ผลของการใช้ปุ๋ยที่มีต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว

นางสาวสารินี โฉมแก้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

EFFECT OF FERTILIZERS ON GREENHOUSE GAS EMISSION IN PADDY FIELD

Miss Sarinee Chomkaew

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้ปุ๋ยที่มีต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว
โดย	นางสาวสารินี โฉมแก้ว
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารินี โฉมแก้ว : ผลของการใช้ปุ๋ยที่มีต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว. (EFFECT OF FERTILIZERS ON GREENHOUSE GAS EMISSION IN PADDY FIELD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช , 136 หน้า.

การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนาข้าว ทำการศึกษาโดยการปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31 เพื่อทำการเปรียบเทียบปุ๋ย 4 ชนิด ได้แก่ 1) แปลงทดลองที่มีการเติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) 2) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 3) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และ 4) ปุ๋ยเคมี (สูตรยูเรีย 46-0-0 และสูตรแอมโมเนียมฟอสเฟต 16-20-0) ทำการเก็บตัวอย่าง 5 ระยะ ได้แก่ 1) ก่อนการเพาะปลูก (0 วัน) 2) ระยะต้นกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน 3) ระยะแตกกอ (60 วัน) 4) ระยะออกดอก (90 วัน) และ 5) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว (120 วัน) ในการเก็บตัวอย่างก๊าซได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography; GC) และวิเคราะห์ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารอินฟาเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR) ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดทั้งฤดูกาล พบว่า ชุดการทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีมีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูกาลสูงที่สุด คือ 1.19 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน รองลงมา ได้แก่ แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงควบคุมไม่เติมปุ๋ย และแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูกาลเท่ากับ 1.13, 1.04, 0.99 และ 0.44 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยตลอดทั้งฤดูกาล พบว่า แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีการปลดปล่อยสูงที่สุด เท่ากับ 1.84 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆนั้น มีค่าการปลดปล่อยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ได้แก่ แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงควบคุม แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เท่ากับ 0.67, 0.66, 0.65 และ 0.54 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีในแปลงนาส่งผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนสูงที่สุด และ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกส่งผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนาข้าวสูงที่สุด ส่วนแปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซทั้งสองชนิดต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาผลผลิตข้าว พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตสูงสุด คือ 1,042 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก แปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยมีผลผลิตเท่ากับ 904, 843, 820 และ 791 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีข้อแนะนำในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดร่วมกับปุ๋ยเคมี เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวและลดปัญหาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ในนาข้าว

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

5487231820 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS: RICE / FERTILIZER / METHANE / NITOUS OXIDE / GREENHOUSE GASES

SARINEE CHOMKAEW: EFFECT OF FERTILIZERS ON GREENHOUSE GAS EMISSION IN PADDY FIELD. ADVISOR: ASST. PROF. DR.PANTAWAT SAMPANPANISH, 136 pp.

This paper studies the effect of fertilizer type on methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O) emissions in rice field, growing Pathumthani 80 or Gorkor 31 rice varietie, CH_4 and N_2O emitted from four types of fertilizers are compared: organic cow manure fertilizer, organic pellet fertilizer, organic liquid fertilizer, and chemical fertilizers (Urea 46-0-0 and Ammonium Phosphate 16-20-0). In this research, five different stages of rice cultivations were sampled 1) before-planting stage (0 day), 2) initial stage (30 days), 3) vegetative stage (60 days), 4) panicle-formation stage (90 days), and 5) maturation stage (120 days). CH_4 and N_2O emission was measured by Gas chromatography (GC) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).The paddy field with chemical fertilizer shows the highest CH_4 emission at 1.19 mg/m^{-2}/day, in contrast to those with organic pellet fertilizer giving the lowest CH_4 emission. The CH_4 emission rates in descending ranks are the plot with cow manure, the plot with organic liquid fertilizer, control plot without fertilizer, and the plot with organic pellet fertilizer, at 1.13, 1.04, 0.99 and 0.44 mg/m^{-2}/day, respectively. For the N_2O emission averages throughout rice grown season, the plot with organic cow manure fertilizer are released most throughout the growing season 1.84 mg/m^{-2}/day maximum, followed by the plot with chemical fertilizer, control plot without fertilizer, the plot with organic liquid fertilizer and the plot with organic pellet fertilizer. By the emissions were 0.67, 0.66, 0.65 and 0.54 mg/m^{-2}/day, respectively. It can be concluded, that the paddy field with chemical fertilizer gives the highest CH_4 emission quantity, and The paddy field with cow manure fertilizers showed highest amount of N_2O in paddy. The quantities of rice harvested from each plot of experiment the plot with chemical fertilizer, organic liquid fertilizer, organic cow manure fertilizer, control plot and the plot with organic pellet fertilizer were 6,513, 5,650, 5,269, 2,173 and 2,096 Kg/ha, respectively. Note that,this study has recommendations on the use of organic pellet fertilizers and chemical fertilizer to increase yield and reduce CH_4 and N_2O emission in paddy fields.

Field of Study: Environmental Science Student's Signature .....

Academic Year: 2013 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนอบรมสั่งสอนในด้านต่างๆ

ขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนตลอดระยะเวลาการศึกษา คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ ที่ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณผู้ให้การสนับสนุนทุนเพื่อการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย ตลอดจนทุนสนับสนุนจาก สหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์ฯ และคุณนิตยา รื่นสุข จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการศึกษาทดลอง วัสดุอุปกรณ์ในการปลูกข้าว ความรู้และคำแนะนำ อีกทั้งสนับสนุนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการปลูกและดูแลข้าว ตลอดจนอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือการทำงานในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการที่ให้คำแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆ นอกจากนี้ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือเพื่อทำการทดลอง ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนของข้าพเจ้าสำหรับความช่วยเหลือ ในการแก้ไขปัญหาทุกขั้นตอนตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณสมาชิกครอบครัว และขออุทิศวิทยานิพนธ์แด่ บิดามารดาผู้ที่คอยให้การสนับสนุนในด้านการศึกษา และเป็นแรงบันดาลใจที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ตามเป้าหมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 สมมติฐาน 2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ปรากฏการณ์โลกร้อน 4
2.2 ก๊าซเรือนกระจก 4
2.3 ก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตร 5
2.3.1 ก๊าซมีเทน 6
2.3.2 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ 8
2.4 พฤกษศาสตร์ข้าว 11
2.4.1 การเจริญเติบโตและโครงสร้างของข้าว 13
2.4.2 ชนิดของข้าว 17
2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว 18
2.5 วิธีการปลูกข้าวนาดำ 19
2.5.1 การเตรียมดิน 20
2.5.2 การตกกล้า 20
2.5.3 การปักดำ 21
2.5.4 การดูแลรักษา 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.6 ข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31 23
2.6.1 ลักษณะประจำสายพันธุ์ของข้าวปทุมธานี 80 (กข31) 24
2.6.2 ลักษณะเด่น 24
2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) 25
2.7 ปุ๋ย (Fertilizer) 25
2.7.1 ปุ๋ยอินทรีย์ 25
2.7.2 ปุ๋ยเคมี 28
2.7.3 ปุ๋ยชีวภาพ 29
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 35
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 35
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการปลูกข้าว 35
3.1.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการปลูกข้าว 35
3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์/เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ 35
3.2 สถานที่ทำการศึกษา 36
3.2.1 การศึกษาวิจัยภาคสนาม 36
3.2.2 การศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ 36
3.3 ระยะเวลาของการศึกษา 36
3.4 วิธีดำเนินการศึกษา 36
3.4.1 การวางแผนการทดลอง 36
3.4.2 การเตรียมแปลงนาทดลอง 37
3.4.3 การเตรียมพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง 37
3.4.4 การเตรียมปุ๋ย 37
3.4.5 การปลูกข้าวและการดูแลรักษา 38
3.4.6 การเติมปุ๋ย 38
3.4.7 การเก็บตัวอย่าง 38
3.4.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง 40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 43
4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง 43
4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยคอก (มูลวัว) 43
4.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (มูลไก่) 44
4.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยอินทรีย์น้ำ 44
4.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยเคมี 44
4.2 คุณสมบัติของดินในแปลงนาทดลอง 45
4.2.1 คุณสมบัติของดินเบื้องต้นก่อนทำการเพาะปลูก 45
4.2.2 คุณสมบัติดินตลอดช่วงการทดลอง 50
4.3 คุณสมบัติของน้ำในการทดลอง 63
4.3.1 คุณสมบัติของน้ำในแปลงนาก่อนทำการเพาะปลูก 63
4.3.2 คุณสมบัติของน้ำตลอดช่วงการทดลอง 64
4.4 การปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) 70
4.4.1 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนก่อนการเพาะปลูก 70
4.4.2 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว 71
4.4.3 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 73
4.5 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) 76
4.5.1 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ก่อนการเพาะปลูก 76
4.5.2 ผลการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว 77
4.5.3 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ตามการเจริญเติบโตของข้าว 79
4.6 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวตลอดฤดูกาลปลูก 81
4.7 ปริมาณคาร์บอนในดินและพืชต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน 83
4.7.1 ปริมาณคาร์บอนรวมในดิน 83
4.7.2 ปริมาณคาร์บอนรวมในพืช 85
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับสภาพแวดล้อม 86
4.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติดินกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 86
4.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 88

หน้า

4.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 89
4.9 ผลผลิตข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) 90
4.10 ข้อแนะนำการเติมปุ๋ยบำรุงดินเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก 93
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 95
5.1 สรุปผลการวิจัย 95
5.1.1 ปริมาณคาร์บอนในดินและพืช 95
5.1.2 อิทธิพลของปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว 95
5.1.3 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 96
5.1.4 ความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ 97
5.1.5 ความสัมพันธ์ของก๊าซเรือนกระจกกับคุณสมบัติดินและน้ำในแปลงนา 97
5.1.6 ผลการเปรียบเทียบผลิตข้าว 98
5.2 ข้อเสนอแนะ 98
รายการอ้างอิง 99
ภาคผนวก 106
ภาคผนวก ก 107
ภาคผนวก ข 109
ภาคผนวก ค 112
ภาคผนวก ง 114
ภาคผนวก จ 115
ภาคผนวก ฉ 123
ภาคผนวก ช 126
ภาคผนวก ซ 130
ภาคผนวก ฌ 134
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 136

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ความเข้มข้นและอัตราการเพิ่มของก๊าซเรือนกระจก 5
ตารางที่ 2-2 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งต่างๆ ด้านเกษตรกรรม 6
ตารางที่ 2-3 แสดงการจัดลำดับอนุกรมวิธานของข้าว 12
ตารางที่ 2-4 ลักษณะความแตกต่างระหว่างข้าว *indica*, *japonica* และ *javanica* 12
ตารางที่ 3-1 อัตราการเติมปุ๋ยบำรุงในแปลงนาทดลอง 38
ตารางที่ 3-2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ดิน 40
ตารางที่ 4-1 สรุปผลวิเคราะห์ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง 45
ตารางที่ 4-2 คุณสมบัติดินในช่วงก่อนการเพาะปลูก 46
ตารางที่ 4-3 ปริมาณโลหะหนักต่างๆ ในดินระยะก่อนเตรียมแปลงปลูกข้าว 49
ตารางที่ 4-4 ค่าความเป็นกรดด่างในดินตลอดฤดูกาลปลูกข้าว 53
ตารางที่ 4-5 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของดินตลอดฤดูกาลปลูกข้าว 56
ตารางที่ 4-6 ค่าการนำไฟฟ้าในดินในช่วงการทดลอง 58
ตารางที่ 4-7 คุณสมบัติน้ำเบื้องต้นในแปลงนาทดลอง 64
ตารางที่ 4-8 ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว 66
ตารางที่ 4-9 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยในระยะก่อนการเพาะปลูก 71
ตารางที่ 4-10 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามชุดการทดลองและช่วงการเจริญเติบโต 75
ตารางที่ 4-11 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยในระยะก่อนการเพาะปลูก 76
ตารางที่ 4-12 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองและช่วงการเจริญเติบโต 80
ตารางที่ 4-13 ผลการศึกษาก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 81
ตารางที่ 4-14 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว 82
ตารางที่ 4-15 ปริมาณผลผลิตข้าวปทุมธานี 80 ทุกชุดการทดลอง 92
ตารางที่ 4-16 สรุปผลการวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจก ผลผลิต และต้นทุนการใช้ปุ๋ย 93

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1 ขอบเขตการศึกษา 3
รูปที่ 2-1 แหล่งของคาร์บอนและสารตัวกลางที่จุลินทรีย์กลุ่ม Methanogens ใช้ในกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน 7
รูปที่ 2-2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ 8
รูปที่ 2-3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 9
รูปที่ 2-4 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการ Denitrification 10
รูปที่ 2-5 ตำแหน่งการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 11
รูปที่ 2-6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าว (ส่วนลำต้น) (Thomas, 1997) 15
รูปที่ 2-7 ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าว (ส่วนดอกข้าว) (Thomas, 1997) 16
รูปที่ 2-8 ข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31 23
รูปที่ 2-9 ลักษณะเมล็ดข้าวสายพันธุ์ข้าวปทุมธานี 80 (กข31) 24
รูปที่ 3-1 แผนผังลักษณะแปลงนาทดลองและจุดเก็บตัวอย่างอากาศ 37
รูปที่ 3-2 ตัวอย่างตู้เก็บอากาศและวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ 39
รูปที่ 4-1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตามช่วงอายุข้าว 52
รูปที่ 4-2 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของดินตามช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 56
รูปที่ 4-3 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 61
รูปที่ 4-4 ปริมาณไนโตรเจนในดินแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 63
รูปที่ 4-5 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 68
รูปที่ 4-6 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 70
รูปที่ 4-7 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองตลอดฤดูการเจริญเติบโตของข้าว 72
รูปที่ 4-8 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 74
รูปที่ 4-9 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองตลอดฤดูกาลเจริญ 77
รูปที่ 4-10 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว 79
รูปที่ 4-11 ปริมาณคาร์บอนรวมในดินแต่ละช่วงเจริญเติบโตของข้าว 84
รูปที่ 4-12 ปริมาณคาร์บอนรวมในข้าวในแต่ละช่วงเจริญเติบโตของข้าว 86
รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ORP ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน 87
รูปที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรียวัตถุต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน 88
รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง DO ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ 89
รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน 90
รูปที่ 4-17 ผลผลิตข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 แต่ละชุดการทดลอง 91

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

"สภาวะโลกร้อน"หรือ Global Warming หมายถึง การที่อุณหภูมิโลกโดยเฉลี่ยเหนือผิวโลก รวมทั้งอากาศและน้ำทะเลมีความร้อนเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิปกติของโลก (อภิชา สืบสามัคคี, 2551) สาเหตุที่สภาวะโลกร้อนกำลังเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากคนทั่วโลกอยู่ในขณะนี้ เป็นเพราะปัญหาดังกล่าวกำลังส่งผลกระทบด้วยปรากฏการณ์และภัยธรรมชาติต่างๆ ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและก่อความเสียหายรุนแรงแบบที่ไม่เคยปรากฏมาก่อนทั้งการเกิดอุทกภัย แผ่นดินไหว ตลอดจนความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ในแง่ของผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์นั้นก็เกิดขึ้นมีทั้งผลกระทบที่มีต่อคุณภาพชีวิตและสุขอนามัย ความสูญเสียทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน ทั้งนี้ตัวการสำคัญที่เป็นต้นเหตุของปัญหาสภาวะโลกร้อนนั่นก็คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ที่สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ และยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุของการเพิ่มปริมาณของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศนั้นล้วนมาจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์แทบทั้งสิ้น โดยเฉพาะก๊าซเรือนกระจกที่มาจากการทำกสิกรรม เกษตรกรรมต่างๆ โดยแม้ว่าเกษตรกรรมจะไม่ใช่แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่มากที่สุด แต่ก็มากพอที่จะสามารถก่อมลภาวะทางอากาศและเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้อย่างคาดไม่ถึง โดยพบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในโลกนั้นมาจากภาคเกษตรกรรมและผลิตภัณฑ์เกษตรมากถึงร้อยละ 14.9 (วิฑูรย์ ปัญญากุล, 2555) นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว ที่ระบุว่าร้อยละ20 ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นบนโลกในแต่ละปีมาจากนาข้าว ในขณะที่ทวีปเอเชียมีการปลูกข้าวมากถึงร้อยละ 85 ของการปลูกข้าวในโลก (วิฑูรย์ ปัญญากุล, 2538) ดังนั้น นาข้าวจึงกลายเป็นแหล่งการเกษตรที่สำคัญต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยก๊าซเรือนกระจกสำคัญที่ถูกปลดปล่อยจากการทำนาข้าว ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งก๊าซทั้งสามชนิดถือเป็นก๊าซเรือนกระจกที่พบมากที่สุดในบรรยากาศ สำหรับสาเหตุที่ทำให้พื้นที่นาข้าวกลายเป็นแหล่งก๊าซเรือนกระจกที่น่าวิตกกังวล สืบเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมของขั้นตอนการทำนาข้าว พื้นที่จะมีน้ำขังทำให้เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน หรือ Methanogenesis Bacteria ซึ่งเจริญเติบโตได้ในสภาพไร้ออกซิเจน จึงทำให้นาข้าวกลายเป็นพื้นที่ที่มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนค่อนข้างสูง ประการต่อมา คือ การเผาซากตอซังข้าวในช่วงการเตรียมแปลงนาซึ่งกิจกรรมดังกล่าวมีผลทำให้ดินนาข้าวมีประสิทธิภาพในการสะสมคาร์บอนลดลง นอกจากนี้ยังรวมไปถึงก๊าซไนตรัสออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีส่วนในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Crutzen, 1970) โดยก๊าซไนตรัสออกไซด์จะปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Denitrification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตไนตรัสออกไซด์โดยจุลินทรีย์ซึ่งจะเกิดขึ้นภายหลังการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ (Tsuruta, 2002) โดยมีความสอดคล้องกับ Gogoi and Baruah (2012) ที่กล่าวว่า ตั้งแต่ปี 1990–

