๋ยคอก		ปุ๋ยชีวภาพ		ปุ๋ยเคมี		เกษตรกรปฏิบัติ		
	0 วัน	100 วัน	0 วัน	100 วัน	0 วัน	100 วัน	0 วัน	100 วัน	
OM	1.96	เพิ่มขึ้น	1.67	เพิ่มขึ้น	1.93	เพิ่มขึ้น	2.03	ลดลง	ไม่กำหนด
pH	6.32	ลดลง	6.62	ลดลง	6.21	ลดลง	5.56	ลดลง	ไม่กำหนด
As	3.63	ลดลง	4.10*	เพิ่มขึ้น*	2.12	เพิ่มขึ้น	10.40*	ลดลง*	<3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
Mn	240.67	ลดลง	242.33	เพิ่มขึ้น	254.27	เพิ่มขึ้น	290.87	เพิ่มขึ้น	<1,800 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
NO_3^-	3.34	เพิ่มขึ้น	7.33	ลดลง	8.67	ลดลง	10.26	ลดลง	ไม่กำหนด
PO_4^{3-}	30.56	เพิ่มขึ้น	35.59	เพิ่มขึ้น	38.86	ลดลง	31.04	เพิ่มขึ้น	ไม่กำหนด

หมายเหตุ * หมายถึง มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

2) สำหรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินพบว่า ในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา ทำให้ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงจากเดิม ดังตารางที่ 4.18 แต่อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ลดลงไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว เพราะต้นข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่เป็นกรด

3) ปริมาณอาร์เซนิกในดินพบว่า ในช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน ดินในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพและแปลงนาของเกษตรกรปฏิบัติในการปลูกข้าว มีปริมาณอาร์เซนิกปนเปื้อนในดินที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ที่กำหนดให้มีอาร์เซนิกไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน พบว่า กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอก มีปริมาณอาร์เซนิกในดินลดลงจากเดิม (ตารางที่ 4.18) และมีค่าต่ำทุกกรรมวิธีของการใส่ปุ๋ย ในขณะที่ดินในแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมีมีปริมาณอาร์เซนิกเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยเฉพาะดินในแปลงที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม เช่นเดียวกับดินในแปลงของเกษตรกรปฏิบัติ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ที่อาศัยอยู่ในดินและคุณภาพสิ่งแวดล้อม

4) สำหรับปริมาณแมงกานีสในดินของกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอกในการทำนา พบว่า มีค่าแมงกานีสในดินลดลงในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในการทำนา ทำให้มีปริมาณแมงกานีสปนเปื้อนในดินเพิ่มขึ้นจากเดิม อย่างไรก็ตามพบว่า ดินของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย มีปริมาณแมงกานีสในดิน ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ที่กำหนดให้มีแมงกานีสไม่เกิน 1,800 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จึงไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

5) ปริมาณไนเตรทในดินพบว่า กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอก ช่วยเพิ่มปริมาณ ไนเตรทในดิน ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยอื่นๆ มีปริมาณไนเตรทในดินนาลดลงจากเดิม

6) ปริมาณฟอสเฟตในดินพบว่า กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีปริมาณฟอสเฟตในดินเพิ่มขึ้นในช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน มีเพียงกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมีที่ทำให้มีปริมาณฟอสเฟตในดินลดลงจากเดิม อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยในการทำนา มีปริมาณฟอสเฟตที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว

4.4 คุณภาพข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ)

4.4.1 คุณลักษณะที่เป็นอนินทรีย์เคมีของข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ)

1) ปริมาณอาร์เซนิก (As) ในข้าวสาร

ตารางที่ 4.19 แสดงปริมาณอาร์เซนิกในข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณอาร์เซนิกในข้าวสารค่อนข้างต่ำมากจนไม่สามารถตรวจหาค่าได้กล่าวคือ ปริมาณอาร์เซนิกที่ตรวจวัดได้จากเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (AAS) มีค่าต่ำกว่า 10 ไมโครกรัม/ลิตร ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผลของการวิเคราะห์คุณภาพดินพบปริมาณอาร์เซนิกสะสมอยู่ในดินทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน แสดงให้เห็นว่าไม่มีการสะสมอาร์เซนิกในเมล็ดข้าวสาร หากแต่อาจมีการสะสมหรือดึงดูดไปไว้ในส่วนต่างๆ เช่น ราก ตอซัง และฟางข้าวได้ ทั้งนี้สำนักคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้มีปริมาณการสะสมของอาร์เซนิก หรือปริมาณอาร์เซนิกสามารถปนเปื้อนในอาหารได้ไม่เกิน 2.6 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ประกอบกับรายละเอียดของประเทศต่างๆ ดังตารางที่ 4.20 ทั้งนี้เนื่องจากอาร์เซนิกเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษ (Toxic Element) ที่ก่อให้เกิดมลพิษ และเมื่อเกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในคุณภาพดิน และคุณภาพน้ำแล้วนั้น อาร์เซนิกจะเกิดการสะสมและถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ซึ่งอาร์เซนิกสามารถผ่านเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ รับประทาน และทาง

ผิวหนัง เมื่อได้รับติดต่อเป็นระยะเวลานานๆ ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ทำให้เกิดโรคผิวหนัง เกิดการสะสมที่ปอดทำให้เกิดอาการหลอดลมอักเสบ ปลายประสาทอักเสบ และอาจเป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนังและที่ปอดได้

ตารางที่ 4.19 ค่าปริมาณอาร์เซนิก (As) และแมงกานีส (Mn) ในข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ)

กรรมวิธีปฏิบัติ	ข้าวสาร (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		เปลือกข้าว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	อาร์เซนิก	แมงกานีส	อาร์เซนิก	แมงกานีส
1. ใส่ปุ๋ยคอก	ND	55.97±9.13	ND	84.63^{b}±2.20
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	ND	57.27±7.78	ND	96.13^{ab}±7.60
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	ND	57.37±9.83	ND	137.00^{a}±10.02
4. เกษตรกรปฏิบัติ	ND	58.83±8.61	ND	121.00^{ab}±23.76

หมายเหตุ ND หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้ คือ มีปริมาณต่ำกว่า 10 ไมโครกรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.20 ค่ามาตรฐานอาหารและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ของประเทศต่างๆ

ประเทศ	ชนิดอาหาร	อาร์เซนิกที่ยอมรับได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
เยอรมัน	พืชทุกชนิด	0
ญี่ปุ่น	พืชทุกชนิด	1.00-3.50
เคนยา	อาหารเฉพาะชนิด	0.10-5.00
สหรัฐอเมริกา	อาหาร ยาเครื่องสำอางที่เติมสี	<3.0
บราซิล	พืชเฉพาะชนิด	3.5

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2541

2) ปริมาณอาร์เซนิก (As) ในเปลือกข้าว (แกลบ)

จากการวิเคราะห์ปริมาณอาร์เซนิกในเปลือกข้าว (แกลบ) ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาพบว่า มีปริมาณอาร์เซนิกน้อยมากจนไม่สามารถหาค่าได้กล่าวคือ ปริมาณอาร์เซนิกที่ตรวจวัดได้จากเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (AAS) มีค่าต่ำกว่า 10 ไมโครกรัม/ลิตร เช่นเดียวกันกับปริมาณอาร์เซนิกในข้าวสาร แสดงได้ดังตารางที่ 4.19 ซึ่งคุณสมบัติของอาร์เซนิก สามารถเกิดการสะสมและถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ซึ่งถ้าหากมีการสะสม และตกค้างของอาร์เซนิกในเปลือกข้าวอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งชีวิตได้

เนื่องจากเปลือกข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมอื่นๆ เช่น เป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ได้ เป็นพลังงานเชื้อเพลิงให้ความร้อน และนำไปใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดิน ซึ่งเมื่อนำสัตว์หรือพืชนั้นมาบริโภคทำให้มีการสะสมของอาร์เซนิกในร่างกายของผู้บริโภค และหากมีการสะสมและตกค้างของอาร์เซนิกในปริมาณมากย่อมอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้

3) ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในข้าวสาร

ตารางที่ 4.19 ค่าปริมาณแมงกานีสในข้าวสารของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร โดยผลการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสพบว่า เมล็ดข้าวสารของกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในพื้นที่มีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุดเท่ากับ 58.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยคอก มีปริมาณแมงกานีสเท่ากับ 57.3, 57.4 และ 58.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 4 กรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย มีค่าแมงกานีส ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อย่างไรก็ตามปริมาณแมงกานีสในข้าวสารของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนามีปริมาณแมงกานีสใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 56.0-58.8 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงปริมาณแมงกานีสในระดับปกติที่พบในพืชทั่วไป 15-150 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Chaney, 1982) ดังตารางที่ 4.21 ซึ่งหากพืชดูดดึงแมงกานีสไปมากเกินขีดจำกัดความเป็นพิษของแมงกานีสแล้ว พืชก็จะแสดงอาการเป็นพิษได้เช่น การทำลายฮอร์โมนออกซิน (Auxin) โดยเฉพาะในพืชกลุ่ม Japanese morning glory เป็นต้น และหากร่างกายมนุษย์ได้รับสารแมงกานีสมากเกินไปจะไปทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งจะปรากฏอาการทางด้านจิตเช่น ประสาทหลอน พฤติกรรมแปรปรวน เมื่อได้รับสารติดต่อกันเป็นเวลานานจะมีอาการ กล้ามเนื้ออ่อนแรง พูดจาวกวน และปวดหัว เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ปริมาณโลหะหนักชนิดต่างๆ ในพืช ณ ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในพืช (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกิดพิษ
Cd	0.1-1	5-700
Cu	3.0-20	25-40
Fe	30-300	-
Mn	15-150	400-2,000
Ni	0.1-5	50-100
Pb	2.0-5.0	-
Zn	15-150	500-1,500