2005 ทั่วโลกมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากกิจกรรมการเกษตรเพิ่มขึ้น 17%อันเนื่องมาจากกิจกรรมการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยมูลสัตว์ และเป็นที่คาดการณ์ว่าในปี 2030 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จะเพิ่มมากถึง 35–60% จึงเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยในการทำนาข้าวถือเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกในโลก และจากปัญหาข้างต้นนี้ ทำให้เป็นที่วิตกกังวลอย่างมากถึงปัญหาก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการทำกิจกรรมนาข้าวของประเทศไทย เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ดำรงชีพด้วยการทำเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำนาข้าว ซึ่งประเทศไทยมีพื้นที่การทำนาข้าวมากถึง 69,985,657 ไร่ คิดเป็นประมาณร้อยละ 46.9 ของพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรทั้งหมดในประเทศไทย (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) และอาจกล่าวได้ว่าการทำนาข้าวเป็นสาเหตุหลักของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย ดังนั้น การหาแนวทางการจัดการใช้ปุ๋ยในนาข้าวอย่างเหมาะสม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการทำนา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ จากการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าว
2) เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินและพืชต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน
3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติดินและน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์

1.3 สมมติฐาน

1) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของปุ๋ยอัดเม็ดช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนาข้าวได้
2) การใช้ปุ๋ยคอกทำให้เกิดการเพิ่มแหล่งคาร์บอนในดินและอาจส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าการเติมปุ๋ยชนิดอื่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยในกิจกรรมทำนาข้าว ที่มีต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยปุ๋ยที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ปุ๋ยคอก(มูลวัว) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด(มูลไก่) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และ 46-0-0 ตลอดจนศึกษาปริมาณการดูดซับ และสะสมคาร์บอนในดิน น้ำ และพืชจากกิจกรรมการทำนาข้าว โดยขอบเขตงานวิจัยเป็นไปตามแผนผังที่แสดงใน รูปที่ 1-1

รูปที่ 1-1 ขอบเขตการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อทราบถึงผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในการทำนาข้าวที่มีต่อปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนาข้าว
2) สร้างแนวทางเลือกให้เกษตรกรเลือกใช้ปุ๋ยในกิจกรรมการทำนาที่ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรากฏการณ์โลกร้อน

ปรากฏการณ์โลกร้อน (Global Warming) หมายถึง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิวโลก และน้ำในมหาสมุทร มีการคาดการณ์ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในช่วง 100 ปีที่ผ่านมานับถึงปี พ.ศ.2548 พบว่า อากาศใกล้ผิวดินทั่วโลกโดยเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้น 0.74 ± 0.18 องศาเซลเซียส ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ของสหประชาชาติได้สรุปไว้ว่า “จากการสังเกตการณ์การเพิ่มอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกที่เกิดขึ้นตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 (ตั้งแต่ พ.ศ. 2490) ค่อนข้างแน่ชัดว่าเกิดจากการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นผลในรูปของปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก” ซึ่งได้มีการทำแบบจำลองการคาดคะเนภูมิอากาศ บ่งชี้ว่า อุณหภูมิของโลกโดยเฉลี่ยที่ผิวโลกจะเพิ่มขึ้น 1.1 ถึง 6.4 องศาเซลเซียส ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 21 (พ.ศ. 2544–2643) ซึ่งค่าตัวเลขดังกล่าวได้มาจากการจำลองสถานการณ์แบบต่างๆ ของการแผ่ขยายก๊าซเรือนกระจกในอนาคต รวมถึงการจำลองค่าความไวภูมิอากาศอีกหลากหลายรูปแบบ (Hansen, 2000) โดยสาเหตุหลักของปรากฏการณ์โลกร้อนเกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศนั่นเอง

2.2 ก๊าซเรือนกระจก

ในบรรยากาศโลกประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ ประมาณ 78% รองลงมาคือออกซิเจน 21% แต่ที่เหลืออีก 1% เป็นก๊าซชนิดอื่นๆ โดยก๊าซบางชนิดที่มีคุณสมบัติในการก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกนั้นจะเรียกว่า ‘ก๊าซเรือนกระจก’ (วิฑูรย์ ปัญญากุล, 2555)ซึ่งเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือรังสีอินฟาเรดได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ ซึ่งหากบรรยากาศโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ดังเช่นดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ในระบบสุริยะแล้วจะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันนั้นร้อนจัด และในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ดูดคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวันแล้วค่อยๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืนทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน (Pearson and Palmer, 2000) ก๊าซเรือนกระจกในธรรมชาติ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และโอโซน นอกจากนี้ยังมีก๊าซที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมที่เป็นก๊าซเรือนกระจก เช่น CFCs (วิฑูรย์ ปัญญากุล, 2555) เป็นต้น ทั้งนี้ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดจะมีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ในระดับแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2-1 จากตารางแสดงความเข้มข้นและอัตราการเพิ่มของก๊าซเรือนกระจก พบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีปริมาณมากที่สุดในชั้นบรรยากาศ รองลงมาได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์

ตารางที่ 2-1 ความเข้มข้นและอัตราการเพิ่มของก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก	ศักยภาพในการก่อภาวะโลกร้อน (GWP)	ความเข้มขันในชั้นบรรยากาศก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม	ความเข้มข้นในชั้นบรรยากาศในปี พ.ศ. 2541	ช่วงอายุในบรรยากาศ
คาร์บอนไดออกไซด์	1	280	365	ไม่แน่นอน
มีเทน	21	0.7	1.75	12
ไนตรัสออกไซด์	310	0.27	0.31	114
HFC 23	12000	0	0.000014	250
HFC 134a	1300	0	0.0000075	13.8
HFC 152a	120	0	0.0000005	1.4
CF4	5700	0.0004	0.00008	>50000
C2F6	11900	0	0.000003	10000
SF6	22200	0	0.0000042	3200

ที่มา: Kirby (2009)

2.3 ก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตร

แม้ว่าภาคอุตสาหกรรมจะเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในโลก แต่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรนับว่าเป็นสัดส่วนที่มีความสำคัญเช่นกัน โดยพบว่า ภาคการเกษตรมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจากมากถึงร้อยละ 14.9 จากปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก โดยสามารถแบ่งลักษณะแหล่งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเกษตรได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกพืชและการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากภาคการเกษตรมีทั้งก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่มีการปลดปล่อยจากภาคการเกษตรค่อนข้างสูงมาก กล่าวคือ ก๊าซมีเทนในโลกมาจากการทำการเกษตร 53% ในขณะที่ก๊าซไนตรัสออกไซด์ถูกปลดปล่อยจากภาคการเกษตรมากถึง 75% เมื่อเทียบกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ทั้งหมด นอกจากนี้ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ ยังมีความสามารถในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 21 เท่า และ 310 เท่า ตามลำดับ ในส่วนของประเทศไทยนั้นสามารถกล่าวได้ว่าภาคการเกษตรมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 82.79 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 24.1 จากก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในประเทศ ซึ่งเพิ่มจาก 77.39 ล้านตันในปีพ.ศ. 2537 โดยสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตรสามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2-2 (วิฑูรย์ ปัญญากุล, 2555)

ตารางที่ 2-2 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งต่างๆ ด้านเกษตรกรรม

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	กิจกรรมในภาคการเกษตร	สัดส่วนเทียบกับก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด		สัดส่วนเทียบกับการปลดปล่อยก๊าซชนิดนั้นๆ
ไนตรัสออกไซด์	การใช้ที่ดินในการเพาะปลูก	6.0%		75% ของก๊าซไนตรัสออกไซด์
มีเทน	ปศุสัตว์และมูลสัตว์	5.1%	7.5%	53.57% ของก๊าซมีเทน
	นาข้าว	1.5%		
	อื่นๆ	0.9%		
คาร์บอนไดออกไซด์	เครื่องจักรทางการเกษตร	1.4%		1.81% ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
รวมการปลดปล่อยทั้งหมด		14.9%		

ที่มา: Kirby et al. (2009)

2.3.1 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทนจัดเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบรุนแรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ทั้งนี้ดินนาข้าวถือเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญ โดยมีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมของดินนาข้าวซึ่งมีน้ำขัง โดยดินนาที่มีน้ำขังนั้นจะมีลักษณะแตกต่างจากดินในการทำการเกษตรหรือดินทั่วๆ ไป ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ ชีวภาพ เคมี ตลอดจนสมบัติบางประการของดินที่อาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเมื่อเกิดสภาพน้ำขังเป็นเวลานาน ทั้งนี้กระบวนการของการเกิดก๊าซมีเทนที่เรียกว่า Methanogenesis จะเกิดขึ้นภายใต้สภาพไร้อากาศของชั้นดินนาข้าวผ่านการย่อยสลายอินทรียวัตถุของแบคทีเรีย (Dubey, 2005) นอกจากนี้มีปัจจัยสำคัญหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ได้แก่ ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในดิน (Redox Potential; Eh) อัตราส่วนของประสิทธิภาพการออกซิไดซ์ (O_2, NO_3^-, Mn^{+4} และ Fe^{+3}) ประสิทธิภาพการรีดิวซ์ (การย่อยสลายอินทรียวัตถุ) ปริมาณและคุณภาพของอินทรียวัตถุในดิน อุณหภูมิ (20 < 40 (ช่วงที่เหมาะสม) < 60 ºC) อิทธิพลจากปุ๋ยบำรุงดิน pH ในดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ และปัจจัยอื่นๆ เช่น มวลชีวภาพของข้าว และความเข้มข้นของเกลือ เป็นต้น (Yagi, 1994)

การเกิดก๊าซมีเทนนั้นส่วนใหญ่จะเกิดในดินชั้นบนซึ่งจะมีส่วนประกอบของอินทรียวัตถุที่ถูกย่อยสลายได้ง่าย และเกิดจาก 2 กระบวนการหลัก (Oremland, 1998) คือ

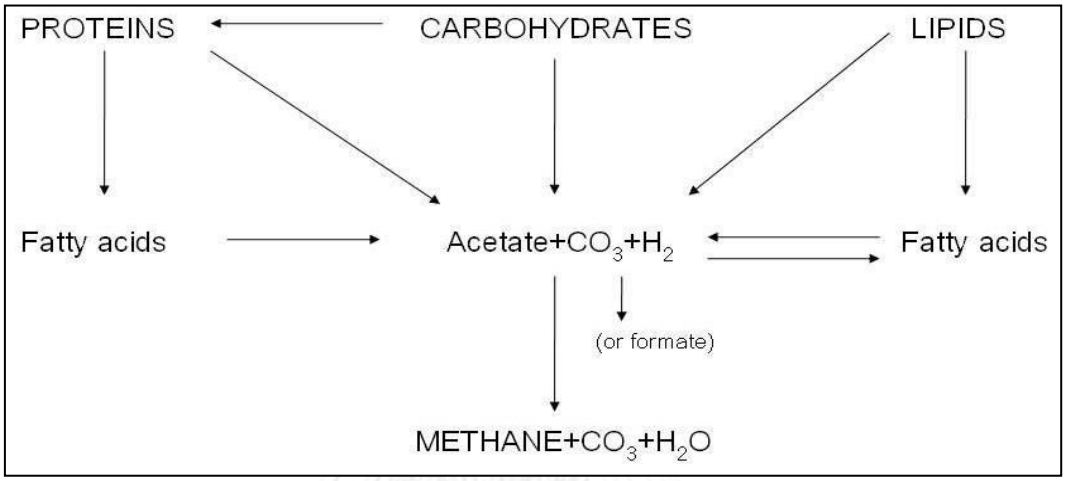
1) กระบวนการ Reduction ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากกรดไขมัน (Fatty Acid) หรือแอลกอฮอล์ (Alcohol)

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

2) การเกิด Trans methylation ของกรดอะซีติค (Acetic Acid)

$$CH_3COO^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

โดยแหล่งของสารอาหารที่ให้พลังงาน และคาร์บอนแก่จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน (Methanogen) ส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักอินทรียวัตถุ ได้แก่ H_2, CO_2, Formate, Acetate, Methanol, และ Methylated Amines สุดท้ายของการหมักอินทรียวัตถุจะทำให้เกิดก๊าซมีเทน แสดงดังรูปที่ 2-1



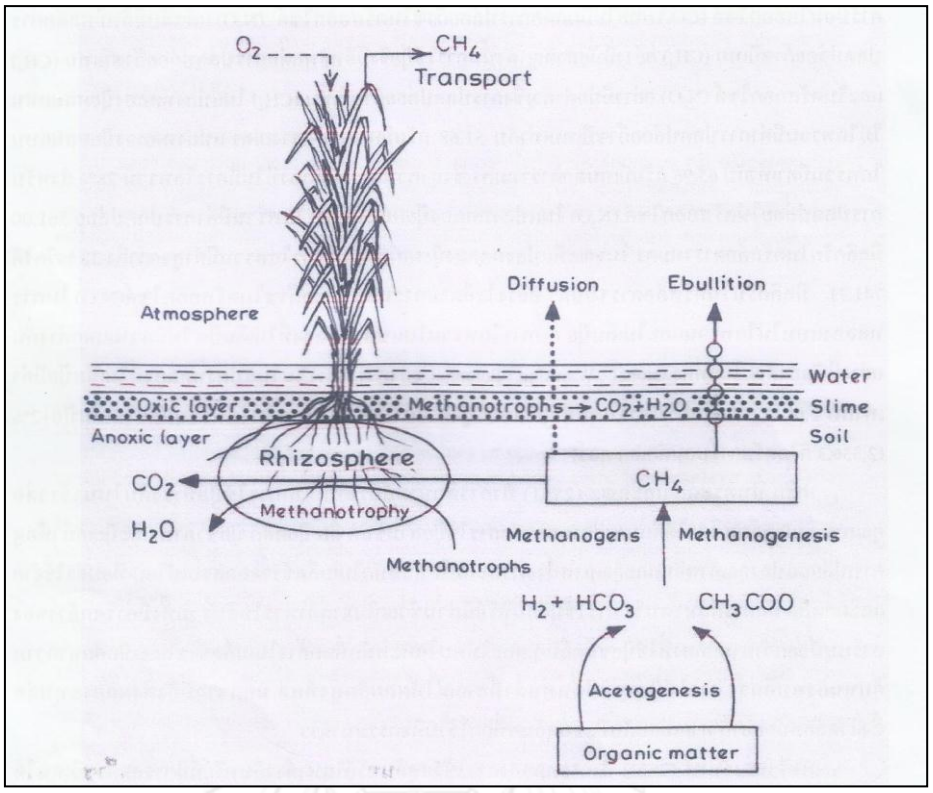
รูปที่ 2-1 แหล่งของคาร์บอนและสารตัวกลางที่จุลินทรีย์กลุ่ม Methanogens ใช้ในกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน (Oremland, 1998)

ก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศนั้นเป็นส่วนที่เหลือจากการดูดใช้โดยจุลินทรีย์ Methanotrophic Bacteria ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในดินนาข้าวสามารถเคลื่อนย้ายสู่ชั้นบรรยากาศได้ 3 ทาง (Wang et al., 1995) (รูปที่ 2-2) ดังนี้

1) การเคลื่อนที่ผ่านต้นข้าว (Plant Mediate Active Transport) โดยต้นข้าวจะดูดสารละลายดินที่มีก๊าซมีเทนละลายอยู่ โดยก๊าซมีเทนจะผ่านทางช่องอากาศของรากข้าว และปลดปล่อยสู่บรรยากาศทางกาบใบและใบ

2) การเคลื่อนที่โดยกระบวนการแพร่ (Diffusion) ผ่านชั้นน้ำขังที่อยู่เหนือผิวดินในรูปที่มีน้ำขังความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในดิน น้ำ และอากาศ โดยมีความแตกต่างกันจึงทำให้เกิดการแพร่ของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศได้

3) การเคลื่อนที่เป็นฟองก๊าซมีเทนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ (Ebullition) การปลดปล่อยในรูปนี้เกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงแรกของฤดูการทำนาที่ยังมิได้มีการปักดำข้าวหรือระยะหลังปักดำซึ่งมีอินทรียวัตถุในดินปริมาณมาก



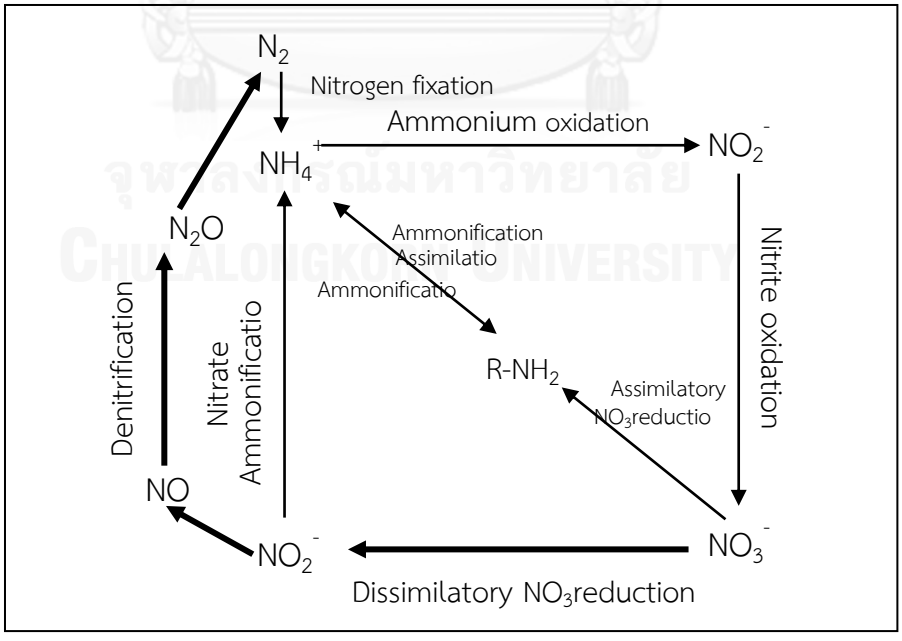
รูปที่ 2-2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ (Dubey, 2005)

2.3.2 ก๊าซไนตรัสออกไซด์

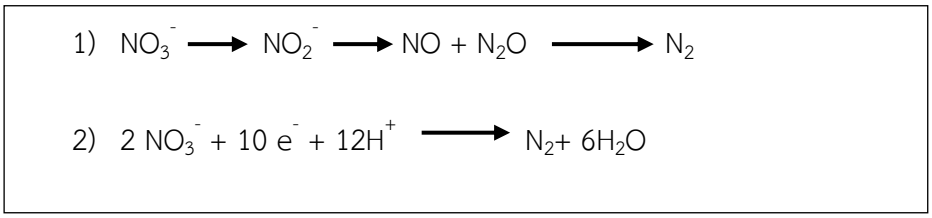
ก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดที่มีการปลดปล่อยจากภาคเกษตรกรรม คือ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการเกษตรโดยตรง Gogoi and Baruah (2012) ได้รายงานว่า จากปี 1990 ถึงปี 2005 พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากภาคการเกษตรกรรมเพิ่มขึ้น 17% และจะเพิ่มขึ้น 35-60% ในปี 2030 โดยก๊าซไนตรัสออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและผลิตภัณฑ์ปุ๋ยจากมูลสัตว์ โดยก๊าซไนตรัสออกไซด์ส่วนใหญ่ (เกือบ 90%) เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (วิฑูรย์ ปัญญากุล, 2555) เนื่องจากก๊าซไนตรัสออกไซด์ถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) (Davidson and Scimel, 1995) สอดคล้องกับรายงานของ Guangxi et al. (2009) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากนาข้าวในประเทศจีนซึ่งพบว่า นาข้าวเป็นแหล่งสำคัญของการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และไม่ใช่แค่เพียงชั้นดินที่ถูกน้ำท่วมขังของนาข้าวเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงการเกิดไนตรัสออกไซด์จากชั้นใต้ดินอีกด้วย

2.3.2.1 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification Process)

ดีไนตริฟิเคชัน หมายถึง การแปรสภาพไนโตรเจนในรูปที่รวมกับธาตุอื่นไปเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ (ดังรูปที่ 2-3) (วีรานุช หลาง, 2551) ซึ่งเป็นแบคทีเรียจำพวก Facultative Anaerobic Bacteria (แบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งสภาพ Anaerobic และAerobic) ซึ่งจะเลือกใช้ไนโตรเจนในรูปไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน (Paul and Clark, 1996) ดังนั้นการรีดิวซ์ไนเตรทจึงเป็นผลจากการหายใจในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ทั้งนี้ก๊าซไนตรัสออกไซด์นั้นไม่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการนี้ แต่เป็นสาร Intermediate ที่สามารถเล็ดลอดออกมาจากดินเข้าสู่ชั้นบรรยากาศได้ (วรทัย รักหฤทัย และคณะ, 2547) หรือกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการคือ ก๊าซไนโตรเจนที่กลับสู่บรรยากาศ (Bernhard, 2012) ดังรูปที่ 2-4 อย่างไรก็ตาม ก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้ก็ต่อเมื่อเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ โดยปัจจัยที่ควบคุมปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน คาร์บอน อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำ รวมถึงความเข้มข้นของ ไนเตรท ไนไตรท์ด้วย (ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ และคณะ, 2554) แบคทีเรียบางชนิด เช่น *Escherichia coli* สามารถรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ได้ ในขณะที่แบคทีเรียอื่นๆ จะทำการรีดิวซ์ไนไตรท์เป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และรีดิวซ์ต่อเป็นก๊าซไนโตรเจน ตัวอย่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ เช่น *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Spirillum*, *Thiobacillus* และ *Bacillus* การเกิดไนตรัสออกไซด์จึงเกิดได้ดีเมื่อสิ่งแวดล้อมที่มีไนเตรทปริมาณมากรวมถึงค่าพีเอชที่ต่ำ แต่การเกิดก๊าซไนโตรเจนจะเกิดได้ดีกว่าเมื่อมีสารอินทรีย์เพียงพอที่จะเป็นแหล่งพลังงาน (วีรานุช หลาง, 2551) ทั้งนี้การเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันมี 4 ขั้นตอน ได้แก่



รูปที่ 2-3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (วีรานุช หลาง, 2551)



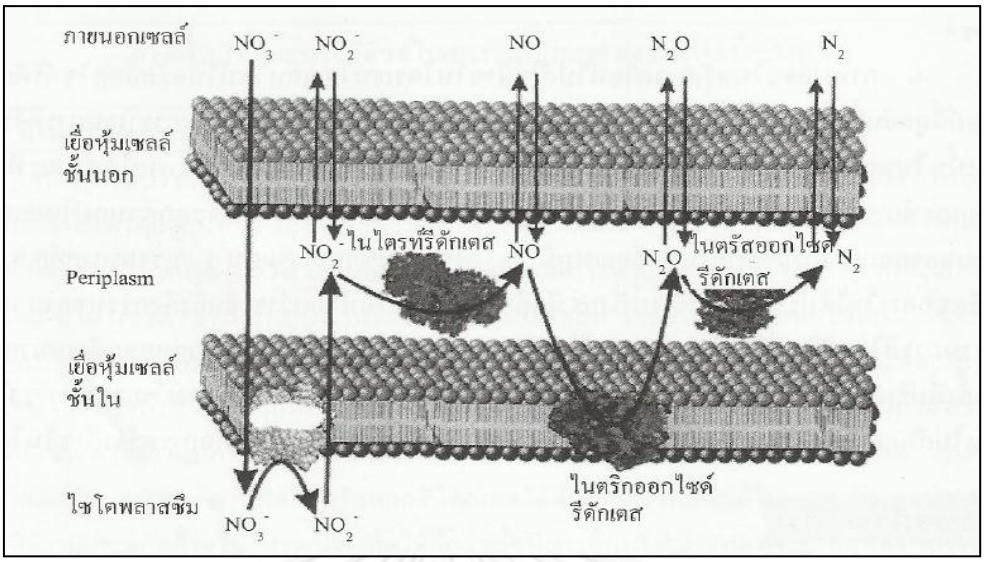
รูปที่ 2-4 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการ Denitrification (Bernhard, 2012)

1) การรีดิวไนเตรทเป็นไนไตรท์เกิดโดยเอ็นไซม์ไนเตรทรีดักเตส (Nitrous Reductase) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่มีโมลิบดีนัม-เหล็ก-กำมะถันเกาะอยู่กับส่วนโปรตีนที่เยื่อเซลล์ ทั้งกิจกรรมและการสร้างเอ็นไซม์นี้ถูกยับยั้งโดยออกซิเจน

2) การรีดิวซ์ไนไตรท์เป็นไนตริกออกไซด์ ขั้นตอนนี้เกิดโดยเอ็นไซม์ไนไตรท์รีดักเตส เอ็นไซม์ชนิดนี้จะมีเฉพาะในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยสามารถพบเอ็นไซม์นี้บริเวณระหว่างเยื่อเซลล์ชั้นนอกและชั้นใน (Periplasm) ดังรูปที่ 2-5 โดยมี 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปที่เกาะอยู่กับตะกั่ว และรูปที่เกาะอยู่กับเหล็ก ซึ่งการสร้างไนไตรท์รีดักเตสถูกยับยั้งโดยออกซิเจนแต่ถูกชักนำโดยไนเตรท

3) การเปลี่ยนไนตริกออกไซด์เป็นไนตรัสออกไซด์ โดยเอ็นไซม์ที่จับยึดเยื่อเซลล์ที่ชื่อว่าไนตริกออกไซด์รีดักเตสซึ่งถูกยับยั้งโดยออกซิเจนแต่ถูกชักนำโดยสารหลายชนิดที่อยู่ในรูปไนโตรเจนออกไซด์

4) การเปลี่ยนแปลงไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซไนโตรเจนโดยเอ็นไซม์ไนตรัสออกไซด์รีดักเตส โดยเอ็นไซม์นี้จะถูกยับยั้งที่พีเอชต่ำและไวต่อออกซิเจนมากกว่าเอ็นไซม์อีกสามชนิดในกระบวนการดีไนตริเคชัน ดังนั้นไนตรัสออกไซด์จะเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนสูงและพีเอชต่ำ กล่าวโดยสรุปคือ การสร้างเอ็นไซม์และกิจกรรมของมันจะถูกควบคุมโดยปริมาณของออกซิเจน ทั้งนี้ปริมาณออกซิเจนที่ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือน้อยกว่า จะยับยั้งกิจกรรมของเอ็นไซม์ในกิจกรรมดีไนตริฟิเคชันได้ โดยไนตรัสออกไซด์รีดักเตส ซึ่งมีความไวต่อออกซิเจนมากที่สุดจะถูกยับยั้งที่ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ 0.2 มิลลิลิตรต่อลิตร นอกจากนี้การเปลี่ยนจากไนตรัสออกไซด์ไปเป็นกาซไนโตรเจนยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณไนเตรทอีกด้วย กล่าวคือ ในปริมาณไนเตรทต่ำๆ มักจะหยุดแค่ไนตรัสออกไซด์โดยไม่เปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน



รูปที่ 2-5 ตำแหน่งการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Maier et al., 2000; วีรานุช หลาง, 2551)

การเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนในดินนา และในน้ำจะเคลื่อนที่ได้ 2 ลักษณะ (Davidson and Scimel, 1995, กัลยกร โปร่งจันทึก 2549, พันธวัศ สัมพันธ์พานิช 2554) ดังนี้

1) การเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจาย (Diffusion) จากตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของสารหรืออนุมูลที่สูงกว่าไปสู่ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของอนุมูลที่ต่ำกว่า

2) การเคลื่อนที่ไปทั้งมวลสาร (Mass Flow) เคลื่อนที่ในลักษณะการไหลในตำแหน่งที่มีน้ำมากกว่าไหลไปยังตำแหน่งที่มีน้ำน้อยกว่า

2.4 พฤกษศาสตร์ข้าว

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก ข้าวเป็นพืชล้มลุก ใบเลี้ยงเดี่ยว และถูกจัดอยู่ในตระกูลหญ้าเนื่องจากลักษณะภายนอกที่คล้ายกับหญ้า (ตารางที่ 2-3) ข้าวที่นำมาปลูกเป็นอาหารนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ข้าว *Oryza sativa* ปลูกในทวีปเอเชียและ *Oryza glaberrima* ปลูกในทวีปแอฟริกา แต่ข้าวที่ค้าขายกันในตลาดโลกเกือบทั้งหมดเป็นข้าวที่ปลูกจากแถบเอเชีย โดยข้าว *Oryza sativa* สามารถจำแนกได้เป็น 3 Subspecies คือ *indica*, *japonica* และ *javanica* ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2-4 ข้าวทั้ง 3 Subspecies จำแนกโดยใช้แหล่งปลูกที่แตกต่างกัน สำหรับข้าวที่ปลูกในไทยเป็นพันธุ์ข้าวเมล็ดยาว คือ *indica* แต่ประกอบด้วยหลายพันธุ์ทั้งที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ และข้าวพันธุ์พื้นเมืองซึ่งมีอยู่ประมาณ 3,500 พันธุ์ ซึ่งมีข้าวป่า ข้าวพื้นเมือง และข้าวที่ผสมโดยมนุษย์ขึ้นมาใหม่

ตารางที่ 2-3 แสดงการจัดลำดับอนุกรมวิธานของข้าว

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์และชื่อสามัญ
Kingdom:	Plantae – Plants
Subkingdom:	Tracheobionta - Vascular plants
Superdivision:	Spermatophyta - Seed plants
Division:	Magnoliophyta - Flowering plants
Class:	Liliopsida – Monocotyledons
Subclass:	Commelinidae
Order:	Cyperales
Family:	Poaceae - Grass family
Genus:	*Oryza* L. – rice
Species:	Oryza sativa - rice

ที่มา: National Plant Data Center (2013)

ตารางที่ 2-4 ลักษณะความแตกต่างระหว่างข้าว *indica*, *japonica* และ *javanica*

ลักษณะ	*indica*	*japonica*	*javanica*
1. ใบ	สีเขียวอ่อน,ใบกว้าง	สีเขียวเข้ม,ใบแคบ	สีเขียวอ่อน,ใบกว้างและแข็ง
2. เมล็ด	เรียวและแบน	สั้นและป้อม	กว้าและหนา
3. การแตกกอ	แตกกอมาก	แตกกอปานกลาง	แตกกอน้อย
4. ทรงต้น	สูง	เตี้ย	สูง
5. หนวดข้าว	มักไม่มีหนวด	ไม่มีหนวดข้าวจนถึงมีหนวดยาว	ไม่มีหนวดข้าวจนถึงมีหนวดยาว
6. ขนบนเปลือกเมล็ด	ขนสั้นและบางเบา	ขนยาวและดก	ขนยาว
7. การร่วงของเมล็ด	ร่วงง่าย	ร่วงยาก	ร่วงยาก
8. ความแข็งของเนื้อเยื่อ	อ่อน	แข็ง	แข็ง
9. การตอบสนองต่อช่วงแสง	แตกต่างกันในระดับการตอบสนองต่อช่วงแสง	แตกต่างกันในระดับการตอบสนองต่อช่วงแสง	ตอบสนองต่อช่วงแสงเล็กน้อย

ที่มา: ห้องหนังสืออิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2011)

2.4.1 การเจริญเติบโตและโครงสร้างของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวสามารถอธิบายได้โดยแบ่งออกตามส่วนประกอบต่างๆ ของข้าว ดังนี้ (ห้องหนังสืออิเล็คทรอนิกส์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2011)

2.4.1.1 การเจริญเติบโตทางลำต้น

การเจริญทางลำต้นเริ่มตั้งแต่ข้าวงอกจากเมล็ดข้าวไปจนถึงวันที่สร้างรวงอ่อนหรือช่อดอก ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยข้าวจะสร้างส่วนต่างๆ เพื่อทำการสะสมอาหารไว้สำหรับการเจริญเติบโตในระยะสืบพันธุ์ ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ และการแตกกอ (เกริก ปิ่นตระกูล, 2550) โดยมีรายละเอียด (รูปที่ 2-6) ดังนี้