ที่มา: Chaney, 1982

4) ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในเปลือกข้าว

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าปริมาณแมงกานีสในเปลือกข้าว (แกลบ) ของทุกกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาพบว่า กรรมวิธีใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณแมงกานีสในเปลือกข้าวต่ำที่สุดเท่ากับ 84.63 มิลลิกรัม/กิโลกรัม กลุ่มอักษร b ซึ่งเป็นค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร (Mn = 96.1 และ 121 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, กลุ่มอักษร ab เดียวกัน ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณแมงกานีสในเปลือกข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 137 มิลลิกรัม/กิโลกรัม กลุ่มอักษร a ซึ่งค่าแมงกานีสที่ใกล้เคียงกับค่าแมงกานีสในเปลือกข้าวของกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร และปุ๋ยชีวภาพ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

อย่างไรก็ตาม แมงกานีสเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว นอกจากนี้พบว่า เปลือกข้าวของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีมีปริมาณแมงกานีสสูงกว่าทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติข้างต้น อาจเป็นผลมาจากมีการตกค้างของแมงกานีสในดิน และน้ำ ที่พืชดูดดึงมาสะสมยังส่วนต่างๆ ของต้นข้าว ซึ่งจากผลการวิเคราะห์แมงกานีสในดิน และน้ำ จากแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีพบว่า มีการตกค้างของแมงกานีสอยู่ในดิน และน้ำปริมาณสูง ข้อควรระวังคือ แมงกานีสเป็นโลหะหนักที่สามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร ซึ่งถ้าหากมีการสะสม และตกค้างของแมงกานีสในเปลือกข้าวในปริมาณที่มากเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งชีวิต และก่อให้เกิดโทษต่อ

พืช และผู้บริโภคได้เช่นเดียวกับอาร์เซนิก เนื่องจากเปลือกข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมอื่นๆ เช่นเป็นอาหารสัตว์ เป็นพลังงานเชื้อเพลิงให้ความร้อน และเป็นปุ๋ยบำรุงดินได้

4.5 ผลผลิตข้าว

ปริมาณผลผลิตข้าวที่ผลิตได้ของแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ย สำหรับการทำนา สามารถทำให้ทราบถึงความสามารถของปุ๋ยแต่ละชนิด และวิธีปฏิบัติในการทำนาแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนทำนาในฤดูถัดไป

ตารางที่ 4.22 แสดงปริมาณผลผลิตข้าว (คำนวณที่ระดับความชื้น 14 %) ของแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนา ในการศึกษาพบว่า ผลผลิตข้าวของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 496 กิโลกรัม/ไร่, กลุ่มอักษร b ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่ากรรมวิธีปฏิบัติในการใส่ปุ๋ยอื่นๆ อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับผลผลิตข้าวของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยคอก (ผลผลิตข้าว = 510 และ 604 กิโลกรัม/ไร่, กลุ่มอักษร b เดียวกัน ตามลำดับ) ในขณะที่ผลผลิตข้าวของแปลงนาเกษตรกรให้ผลผลิตข้าวเท่ากับ 758 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งมีผลผลิตข้าวใกล้เคียงกันกับแปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยคอก ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณธาตุไนเตรท และฟอสเฟต ของทั้ง 2 กรรมวิธีปฏิบัตินี้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น ใบ ดอก ช่วยในการสร้างดอก การติดเมล็ด และผลผลิตของข้าว

ตารางที่ 4.22 ปริมาณผลผลิตข้าว

กรรมวิธีปฏิบัติ	ผลผลิตข้าว (กิโลกรัม/ไร่)
1. ปุ๋ยคอก	604.28^{b}±52.06
2. ปุ๋ยชีวภาพ	509.53^{b}±42.05
3. ปุ๋ยเคมี	496.25^{b}±26.06
4. เกษตรกรปฏิบัติ	757.69^{a}±16.16

4.6 ค่าใช้จ่ายในแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสำหรับการทำนาข้าว

ค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนในการผลิตข้าวจากกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยบำรุงดินทั้ง 3 กรรมวิธีปฏิบัติ ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) ปุ๋ยเคมี และรวมทั้งกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร (ตารางที่ 4.23) พบว่า ค่าของการลงทุนในการผลิตทั้งหมดสำหรับการปลูกข้าวของกรรมวิธีปฏิบัติของแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าเท่ากับ 1,412 บาท/ไร่ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่ค่า

ของการลงทุนในการผลิตทั้งหมดของแปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงเกษตรกรปฏิบัติ มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเท่ากับ 1,802 1,824 และ 1,881 บาท/ไร่ ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อนำผลผลิตข้าวที่ได้ในแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติไปคิดคำนวณผลตอบแทน บนพื้นฐานการประกันราคาข้าวของรัฐบาลที่ราคา 14.3 บาท/กิโลกรัม (กรมการค้าภายใน, 2550) พบว่า แปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และแปลงของเกษตรกรมีรายได้รวมเท่ากับ 8,637 7,293 7,093 และ 10,839 บาท ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาผลตอบแทนต่อต้นทุนการผลิต B/C ratio พบว่า กรรมวิธีปฏิบัติของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าคุ้มทุนทางเศรษฐกิจสูงที่สุดเท่ากับ 5.12 (ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ = ผลตอบแทนต่อต้นทุนการผลิต มากกว่า 1 ถือว่าคุ้มทุน) เนื่องจากแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนการผลิตต่ำที่สุด เพราะปุ๋ยคอกที่ใช้ได้มาจากมูลวัวของเกษตรกรในพื้นที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยบำรุงดิน ทั้งนี้สารสกัดชีวภาพหอยเชอรี่ใช้เพื่อเร่งการเจริญเติบโต และฮอร์โมนไข่ใช้เพื่อเร่งการออกดอก ที่ฉีดพ่นในแปลงนา เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ และมีราคาถูกกว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เกษตรกรนำมาใช้ในการปลูกข้าว นอกจากนี้พบว่า ค่าแรงงานในการฉีดสารเคมีในแปลงนาของเกษตรกรมีค่าสูงกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยคอก แปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ และแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี เพราะทั้ง 3 แปลงทดลองนี้ ทำการฉีดสารสกัดชีวภาพหอยเชอรี่ และฮอร์โมนไข่ ที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อเกษตรกรผู้ใช้ จึงทำให้มีค่าจ้างแรงงานที่ถูกกว่าการฉีดสารเคมีในกิจกรรมการทำนา อันเป็นอันตรายต่อเกษตรกรผู้ใช้ และสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้นเช่น แมลงศัตรูพืชที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร

นอกจากนี้ กรณีที่เกษตรกรต้องซื้อปุ๋ยคอกมาใช้สำหรับการทำนา ในพื้นที่ทำนา ตำบลสามง่าม-ท่าโบสถ์ อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท โดยมีราคาขาย กิโลกรัมละ 1 บาท ฉะนั้นต้นทุนของปุ๋ยคอกจำนวน 1,000 กิโลกรัม คิดเป็นเงินเท่ากับ 1,000 บาท ดังนั้นทำให้มีค่าการลงทุนทั้งหมดเท่ากับ 2,412 บาท/ไร่ (ตารางที่ 4.23) และเมื่อนำผลผลิตที่ได้ 604 กิโลกรัม ไปขายในราคา 14.3 บาท/กิโลกรัม มีรายได้รวมเท่ากับ 8,637 บาท อย่างไรก็ตามหากพิจารณาผลตอบแทนต่อต้นทุนการผลิต B/C ratio พบว่า กรรมวิธีปฏิบัติของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกที่ต้องซื้อมีค่าคุ้มทุนทางเศรษฐกิจเท่ากับ 2.58 ซึ่งต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า หากต้องซื้อปุ๋ยคอกมาทำการใส่ในแปลงนาปลูกข้าว ซึ่งมีค่าการลงทุนที่สูง และให้ความคุ้มทุนต่ำ ฉะนั้นหากจะทำการใช้ปุ๋ยคอกต้องทำการลดอัตราการใส่ปุ๋ยคอกลงเพื่อความเหมาะสม หากแต่ปริมาณที่ลดลงต้องมีประสิทธิภาพให้ผลผลิตเท่าเดิม หรือไม่ลดลงจากเดิม

ตารางที่ 4.23 รายละเอียดด้านปัจจัยการลงทุนสำหรับการทำนาในแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน

รายการ	แปลงทดลองจังหวัดชัยนาท				
	ปุ๋ยคอก	ปุ๋ยคอก*	ปุ๋ยชีวภาพ	ปุ๋ยเคมี	เกษตรกร
ค่าเตรียมดิน (ต่อไร่)	300	300	300	300	300
ค่าเมล็ดพันธุ์ข้าวปทุมธานี (10 บ./กก.)	200	200	200	200	200
ค่าสูบน้ำเข้าแปลงนา	60	60	60	60	60
ค่าจ้างเก็บเกี่ยว	400	400	400	400	400
สารกำจัดหอยเชอรี่ กากชา (30 บ./กก.)	180	180	180	180	180
รวมต้นทุนคงที่ (Fix Cost: FC)	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140
ปุ๋ยคอก (1บ./กก.) กรณีต้องซื้อ	-	1,000	-	-	-
ปุ๋ยเคมี 46-0-0 (10.8 บ./กก.)	-	-	-	162	86
ปุ๋ยเคมี 16-20-0 (10 บ./กก.)	-	-	-	250	400
ปุ๋ยชีวภาพชนิดเม็ด (7.8 บ./กก.)	-	-	390	-	-
ฮอร์โมนไข่หอยเชอรี่ (20 บ./ลิตร)	0.4	0.4	0.4	0.4	-
สารชีวภาพหอยเชอรี่ (20 บ./ลิตร)	2	2	2	2	-
ยากำจัดเชื้อราโรคพืช (800 บ./ลิตร)	-	-	-	-	16
ยากำจัดเชื้อรา ฟูจีวัน (420 บ./ลิตร)	-	-	-	-	21
อาหารเสริม (350 บ./ลิตร)	-	-	-	-	17.5
ค่าจ้างหว่านปุ๋ย (50 บ./ไร่) หว่าน 3 ครั้ง	150	150	150	150	100
ค่าจ้างฉีดสารชีวภาพ (30 บ./ไร่) ฉีด 4 ครั้ง	120	120	120	120	-
ค่าจ้างฉีดสารเคมี (100 บ./ไร่) ฉีด 1 ครั้ง	-	-	-	-	100
รวมต้นทุนผันแปร (Variable Cost: VC)	272	1,272	662	684	741
รวมต้นทุนทั้งหมด (Total Cost: TC)	1,412	2,412	1,802	1,824	1,881
ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	604	604	510	496	758
รายได้รวม (ราคาข้าวเปลือก 14.3 บาท/กก.)	8,637	8,637	7,293	7,093	10,839
ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ไร่)	7,225	6,225	5,491	5,268	8,959
ผลตอบแทนต่อต้นทุนการผลิต (B/C ratio)	5.12	2.58	3.05	2.89	4.76

หมายเหตุ * หมายถึง กรณีที่เกษตรกรต้องซื้อปุ๋ยคอกมาใช้สำหรับการทำนา

อย่างไรก็ตามกรรมวิธีปฏิบัติของแปลงเกษตรกรในพื้นที่แปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี แปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีหากพิจารณาความปลอดภัยด้านสุขอนามัยของเกษตรกรที่ต้องสัมผัสกับปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดศัตรูที่ใช้ในกิจกรรมการทำนาข้าวพบว่า มีปริมาณอาร์เซนิก และแมงกานีสเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอาร์เซนิก ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งเมื่อได้รับติดต่อนานๆ ทำให้เกิดการสะสม และอาจเป็นอันตรายต่อเกษตรกรผู้ใช้ และหากต้นข้าวมีการดึงดูดไปสะสมในเมล็ดข้าวอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ สำหรับแมงกานีสมีผลต่อระบบประสาท และกล้ามเนื้อ ซึ่งจะมีเรื่องของค่าใช้จ่ายในด้านการรักษาพยาบาลเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับการผลิตข้าวในกรรมวิธีของการใส่ปุ๋ยคอก ซึ่งไม่มีการใช้สารเคมีใดๆ นั้น สามารถกล่าวได้ว่า ผลผลิตข้าวที่ได้ปลอดสารพิษหรือข้าวไร้มลพิษ และหากได้มีการส่งเสริมและพัฒนาเป็นสินค้าเกษตรอินทรีย์และปลอดภัยจากสารพิษ ผลผลิตข้าวจะมีราคาสูงขึ้นมากกว่าข้าวที่มีการใช้สารเคมีในการปลูกถึงร้อยละ 30 (สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550) หรือคิดเป็นราคา 18.6 บาท/กิโลกรัม (จากราคาประกันปกติ 14.3 บาท/กิโลกรัม) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตข้าวในแต่ละกรรมวิธีปฏิบัติของการใส่ปุ๋ยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) แปลงที่มีการใส่ปุ๋ยคอกได้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 604 กิโลกรัม/ไร่ ทำนาปีละ 2 ฤดู จะได้ผลผลิตเท่ากับ 1,208 กิโลกรัม/ปี ขายราคาข้าวอินทรีย์ 18.6 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นรายได้เท่ากับ 22,469 บาท/ปี

2) แปลงที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพได้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 510 กิโลกรัม/ไร่ ทำนาได้ปีละ 2 ฤดู จะได้ผลผลิตเท่ากับ 1,020 กิโลกรัม/ปี ขายราคาข้าวปกติ 14.3 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นรายได้เท่ากับ 14,586 บาท/ปี

3) แปลงที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีได้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 496 กิโลกรัม/ไร่ ทำนาปีละ 2 ฤดู จะได้ผลผลิตเท่ากับ 992 กิโลกรัม/ปี ขายราคาข้าวปกติ 14.3 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นรายได้เท่ากับ 14,186 บาท/ปี

4) กรรมวิธีปฏิบัติของแปลงนาเกษตรกรได้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 758 กิโลกรัม/ไร่ ทำนาปีละ 2 ฤดู จะได้ผลผลิตเท่ากับ 1,516 กิโลกรัม/ปี ขายราคาข้าวปกติ 14.3 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นรายได้เท่ากับ 21,679 บาท/ปี

นอกจากนี้จากการรวบรวมสถิติผู้เจ็บป่วย และเสียชีวิตเนื่องจากได้รับพิษจากสารอันตรายด้านเกษตรกรรม ปี 2548 ของสำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข พบว่า มีผู้เจ็บป่วย 1,321 ราย และผู้เสียชีวิต 9 ราย (กรมควบคุมโรค, 2548) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้

สามารถสรุปได้ว่า แปลงนาที่มีการใช้ปุ๋ยคอกให้ผลตอบแทนรายได้รวมต่อปีจากการทำนามากที่สุด คิดเป็นรายได้ต่อปีเท่ากับ 22,469 บาท/ปี รองลงมาคือ แปลงนาของเกษตรกรที่มีการปฏิบัติในพื้นที่แปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพ และแปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี คิดเป็นรายได้ต่อปีเท่ากับ 14,586, 14,186 และ 21,679 บาท ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาแปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยคอก สามารถช่วยเพิ่มธาตุอาหาร และอินทรียวัตถุให้แก่ดิน และเป็นการปลูกข้าวอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อเกษตรกรผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ในขณะที่การปลูกข้าวที่ใช้ปุ๋ยเคมี อาจมีการปนเปื้อนหรือการสะสมตกค้างของโลหะหนักเช่น อาร์เซนิก และแมงกานีสเป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อเกษตรกรผู้ใช้ และคุณภาพสิ่งแวดล้อม และอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลที่เกิดจากการเจ็บป่วยจากการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยบำรุงดินต่อคุณภาพดินและน้ำสำหรับการทำนา ซึ่งเป็นการใช้ปุ๋ยบำรุงดิน 3 ชนิดได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) และปุ๋ยเคมี รวมทั้งกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในอำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท จากการวิเคราะห์คุณภาพดิน คุณภาพน้ำ เมล็ดข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) การใส่ปุ๋ยคอกในแปลงนาปลูกข้าว ในอัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ พบว่า ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้นคือ มีปริมาณไนเตรท ฟอสเฟต และอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยคอกไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมอื่นๆ อาทิ ลดการสะสมและตกค้างของอาร์เซนิกและแมงกานีสในดินนา ทั้งยังมีการปนเปื้อนไนเตรท ฟอสเฟต และแมงกานีสในน้ำในแปลงนาต่ำที่สุด ก่อนระบายน้ำออกจากแปลงนาลงทางน้ำชลประทาน

2) การใส่ปุ๋ยชีวภาพในแปลงนาปลูกข้าว ในอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ พบว่า ทำให้ดินเสื่อมโทรมลงคือ ทำให้เกิดการสะสม และตกค้างของอาร์เซนิก และแมงกานีสในดินนาเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำ รวมทั้งแมงกานีสในแปลงนาเพิ่มขึ้นก่อนระบายน้ำออกจากแปลงลงทางน้ำชลประทาน ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3) การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในแปลงนาปลูกข้าว ในอัตรา 25 และ 15 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ พบว่า ทำให้ดินนาเสื่อมสภาพลงคือ ทำให้เกิดการสะสมและตกค้างของอาร์เซนิก และแมงกานีสในดินนาเพิ่มขึ้น ทั้งยังทำให้เกิดการปนเปื้อนของแมงกานีส ไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำในแปลงนาเพิ่มขึ้น ก่อนระบายลงทางน้ำชลประทาน ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

4) กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในการทำนาพบว่า ทำให้เกิดการสะสมและตกค้างของอาร์เซนิก และแมงกานีสในดินนาที่สูงที่สุด โดยเฉพาะอาร์เซนิกในดินนาสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานดินที่ใช้ประโยชน์การอยู่อาศัยและเกษตรกรรม รวมทั้งมีการปนเปื้อนของแมงกานีส ไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำในแปลงนาเพิ่มขึ้น ก่อนทำการระบายลงทางน้ำชลประทาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม

5) ข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) ของทุกกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยในการทำนา ไม่พบการสะสมของอาร์เซนิกในข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) ทั้งนี้กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอก มีการสะสม

แมงกานีสในข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) ต่ำที่สุด ในขณะที่กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกรในการทำนามีการสะสมแมงกานีสในข้าวสาร และเปลือกข้าว (แกลบ) มีค่าใกล้เคียงกัน และสะสมแมงกานีสมากกว่ากรรมวิธีปฏิบัติอื่นๆ รองลงมากรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ

6) การลงทุนในการผลิตทั้งหมดสำหรับการปลูกข้าวของกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอกมีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 1,412 บาท/ไร่ ในขณะที่ค่าการลงทุนในการผลิตทั้งหมดของแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเท่ากับ 1,802 1,824 และ 1,881 บาท/ไร่ ตามลำดับ และกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยคอกมีผลตอบแทนต่อต้นทุนการผลิต (ความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์) สูงที่สุดเท่ากับ 5.12 รองลงมาคือ กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี เท่ากับ 4.76, 3.05 และ 2.89 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ในกิจกรรมการทำนา ควรมีการใช้อย่างต่อเนื่อง เพราะการใช้ปุ๋ยคอกในการทำนาจะสามารถทำให้คุณภาพดิน และคุณภาพน้ำสำหรับการทำนาดีขึ้น ซึ่งอาจจะสามารถเห็นผลชัดเจนขึ้นในฤดูปลูกถัดไป ทั้งนี้เกษตรกรควรทำการไถกลบตอซังในช่วงเตรียมแปลงปลูกเพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหารหรืออินทรียวัตถุให้แก่ดิน

2) หากมีการนำแนวคิดจากการศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิตข้าว สำหรับการปลูกข้าวในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยคอกในฤดูปลูกถัดไป ควรลดอัตราการใส่ปุ๋ยคอกลงเพื่อเปรียบเทียบหาอัตราปุ๋ยคอกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว อันเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตในกรณีที่เกษตรกรจำเป็นต้องซื้อปุ๋ยคอก แต่ยังสามารถให้ผลผลิตข้าวไม่ต่ำลงจากเดิม

3) สำหรับแปลงนาที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าว ควรแนะนำให้เกษตรกรลดการใช้สารเคมีลง หันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) แทนปุ๋ยเคมี ทีละน้อย จนกระทั่งไม่ต้องใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าว เพื่อความปลอดภัยของเกษตรกรผู้ใช้ อีกทั้งเป็นการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

4) จากผลของการใส่ปุ๋ยคอกสำหรับการทำนาพบว่า ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในดิน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรส่งเสริมสนับสนุนการใช้ปุ๋ยคอกในชุมชน ทั้งยังช่วยส่งเสริมราคาข้าวอินทรีย์ให้มีราคาที่สูงกว่าราคาข้าวปกติอันเป็นสร้างแรงจูงใจของเกษตรกรในการทำนาข้าว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กนกพร ชัยวุฒิกุล. 2544. **ผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ต่อองค์ประกอบทางเคมีและผลผลิตของข้าวพันธ์ขาวดอกมะลิ 105**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมการค้าภายใน. 2550. **ราคาข้าว** [Online]. แหล่งที่มา: www.dit.go.th [2550, กันยายน 22].

กรมควบคุมมลพิษ. 2540. **เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศ**ไทย. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **อาร์เซนิก (Arsanic).** ฝ่ายศูนย์ข้อมูลสารอันตรายและอนุสัญญากองจัดการสารอันตรายและกากของเสียอันตราย, กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **รายงานสถานการณ์มลพิษในประเทศไทย**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. **แนวทางการลดและป้องกันมลพิษจากการทำนาข้าว**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมโรค. 2548. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค 2548**. สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2543. **พันธุ์พืชข้าวหอมปทุมธานี 1** [Online]. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/germplasm/rice4.htm [2550, พฤษภาคม 21]

กรมวิชาการเกษตร. 2547. **ปุ๋ยชีวภาพ**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ระบบการจัดการคุณภาพข้าวสำหรับเกษตรกร (GAP).** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2550. **ราคาขายส่งข้าว** [Online]. แหล่งที่มา: www.doa.go.th [2550, พฤษภาคม 21]

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2522. **เคมีของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. คณะสาธารณสุข มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ. 111 น.

กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2530. **สารหนู**. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 40 น.

เกษม จันทรุจิรา. 2530. การใช้ปุ๋ยคอกปรับปรุงบำรุงดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **วารสารพัฒนาที่ดิน** 24 (262): 45-50.

คณะกรรรมการปทานุกรมปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาทั่วไป.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2527. มลพิษทางน้ำ [Online]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/Info_serv/reg_envi_12.html [2550, ธันวาคม 3]

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 9. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2529. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ. 152 น.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2536. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดาวรุ่ง สังข์ทอง. 2539. **โลหะหนักบางชนิดและธาตุอาหารหลักในปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และดินผสม.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดุสิต มานะจุติ. 2535. **ปฐพีวิทยาทั่วไป**. ภาควิชาปฐพีวิทยาและอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์. 2543. **ดินใช้ปลูกข้าว.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ:เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร กำแพงแสน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2547. กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน [Online]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html#s1 [2550, กันยายน 19]

ปรัชญา ธัญญาดี, เมธี มณีวรรณ และพิรัชฌา วาสนากุล. 2540. ความรู้เรื่องอินทรียวัตถุในดิน, น. 1-13. ***ใน*** **คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ**. กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2539. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ**. พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 318 น.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. **ปุ๋ยอินทรีย์**. สำนักพิมพ์บ้านและสวน. กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ์ โอสถสภา. 2528. **หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย**. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ. 274 น.

ยุพาพร ชินอรุณชัย. 2524. สาเหตุน้ำเสียจากการเกษตรกรรม. **ในเอกสารประกอบการสัมมนา "วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม" เรื่องน้ำและปัญหาน้ำเสียในประเทศไทย (2)**, น. 5.5.1-5.5.14. 23-26 กุมภาพันธ์ 2524. ณ ภาควิชาอนุรักษ์วิทยาลัย คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลักขณา กิตสวัสดิ์, นิกูล รังสิชล และชัยรัตน์ จิตสะอาด. 2540. ผลของปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยคอกต่อปริมาณไนเตรทในผักกวางตุ้ง. **วารสาร วิชาการเกษตร** 10 (1): 85-93.

วัลนิภา หมั่นเพียรสุข. 2547. **ธาตุอาหารและธาตุพิษบางชนิดที่ตกค้างในดินและลูกข้าว ภายหลังการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิโรจน์ วจนานวัช. 2528. **อิทธิพลของชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดิน และผลผลิตของพืชในระบบข้าว – ถั่วเหลืองที่ปลูกในชุดดินลำปาง**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2527 ก. ปุ๋ยคอก**. วารสารดินและปุ๋ย** 6: 308 – 323.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 327 น.

สมคิด ดิสถาพร. 2549. **เกษตรอินทรีย์มาตรฐานสากลประเทศ**ไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2535. **ปุ๋ยกับการพัฒนาการเกษตร**. ที่ระลึกครบรอบวันเกิด 60 ปี ศ.ดร. สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิทธิพร เกตุวรสุนทร. 2546. **ผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภัทตรา นุชนารถ. 2545. **ผลของปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยเคมีต่อคุณสมบัติของดินที่ใช้ปลูกท้อและผลผลิตของท้อพันธ์ EarliGrande**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรพล จัตุพร. 2538. **อิทธิพลของปุ๋ยคอก ปุ๋ยเคมี และสารชะลอการเจริญการเติบโตที่มีต่อผลผลิตและองค์ประกอบข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกบนนาดินทราย**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัญฑิต ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรพล จัตุพร, เดชา ตุนา, นิกูล รังสิชล และจันทนา สรสิริ. 2542. การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวสายพันธุ์ดีเด่นไม่ไวต่อแสงในภาคกลาง, น. 210-231. ใน **ผลงานวิจัยประจำปี 2542**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. **การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรของประเทศไทย ระดับประเทศ** พ.ศ. 2548 [Online]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_go_th/landused.xls [2550, กันยายน 22]

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. **ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าว** [Online]. แหล่งที่มา: www.oae.go.th/Statitit/Export/130 1RI.xls [2550, กันยาน 20]

สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2550. **ราคาข้าวอินทรีย์** [Online]. แหล่งที่มา: www.acfs.go.th [2550, สิงหาคม 3]

อนนท์ สุขสวัสดิ์, พนัส สุวรรณธาดา และดิเรก อินตาพรม. 2537. อิทธิพลของปริมาณและระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว. **วารสารวิชาการเกษตร** 12(2): 94-101.

อภิวรรณ จุลนิมิ. 2549. **การตอบสนองของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1 ต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่ปลูกในชุดดินสระบุรีที่เคยมีการใส่ปุ๋ยเคมีสำหรับข้าวอย่างต่อเนื่อง**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น. 2527. **เรื่องของข้าว**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อารีรัตน์ ดอกเข็ม. 2548. **ศึกษาผลการตกค้างของปุ๋ยเคมีที่ใส่ในชุดดินสระบุรีที่มีต่อข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อินทรา หาญพงษ์พันธ์. 2534. **เคมีทั่วไป (สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์)**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 485 น.

อุดร จารุรัตน์ และ จารุรัตน์ วรนิสรากุล. 2542. **คุณภาพน้ำ**. วิศวกรรมประปาและการจัดการน้ำเสีย เล่มที่ 1, 2542 (พิมพ์ครั้งที่ 1), เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ภาษาอังกฤษ

Azizur, M., Rahman, Hasegwa H., Mahfuzur Rahman M., Arifur Rahman M. and M. AM. Miah. 2007. **Chemosphere**. 920-1192

Chaney, R.L. 1982. Fate of toxic substances in sludge appland. Proc. Inter. Symp. **Land Application of Sewage Sludge**. Tokyo, Japan. P.259-324.

Chaney, R.L., Li, Y., Brown, S.L., Homer, F.A., Malik, M., Angle, J.S., Baker, J.M., Reeves, D. and Chin, M. 2001. Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems : approaches and progress, pp. 129-158. *In* N. Terry and G. Banuelos, eds. **Phytoremediation of Comtaminated Soil and Water**. Lewis Publ. Washing, D.C.

Chen, Z.S. 1992. **Metal contamination of flooded soils, rice plants and surface water in Asia**, pp. 85-109, *In* D.C. Adriano, eds. **Biogeochemistry of Trace Meters**, Lewis Publ., London.