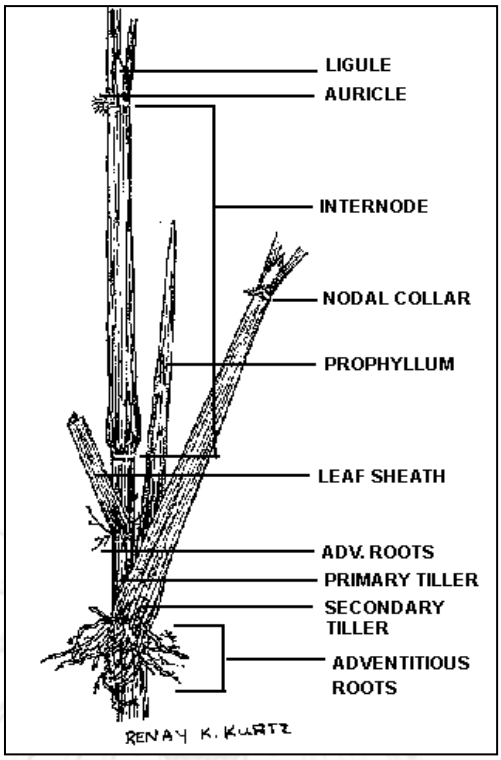
1) เมล็ดข้าว (Rice Fruit, Rice Grain, Rice Seed) เมล็ดข้าวเป็นผลชนิด Caryopsis ซึ่งจะมีเมล็ด (Seed) ติดกับผนังรังไข่ที่สุกแล้ว (Pericarp) เมล็ดข้าวประกอบด้วยรังไข่ที่สุกแล้วพร้อมทั้งมี Lemma, Palea Rachilla, Sterile Lemmas และหนวดข้าว (ถ้ามี) ติดอยู่ ส่วนที่เป็นเปลือกคือ lemma, Palea, Sterile Lemma, Rachilla และหนวดข้าว รวมเรียกว่า แกลบ (Hull หรือ Husk) เมล็ดข้าวที่แยกส่วนแกลบออกเรียกว่า Caryopsis หรือข้าวกล้อง (Brown Rice) ชั้นนอกสุดของข้าวกล้องคือ ชั้นของ Pericarp ซึ่งแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ชั้น คือ Epicarp, Mesocarp และ Endocarp ถัดจาก Pericarp เข้ามาจะเป็นชั้นของ Tegmen หรือ Seed Coat ถัด จาก Tegment เข้ามาจะเป็นชั้นของ Aleurone Layear Aleurone layer จะเป็นเยื่อชั้นในสุดที่ห่อหุ้ม Endosperm และคัพภะ (Embryo) คัพภะซึ่งอยู่ทางด้านล่างของเมล็ดทางด้าน Lemma จะประกอบด้วยส่วนที่จะเจริญเป็นต้นเรียกว่า Plumule และส่วนที่จะเจริญเป็นรากเรียกว่า Radicle Plumule ซึ่งจะถูกหุ้มด้วย Coleoptile และ Radicle จะมี Coleorhiza ห่อหุ้มซึ่งองค์ประกอบทั้ง 4 นี้ รวมเรียกว่า Embryonic Axis ซึ่งจะถูกยึดทางด้านในโดย Scutellum (Cotyledon) ซึ่งอยู่ติดกับ Endosperm ส่วนของ Coleoptile จะถูกล้อมรอบด้วย Scutellum และ Epiblast ซึ่งเป็นท่อส่งน้ำส่งอาหารที่เชื่อมติดกับด้านข้างของ Scutellum Endosperm จะประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่อยู่ปะปนกับโปรตีน โดยเฉพาะข้าวเหนียวจะมีแป้งชนิด Amylopectin เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนโพแทสเซียมไอโอไดด์จะให้สีน้ำตาลแดงส่วนแป้งข้าวเจ้าจะมีทั้ง Amylose และAmylopectin ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนโพแทสเซียม ไอโอไดด์จะให้สีน้ำเงินเข้ม ใน Endosperm นอกจากจะประกอบด้วย แป้งและโปรตีนแล้วยังประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆไขมัน เยื่อ ใย และสารอนินทรีย์

2) ราก (Root) เป็นส่วนที่อยู่ใต้ผิวดินใช้ยึดลำต้นกับดินเพื่อไม่ให้ต้นล้ม ข้าวมีรากเป็นระบบรากฝอย (Fibrous Root System) รากในส่วนแรกที่เจริญมาจาก ส่วนของ Radicle เรียกว่า Primary Seminal Root ซึ่งรากนี้จะทำหน้าที่เป็นรากชั่วคราว ซึ่งนอกจากที่รากชั่วคราวเจริญจาก Radicle แล้ว ยังมีรากชั่วคราวอันอื่นอีก 2-3 ราก ซึ่งเกิดตามมา เรียกว่า Secondary Seminal Roots ซึ่งจะพัฒนาไปเป็น Lateral Roots รากชั่วคราวเหล่านี้จะเน่าเปื่อยไป และถูกแทนที่ด้วยระบบรากชุดที่สองที่เรียกว่า "Adventitious Roots" ซึ่งเกิดจากส่วนของข้อของลำต้นที่อยู่ใต้ดิน ข้าวขึ้นน้ำ (Floating Rice Varieties) สามารถเกิดรากที่ข้อของลำต้นที่อยู่

สูงขึ้นมา แต่อยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ราก Adventitious อาจเกิดจากส่วนอื่นๆ ของลำต้นได้ เช่น เกิด ที่ข้อเหนือดินก็เป็น Prop Roots หรืออาจจะเกิดตามปล้องของต้นข้าว เช่น Mesocotyl Roots ซึ่งเกิดจากปล้อง (Mesocotyl) และเกิดเฉพาะเมื่อเมล็ดถูกฝังไว้ค่อนข้างลึก หรือเมื่อเมล็ดถูกอบหรือคลุกด้วยสารเคมีบางอย่าง รากพิเศษ (Adventitious Roots) แต่ละอันจะมีการแตกแขนงออกไปเป็น ลำดับ จาก Primary Root เป็น Secondary Root จาก Secondary Root แตกออกเป็น Tertiary Root และในสภาพนาที่มีน้ำขัง รากอาจแตกแขนงออกได้ถึง 6 ลำดับ ลักษณะพิเศษประการหนึ่งของรากข้าวคือ การที่มีช่องอากาศขนาดใหญ่ในรากที่เติบโตเต็มที่แล้ว เรียกว่า Lysigenous Intercellular Space ซึ่งช่องอากาศนี้จะเชื่อมต่อกับช่องอากาศในลำต้นและใบ ทำให้อากาศส่งผ่านจากส่วนยอดมาสู่ส่วนรากได้

3) ลำต้น (Stem) ลำต้นของข้าวประกอบด้วยชุดของข้อ (Node) และปล้อง (Internode) ตรงส่วน ของข้อจะเป็นที่เกิดของใบและตา ตาอาจจะเจริญขึ้นเป็นแขนง (Tiller) เยื่อที่อยู่ภายในข้อซึ่งเรียกว่า Nodal Septum จะแบ่งปล้องออกจากกัน ปล้องของลำต้นที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะกลวง ความยาวของปล้องจะแตกต่างกันโดยปล้องที่อยู่บนๆ จะยาวกว่าปล้องที่อยู่ล่างๆ ปล้องล่าง ๆ หลายปล้องอยู่ติดๆ กัน ทำให้ลำต้นส่วนล่างมีลักษณะตัน แขนง (Tiller) จะแตกออกจากลำต้นหลัก (Main Culm) โดยแตกในลักษณะสลับข้างกัน (Alternate Pattern) แขนงที่แตกจากลำต้นหลักเรียกว่า Primary Tiller ซึ่งจะเริ่มเกิดจากข้อที่อยู่ล่างสุดก่อน และ Primary Tiller จะแตกแขนงออกไปได้อีกเป็น Secondary Tiller แขนงที่แตกออกจาก Secondary Tiller จะเรียกว่า Tertiary Tiller ระหว่างแขนงกับต้นจะมี Prophyll หรือ Prophyllum Prophyll นี้มีลักษณะคล้ายๆ กาบใบแต่มีสีขาวค่อนข้างใส และมีสันตรงขอบ 2 สัน การแตกกอจะเริ่มประมาณเมื่อข้าวอายุ 10 วัน หลังปักดำ และจะถึงจุดการแตกกอสูงสุดเมื่ออายุ 50-60 วันหลังปักดำ

4) ใบ (Leaf) ใบจะประกอบด้วยกาบใบ (Sheath) และแผ่นใบ (Blade) กาบใบจะหุ้มส่วนของลำต้นไว้ จุดที่ฐานของกาบใบ ซึ่งพองนูนออกเรียกว่า Sheath Pulvinus แผ่นใบจะอยู่ต่อจากกาบใบมีความยาว ความกว้าง รูปร่าง สี และขนบนใบแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ใบที่อยู่บนสุด (ใบสุดท้าย) ที่อยู่ถัดลงมาจากรวงเรียกว่า ใบธง (Flag Leaf) ใบธงมักมีลักษณะผิดแผกไปจากใบอื่นๆ ในต้น ในเรื่องของรูปร่าง ขนาด และมุมใบ พันธุ์ต่างกันมักมีจำนวนใบแตกต่างกันไปด้วย ตรงผิวบนของใบจะมีสันเล็กๆ จำนวนมาก ซึ่งเป็นส่วนของเส้นใบที่ขนานกัน (Parallel Veins) และสันที่ใหญ่ที่สุดอยู่ตรงแนวกลางของผิวใบด้านล่างเป็นส่วนของเส้นกลางใบ (Midrib) หูใบหรือเขี้ยวใบ (Auricles) ซึ่งเป็นรยางค์มีขนลักษณะรูปเคียว จะติดอยู่กับฐานของแผ่นใบทั้ง 2 ขอบ รอยต่อระหว่างแผ่นใบและกาบใบจะเป็นแถบสีขาวๆ ซึ่งเรียกว่า Collar หรือ Junctura และที่รอยต่อนี้จะมีเยื่อบางๆ ผิวเกลี้ยงเรียบหรือมีขนตอนปลายเยื่ออยู่เรียกว่า เยื่อกันฝน (Ligule) ลำต้นหลักจะมีจำนวนใบมากที่สุด จำนวนใบบนต้นแขนงจะลดลงตามลำดับ การเกิดของแขนงที่ฐานของต้นหลักจะมีใบที่ไม่สมบูรณ์ (Rudimentary Leaf) คือ ไม่มีแผ่นใบ และมีลักษณะเป็นสัน 2 สัน ที่เรียกว่า Prophyll (หรือ Prophyllum) ดังได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งขอบของ Prophyllum จะห่อหุ้มแขนงอ่อนที่แตกออกจากต้นหลัก ในขณะที่อีกด้านหนึ่งจะแนบติดกับต้นหลัก แขนงชนิด Secondary และ Tertiary Tiller จะมี Prophyllum เช่นเดียวกัน



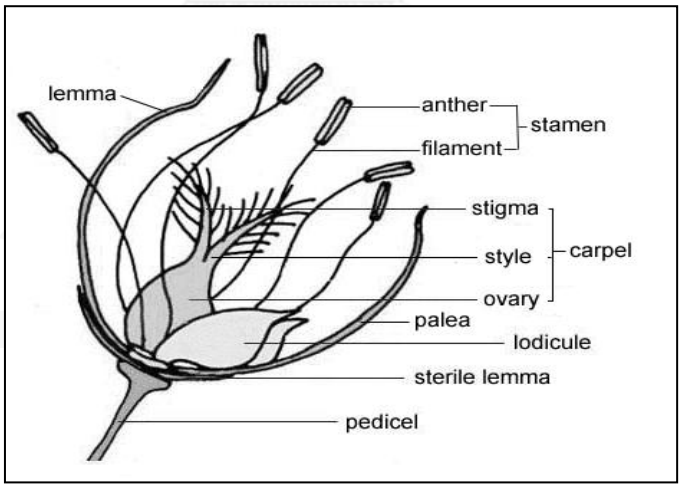
รูปที่ 2-6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าว (ส่วนลำต้น) (Thomas, 1997)

2.4.2.2 การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (Reproductive Growth Phase)

การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์จะใช้เวลาประมาณ 30-40 วัน เริ่มตั้งแต่ข้าวสร้างดอกอ่อนจนถึงวันที่รวงเริ่มโผล่ออกจากใบธง ระยะแรกเรียกว่า ข้าวแต่งตัว จนเมื่อรวงอ่อนมีขนาดใหญ่เรียกว่า ข้าวตั้งท้อง จากนั้นรวงข้าวจะโผล่ออกจากลำต้นเรียกว่า ข้าวโพล่ง และข้าวจะสร้างส่วนต่างๆ ของช่อดอกหรือรวงข้าว (Inflorescence, Panicle) และดอกข้าว (Spikelet) (เกริก ปิ่นตระกูล, 2550) (รูปที่ 2-7)

1) ช่อดอก (Inflorescence, Panicle) ช่อดอกข้าวหรือรวงข้าวจะเกิดอยู่เหนือปล้องสุดท้ายของลำต้น ซึ่งปล้องนี้ เรียกว่า uppermost internode ข้อที่เป็นฐานของช่อดอกเรียกว่า Panicle Base แกนกลางช่อดอกเรียกว่า Panicle Axis หรือ Rachis ช่อดอกข้าวจะแตกแขนงแบบ Racemose โดยที่แต่ละข้อของแกนกลางช่อดอกจะแตกแขนงออกเป็น Primary Branch และ Primary Branchจะแตกแขนงออกเป็น Secondary Branch โดยทั่วไป Primary Branch ที่ฐานของช่อดอกจะมีเพียงกิ่งเดียว แต่ภายใต้ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น มีแสงแดดจ้า มีความอุดมสมบูรณ์ของดินดี อาจจะมี Primary Branch จากฐานของช่อดอกได้ 2-3 กิ่ง ในระยะเวลา 2-3 วันหลังการเริ่มกำเนิดช่อดอก (Panicle Initiation) ช่อดอกจะมีขนาดยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร ซึ่งอาจสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือด้วยแว่นขยายเมื่อผ่าต้นข้าวตามยาวถึงปลายยอด

2) ดอกข้าว (Spikelet) ดอกข้าวมีขนาดเล็กเรียกว่า Spikelet จะเกิดอยู่บนก้านดอก (Pedicel) ปลายของก้านดอกจะพองเป็นปุ่มนูนซึ่งเป็นเปลือกนอก (Glume) ที่แท้จริงของ Spikelet เราเรียกปุ่ม นูน 2 ปุ่มนี้ว่า Rudimentary Glumes Lemma, Palea และดอก (Flower) ที่อยู่ภายในรวมกันเรียกว่า ดอกย่อย (Floret) Sterile Lemma จะสั้นกว่า Lemma และ Palea โดยมีความยาวไม่ถึง 1 ใน 3 ของ Lemma และ Palea ส่วนSpikelet ของพืชในสกุล Oryza ประกอบด้วยดอกย่อย (Floret) 3 ดอกย่อย ซึ่งดอกย่อย 2 ดอกจะไม่เจริญ Spikelet หนึ่งๆ จะมีแกนเล็กๆ ที่ต่อจากก้านดอกเรียกว่า Rachilla บน Rachilla จะมี 1 ดอกย่อยเกิดอยู่ระหว่างกลีบรองดอก (Bracts) 2 ชั้น กลีบรองชั้นล่าง 1 คู่ มีขนาดสั้นกว่ากลีบรองชั้นบน กลีบรองชั้นล่างนี้เป็นดอกย่อยที่ไม่เจริญ เราเรียกว่า Sterile Lemma จะเป็นกลีบรองที่แข็งมีขนาดใหญ่กว่า Palea และครอบ Paleawไว้ บางส่วนปลายแหลมที่ยอดของ Lemma และ Palea เรียกว่า Apiculi ส่วนหนวดข้าวหรือหางข้าว (Awn) เป็นขนที่เกิดจากการยืดขยายจากสันกลาง (Nerve) ของ Lemma ดอกประกอบด้วย Stamen 6 อัน Pistil และ Lodicules Stamen จะมีอับเรณู (Anther) ที่มีลักษณะเป็นพูสองพูอยู่บนก้านอับเรณู (Filament) Pistill ประกอบด้วย Stigma, Styles และรังไข่ (Overy) Stigma มีลักษณะเป็นพู่ (Plumose) บนส่วนปลายของก้าน Styles ที่มีปลายแยกออกเป็น 2 แฉก Lodicules เป็นส่วนเล็กๆ ที่ฐานของรังไข่ มีลักษณะเป็นรูปไข่ มีอยู่ 1 คู่ ในขณะดอกบาน Lodicules จะเต่งทำให้ Lemma และ Palea กางออก อับเรณูจะหลุดออกจากก้านชูเกสรตัวผู้ พร้อมๆ กับการบานของดอก เมื่ออับเรณูแตกออกและโปรยละอองเกสรแล้ว ดอกข้าวจะหุบกลับ ดังนั้นข้าวจึงเป็นพืชที่สามารถผสมตัวเองได้ (Self-Pollinated Crop)



รูปที่ 2-7 ลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าว (ส่วนดอกข้าว) (Thomas, 1997)

2.4.2 ชนิดของข้าว

ข้าวที่ปลูกเพื่อบริโภค สามารถแบ่งออกได้เป็นชนิดต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้เป็นมาตรการสำหรับการแบ่งแยกข้าว ข้าวที่ปลูกทั่วไปอาจแบ่งได้ดังต่อไปนี้ (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534)

1) แบ่งตามสภาพของน้ำที่ใช้ปลูกข้าว

1.1) ข้าวไร่ (Upland Rice) หมายถึง ข้าวชนิดหนึ่งที่ปลูกในสภาพไร่หรือปลูกเหมือนพืชไร่กล่าวคือ ข้าวที่ปลูกบนที่ดอนไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก บริเวณที่ใช้ปลูกข้าวชนิดนี้มักไม่มีคันนา และอาศัยน้ำจากฝนเป็นหลัก

1.2) ข้าวนาสวน (Lowland Rice) หมายถึง ข้าวที่ปลูกแบบปักดำหรือหว่าน และระดับน้ำในนาลึกไม่เกิน 80 เซนติเมตร

1.3) ข้าวน้ำลึก (Deep water Rice) หมายถึง ข้าวที่ปลูกในสภาพนาลุ่มมากหรือในสภาพที่มีน้ำขังตั้งแต่ 51 เซนติเมตรจนถึงลึก 2-3 เมตร

1.4) ข้าวนาเมือง ข้าวขึ้นน้ำหรือข้าวฟางลอย (Floating Rice) หมายถึง ข้าวที่ปลูกในสภาพนาที่ลุ่มและลึกมาก กล่าวคือ มีความสูงของต้นข้าวมากกว่า 150 เซนติเมตรขึ้นไป และในที่ที่มีความลึกมากๆ อาจสูงถึง 5-6 เมตร ข้าวพวกนี้มีความสามารถในการยืดตัวหรือยืดปล้องเพื่อหนีน้ำได้ดี

2) แบ่งตามวิธีการทำนาหรือสภาพการปลูก

2.1) ข้าวไร่ หรือข้าวนาหยอด (Upland Rice : Hill Rice) หมายถึง ข้าวที่ใช้วิธีปลูกโดยการหยอด โรย หรือหว่านเมล็ดข้าวแห้งลงไปในดินโดยตรง หรือ Direct Seeding

2.2) ข้าวนาดำ (Transplanting Method) หมายถึง ข้าวที่ปลูกด้วยวิธีการใช้ “ต้นอ่อน” หรือ “ต้นกล้า” ไปปักดำ กล่าวคือ ต้องเลี้ยงกล้าให้โตได้ขนาดก่อนแล้วจึงถอนกล้าไปปักดำในแปลง

2.3) ข้าวนาหว่าน (Broadcasting or Direct Seeding Method) หมายถึง ข้าวที่ปลูกด้วยการหว่านเมล็ดข้าวลงในแปลงนาโดยตรงโดยไม่ต้องเพาะกล้า แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะย่อย ได้แก่

2.3.1) นาหว่านข้าวแห้ง (นาหว่านสำรวย) เป็นการทำนาด้วยการนำเมล็ดข้าวที่เป็นเมล็ดแห้ง (Dry Seed) หว่านลงแปลงนาโดยตรง

2.3.2) นาหว่านข้าวงอก (นาหว่านน้ำตม) การทำนาด้วยการเพาะเมล็ดจนงอกหว่านลงในแปลงนาโดยตรงหรือหว่านลงบนดินโคลน

4) แบ่งตามชนิดของเนื้อแป้งในเมล็ดข้าว

3.1) เมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วย แป้งอะไมโลส (Amylose) 15-30%

3.2) เมล็ดข้าวเหนียว ประกอบด้วยแป้งอะไมโลเพกทิน (Amylopectin) เป็นส่วนใหญ่ และมีอะไมโลสเป็นส่วนน้อย ประมาณ 5-7% แป้งอะไมโลเพกทิน (Amylopectin)

4) แบ่งตามความไวต่อช่วงแสง (Sensitivity to Photoperiod)

4.1) ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวที่มีการออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีกลางวันสั้นปกติถือว่า กลางวันมีความยาว 12 ชั่วโมง และกลางคืนมีความยาว 12 ชั่วโมง ฉะนั้น กลางวันที่มีความยาวน้อยกว่า 12 ชั่วโมง ก็ถือว่าเป็นวันสั้น และกลางวันที่มีความยาวมากกว่า 12 ชั่วโมง ก็ถือว่าเป็นวันยาว โดยพบว่า ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงในประเทศไทยมักจะเริ่มสร้างช่อดอก และออกดอกในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 40 นาที หรือสั้นกว่านี้ ดังนั้น ข้าวที่ออกดอกได้ในเดือนที่มีความยาวของกลางวัน 11 ชั่วโมง 40-50 นาที จึงได้ชื่อว่าเป็นข้าวที่มีความไวน้อยต่อช่วงแสง (Less Sensitive to Photoperiod) และพันธุ์ข้าวที่ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 10 - 20 นาที ก็ได้ชื่อว่าเป็นพันธุ์ที่มีความไวมากต่อช่วงแสง (Strongly Sensitive to Photoperiod) ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงเรียกข้าวว่า พืชวันสั้น (Short-day Plant) สำหรับพันธุ์ข้าวในประเทศไทยที่เป็นพันธุ์พื้นเมือง ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่มีความไวต่อช่วงแสง โดยเฉพาะข้าวที่ปลูกเป็นข้าวนาเมือง หรือข้าวขึ้นน้ำ

4.2) ข้าวที่ไม่ไวต่อแสง การออกดอกของข้าวพวกนี้ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน เมื่อต้นข้าวได้มีระยะเวลาการเจริญเติบโตครบตามกำหนด ต้นข้าวก็จะออกดอกทันที ไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้น หรือยาว เช่น ข้าวสายพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสง เมื่อมีอายุเจริญเติบโตนับจากวันตกกล้าครบ 90-100 วัน ต้นข้าวก็จะออกดอก ฉะนั้น พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงจึงใช้ปลูกได้ผลดี ทั้งในฤดูนาปรัง และนาปี อย่างไรก็ตามข้าวพวกที่ไม่ไวต่อช่วงแสงนั้น มักจะให้ผลิตผลสูงเมื่อปลูกในฤดูทำนาปรัง (ประพาส วีระแพทย์, 2520)

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว

ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพดินฟ้าอากาศ ดังต่อไปนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) ความสูงของพื้นที่ ข้าวขึ้นได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงที่สูง 2,500 เมตร สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในที่ดอน (ข้าวไร่) และที่ลุ่มมีระดับน้ำตั้งแต่ 5 เซนติเมตร (ข้าวนาสวน) จนถึงหลายเมตร (ข้าวฟางลอย)

2) ดิน ขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิดยกเว้นดินทราย ส่วนใหญ่ชอบขึ้นในดินเหนียว และเหนียวร่วน มีความเป็นกรดและด่าง ตั้งแต่ 3-10 ก็สามารถขึ้นได้แม้กระทั่งในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

3) ปริมาณน้ำฝน สำหรับข้าวไร่มีความต้องการน้ำตั้งแต่ 875 มิลลิเมตรต่อปี และข้าวนาสวนมีความต้องการน้ำประมาณ 2,000 มิลลิเมตรต่อปี แต่ควรมีการกระจายฝนที่ดีในพื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำชลประทานหรือที่เรียกว่า “นาน้ำฝน” ซึ่งส่วนใหญ่จะปลูกข้าวได้ในนาปีเท่านั้น และการตอบสนองต่อความต้องการน้ำยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และช่วงของการเจริญเติบโต โดยในช่วงของการเตรียมดินนั้นควรมีปริมาณน้ำฝนประมาณ 150-200 มิลลิเมตรต่อปี ช่วงที่เป็นต้นกล้าประมาณ 250-

400 มิลลิเมตรต่อปี จนถึงต้นกล้าอายุ 30-40 วัน ส่วนในช่วงปักดำจนกระทั่งเก็บเกี่ยวควรมีน้ำฝนอยู่ในระหว่าง 800-1,200 มิลลิเมตรต่อปี

4) แสงอาทิตย์ ปริมาณแสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งข้าวนั้นนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง สำหรับในช่วงเวลาสั้นหรือยาวของกลางวัน และกลางคืนมีผลต่อการสืบพันธุ์ของข้าวไวแสง ความเข้มแสงก็มีความสำคัญต่อการสร้างผลผลิต ซึ่งพบว่า ในช่วงฤดูฝนจะมีเมฆหมอกจึงทำให้มีความเข้มแสงน้อยกว่าในช่วงฤดูร้อนจึงส่งผลทำให้ข้าวมีผลผลิตน้อยลง

5) อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าว และการให้ผลผลิต โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 25-33 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส) จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน และการผสมเกสร เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไปในช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ

6) ความชื้นสัมพัทธ์ อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ไม่ชัดเจนนัก แต่พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับปริมาณความเข้มแสง และอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่อความเข้มของแสงมาก และอุณหภูมิสูงมักทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และเมื่ออุณหภูมิเย็นในเวลากลางคืนทำให้เกิดน้ำค้างสูง ซึ่งมีผลต่อการพัฒนาของเชื้อโรคของข้าวบางชนิด เช่น โรคใบไหม้ เป็นต้น

7) ลม หากมีการพัดถ่ายเทตลอดเวลา (ความเร็วลมประมาณ 0.75-2.25 เซนติเมตรต่อวินาที) จะช่วยให้มีการถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดี ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าลมแรงจะมีผลโดยตรงทำให้ต้นข้าวหักล้ม และเกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้

8) ฤดูปลูก สำหรับข้าวปลูกได้ตลอดปี แต่ควรหลีกเลี่ยงช่วงการปลูกที่ต้นข้าวจะออกดอกในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า 33 องศาเซลเซียส และหลีกเลี่ยงการปลูกข้าวที่ต้องเก็บเกี่ยวในช่วงที่ฝนตกชุกเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ดังนั้นก่อนการปลูกข้าวควรมีการวางแผนการปลูกที่เหมาะสมก่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 วิธีการปลูกข้าวนาดำ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้กรรมวิธีในการปลูกข้าวแบบนาปรัง คือ ข้าวที่ปลูกนอกฤดูทำนาปกติ โดยได้รับน้ำจากการชลประทาน และใช้พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสง สามารถที่จะกำหนดอายุการเก็บเกี่ยวได้ของแต่ละพันธุ์ค่อนข้างแน่นอน และได้ดำเนินการปลูกข้าวแบบนาดำ ซึ่งเป็นวิธีการทำนาที่มีการนำเมล็ดข้าวไปเพาะในแปลงที่เตรียมไว้ (แปลงกล้า) ให้งอกเป็นต้นกล้าแล้วถอนนำต้นกล้าไปปักลงในแปลงนาที่เตรียมเอาไว้ (ปักดำ) และมีการดูแลรักษาจนให้ผลผลิต ซึ่งการทำนาดำมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้ (กรมการข้าว, 2554.)

2.5.1 การเตรียมดิน

การเตรียมดินสำหรับการทำนาต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เช่น น้ำ ภูมิอากาศ ลักษณะพื้นที่ ตลอดจนแบบวิธีการทำนา และเครื่องมือการเตรียมดินที่แตกต่างกัน การเตรียมดินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1) การไถดะ และไถแปร คือ การพลิกหน้าดิน ตากดินให้แห้ง ตลอดจนเป็นการคลุกเคล้าฟาง และวัชพืช เป็นต้น ลงไปในดิน เครื่องมือที่ใช้อาจเป็นรถไถเดินตามจนถึงรถแทรกเตอร์

2) การคราดหรือใช้ลูกทุบ คือ การกำจัดวัชพืช ตลอดจนการทำให้ดินแตกตัว และเป็นเทือกพร้อมที่จะปักดำได้ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำต่อจากขั้นตอนที่ 1 และขังน้ำไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้มีสภาพดินมีความเหมาะสมในการคราดหรือการใช้ลูกทุบ โดยในบางพื้นที่อาจมีการใช้โรตารี ทั้งนี้ในการเตรียมดินควรมีข้อควรระวัง ดังนี้

2.1) ควรปล่อยให้ดินนามีโอกาสแห้งสนิทเป็นระยะเวลานานพอสมควร และถ้าสามารถไถพลิกดินล่างขึ้นมาตากให้แห้งได้ก็จะดียิ่งขึ้น ถ้าดินเปียกน้ำติดต่อกันโดยไม่มีโอกาสแห้งจะเกิดการสะสมของสารพิษ เช่น แก๊สไข่เน่า (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) เป็นต้น ซึ่งถ้าแก๊สนี้มีปริมาณมากก็จะเป็นอันตรายต่อต้นข้าวได้

2.2) ควรมีการปล่อยน้ำขังนาอย่างน้อย 2 สัปดาห์เพื่อให้เกิดกระบวนการหมัก และการสลายตัวของอินทรียวัตถุเสร็จสิ้นเสียก่อน ซึ่งดินจะมีการปรับตัวให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว และจะมีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นออกมาให้แก่ต้นข้าว

2.3) ดินกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดกำมะถัน เป็นดินที่มีสารที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นกรดด่าง ต่ำแก่ดินได้มากเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ดังนั้นดินพวกนี้จึงจำเป็นต้องขังน้ำไว้ตลอดเพื่อไม่ให้สารดังกล่าวได้สัมผัสกับออกซิเจน และควรมีการขังน้ำไว้อย่างน้อย 1 เดือนก่อนทำการปักดำข้าวเพื่อให้ปฏิกิริยาต่างๆ ตลอดจนความเป็นกรดของดินลดลงสู่สภาวะปกติ และค่อนข้างเป็นกลางเสียก่อน โดยดินกลุ่มนี้หากมีการขังน้ำตลอดปีหรือมีการทำนาปีละ 2 ครั้ง ก็จะเป็นการลดสภาวะความเป็นกรดของดิน และลดการเกิดสารพิษลงได้ซึ่งจะทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้น

2.5.2 การตกกล้า

การเตรียมต้นกล้าให้ได้ต้นข้าวที่แข็งแรง เมื่อนำไปปักดำจะทำให้ได้ข้าวที่สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็ว และมีโอกาสให้ผลผลิตสูง ต้นกล้าที่แข็งแรงดีต้องมีการเจริญเติบโต และความสูงสม่ำเสมอกันทั้งแปลง มีกาบใบสั้น, มีรากมาก, รากขนาดใหญ่, ไม่มีโรค และแมลงทำลาย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การเตรียมเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ตกกล้า ต้องเป็นเมล็ดพันธุ์ที่บริสุทธ์ ปราศจากสิ่งเจือปน มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูง (ไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์) ปราศจากการทำลายของโรค และแมลง

2) การแช่และหุ้มเมล็ดพันธุ์ นำเมล็ดข้าวที่ได้เตรียมไว้บรรจุในภาชนะ นำไปแช่ในน้ำสะอาดนานประมาณ 12-24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวขึ้นมาวางบนพื้นที่น้ำไม่ขัง และมีการถ่ายเทของอากาศดี นำกระสอบป่านชุบน้ำจนชุ่มมาหุ้มเมล็ดพันธุ์โดยรอบ รดน้ำทุกเช้า และเย็น เพื่อ

รักษาความชุ่มชื้น หุ้มเมล็ดพันธุ์ไว้นานประมาณ 30-48 ชั่วโมง เมล็ดข้าวจะงอกขนาดตุ่มตา (มียอดและรากเล็กน้อยโดยรากจะยาวกว่ายอด) พร้อมที่จะนำไปหว่านได้

3) การตกกล้า การตกกล้ามีหลายวิธีการขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และวัตถุประสงค์ เช่น การตกกล้าบนดินเปียก (ทำเทือก) การตกกล้าบนดินแห้ง และการตกกล้าใช้กับเครื่องปักดำข้าว

2.5.3 การปักดำ

การปักดำควรทำเป็นแถวเป็นแนว ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการกำจัดวัชพืช การเติมปุ๋ย การพ่นยากำจัดโรคแมลง และยังทำให้ข้าวแต่ละกอมีโอกาสได้รับอาหาร และแสงแดดอย่างสม่ำเสมอ สำหรับระยะปักดำนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ข้าว ดังนี้

1) พันธุ์ข้าวไม่ไวแสงหรือข้าวนาปรัง เช่น ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ชัยนาท 1 และพิษณุโลก 2 ควรใช้ระยะปักดำระหว่างแถว และระหว่างกอ 20x20 เซนติเมตร หรือ 20x25 เซนติเมตร

2) พันธุ์ข้าวไวแสงหรือข้าวนาปี เช่น เหลืองประทิว 123 ขาวดอกมะลิ 105 กข15 กข6 และปทุมธานี 60 ควรใช้ระยะปักดำ 25x25 เซนติเมตร

การปักดำ โดยการจับละ 3-5 ต้น ปักดำลึกประมาณ 3-5 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ข้าวแตกกอใหม่ได้เต็มที่ ถ้าการปักดำลึกจะทำให้ข้าวตั้งตัวได้ช้า และแตกกอได้น้อย ไม่ควรตัดใบกล้า เพราะการตัดใบกล้าจะทำให้เกิดแผลที่ใบ จะทำให้โรคเข้าทำลายได้ง่าย ควรตัดใบกรณีที่จำเป็น เช่น ใช้กล้าอายุมาก มีใบยาว ต้นสูง หรือพื้นที่มีลมแรงหากปักดำแล้วจะทำให้ต้นข้าวล้ม

ระดับน้ำในการปักดำ ควรมีระดับน้ำในนาน้อยที่สุดหรือมีเพียงแค่คลุมผิวดินเพื่อป้องกันวัชพืช และประคองต้นข้าวไว้ไม่ให้ล้ม การควบคุมระดับน้ำหลังปักดำก็เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะระดับน้ำที่ลึกนั้นจะทำให้ต้นข้าวแตกกอน้อย ซึ่งจะทำให้ผลผลิตต่ำ ดังนั้นควรควบคุมน้ำให้อยู่ในระดับลึกประมาณ 1 ฝ่ามือ หรือประมาณ 5-10 เซนติเมตร