Clarkson, D. T., and Hanson, J. B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. **Ann. Res. Physiol** 54: 239-298.

Dalton, J.D., Russell, G.C. and Sieling, D.H. 1952**.** Effect of organic matter on phosphate availability. **Soil Sci**. 73:173-181.

Davis, Brian E. 1980. **Applied soil trace elements**. Great Britain: John Wiley and Sons.

El-Baruni, B. and Olsen, S.R.. 1979. Effect of manure on Solubility of phosphorus in calcareous soil. **Soil Sci**. 128:219-225.

Hasit, Y. ed. 1986. Sludge treatment, utilization and disposal. **J.WCPF.** 58: 5103-515.

Honya. 1975. Significance of soil nitrogen in rice cropping (in Japanese). **J. Sci. Soil Manure, Japan**. 46 (7): 247-250.

Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, J.R. and R.I. Unwin. 1999. Heavy metal contents of livestock feed and animal manures in England and Wales. **Bioresource Technology** 70: 23-31.

Orawan Siriratpiriya, Vigerust, E., and Selmer-Olsen, A.R. 1985. Effect of temperature and heavy metal application on metal content in lettuce. **Scientific reports of the Agricultural university of Norway** 64: 29.

Parker, S.P. 1993. **McGraw-Hill Encyclopedia of Chemistry** 2nd ed.,McGraw-Hill, Inc., U.S.A. 1236 p.

Smith, J.L., Paapendick, R.I., Bezdicek, D.F. and Lynch, J.M. 1992. Soil organic matter dynamics and crop residue management, pp. 65-94. *In* F.B. Metting, Jr.(ed.) **Soil Microbial Ecology**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Stevenson, F.J., 1982. **Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reaction**. Wiley, New York. 443 p.

Struthers, P.H. and Sieling, D.H. 1950. Effect of organic anions on phosphate precipitation by iron and aluminum as influenced by pH. **Soil Sci**. 39:205-213.

Wong, J. W. C., Fang, KK. Ma. and Cheung, C. 1999. Utilization of manure compost for Organic Farming in Hong kong. **Bioresource Technology** 67: 43-46.

USEPA. 1996A. **Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices**. Method 3052, Washington D.C., USA.

USEPA. 1998. **Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts**. Method 3015A, Washington D.C. USA.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางผนวกที่ 1 แสดงกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ของการปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา

ตารางผนวกที่ 2 แสดงกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) ขายตามท้องตลาด ของการปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา

ตารางผนวกที่ 3 แสดงกรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมี ของการปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา

ตารางผนวกที่ 4 แสดงกรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร บ้านทับโต ตำบลสามง่าม-ท่าโบสถ์ อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ของการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา

ตารางผนวกที่ 5 ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ตารางผนวกที่ 6 ระดับของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

ตารางผนวกที่ 9 ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved: BOD)

ตารางผนวกที่ 10 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในน้ำ

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำ

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำ

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำ

ตารางผนวกที่ 14 ค่าความนำไฟฟ้า (EC)

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM) ในดิน

ตารางผนวกที่ 16 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดิน

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณอาร์เซนิก (As) ในดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดิน

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-)ในดิน

ตารางผนวกที่ 20 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในดิน

ตารางผนวกที่ 21 ผลผลิตข้าวเปลือก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 1 กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก) ของการปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา

วันที่	กิจกรรม	ระยะ/อายุข้าว	รายละเอียด	อัตราส่วน/ไร่
1. กรรมวิธีปฏิบัติการปลูกข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก)				
	เตรียมแปลงปลูกใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1		1. ไถดะ ทิ้งไว้ 7-10 วัน 2. ไถแปร เอาน้ำเข้าแช่ขี้ไถ 3. คราด 1-2 ครั้ง ปรับระดับผิวดินทำเทือก 4. ใส่สารกำจัดหอยเชอรี่ ชื่อสามัญ ซาโปนิน 5. ใส่ปุ๋ยคอก (มูลวัว) แล้วไถกลบ	6 กก./ไร่ 500 กก./ไร่
4 ธ.ค. 49	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 1**	**0 วัน**	**เก็บตัวอย่างดินและเก็บตัวอย่างน้ำก่อนระบายน้ำออก**	
5 ธ.ค. 49	หว่านข้าวนาตม	0 วัน	1. หว่านข้าวให้สม่ำเสมอ 2. คราดกลบเบาๆ อย่าให้น้ำท่วมแปลงนาหลังการหว่าน	20 กก./ไร่
10 ธ.ค. 49	ผันน้ำเข้า	5 วัน	1. ข้าวมีลำต้นสูงประมาณ 7-10 ซม. ให้ระบายน้ำเข้า ประมาณ 4-6 ซม. 2. เมื่อต้นข้าวโตให้เพิ่มระดับน้ำ แต่อย่าให้น้ำท่วมต้นข้าวระดับน้ำไม่เกิน 10 ซม.	
25 ธ.ค. 49	กำจัดวัชพืช โรคพืชและศัตรูข้าว ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 หลังหว่านข้าว 20 วัน	20 วัน	1. สารชีวภาพหอยเชอรี่หมักเพื่อเร่งการเจริญเติบโต 2. หว่านปุ๋ยคอก (มูลวัว)โดยทั่วแปลง 3. รักษาระดับน้ำ 5-10 ซม.	50 มล./น้ำ 20 ลิตร 300 กก./ไร่
4 ม.ค. 50	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 2**	**30 วัน**	**1.เก็บตัวอย่างดินและเก็บตัวอย่างน้ำก่อนระบายน้ำออก**	
3 ก.พ. 50	กำจัดวัชพืช โรคพืชและศัตรูข้าว ระยะสร้างรวงข้าวอ่อน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3	60 วัน	1.ฉีดสารชีวภาพหอยเชอรี่หมักเพื่อเร่งการเจริญเติบโตและฉีดฮอร์โมนไข่เพื่อเร่งการออกดอก 2. รักษาระดับน้ำ 10 ซม. 3. หว่านปุ๋ยคอก(มูลวัว)โดยทั่วแปลง	50 มล./น้ำ 20 ลิตร 10 กก./น้ำ 20 ลิตร 200 กก./ไร่

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

วันที่	กิจกรรม	ระยะ/ อายุข้าว	รายละเอียด	อัตราส่วน/ไร่
13 ก.พ. 50	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 3**	**70 วัน**	**เก็บตัวอย่างดินและเก็บตัวอย่างน้ำ ก่อนระบายน้ำออก**	
23 ก.พ. 50	บันทึกวันที่ ข้าวออกดอก	80-85 วัน	1.ฉีดฮอร์โมนไข่เพื่อเร่งการออกดอก 2.วันที่ข้าวออกดอกคือวันที่ข้าวออกดอก 80% ของต้นข้าวทั้งหมด	10 มล./น้ำ 20 ลิตร
15 มี.ค. 50	**เก็บดิน น้ำ และพืช ครั้งที่ 4**	**100 วัน**	**1.เก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างข้าว 2.ไม่ต้องสูบน้ำเข้า ปล่อยให้ดินแห้ง หรือระบายน้ำออกจากแปลง**	
9 เม.ย. 50	เก็บเกี่ยว ระยะพลับพลึง	1 เดือน หลังจากข้าว ออกดอก 115-120 วัน	1. เก็บเกี่ยวหลังข้าวออกดอกแล้ว 28-30 วัน 2. ดูจากรวงข้าว 2 ใน 3 ส่วนจากปลายรวง ข้าวจะสุกมีสีเหลืองฟางข้าวที่ โคนรวง ประมาณ1 ใน 3 ส่วนยังมีสีเขียว และเมล็ดแข็งแกร่ง	
	หลังเก็บเกี่ยว		นวดข้าว ฝัด และทำความสะอาด ชั่งน้ำหนัก สุ่มตัวอย่างข้าวเพื่อวัดความชื้น (~ 300 กรัม)	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 2 กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) ขายตามท้องตลาด ของการปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา

วันที่	กิจกรรม	ระยะ/อายุข้าว	รายละเอียด	อัตราส่วน/ไร่
2. กรรมวิธีปฏิบัติการปลูกข้าวใช้ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด)				
	เตรียมแปลงปลูก ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1		1. ไถดะ ทิ้งไว้ 7-10 วัน 2. ไถแปร เอาน้ำเข้าแช่ขี้ไถ 3. คราด 1-2 ครั้ง ปรับระดับผิวดินทำเทือก 4. ใส่สารกำจัดหอยเชอรี่ ชื่อสามัญ ซาโปนิน 5. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) แล้วไถกลบ	6 กก./ไร่ 20 กก./ไร่
4 ธ.ค. 49	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 1**	**0 วัน**	**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำก่อนระบายน้ำออก**	
5 ธ.ค. 49	หว่านข้าวนาตม	0 วัน	1. หว่านข้าวให้สม่ำเสมอ 2. คราดกลบเบาๆ อย่าให้น้ำท่วมแปลงนาหลังการหว่าน	20 กก./ไร่
10 ธ.ค. 49	ผันน้ำเข้า	5 วัน	1. ข้าวมีลำต้นสูงประมาณ 7-10 เซนติเมตร ให้ระบายน้ำเข้าประมาณ 4-6 เซนติเมตร 2. เมื่อต้นข้าวโตให้เพิ่มระดับน้ำ แต่อย่าให้น้ำท่วมต้นข้าวระดับน้ำไม่เกิน 10 ซม.	
25 ธ.ค. 49	กำจัดวัชพืช โรคพืชและศัตรูข้าว ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 หลังหว่านข้าว 20 วัน	20 วัน	1. สารชีวภาพหอยเชอรี่หมักเพื่อเร่งการเจริญเติบโต 2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) 3. รักษาระดับน้ำ 5-10 เซนติเมตร	50 มล./น้ำ 20 ลิตร 20 กก./ไร่
4 ม.ค. 50	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 2**	**30 วัน**	**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำก่อนระบายน้ำออก**	
3 ก.พ. 50	กำจัดวัชพืช โรคพืชและศัตรูข้าว ระยะสร้างรวงข้าวอ่อน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3	60 วัน	1. ฉีดสารชีวภาพหอยเชอรี่หมักเพื่อเร่งการเจริญเติบโตและฉีดฮอร์โมนไข่เพื่อเร่งการออกดอก 2. รักษาระดับน้ำ 10 เซนติเมตร 3. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ชนิดเม็ด) หว่านทั่วแปลง	50 มล./น้ำ 20 ลิตร 10 มล./น้ำ 20 ลิตร 10 กก./ไร่

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

วันที่	กิจกรรม	ระยะ/ อายุข้าว	รายละเอียด	อัตราส่วน/ไร่
13 ก.พ. 50	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 3**	**70 วัน**	1.**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำ ก่อนระบายน้ำออก**	
23 ก.พ. 50	บันทึกวันที่ ข้าวออกดอก	80-85 วัน	1.ฉีดฮอร์โมนไข่เพื่อเร่งการออกดอก 2.วันที่ข้าวออกดอก คือวันที่ข้าวออกดอก 80% ของต้นข้าวทั้งหมด	10 มล./ น้ำ 20 ลิตร
15 มี.ค. 50	**เก็บดิน น้ำ และพืช ครั้งที่ 4**	**100 วัน**	**1.เก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างข้าว** **2.ไม่ต้องสูบน้ำเข้า ปล่อยให้ดินแห้ง หรือระบายน้ำออกจากแปลง**	
9 เม.ย. 50	เก็บเกี่ยวระยะ พลับพลึง	1 เดือน หลังจากข้าว ออกดอก 115-120 วัน	1. เก็บเกี่ยวหลังข้าวออกดอกแล้ว 28-30 วัน 2. ดูจากรวงข้าว 2 ใน 3 ส่วนจากปลายรวง ข้าวจะสุกมีสีเหลืองฟางข้าวที่โคนรวง ประมาณ 1 ใน 3 ส่วนยังมีสีเขียว เมล็ดแข็งแกร่ง	
	หลังเก็บเกี่ยว		นวดข้าว ฝัด และทำความสะอาด ชั่งน้ำหนัก สุ่มตัวอย่างข้าวเพื่อวัดความชื้น (~ 300 กรัม)	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 3 กรรมวิธีปฏิบัติที่ใส่ปุ๋ยเคมี ของการปฏิบัติที่ดีในการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา

วันที่	กิจกรรม	ระยะ/ อายุข้าว	รายละเอียด	อัตราส่วน/ไร่
3. กรรมวิธีการปฏิบัติการปลูกข้าวใช้ปุ๋ยเคมี				
	เตรียมแปลงปลูก		1. ไถดะ ทิ้งไว้ 7-10 วัน 2. ไถแปร เอาน้ำเข้าแช่ขี้ไถ 3. คราด 1-2 ครั้ง ปรับระดับผิวดินทำเทือก 4. ใส่สารกำจัดหอย ชื่อสามัญ ซาโปนิน	6 กก./ไร่
4 ธ.ค. 49	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 1**	**0 วัน**	**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำ ก่อนระบายน้ำออก**	
5 ธ.ค. 49	หว่านข้าวน้ำตม	0 วัน	1. หว่านข้าวให้สม่ำเสมอ 2. คราดกลบเบาๆ อย่าให้น้ำท่วม แปลงนาหลังการหว่าน	20 กก./ไร่
10 ธ.ค. 49	ผันน้ำเข้า	5 วัน	1. ข้าวมีลำต้นสูงประมาณ 7-10 ซม. ให้ระบายน้ำเข้าประมาณ 4-6 ซม. 2. เมื่อต้นข้าวโตให้เพิ่มระดับน้ำ แต่อย่าให้น้ำท่วมต้นข้าวแต่ระดับน้ำไม่เกิน 10 ซม.	
25 ธ.ค. 49	กำจัดวัชพืช โรคพืชและศัตรูข้าว ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 หลังหว่านข้าว 20 วัน	20 วัน	1. ฉีดสารชีวภาพหอยเชอรี่หมักเพื่อเร่งการเจริญเติบโต 2. ใส่ปุ๋ย สูตร 16-20-0 3. รักษาระดับน้ำ 5-10 ซม.	50 มล./ น้ำ 20 ลิตร 25 กก./ไร่
4 ม.ค. 50	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 2**	**30 วัน**	**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำ ก่อนระบายน้ำออก**	
3 ก.พ. 50	กำจัดวัชพืช โรคพืชและศัตรูข้าว ระยะสร้างรวงข้าวอ่อน ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 2	60 วัน	1. ฉีดสารชีวภาพหอยเชอรี่หมักเพื่อเร่งการเจริญเติบโตและฉีดฮอร์โมนไข่เพื่อเร่งการออกดอก 2. รักษาระดับน้ำ 10 เซนติเมตร 3. ใส่ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0	50 มล./ น้ำ 20 ลิตร 10 มล./ น้ำ 20 ลิตร 10 กก./ไร่

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

วันที่	กิจกรรม	ระยะ/ อายุข้าว	รายละเอียด	อัตราส่วน/ไร่
13 ก.พ. 50	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 3**	**70 วัน**	1.**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่าง น้ำก่อนระบายน้ำออก**	
23 ก.พ. 50	บันทึกวันที่ ข้าวออกดอก ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 3	80-85 วัน	1.วันที่ข้าวออกดอก คือวันที่ข้าวออกดอก 80% ของต้นข้าวทั้งหมด 2.ใส่ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0 3.ฉีดฮอร์โมนไข่เพื่อเร่งการออกดอก	5 กก./ไร่ 10 มล./ น้ำ 20 ลิตร
15 มี.ค. 50	**เก็บดิน น้ำ และพืช ครั้งที่ 4**	**100 วัน**	**1.เก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างข้าว** **2.ไม่ต้องสูบน้ำเข้า ปล่อยให้ดินแห้ง หรือระบายน้ำออกจากแปลง**	
9 เม.ย. 50	เก็บเกี่ยวระยะ พลับพลึง	1 เดือน หลังจากข้าว ออกดอก 115-120 วัน	1. เก็บเกี่ยวหลังข้าวออกดอกแล้ว 28-30 วัน 2. ดูจากรวงข้าว 2 ใน 3 ส่วนจากปลายรวง ข้าวจะสุกมีสีเหลืองฟางข้าวที่โคนรวง ประมาณ 1 ใน 3 ส่วน ยังมีสีเขียว และเมล็ดแข็งแกร่ง	
	หลังเก็บเกี่ยว		นวดข้าว ฝัด และทำความสะอาด ชั่งน้ำหนัก สุ่มตัวอย่างข้าวเพื่อวัดความชื้น (~ 300 กรัม)	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 4 กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร บ้านทับโต ตำบลสามง่าม-ท่าโบสถ์ อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ของการใส่ปุ๋ยบำรุงดินสำหรับการทำนา

วันที่	กิจกรรม	ระยะ/ อายุข้าว	รายละเอียด	อัตราส่วน/ไร่
4. กรรมวิธีปฏิบัติของเกษตรกร				
	เตรียมแปลงปลูก		1. เผาตอซัง 2. ไถดะ แล้วทำการปรับระดับผิวดินทำเทือก (ลูบเทือก) ไม่หมักเทือก 3.ใส่สารกำจัดหอย ชื่อสามัญ ซาโปนิน	6 กก./ไร่
4 ธ.ค. 49	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 1**	**0 วัน**	**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำก่อนระบายน้ำออก**	
5 ธ.ค. 49	หว่านข้าวน้ำตม	0 วัน	1. หว่านข้าวให้สม่ำเสมอ 2. คราดกลบเบาๆ อย่าให้น้ำท่วมแปลงนาหลังการหว่าน	20 กก./ไร่
10 ธ.ค. 49	ผันน้ำเข้า	5 วัน	1. ข้าวมีลำต้นสูงประมาณ 7-10 ซม. ให้ระบายน้ำเข้าประมาณ 4-6 ซม. 2. เมื่อต้นข้าวโตให้เพิ่มระดับน้ำ แต่อย่าให้น้ำท่วมต้นข้าวแต่ระดับน้ำไม่เกิน 10 ซม.	
30 ธ.ค. 50	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1	25 วัน	1. ใส่ปุ๋ยเคมี (16-20-0) ผสมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 2. รักษาระดับน้ำ 5-10 ซม.	20 กก./ไร่ + 4 กก./ไร่
4 ม.ค. 50	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 2**	**30 วัน**	**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำก่อนระบายน้ำออก**	
3 ก.พ. 50	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ระยะสร้างรวงข้าวอ่อน	60 วัน	1. ใส่ปุ๋ยเคมี (16-20-0) ผสมร่วมกับปุ๋ยยูเรีย (46-0-0)	20 กก./ไร่ + 4 กก./ไร่
13 ก.พ. 50	**เก็บดิน และน้ำ ครั้งที่ 3**	**70 วัน**	**เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำก่อนระบายน้ำออก**	
23 ก.พ. 50	บันทึกวันที่ข้าวออกดอก	80-85 วัน	วันที่ข้าวออกดอก คือวันที่ข้าวออกดอก 80% ของต้นข้าวทั้งหมด	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