2.5.4 การดูแลรักษา

1) การเติมปุ๋ยเคมี ครั้งที่ 1 ให้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 หรือ 18-22-0 หรือ 20-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ที่ระยะปักดำหรือก่อนปักดำ 1 วัน แล้วคราดกลบหรือให้หลังปักดำ 15-20 วัน (หากเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายควรใช้สูตร 16-16-18) ครั้งที่ 2 ให้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 21-0-0 อัตรา 20-30 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะเกิดช่อดอกหรือ 30 วันก่อนข้าวออกดอก ครั้งที่ 3 ให้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตราเช่นเดียวกับครั้งที่ 2 ที่ระยะ 10-15 วัน หลังระยะเกิดช่อดอกแล้ว

2) การเติมปุ๋ยอินทรีย์ ควรไถกลบตอซังข้าวภายหลังการเก็บเกี่ยวก่อนการไถดะ ควรใส่วัสดุอินทรีย์เพื่อบำรุงดิน เช่น มูลสัตว์ และปุ๋ยหมัก เป็นต้น อัตราที่แนะนำคือ 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (Sampanpanish, 2012) หรือใช้เศษใบไม้ในอัตราประมาณ 250 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่ โดยใส่ในแปลงนา เมื่อไถดะก็จะเป็นการไถกลบวัสดุอินทรีย์ไปด้วย

3) การกำจัดวัชพืช วัชพืชเป็นปัญหาที่สำคัญที่จะยับยั้งการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว ซึ่งถ้าไม่มีการจัดการที่ดีจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตมาก วัชพืชจะขึ้นได้ทุกแห่ง ด้วยปริมาณ และชนิดที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ และวิธีการทำนา วัชพืชในนาข้าวมีทั้งพวกใบกว้าง (ใบเลี้ยงคู่) และใบแคบ (ใบเลี้ยงเดี่ยว) หรือพวกหญ้าต่างๆ และชนิดของวัชพืชจะขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่นา การป้องกันกำจัดวัชพืชสามารถกระทำได้ในหลายวิธีการ เช่น การไถ การคราด กำจัดด้วยมือ จนถึงการใช้สารเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับศักยภาพของเกษตรกร สำหรับการป้องกันกำจัดสามารถทำได้ตั้งแต่ก่อนปลูกเป็นต้นไป โดยอาจใช้หลักการ (ประพาส วีระแพทย์, 2520) ต่อไปนี้

3.1) การใช้พันธุ์ข้าวที่มีความเหมาะสม และเป็นเมล็ดพันธุ์ข้าวที่สมบูรณ์ พันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีลักษณะต้นสูงใบปรกรากหยั่งลงในแนวนอนจะแข่งขันกับวัชพืชได้ดีกว่าพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งมีลักษณะใบตั้ง ต้นเตี้ย และรากหยั่งลงในแนวดิ่ง เมล็ดพันธุ์ข้าวที่สมบูรณ์จะได้ต้นกล้าที่แข็งแรงมีความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืชได้ดี อีกทั้งเมล็ดพันธุ์ที่สะอาดปราศจากเมล็ดวัชพืชเจือปนก็จะเป็นการลดปัญหาวัชพืชได้ตั้งแต่ต้น

3.2) การเตรียมแปลงปลูก การไถดะเป็นการพลิกดินชั้นล่างขึ้นด้านบนและดินด้านบนลงล่าง ส่วนขยายพันธุ์ของวัชพืชที่อยู่ใต้ผิวดิน เมื่อมีความชื้นเพียงพอก็จะงอก และเมื่อไถครั้งที่ 2 (ไถแปร) ในขณะที่วัชพืชเริ่มงอก จะช่วยทำลายวัชพืชไปได้ส่วนหนึ่ง นอกจากนี้ยังพบว่า การไถครั้งที่ 2 จะลดปริมาณวัชพืชลงเกินครึ่งจนถึงเกือบหมด (ขึ้นอยู่กับชนิดของวัชพืชด้วย) ส่วนขั้นตอนการคราดนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บซากวัชพืชออกจากแปลงอยู่แล้ว ทั้งยังช่วยให้ดินร่วนซุย ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี และสามารถสู้กับวัชพืชที่จะขึ้นมาภายหลังได้อีก ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การปรับระดับพื้นที่ปลูกข้าวเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่ง หากมีการปรับพื้นที่นาที่ไม่สม่ำเสมอกันจะทำให้เกิดปัญหาวัชพืชในบริเวณที่ดอนกว่า และยังเป็นที่อยู่อาศัยของหนูอีกด้วย ซึ่งหากเกษตรกรให้ความสำคัญในเรื่องดังกล่าวก็จะช่วยป้องกันปัญหาวัชพืช และศัตรูพืชอื่นๆ ได้อีกวิธีหนึ่ง

3.3) อัตราปลูกหรือความหนาแน่นของต้นข้าว การปลูกด้วยอัตราที่มีความหนาแน่นสูงก็จะช่วยป้องกันกำจัดวัชพืชได้ ทั้งนี้เนื่องจากต้นกล้าจะลดช่องว่างที่จะให้วัชพืชขึ้นนั้น แต่ทั้งนี้ต้องไม่หนาแน่นเกินไปจนทำให้ต้นข้าวเกิดสภาพแก่งแย่งปัจจัยการเจริญเติบโตกันเอง

4) การเก็บเกี่ยว เมื่อดอกข้าวบาน และมีการผสมเกสรแล้วหนึ่งสัปดาห์ ภายในดอกข้าวที่ห่อหุ้มด้วยเปลือกนอกใหญ่ก็จะเริ่มเป็นแป้งเหลวสีขาว ในสัปดาห์ที่สองแป้งเหลวนั้นก็จะแห้งกลายเป็นแป้งค่อนข้างแข็ง และในสัปดาห์ที่สามแป้งก็จะแข็งตัวมากยิ่งขึ้นเป็นรูปร่างของเมล็ดข้าวกล้อง แต่ข้าวจะแก่เก็บเกี่ยวได้ในสัปดาห์ที่สี่นับจากวันที่ผสมเกสร จึงเป็นที่เชื่อถือได้ว่า เมล็ดข้าวจะแก่พร้อมเก็บเกี่ยวได้หลังจากออกดอกแล้วประมาณ 30-35 วัน

5) การนวดข้าว หมายถึง การเอาเมล็ดข้าวออกจากรวงแล้วทำความสะอาด เพื่อแยกเมล็ดข้าวลีบ และเศษฟางข้าวออกไป เหลือไว้เฉพาะเมล็ดข้าวเปลือกที่ต้องการเท่านั้น ขั้นแรกจะต้องตากข้าวให้แห้งเสียก่อน การกองข้าวสำหรับตากก็มีหลายวิธี แต่หลักสำคัญมีอยู่ว่า การกองจะต้องเป็นระเบียบ ถ้ากองไม่เป็นระเบียบมัดข้าวจะอยู่สูงๆ ต่ำๆ ชาวนามักจะกองเป็นรูปสามเหลี่ยมที่เป็นระเบียบ เพื่อจะทำให้ความชื้นค่อยๆ ลดลงแล้วความแข็งแกร่งของเมล็ดก็จะค่อยๆ เพิ่มมากขึ้น

ด้วย และเมื่อฝนตกลงมาน้ำฝนก็ไม่อาจจะไหลเข้าไปในกองข้าวหลังจากนั้นก็ขนไปที่ลานนวดข้าวแล้วเรียงไว้เป็นชั้นๆ เป็นรูปวงกลม

6) การทำความสะอาดเมล็ด หมายถึง การเอาข้าวเปลือกออกจากสิ่งเจือปนอื่นๆ ซึ่งทำได้โดยวิธีต่างๆ เช่น การสาดข้าว การใช้กระด้งฝัด และการใช้เครื่องสีฝัด

7) การตากข้าว หลังจากนวดและทำความสะอาดเมล็ดข้าวแล้วจึงจำเป็นต้องเอาข้าวเปลือกไปตากอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะเอาไปเก็บไว้ในยุ้งฉาง เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวเปลือกที่แห้ง และมีความชื้นของเมล็ดประมาณ 13-15 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพื่อรักษาคุณภาพเมล็ดข้าวให้ได้มาตรฐานอยู่เป็นเวลานานๆ

8) การเก็บรักษาข้าว ควรเก็บข้าวไว้ในยุ้งฉาง เพื่อไว้บริโภค และแบ่งขายเมื่อข้าวมีราคาสูง และอีกส่วนหนึ่งควรแบ่งไว้ทำพันธุ์โดยรักษาให้ข้าวนั้นมีคุณภาพได้มาตรฐานอยู่ตลอดเวลาและไม่สูญเสียความงอก

2.6 ข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31

ข้าวเจ้าสายพันธุ์ ปทุมธานี 80 (กข31) (เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ SPR85163-5-1-1-2 กับสายพันธุ์ IR54017-131-1-3-2 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2536 ปลูกคัดเลือกตั้งแต่ปีพ.ศ. 2537 ถึงปีพ.ศ. 2539 ได้สายพันธุ์ SPR93049-PTT-30-4-1-2 โดยได้ทำการศึกษาพันธุ์ประเมินลักษณะประจำพันธุ์และลักษณะทางการเกษตร ทดสอบความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญ วิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและเคมีที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี เปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานี และระหว่างสถานีที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สุพรรณบุรี ฉะเชิงเทรา คลองหลวง และราชบุรี และปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในนาเกษตรกร 8 จังหวัดในภาคกลาง จนถึงปีพ.ศ. 2549 ทั้งนี้คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ กรมการข้าวได้มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง ชื่อ กข31 (ปทุมธานี 80) เพื่อแนะนำให้เกษตรกรปลูก เมื่อวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2550 (กรมการข้าว, 2554.) ดังรูปที่ 2-8

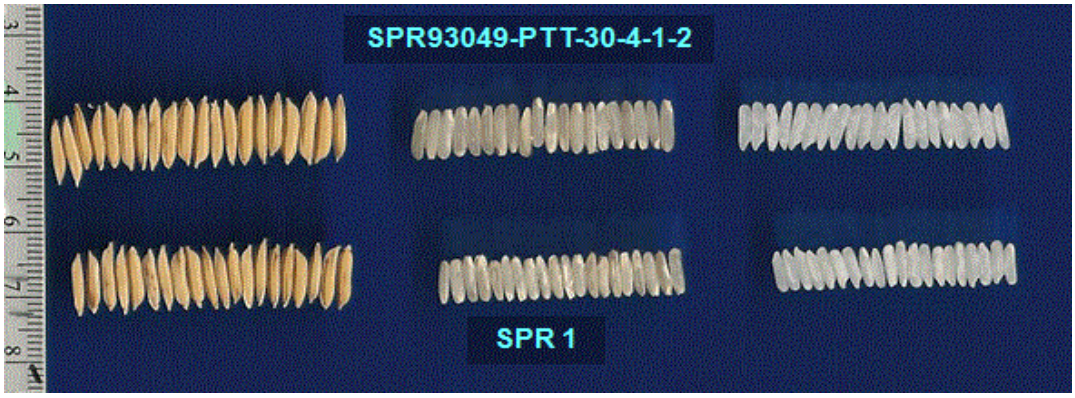
รูปที่ 2-8 ข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31

2.6.1 ลักษณะประจำสายพันธุ์ของข้าวปทุมธานี 80 (กข31)

1) เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง
2) อายุเก็บเกี่ยว 111 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม และ 118 วัน โดยวิธีปักดำ
3) ทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้มง่าย ใบสีเขียว กาบใบสีเขียว ใบธงตั้ง คอรวงยาว 29.9 เซนติเมตร
4) เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดไม่มีหาง ข้าวกล้องสีขาวเป็นท้องไข่น้อย รูปร่างเรียว
5) ระยะพักตัวของเมล็ดพันธุ์ประมาณ 5 สัปดาห์
6) เมล็ดข้าวเปลือก ยาว x กว้าง x หนา = 10.4 x 2.6 x 2.0 มิลลิเมตร
7) เมล็ดข้าวกล้อง ยาว x กว้าง x หนา = 7.4 x 2.1 x 1.8 มิลลิเมตร
8) ปริมาณอะมิโลสสูง (27.3 – 29.8 %) เฉลี่ย 745 กิโลกรัมต่อไร่ (ปักดำ)
9) ผลผลิตเฉลี่ย 738 กิโลกรัมต่อไร่ (นาหว่านน้ำตม)
10) อ่อนแอต่อโรคไหม้ โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม
11) เหมาะสมกับการเพาะปลูกในพื้นที่นาชลประทานภาคกลาง

2.6.2 ลักษณะเด่น

1) คุณภาพเมล็ดทางกายภาพสม่ำเสมอกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (ดังรูปที่2-9)
2) ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว ค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง ทรงกอตั้ง ต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ผลผลิตสูงกว่าผลผลิตของพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2-9 ลักษณะเมล็ดข้าวสายพันธุ์ข้าวปทุมธานี 80 (กข31) (กรมการข้าว, 2554)

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31)

สุนิยม ตาปราบ และคณะ (2552) ได้ทำการทดลองปรับปรุงข้าวสายพันธุ์ กข31 (ปทุมธานี 80) โดยผสมพันธุ์ข้าวระหว่างข้าวไทยสายพันธุ์ SPR85163-5-1-1-2 กับข้าวต่างประเทศสายพันธุ์ IR54017-131-1-3-2 ได้ข้าวสายพันธุ์ SPR93049-PTT-30-4-1-2 ต่อมาได้ผ่านการพิจารณาเป็นพันธุ์รับรองชื่อพันธุ์ กข31 (ปทุมธานี 80) โดยมีการศึกษาทดลองเป็นขั้นตอนคือ ศึกษาพันธุ์เปรียบเทียบผลผลิตในสถานีระหว่างสถานี และในนาเกษตรกร รวมทั้งศักยภาพการให้ผลผลิตในการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญ และศึกษาคุณภาพเมล็ดทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน โดยมีระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ปี 2536-2549 รวม 13 ปี พบว่า ข้าวพันธุ์ กข31 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นสูง 117 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว 111-118 วัน เมล็ดข้าวกล้องสีขาวยาว 7.39 มิลลิเมตร กว้าง 2.13 มิลลิเมตร หนา 1.84 มิลลิเมตร ลักษณะเด่นคือ คุณภาพเมล็ดทางกายภาพสม่ำเสมอดีกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาวและค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง ลักษณะกอตั้งต้นแข็งไม่ล้มง่าย ผลผลิตสูง ปลูกโดยวิธีปักดำ ให้ผลผลิต 745 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตมให้ผลผลิต 738 กิโลกรัมต่อไร่ ในเขตนาชลประทานภาคกลาง แต่มีข้อควรระวังคือ ข้าวพันธุ์ กข31 อ่อนแอต่อโรคไหม้ โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม

2.7 ปุ๋ย **(Fertilizer)**

ปุ๋ย ตามความหมายในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2550 หมายถึง สารอินทรีย์ อินทรีย์สังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดิน เพื่อช่วยให้พืชสามารถเติบโตได้ (พระราชบัญญัติปุ๋ย ฉบับที่ 2, 2550) โดยประเภทของปุ๋ยที่ใช้ในทางการเกษตรนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.7.1 ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer)

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งได้มาจากซากพืช ซากสัตว์ รวมทั้งสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ เศษเหลือของสารอินทรีย์ต่างๆ ปุ๋ยประเภทนี้จะเป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์เสียก่อน (ธงชัย มาลา, 2546) โดยปุ๋ยอินทรีย์นั้นสามารถแบ่งประเภทได้ โดยใช้ลักษณะการกำเนิดเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ดังต่อไปนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

1) ปุ๋ยคอก (Animal Manures) หมายถึง มูลสัตว์ เช่น มูลวัว มูลสุกร มูลเป็ดและมูลไก่ เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้ประกอบไปด้วยส่วนของแข็งที่มาจากอุจาระของสัตว์ หรือจะเป็นเศษซากพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนระหว่างทางของระบบย่อยของสัตว์ และส่วนที่เป็นปัสสาวะ ซึ่งอุดมไปด้วยเกลือ และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ชนิดต่างๆ ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมีองค์ประกอบที่สมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารพืช อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยคอกนั้นไม่

แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุของสัตว์ ตลอดจนวิธีการเลี้ยง และการเก็บรักษา องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในมูลสัตว์ ซึ่งมูลสัตว์นี้นอกจากจะช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดินแล้ว ยังช่วยรักษาและป้องกันดิน ตลอดจนช่วยปรับปรุงดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช

2) ปุ๋ยหมัก (Composts) หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จาก พืชและสัตว์จากทางการเกษตร และจากชุมชนมาผลิตด้วยกรรมวิธีการหมักอย่างสมบูรณ์ ให้สลายตัวผุพังไปบางส่วนแต่การที่จะปล่อยให้สลายตัวผุพังไปเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อำนวย ชนิดของวัสดุที่ใช้ และกรรมวิธีในการหมัก ตลอดจนความต้องการของผู้ใช้ โดยปกติจะหมักให้อินทรีย์สารเหล่านั้นเปื่อยยุ่ยจนเป็นสีคล้ำหรือดำจึงจะนำมาใช้ได้ โดยปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิไม่สูงกว่าอากาศจึงเหมาะที่จะใส่บำรุงดินเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ ช่วยให้ดินร่วนซุยและอุ้มน้ำได้มากขึ้น

3) ปุ๋ยพืชสด (Green Manure) หมายถึง ปุ๋ยได้จากการใช้พืชสดชนิดต่างๆ ที่คาดว่าจะให้ประโยชน์ในแง่การเป็นปุ๋ยต่อพืชที่จะได้รับในการใส่พืชสดนั้นๆ พืชที่ใช้เป็นปุ๋ยอาจเป็นพืชตระกูลถั่ว ตระกูลหญ้า หรือพืชอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพืชโตเร็ว และมีลักษณะง่ายต่อการตัดหรือไถกลบ ซึ่งเมื่อปล่อยให้เจริญเติบโตมาระยะหนึ่งจะได้อินทรีย์สารมากพอ และมีธาตุอาหารพืชต่างๆ สะสมในส่วนของต้นในปริมาณสูง โดยทั่วไปมักนิยมใช้พืชตระกูลถั่วในระบบการปลูกธัญพืชต่างๆ แต่ถ้าเป็นการปลูกพืชหัว เช่น มันเทศ มันสำปะหลัง การใช้พืชตระกูลหญ้า และอื่นๆ จะทำให้พืชหัวนั้นมีการลงหัวดีกว่าการใช้พืชตระกูลถั่วที่มีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไป

4) พืชและสัตว์ชั้นต่ำในดิน เป็นที่ทราบกันดีว่าในดินนั้นมีสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เจริญเติบโตอยู่มากมาย ได้แก่ แบคทีเรีย แอคทิโนมันซีส รา เห็ด และสาหร่าย ซึ่งล้วนแต่เกี่ยวข้องกับสมดุลของการสร้าง และการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ พืชชั้นต่ำหลายชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ทั้งพวกที่อาศัยอยู่อย่างอิสระ เช่น แบคทีเรีย Azotobactor และ Clostridium สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวชนิดต่างๆ และพวกที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชอื่นอย่างพึ่งพาอาศัยกัน เช่น แบคทีเรีย Rhizobium ซึ่งอาศัยอยู่ร่วมกับพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น โดยพืชชั้นต่ำเหล่านี้มีอายุสั้นมาก จึงมีการเจริญเติบโต และมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็วมากในระหว่างช่วงเวลาที่สิ่งแวดล้อมเหมาะสม สำหรับกิจกรรมต่างๆ ของสัตว์เล็กในดินนั้นส่วนใหญ่เป็นผลต่อเนื่องมาจากกิจกรรมของพืชเล็กๆ ในดิน และปริมาณของอินทรีย์สารที่กลับคืนลงไปสู่ดิน เพราะแมลงต่างๆ ทั้งหลายที่อาศัยอยู่บนดินนั้นล้วนแต่อาศัยกินพืชหรือซากพืชทั้งเล็กและใหญ่ อีกทั้งปริมาณของมูลไส้เดือนบนผิวดินย่อมแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้เป็นอย่างดีบรรดาธาตุอาหารต่างๆ จะเคลื่อนย้ายจากพืชไปยังสัตว์ต่างๆ และมูลของมันและจะกลับมาเป็นอาหารของพืชในที่สุด ฉะนั้นการจัดการดินให้มีพืช และซากพืชอยู่เสมอจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของสัตว์เล็กๆ เหล่านี้ ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มพูนการสะสมของธาตุอาหารพืชในรูปเนื้อเยื่อของสัตว์

5) ซากสัตว์และผลพลอยได้จากโรงฆ่าสัตว์ การใช้ซากสัตว์ทำปุ๋ยให้แก่พืชได้กระทำกันมาตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว ในปัจจุบันมีโรงฆ่าสัตว์ อุตสาหกรรมแช่แข็ง และบรรจุกระป๋องเนื้อสัตว์ต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย ผลพลอยได้จากเศษเลือด เนื้อ ขน หนัง และเครื่องในสัตว์นั้นจะมีไนโตรเจนอยู่สูงถึง 10-15 เปอร์เซ็นต์ และมีธาตุอื่นๆ อยู่ครบถ้วนในปริมาณมากบ้างน้อยบ้าง ส่วนใหญ่จุลธาตุ

อาหารจะอยู่ในรูปที่ง่ายต่อการที่พืชจะนำไปใช้ โดยในกระดูกสัตว์จะมีแคลเซียม และฟอสฟอรัสสูง เป็นพิเศษจึงมักนิยมนำกระดูกป่นไปผสมในวัสดุที่ใช้ปักชำหรือตอนต้นไม้

6) ผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เศษวัสดุที่เป็นผลพลอยได้ที่เป็นกากหรือของเสียนั้นบางชนิดสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น กากอ้อยนำไปทำกระดาษ บางชนิดอาจนำไปใช้ในกิจการเลี้ยงสัตว์ เช่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง แต่ก็ยังมีอีกหลายชนิด ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ แต่สามารถที่จะนำมาใช้หรือปรุงแต่งให้เป็นปุ๋ยได้ เช่น แกลบ กากอ้อยป่น กากละหุ่ง กากเมล็ดนุ่น และกากผงชูรสนั้น สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้โดยตรง เนื่องจากมีไนโตรเจนอยู่สูง แต่แกลบ และกากอ้อยป่นนั้นจะต้องปรุงแต่งโดยการเติมธาตุอาหารพืชที่ยังขาดลงไปแล้วหมักให้เปื่อยยุ่ยเสียก่อนจึงจะมีสภาพที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้

7) กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ในกระบวนการผลิตสินค้าของอุตสาหกรรมหลายชนิดจะมีการระบายน้ำเสียออกมา และมีอุตสาหกรรมหลายประเภทที่ในน้ำเสียนั้นมีอินทรีย์สารปะปนมาเป็นจำนวนมาก และสามารถแยกออกไปโดยการตกตะกอน ซึ่งตะกอนน้ำเสียนี้มักจะอุดมไปด้วยธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ และสามารถนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยได้อย่างดี แต่ตะกอนของเสียจากโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานถลุงโลหะ อาจจะมีโลหะหนักที่เป็นพิษกับสัตว์ และมนุษย์ติดออกมาด้วยในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการจะนำตะกอนเหล่านี้ไปทำปุ๋ยจึงควรตรวจสอบปริมาณของธาตุโลหะหนักให้แน่ใจเสียก่อน ถ้ามีค่าในปริมาณที่สูงก็ห้ามใช้เป็นปุ๋ยกับพืชที่มนุษย์นำมาบริโภคหรือพืชอาหารสัตว์ แต่ควรแนะนำให้ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับไม้ดอกไม้ประดับหรือเพื่อการผลิตในลักษณะการขยายพันธุ์พืช ซึ่งจะไม่ทำให้ธาตุโลหะหนักเหล่านั้นผ่านเข้าไปในวงจรอาหารของมนุษย์และสัตว์โดยตรง

นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชต่างๆ อาทิ การใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยมูลสัตว์ ตลอดจนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องเติมปุ๋ยในปริมาณที่เพียงพอและสม่ำเสมอ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ย่อยสายสมบูรณ์แล้วเมื่อใส่ลงในดินจะมีการสลลายตัวช้า ทำให้สามารถปรับปรุงดินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ปุ๋ยอินทรีย์สามารถนำไปใช้กับพืชได้หลายชนิด และสามารถใช้กับดินได้ทุกประเภท แต่อัตราที่ใช้นั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพดิน พื้นที่ปลูก ภูมิอากาศ และคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ด้วย โดยสามารถประเมินการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ได้ดังนี้ (นรีลักษณ์ ชูวรเวช, 2548)

1) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชผัก ซึ่งพืชผักเป็นพืชอายุสั้นมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ต้องการธาตุอาหารปริมาณมากในระเวลาสั้นๆ ดังนั้นการเติมปุ๋ยอินทรีย์จึงจำเป็นจะต้องเลือกปุ๋ยที่สลายตัวได้เร็วเพื่อให้พืชสามารถใช้สารอาหารได้ในทันที โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้กับพืชผักมีทั้งปุ๋ยหมักและปุ๋ยมูลสัตว์

2) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชไร่และนาข้าว ในปัจจุบันมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับพืชไร่และนาข้าวอย่างแพร่หลาย ปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่และสภาพของดิน สำหรับปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้มีทั้งปุ๋ยมูลสัตว์ ปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสด โดยถ้าเป็นปุ๋ยมูลสัตว์และปุ๋ยหมัก ใช้ในอัตรา 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี หว่านกระจายให้สม่ำเสมอ แล้วคราดกลบ ทั้งนี้ควรใส่ก่อนปลูก 1-3

สัปดาห์ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในพืชไร่และนาข้าวนอกจากจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชแล้ว ยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินที่ผ่านการเพาะปลูกมาอย่างต่อเนื่องให้ดีขึ้นอีกด้วย

3) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ผลไม้ยืนต้นไม้ผล โดยไม้ยืนต้นเป็นพืชที่มีอายุยาว (Perennial Crops) และมีระบบรากลึก การเติมปุ๋ยจึงควรใส่ในระยะการปรับปรุงความสมบูรณ์ของต้นหลังการเก็บผลผลิต สำหรับพืชปลูกใหม่การเติมปุ๋ยอินทรีย์ควรใส่โดยใช้รองก้นหลุม ซึ่งเป็นวิธีการที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพ ในไม้ผลขนาดเล็กอาจใช้อัตราประมาณ 15-25 กิโลกรัมต่อหลุมที่มีขนาดกว้าง ยาว และลึก 50 เซนติเมตร โดยใช้ผสมกับดินที่ขุดจากหลุมในอัตราส่วน 1:2-3 แล้วใส่กลับไปในหลุมเพื่อเตรียมปลูกพืชต่อไป

4) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ดอกไม้ประดับ ในการเติมปุ๋ยอินทรีย์กับไม้ดอกไม้ประดับ ส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยหมักถ้าเป็นการปลูกในลักษณะเป็นแปลงสามารถใช้ปุ๋ยอินทรีย์หว่านคลุมแปลง หนาประมาณ 1-3 นิ้ว นอกจากนี้ยังสามารถนำปุ๋ยหมักมาเตรียมเป็นวัสดุปลูกสำหรับเพาะกล้าได้อีกด้วย ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุปลูกมีความร่วนซุย มีการถ่ายเทอากาศที่ดีและเหมาะต่อการเจริญของรากพืช

2.7.2 ปุ๋ยเคมี (Chemical Fertilizer)

ปุ๋ยเคมี หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์ต่างๆ สามารถให้ธาตุอาหารที่สำคัญแก่ดินอย่างรวดเร็ว ปุ๋ยเคมีที่เป็นธาตุอาหารหลักสำหรับพืช ได้แก่ ปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก ซึ่งได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เมื่อมีการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน ดินมักจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชที่ปลูก ดังนั้นจึงต้องมีการเติมธาตุอาหารเหล่านี้ลงไปในดิน สำหรับในปุ๋ยเคมี ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 กำหนดให้ระบุปริมาณธาตุปุ๋ยขั้นต่ำที่สุดที่มีอยู่ในปุ๋ยโดยบอกเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ (1) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) (2) ปริมาณฟอสฟอรัสโดยให้ระบุเป็นปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยคิดเป็นน้ำหนักปริมาณฟอสฟอริกแอซิค (P_2O_5) ที่มีฟอสฟอรัสเท่ากับฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยนั้น และ โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ที่อยู่ในปุ๋ยนั้นโดยคิดเป็นน้ำหนักโพแทส (K_2O) ที่มีโพแทสเซียมเท่ากับโพแทสเซียมที่ละลายน้ำในปุ๋ยนั้น (อำนาจ สุวรรณฤทธิ์, 2551) นอกจากนี้ปุ๋ยเคมีที่มีการนำมาใช้และเป็นที่นิยมกันมากกล่าวได้ ดังนี้

1) ปุ๋ยยูเรีย (Urea) หรือ คาร์บาไมด์ (Carbamide) สูตรทางเคมี คือ $CO(NH_2)_2$ มีไนโตรเจนประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ละลายน้ำได้ดี และดูดความชื้นได้ง่ายมากแต่ลดการจับตัวเป็นก้อนโดยใช้ผลึกเคลือบผิวด้วยวัสดุเฉื่อย เป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากเป็นปุ๋ยที่มีราคาถูกเมื่อเทียบคุณค่าทางธาตุอาหารพืชกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและปุ๋ยไนโตรเจนอื่นๆ เมื่อเติมปุ๋ยยูเรียลงไปทางดินจะให้ปฏิกิริยาเป็นกรดและถ้าหว่านบนผิวดินที่ชื้นให้ปฏิกิริยาเป็นด่าง และอากาศร้อนอาจสูญเสียไปจากดินได้ง่ายในรูปแอมโมเนียม (NH_3) นอกจากจะเติมปุ๋ยยูเรียทางดินแล้วยังสามารถผสมน้ำฉีดพ่นทางใบให้กับพืชในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ มียูเรียเป็นส่วนผสมและที่สำคัญและมีข้อควรระวังคือ ในปุ๋ยยูเรียอาจมีไบยูเรตผสมอยู่ด้วย ซึ่งสารนี้เป็นพิษสามารถทำให้ใบไหม้ได้ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548)

2) ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต (Ammonium Phosphate) เป็นปุ๋ยที่ให้ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในปุ๋ยชนิดนี้ละลายน้ำได้ดีไม่ชื้นง่าย มีผลตกค้างเป็นกรดเพราะมีไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเป็นองค์ประกอบ เม็ดปุ๋ยมีความแกร่งไม่แตกง่าย จึงสะดวกในการใช้และเก็บรักษา อีกทั้งยังช่วยเพิ่มผลผลิตในการทำนาข้าวได้ดี สอดคล้องกับรายงานของ ณัฏฐกิตติยา ไพบูลย์ และพัชรี แสนจันทร์ (2554) ซึ่งได้ศึกษาการเพิ่มผลผลิตข้าวด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต ผลการศึกษาพบว่าการทดลองใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตในนาข้าว สามารถให้ผลผลิตสูงกว่าการทดลองที่ไม่ใช้ปุ๋ย ถึง 2.5 เท่า (1,001-1,094 กิโลกรัมต่อไร่) ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตมี 3 ชนิด (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) ได้แก่

2.1) โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (Monoammonium Phosphate) สูตรทางเคมีคือ $NH_4H_2PO_4$ นิยมเรียกกันทั่วไปว่า แมพ (MAP) มีไนโตรเจน 18 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสเฟต 46 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 มีปฏิกิริยาเป็นกรด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.6 นิยมใช้เป็นแม่ปุ๋ยในการผสมกับปุ๋ยชนิดอื่นๆ

2.2) ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate) สูตรทางเคมีคือ $(NH_4)_2HPO_4$ นิยมเรียกว่า แดพ (DAP) มีไนโตรเจน 18 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสเฟต 46 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 มีปฏิกิริยาเป็นด่าง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 7.3 นิยมใช้เป็นแม่ปุ๋ยในการผสมกับปุ๋ยชนิดอื่นๆ

2.3) แอมโมฟอส (Ammophos) เป็นปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียมกับกรดฟอสฟอริกและกรดกำมะถันผสมกัน ซึ่งจะได้สารทั้ง 2 ชนิด คือ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต ($NH_4H_2PO_4$) ผสมกับแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) มีไนโตรเจน 16 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสเฟต 20 เปอร์เซ็นต์ P_2O_5 (สูตร 16-20-0)

2.7.3 ปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizer)

ปุ๋ยชีวภาพ หมายถึง วัสดุที่มีจุลินทรีย์เป็นตัวออกฤทธิ์ ในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารมากขึ้น ปุ๋ยชีวภาพที่แนะนำให้ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ ปุ๋ยที่มีเชื้อแบคทีเรียบางชนิด เชื้อราบางชนิด และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดเป็นตัวออกฤทธิ์ (อำนาจ สุวรรณฤทธิ์, 2551) สำหรับปุ๋ยชีวภาพมีหลายชนิด ได้แก่

1) ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม (Rhizobium) ประกอบด้วยไรโซเบียมสายพันธุ์ไทยที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูง สามารถใช้ได้กับพืชตระกูลถั่วทุกชนิด ไรโซเบียมเป็นกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบที่อาศัยอยู่ในดิน และบริเวณรากพืชตระกูลถั่วแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน (Symbiotic) โดยไรโซเบียม และถั่วร่วมกันสร้างปมที่บริเวณราก เพื่อใช้เป็นโครงสร้างสำหรับตรึงไนโตรเจนในอากาศให้แก่พืชตระกูลถั่ว

2) ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 1 (Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR) ประกอบด้วยแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจน และสามารถสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช

3 ตระกูล ได้แก่ *Azotobacter*, *Azospirillium* และ *Beijinckia* โดยเชื้อเหล่านี้สามารถตรึงไนโตรเจนสร้างฮอร์โมน ส่งเสริมการเจริญของขนรากอ่อน ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวราก และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อความสามารถในการดูดน้ำ และธาตุอาหารให้กับข้าวโพด และข้าวฟ่าง เป็นต้น

3) ปุ๋ยชีวภาพไมโครไรซ่า (Microrhiza) ประกอบด้วยเชื้อไมโครไรซ่าสายพันธุ์ไทยอย่างน้อย 25 สปอร์/กรัม ไมโครไรซ่าเป็นเชื้อราที่เข้าอาศัยอยู่ในดิน และบริเวณรอบๆ รากพืช โดยไมโครไรซ่าจะไม่ทำอันตรายต่อพืช โดยลักษณะการอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืชเป็นแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน เชื้อไมโครไรซ่ามีความสำคัญทางการเกษตร ได้แก่ เอ็กโตไมโครไรซ่า และวี-เอไมโครไรซ่า โดยทั้ง 2 พวกนี้มีความสำคัญต่อการปลูกป่า และพืชเศรษฐกิจต่างๆ และไมโครไรซ่าสามารถช่วยเพิ่มปริมาณราก และพื้นที่ผิวราก จึงช่วยทำให้พืชทนแล้ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้ยาก เช่น ฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ahmad et al.) และจุลธาตุต่างๆ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อราในระบบรากได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัชรี แสนจันทร์ และ อรรคเดช ศรีบุตตะ (2545) ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทนจากการทำนาดินเค็มที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ในแปลงนาดินเค็มที่ใส่มูลโค อัตรา 890-909 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 577 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกเท่ากับ 19.25-30.39 กรัมมีเทนต่อตารางเมตร ซึ่งมากกว่าแปลงที่ไม่ได้ใส่มูลโค ทั้งนี้มีอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงในช่วง 0-15 วันหลังปักดำเท่านั้น ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ใส่มูลโคให้ผลผลิตข้าวต่ำที่สุดเท่ากับ 256 กิโลกรัมต่อไร่ และมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูปลูกเท่ากับ 18.05-25.23 กรัมมีเทนต่อตารางเมตร นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีสัดส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio) ช่วงแคบ เช่น การใช้มูลไก่สามารถทำให้ข้าวมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และการเติมปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยคอกควรใส่ในสภาพดินแห้งประมาณ 2 สัปดาห์ก่อนการเตรียมดินเพื่อให้เกิดการย่อยสลายก่อนขังน้ำในนา ซึ่งจะทำให้เกิดการสร้างก๊าซมีเทนได้น้อยลง

วรทัย รักหฤทัย (2546) ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่เกษตรกรรม 2 ประเภท คือ พื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง และไม่มีน้ำท่วมขัง โดยใช้นาข้าวเป็นตัวแทนพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง ไร่ข้าวสาลี และไร่ข้าวโพดเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ไม่มีน้ำท่วมขัง ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 4.51 กรัมต่อตารางเมตร ส่วนไร่ข้าวสาลีและไร่ข้าวโพดดูดซับก๊าซมีเทนเข้าไป 59 และ 40 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยพบว่า อุณหภูมิและความชื้นของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลการการปลดปล่อยและการดูดซับก๊าซมีเทน เนื่องจากค่าฟลักซ์ของก๊าซมีเทนจะแปรผันตามอุณหภูมิและความชื้นของดิน ในขณะที่ค่าฟลักซ์สุทธิของก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวมีค่าติดลบ กล่าวคือ นาข้าวเป็นพื้นที่ที่ดูดซับก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ไว้

Chulalongkorn University

วรทัย รักหฤทัย และคณะ (2547) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์จากพื้นที่เกษตรที่ไม่มีน้ำท่วมขัง และพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง โดยการศึกษาก๊าซเรือนกระจกทั้งสามชนิดบนพื้นที่การเกษตรทั้งสองประเภท พบว่า ในพื้นที่การเกษตรที่ไม่มีน้ำท่วมขังมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนตรัสออกไซด์ในขณะที่ก๊าซมีเทนถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ในดิน ส่วนในพื้นที่ที่มีน้ำขังมีการปลดปล่อยก๊าซทั้งสามชนิดออกมา ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 6.6 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ก๊าซมีเทน 30.46 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร และก๊าซไนตรัสออกไซด์ 0.11 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ทั้งนี้อุณหภูมิของดินเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดอัตราการปลดปล่อยก๊าซทั้งสามประเภทนี้ โดยการปลดปล่อยจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของดิน นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการพรวนดินเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ โดยในพื้นที่ที่มีการพรวนดินมากจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนตรัสออกไซด์มาก แต่จะมีการดูดซับก๊าซมีเทนไว้ ในขณะที่พื้นที่ที่ไม่มีการพรวนดินก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนตรัสออกไซด์จะมีปริมาณน้อยกว่าแต่จะปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่า

Zou et al. (2005) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และไนตรัสออกไซด์จากแปลงนาข้าวในประเทศจีน ซึ่งเป็นการศึกษาผลกระทบของการปลดปล่อยก๊าซ 2 ชนิด เมื่อมีการควบคุมน้ำ วัสดุคลุมดิน และปุ๋ยเคมี (ยูเรีย) โดยใช้ระยะเวลาในการศึกษาทั้งสิ้น 3 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000-2002 ทั้งนี้ใช้การปลูกข้าวแบบนาดำ ผลการศึกษา พบว่า การระบายน้ำในช่วงกลางฤดูกาลของการปลูกข้าวสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ ในทางตรงข้ามกันเป็นการเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ และเมื่อใส่ฟางข้าวสาลีผสมกับ Rapeseed Cake ลงไปในนาข้าวทำให้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นถึง 25 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใส่ Rapeseed Cake อย่างเดียวทำให้เพิ่มการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ถึง 17 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใส่ฟางข้าวอย่างเดียว สามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และในส่วนของการเติมปุ๋ยยูเรียนั้น พบว่า มีแนวโน้มช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนแต่ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์มากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

มนตรี แสนวังสี และคณะ (2548) ทำการศึกษาเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตข้าวและลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวโดยใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำในนาชลประทาน ซึ่งได้วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลองใช้ปุ๋ยรองพื้น 6 ชุด คือ 1) รองพื้นด้วยปุ๋ย 16-16-8 และไม่เติมปุ๋ยแต่งหน้า 2) รองพื้นด้วยปุ๋ย 16-16-8 และแต่งหน้าด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต 3) รองพื้นด้วยปุ๋ย 16-16-8 และแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย 4) รองพื้นด้วยปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด และไม่เติมปุ๋ยแต่งหน้า 5) รองพื้นด้วยปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด และแต่งหน้าด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต และ 6) รองพื้นด้วยปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด และแต่งหน้าด้วยปุ๋ยยูเรีย เป็นการทดลองภายใต้การจัดการน้ำชลประทานในลักษณะเดียวกันคือ ปล่อยให้ดินแห้งบางช่วงด้วยวิธีการคายระเหย(Evapotranspiration) ผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตข้าวมากที่สุดคือ ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยสูตร 16-16-8 ร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$ ซึ่งให้ผลผลิต 952.6 กิโลกรัมต่อไร่ หากแต่มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในปริมาณสูงกว่าชุดการทดลองอื่น โดยปลดปล่อยก๊าซมีเทน 33.36 กรัมต่อตารางเมตร ขณะที่ชุดการทดลองที่ช่วยลดก๊าซมีเทนได้มากที่สุด ได้แก่ ชุด

การทดลองที่รองพื้นด้วยปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด และแต่งหน้าด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดเท่ากับ 9.78 กรัมต่อตารางเมตร แต่ให้ผลผลิตต่ำมีค่าเท่ากับ 747.59 กิโลกรัมต่อไร่

เกริก ปิ่นตระกูล (2550) ทำการศึกษาผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยบำรุงดินในนาข้าวต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยได้ศึกษาผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยสามชนิด คือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยเคมี เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลง คุณภาพดิน คุณภาพน้ำ และการสะสมโลหะหนักในเมล็ดข้าว ตลอดจนเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลผลิต ผลการศึกษา พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีส่วนช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดิน รวมทั้งมีการตกค้างของสารหนูน้อยกว่าแปลงนาทดลองที่ใช้ปุ๋ยชนิดอื่น และไม่พบโลหะหนักที่ตกค้างในเมล็ดข้าว รวมทั้งเมื่อศึกษาความคุ้มทุนยังพบอีกว่า การใช้ปุ๋ยคอกมีต้นทุนต่ำที่สุดแต่ให้ผลผลิตสูงที่สุด และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากหากเทียบกับปุ๋ยชนิดอื่นที่ถูกใช้ในกิจกรรมนาข้าว

Ahmad et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้ระบบการไถพรวนที่แตกต่างกัน 4 ระบบ ได้แก่ 1) การทดลองแบบไม่ไถพรวนและไม่เติมปุ๋ย 2) การไถพรวนในแปลงทดลองที่ไม่เติมปุ๋ย 3) ไม่ไถพรวนในแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยผสม และ 4) ไถพรวนในแปลงการทดลองที่เติมปุ๋ยผสม โดยทั้ง 4 ระบบ ปลูกข้าว *Oryza sativa L.* เพื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากระบบการไถพรวนที่แตกต่างกันทั้ง 4 ระบบ ผลการทดลองพบว่า การไถพรวนและการเติมปุ๋ยไม่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) แต่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) ในแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยผสมแต่ไม่มีการไถพรวนมีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 51.68 กรัมมีเทนต่อตารางเมตร แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยผสมแต่มีการไถพรวนมีค่าเท่ากับ 65.96 กรัมมีเทนต่อตารางเมตร ซึ่งสูงกว่าแปลงทดลองที่ไม่มีการไถพรวน 28% สำหรับการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในแปลงทดลองปุ๋ยผสมที่มีการไถพรวน มีค่าการปลดปล่อย 561.00 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ในขณะที่แปลงทดลองปุ๋ยผสมที่ไม่มีการไถพรวนมีค่าสูงกว่าถึง 33 % มีค่าเท่ากับ 741.71 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร อย่างไรก็ตามการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในแปลงทดลองแบบไม่ไถพรวนและไม่เติมปุ๋ยกับการไถพรวน พบว่า แปลงทดลองที่ไม่เติมปุ๋ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ค่า *Global Warming Potential* ของการไถพรวนในแปลงทดลองที่ไม่เติมปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 2,601.58 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกเตอร์ สูงกว่าการทดลองแบบไม่ไถพรวนและไม่เติมปุ๋ย12% (2,336.3 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกเตอร์)

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช (2554) ทำการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว โดยแบ่งแปลงทดลองออกเป็น 4 ชุดทดลอง และปลูกข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี1 ได้แก่ แปลงควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ผลการทดลองพบว่า แปลงทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีมีการปล่อยก๊าซมีเทนมากที่สุด เท่ากับ 1.79 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามด้วยแปลงปุ๋ยคอก 1.35 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน แปลงปุ๋ยอินทรีย์ 1.28 มิลลิกรัมต่อ

ตารางเมตรต่อวัน และแปลงควบคุม 1.20 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละแปลง พบว่า มีความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างนาข้าวที่ทำการปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ กับนาข้าวที่ทำการปลูกแบบชาวบ้านทั่วไปในจังหวัดฉะเชิงเทรา ผลการศึกษา พบว่า นาข้าวที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์มีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่านาข้าวที่ปลูกโดยทั่วไป เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ดินมีอินทรียวัตถุมากกว่า แต่ถ้าจะลดการปล่อยก๊าซมีเทนลงควรมีการปล่อยน้ำออกจากแปลงนา 1 ครั้งในช่วงประมาณ 80 วัน หลังการปลูกข้าว ส่วนการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์นั้น พบว่า ถ้ามีการใช้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูงโดยเฉพาะนาแบบทั่วไปจะมีการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ค่อนข้างสูง ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น พบว่า นาข้าวแบบเกษตรอินทรีย์มีการปล่อยค่อนข้างสูงเช่นกัน

Sampanpanish (2012) ทำการศึกษาอัตราการใช้ปุ๋ยคอกต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และ ไนตรัสออกไซด์ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ แปลงควบคุมไม่เติมปุ๋ย แปลงที่เติมปุ๋ยคอกในอัตรา 3.13 ตันต่อเฮกเตอร์, 9.38 ตันต่อเฮกเตอร์ และแปลงที่เติมปุ๋ยคอก 12.50 ตันต่อเฮกเตอร์ โดยปลูกข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี1 เพื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสามชนิดตามอัตราการใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า ที่อัตราของการเติมปุ๋ยในช่วง 3.13 ตันต่อเฮกเตอร์ เป็นอัตราที่เหมาะสมต่อการช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบทั้งปริมาณก๊าซเรือนกระจกควบคู่ไปกับผลผลิตพบว่า ในช่วงดังกล่าวมีผลกระทบต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยคอกในอัตรา 12.50 ตันต่อเฮกเตอร์ และให้ผลผลิตต่ำกว่าเพียงน้อย โดยมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทน 3.08 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 281.23 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ 0.60 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 760 กิโลกรัมต่อไร่

ณัฏฐกิตติยา ไพบูลย์ และพัชรี แสนจันทร์ (2554) ได้ทำการศึกษาในเรื่องการเพิ่มผลผลิตข้าวด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต (ซัลเฟต 42%) ต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท1 และศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ ตลอดจนสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินนา โดยผลการศึกษาพบว่า การเติมปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตที่มีซัลเฟต (42%SO_4) อัตรา 0, 16, 32 และ 48 กิโลกรัมต่อไร่ ในนาข้าวนั้น สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวสูงกว่าตำรับที่ไม่ได้รับปุ๋ย ถึง 2.5 เท่า (1,001-1,094 กิโลกรัมต่อไร่) หลังการปลูกข้าวหนึ่งฤดูปลูก ทั้งนี้การใช้ปุ๋ยดังกล่าวไม่มีส่วนช่วยในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน นอกจากนี้ยังพบว่า ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต (ซัลเฟต 42%) ไม่มีส่วนช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและศักยภาพในการทำให้โลกร้อนในนาดินเหนียวอีกด้วย

Xianxian et al. (2014) ได้ทำการศึกษาผลของอัตราการเติมปุ๋ยไนโตรเจนต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวที่เกาะ Chongming ทางตะวันออกของประเทศจีน ในการศึกษาได้แบ่งชุดการทดลองตามอัตราการเติมปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ดังนี้ 300 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ 210 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ และ 150 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ ผลการศึกษาพบว่า ชุดการทดลองที่เติมปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ มีการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์สูงที่สุด รองลงมาคือ 210 และ

150 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ โดยพบว่ามีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เท่ากับ 71.08, 40.10 และ 23.09 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร และผลการปลดปล่อยก๊าซมีเทนชุดการทดลองที่เติมปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด คือ 0.58 รองลงมาคือ 150 และ 210 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ (มีค่าเท่ากับ 0.55 และ 0.54 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการปลูกข้าว

1) เมล็ดข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31
2) ปุ๋ยคอก (ผลิตจากมูลวัว)
3) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (ผลิตจากมูลไก่)
4) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ (ผลิตจากสาหร่ายสไปรูลินา)
5) ปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 (ยูเรีย) และ 16-20-0 (แอมโมเนียมซัลเฟต)

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการปลูกข้าว

1) พลั่วตักดิน และเสียม
2) ถุงพลาสติกเก็บดิน และต้นข้าว
3) ปากกาทำเครื่องหมาย
4) ขวดพลาสติกสำหรับใส่น้ำในแปลงนา
5) กล่องโฟมสำหรับบรรจุน้ำแข็งเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำ
6) ถุงเก็บอากาศ (Air Bag)
7) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)
8) เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH Meter)
9) ตู้ครอบ (Chamber) สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ
10) เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ (Personal Pump Air Sample)
11) เครื่องวัดความดันบรรยากาศ (Barometer)

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์/เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

1) บีกเกอร์ (Beaker)
2) กรวยกรอง (Funnel) และแท่งแก้ว (Glass Rod)
3) ถุงซิป
4) เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH Meter)
5) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)
6) เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter)
7) เครื่องวัดความดันบรรยากาศ (Barometer)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

8) เครื่องวัดค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน – รีดักชัน (ORP Meter)
9) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งพิกัด 220 กรัม รุ่น BP 221S, Sartorius
10) เครื่องอบอุณหภูมิสูง (Oven)
11) เตาแผ่ความร้อน (Hot plate)
12) เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์ปชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer; AAS) รุ่น AA analyst 800, Perkin Elmer
13) เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟาเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR)
14) เครื่องวัดก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography; *GC*)
15) เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมด (TC Analyzer)

3.2 สถานที่ทำการศึกษา

3.2.1 การศึกษาวิจัยภาคสนาม

การปลูกข้าวในแปลงทดลองใช้พื้นที