วันที่	กิจกรรม	ระยะ/ อายุข้าว	รายละเอียด	อัตราส่วน/ไร่
5 มี.ค. 50	กำจัดวัชพืช โรคพืช และศัตรูข้าว	90 วัน	ป้องกัน กำจัดโรคพืช และฉีดฮอร์โมนเพิ่มแป้งและน้ำตาล ได้แก่ อามูเร่+ฟูจิวัน+โครโนส 100 ฆ่าเชื้อรา	20 + 50 + 50 มล./ น้ำ 12 ลิตร/ไร่
15 มี.ค. 50	**เก็บดิน น้ำ และพืช ครั้งที่ 4**	**100 วัน**	**1.เก็บตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างข้าว 2.ไม่ต้องสูบน้ำเข้า ปล่อยให้ดินแห้ง หรือระบายน้ำออกจากแปลง**	
9 เม.ย. 50	เก็บเกี่ยว ระยะพลับพลึง	1 เดือน หลังจากข้าวออกดอก 115-120 วัน	1. เก็บเกี่ยวหลังข้าวออกดอกแล้ว 28-30 วัน 2. ดูจากรวงข้าว 2 ใน 3 ส่วนจากปลายรวงข้าวจะสุกมีสีเหลืองฟางข้าวที่โคนรวงประมาณ 1 ใน 3 ส่วนยังมีสีเขียว และเมล็ดแข็งแกร่ง	
	หลังเก็บเกี่ยว		นวดข้าว ฝัด และทำความสะอาด ชั่งน้ำหนัก สุ่มตัวอย่างข้าวเพื่อวัดความชื้น (~ 300 กรัม)	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ 5 ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ระดับ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
กรดรุนแรงมากที่สุด	< 3.5
กรดรุนแรงมาก	3.5-4.4
กรดจัดมาก	4.5-5.0
กรดจัด	5.1-5.5
กรดปานกลาง	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	6.1-6.5
เป็นกลาง	6.6-7.3
ด่างเล็กน้อย	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	7.9-8.4
ด่างจัด	8.5-9.0
ด่างจัดมาก	> 9.0

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544

ตารางผนวกที่ 6 ระดับของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา

ระดับ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
ต่ำมาก	< 3
ต่ำ	3.0-6.0
ค่อนข้างต่ำ	6-10.0
ปานกลาง	10.0-15.0
ค่อนข้างสูง	15.0-25.0
สูง	25.0-45.0
สูงมาก	> 45

ที่มา: จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534)

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณของแข็งแขวนลอย คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	545.00	394.67	1104.00	681.22	215.80
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	656.00	1200.00	1122.00	992.67	169.83
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	1064.00	104.00	520.00	562.67	277.93
4. เกษตรกรปฏิบัติ	160.00	2052.00	628.00	946.67	500.00
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.00	27.00	41.00	25.00	9.87
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	64.00	14.50	14.50	31.00	16.50
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	19.00	26.00	23.50	22.83	2.05
4. เกษตรกรปฏิบัติ	43.50	5.00	4.00	17.50	13.00
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	108.00	161.00	90.00	119.67	21.31
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	96.25	10.25	165.50	90.67	44.90
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	60.00	144.50	272.75	159.08	61.85
4. เกษตรกรปฏิบัติ	32.00	107.75	129.00	89.58	29.44
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงก่อนเก็บเกี่ยวข้าว				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	141.00	150.25	67.00	76.00	4.78
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	79.75	81.75	66.50	55.58	40.74
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	75.25	30.50	199.00	119.42	26.34
4. เกษตรกรปฏิบัติ	136.75	21.25	8.75	101.58	50.40

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.47	8.09	7.56	7.71	1.00
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	7.33	3.28	7.30	5.97	1.35
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	7.58	7.49	6.94	7.34	0.60
4. เกษตรกรปฏิบัติ	7.11	8.00	8.32	7.81	0.47
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.04	7.95	7.90	7.63	0.30
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	8.27	7.87	8.71	8.28	0.24
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	8.78	8.63	9.16	8.86	0.16
4. เกษตรกรปฏิบัติ	9.70	9.64	10.13	9.82	0.15
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	8.67	8.74	7.96	8.46	0.25
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	5.95	5.75	5.72	5.81	0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	5.39	5.12	4.34	4.95	0.31
4. เกษตรกรปฏิบัติ	6.03	5.68	6.13	5.95	0.14
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	9.76	9.34	9.75	9.62	0.14
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	6.03	6.09	6.45	6.19	0.13
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	5.07	5.30	5.97	5.45	0.27
4. เกษตรกรปฏิบัติ	5.57	5.77	6.09	5.81	0.15

ตารางผนวกที่ 9 ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Dissolved: BOD)

กรรมวิธีปฏิบัติ	ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (มิลลิกรัม/ลิตร) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	14.67	14.11	14.00	14.26	4.00
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	16.02	43.68	17.58	25.76	8.97
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	27.48	26.58	20.52	24.86	2.19
4. เกษตรกรปฏิบัติ	6.34	7.65	9.78	7.92	1.00
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	15.12	15.00	15.18	15.10	0.40
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	8.82	6.81	7.00	7.54	0.64
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	7.10	7.54	7.30	7.31	0.13
4. เกษตรกรปฏิบัติ	4.71	4.41	4.50	4.54	1.00
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	6.06	2.94	3.99	4.33	0.92
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	8.54	8.31	8.43	8.43	1.00
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	10.67	10.10	12.00	10.92	0.56
4. เกษตรกรปฏิบัติ	6.37	6.76	6.87	6.67	0.37
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	1.47	1.83	1.53	1.61	0.11
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	2.22	2.03	2.70	2.32	0.20
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	3.19	3.12	1.62	2.64	0.51
4. เกษตรกรปฏิบัติ	5.64	5.23	5.43	5.43	0.12

ตารางผนวกที่ 10 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.22	7.16	7.24	7.21	0.02
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	7.24	7.12	7.17	7.18	0.03
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	8.54	8.34	8.22	8.37	0.10
4. เกษตรกรปฏิบัติ	7.94	7.76	7.72	7.81	0.10
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.09	7.18	7.12	7.13	0.03
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	6.89	6.94	7.10	6.98	0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	7.20	7.22	8.47	7.63	0.42
4. เกษตรกรปฏิบัติ	7.87	8.17	8.00	8.01	1.00
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.06	7.13	7.11	7.10	0.02
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	7.04	7.10	7.05	7.06	0.02
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	6.86	7.03	6.96	6.95	0.05
4. เกษตรกรปฏิบัติ	7.26	7.17	7.26	7.23	0.03
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	6.27	6.19	6.22	6.23	0.02
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	6.12	6.28	6.23	6.21	0.05
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	6.35	6.36	6.46	6.39	0.04
4. เกษตรกรปฏิบัติ	6.40	6.49	6.61	6.50	0.06

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณแมงกานีสในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.51	0.46	0.39	0.45	0.17
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.87	0.66	0.45	0.66	0.13
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.05	0.07	0.19	0.10	0.12
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.04	0.72	0.45	0.40	0.20
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.20	0.12	0.28	0.20	0.05
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.28	0.26	0.38	0.31	0.04
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.24	0.30	0.22	0.25	0.02
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.42	0.46	0.44	0.44	0.01
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.45	0.36	0.34	0.38	0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	1.06	0.66	0.72	0.81	0.12
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.53	0.32	0.48	0.44	0.10
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.50	0.53	0.67	0.57	0.10
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.34	0.18	0.25	0.26	0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.55	0.75	0.60	0.63	0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.23	0.24	0.65	0.37	0.14
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.44	0.79	0.31	0.51	0.14

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณไนเตรทในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.51	0.46	0.39	0.33	0.02
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.87	0.66	0.45	0.39	0.02
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.05	0.07	0.19	0.31	0.04
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.04	0.72	0.45	0.39	0.02
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.20	0.12	0.28	0.28	0.01
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.28	0.26	0.38	0.22	0.01
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.24	0.30	0.22	0.20	0.02
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.42	0.46	0.44	0.50	0.10
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.45	0.36	0.34	0.51	0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	1.06	0.66	0.72	0.75	0.01
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.53	0.32	0.48	0.95	0.05
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.50	0.53	0.67	0.57	0.02
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.34	0.18	0.25	0.42	0.02
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.55	0.75	0.60	0.68	0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.23	0.24	0.65	0.58	0.02
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.44	0.79	0.31	0.48	0.04

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำ

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณฟอสเฟตในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.51	0.46	0.39	0.44	0.16
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.87	0.66	0.45	0.32	0.01
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.05	0.07	0.19	0.28	0.10
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.04	0.72	0.45	0.25	0.03
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.20	0.12	0.28	0.32	0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.28	0.26	0.38	0.36	0.04
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.24	0.30	0.22	0.45	0.03
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.42	0.46	0.44	0.60	0.05
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.45	0.36	0.34	0.35	0.13
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	1.06	0.66	0.72	0.46	0.15
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.53	0.32	0.48	0.41	0.02
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.50	0.53	0.67	0.67	0.03
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	0.34	0.18	0.25	0.26	0.01
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.55	0.75	0.60	0.34	0.04
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	0.23	0.24	0.65	0.39	0.04
4. เกษตรกรปฏิบัติ	0.44	0.79	0.31	0.52	0.03

ตารางผนวกที่ 14 ค่าความนำไฟฟ้า (EC)

กรรมวิธีปฏิบัติ	ค่าความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	342.00	330.00	264.00	312.00	24.25
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	304.00	417.00	260.00	327.00	46.76
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	262.00	247.00	253.00	254.00	21.00
4. เกษตรกรปฏิบัติ	604.00	701.00	633.00	646.00	28.75
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	199.20	253.00	256.00	236.00	18.45
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	190.30	207.00	191.10	196.13	30.00
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	104.70	86.40	107.10	99.40	34.00
4. เกษตรกรปฏิบัติ	836.00	646.00	634.00	705.33	65.43
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	238.00	233.00	263.00	244.67	9.28
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	273.00	237.00	181.80	230.60	26.52
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	154.70	145.00	140.10	146.60	4.29
4. เกษตรกรปฏิบัติ	604.00	558.00	480.00	547.33	36.20
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	130.80	132.30	136.60	133.23	1.74
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	157.30	150.50	132.40	146.73	7.43
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	153.40	181.80	120.90	152.03	17.60
4. เกษตรกรปฏิบัติ	130.60	463.00	450.00	347.87	108.70

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter: OM) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณอินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	2.03	1.98	1.86	1.96	0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	1.91	1.66	1.44	1.67	0.14
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	2.06	1.81	1.91	1.93	0.10
4. เกษตรกรปฏิบัติ	1.92	2.08	2.10	2.03	0.10
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	2.08	2.28	1.91	2.09	0.11
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	1.88	2.11	2.01	2.00	0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	2.11	2.23	2.06	2.13	0.10
4. เกษตรกรปฏิบัติ	2.22	2.04	2.36	2.21	0.12
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	2.37	2.30	2.50	2.39	0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	2.24	2.25	2.65	2.38	0.14
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	2.30	2.65	2.33	2.43	0.11
4. เกษตรกรปฏิบัติ	1.96	2.11	1.96	2.01	0.10
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	2.50	2.79	2.58	2.62	0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	2.48	1.85	1.86	2.06	0.21
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	2.20	2.22	2.33	2.25	0.20
4. เกษตรกรปฏิบัติ	1.87	1.62	1.54	1.68	0.20

ตารางผนวกที่ 16 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	6.23	6.19	6.53	6.32	0.11
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	6.46	6.73	6.68	6.62	0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	6.48	6.38	5.77	6.21	0.22
4. เกษตรกรปฏิบัติ	5.47	5.49	5.72	5.56	0.10
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	5.73	6.01	5.97	5.90	0.10
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	5.61	5.60	5.63	5.61	0.01
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	5.71	5.82	5.48	5.67	0.10
4. เกษตรกรปฏิบัติ	5.11	5.23	5.32	5.22	0.10
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	5.54	5.94	5.91	5.80	0.13
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	5.98	5.75	6.00	5.91	0.10
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	5.98	6.06	5.85	5.96	0.10
4. เกษตรกรปฏิบัติ	4.97	4.78	4.63	4.79	0.10
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	6.00	5.35	5.65	5.67	0.19
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	5.85	6.23	6.36	6.15	0.15
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	6.17	5.83	6.19	6.06	0.12
4. เกษตรกรปฏิบัติ	4.86	5.26	4.92	5.01	0.12

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณอาร์เซนิก (As) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณอาร์เซนิกในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	3.07	4.16	3.65	3.63	0.31
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	4.55	5.10	2.65	4.10	0.74
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	2.03	2.13	2.21	2.12	1.00
4. เกษตรกรปฏิบัติ	11.40	11.80	8.00	5.56	1.20
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	4.34	4.56	3.13	4.01	0.44
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	5.05	6.00	3.45	4.83	0.74
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	3.33	4.21	4.89	4.14	0.45
4. เกษตรกรปฏิบัติ	17.22	16.34	12.33	15.30	1.50
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	3.25	3.04	3.44	3.24	0.12
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	4.04	5.15	4.09	4.43	0.36
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	3.14	3.38	3.77	3.43	0.18
4. เกษตรกรปฏิบัติ	6.95	7.54	7.15	7.21	0.17
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	2.61	3.34	1.98	2.64	1.20
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	4.10	3.37	5.25	4.24	1.30
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	3.15	3.33	3.21	3.23	1.00
4. เกษตรกรปฏิบัติ	4.25	9.40	4.00	5.88	2.40

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณแมงกานีสในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	256.00	212.00	254.00	240.67	14.34
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	201.00	232.00	294.00	242.33	27.34
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	322.80	224.00	216.00	254.27	34.34
4. เกษตรกรปฏิบัติ	195.00	301.60	376.00	290.87	52.53
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	259.00	254.00	276.30	263.10	10.00
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	287.60	298.10	286.00	290.57	16.00
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	265.60	264.00	287.30	272.30	7.51
4. เกษตรกรปฏิบัติ	314.00	363.00	325.00	334.00	14.84
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	246.00	267.30	256.00	256.43	6.15
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	273.10	296.00	253.00	274.03	12.42
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	256.00	272.00	257.00	261.67	5.17
4. เกษตรกรปฏิบัติ	352.00	320.00	300.00	324.00	15.14
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	198.80	232.00	204.54	211.78	10.24
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	243.00	232.00	278.00	251.00	13.87
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	245.78	267.00	266.00	259.59	6.91
4. เกษตรกรปฏิบัติ	296.20	310.00	303.00	303.07	3.98

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณไนเตรท (NO_3^-)ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณไนเตรทในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	1.46	6.36	2.20	3.34	2.00
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	2.93	8.05	11.02	7.33	2.36
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	9.53	8.81	7.67	8.67	2.40
4. เกษตรกรปฏิบัติ	7.31	13.93	9.54	10.26	1.94
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	5.11	3.47	4.23	4.27	1.30
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	0.73	4.49	5.88	3.70	1.00
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	4.40	4.40	5.56	4.79	1.00
4. เกษตรกรปฏิบัติ	8.45	5.50	7.74	7.23	1.20
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	7.40	5.43	5.12	5.98	0.71
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	2.11	8.54	4.40	5.02	1.88
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	4.40	1.47	13.21	6.36	2.00
4. เกษตรกรปฏิบัติ	5.55	6.56	6.34	6.15	0.31
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	3.56	4.41	4.12	4.03	0.25
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	2.19	5.00	3.67	3.62	0.81
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	2.66	3.40	5.65	3.90	0.90
4. เกษตรกรปฏิบัติ	4.67	5.06	5.43	5.05	0.22

ตารางผนวกที่ 20 ปริมาณฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในดิน

กรรมวิธีปฏิบัติ	ปริมาณฟอสเฟตในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 0 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	33.00	29.44	29.24	30.56	1.22
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	36.44	32.87	37.45	35.59	1.39
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	38.45	39.42	38.70	38.86	0.30
4. เกษตรกรปฏิบัติ	25.92	33.38	33.82	31.04	2.56
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 30 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	40.78	30.83	45.23	38.95	4.26
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	35.94	48.00	34.94	39.63	4.20
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	52.97	33.37	47.34	44.56	5.83
4. เกษตรกรปฏิบัติ	53.78	55.43	56.86	55.36	3.00
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 70 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	36.86	41.77	50.78	43.14	4.08
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	36.94	49.75	39.93	42.21	3.87
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	38.87	41.00	38.67	39.51	0.75
4. เกษตรกรปฏิบัติ	46.45	50.23	57.34	51.34	7.00
กรรมวิธีปฏิบัติ	คุณภาพน้ำช่วงต้นข้าวอายุ 100 วัน				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1. ใส่ปุ๋ยคอก	34.56	30.00	40.46	35.01	3.03
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	38.00	39.58	34.32	37.30	5.00
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	25.98	31.98	32.24	30.07	2.04
4. เกษตรกรปฏิบัติ	46.49	39.00	50.45	45.31	3.36

ตารางผนวกที่ 21 ผลผลิตข้าวเปลือก

กรรมวิธีปฏิบัติ	ผลผลิต/ไร่ (กิโลกรัม) คำนวณที่ระดับความชื้น 14%				
	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3	เฉลี่ย	SEM
1.ใส่ปุ๋ยคอก	705	576	531	604	52.06
2.ใส่ปุ๋ยชีวภาพ	586	441	501	510	42.05
3. ใส่ปุ๋ยเคมี	446	551	532	496	26.06
4. เกษตรกรปฏิบัติ	768	779	726	758	16.16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รูปผนวกที่ 1 การดำเนินงานศึกษาวิจัยในแปลงปฏิบัติ

รูปผนวกที่ 2 การเก็บตัวอย่างในแปลงนา การเตรียมพื้นที่เก็บเกี่ยว และการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1	2	1-2. การเตรียมแปลงนาปลูกข้าว
3	4	3. พื้นที่แปลงนาในการศึกษาวิจัย 4. แปลงนาที่ทำการใส่ปุ๋ยอินทรีย์
5	6	5. แปลงนาที่ทำการใส่ปุ๋ยชีวภาพ 6. แปลงนาที่ทำการใส่ปุ๋ยเคมี

รูปผนวกที่ 1 การดำเนินงานศึกษาวิจัยในแปลงปฏิบัติ

1	2	1. การเก็บตัวอย่างในแปลงนาทดลอง
3	4	2-4. การกำหนดพื้นที่เก็บเกี่ยวในแปลงนาทดลองขนาด 2x5 เมตร
5	6	5. การเก็บเกี่ยวผลผลิต 6. การบรรจุผลผลิตข้าวในถุงกระสอบ

รูปผนวกที่ 2 การเก็บตัวอย่างในแปลงนา การเตรียมพื้นที่เก็บเกี่ยว และการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกริก ปิ่นตระกูล เกิดเมื่อวันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2525 จังหวัดกาฬสินธุ์ สำเร็จปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการศัตรูพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548

การนำเสนอผลงาน

เกริก ปิ่นตระกูล และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. 2551. ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วารสารวิจัย สภาวะแวดล้อม ปีที่ 30 เล่มที่ 1 มกราคม–มิถุนายน. 2551.

Pintrakool K. and Sampanpanish P. (2007) Effect of Fertilization to Environmental Quality for Paddy Field. In *Proceeding at 12th Biological Sciences Graduate Congress (BSGC 2007)*, December 17-19, 2007, University of Malaya, Malaysia.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย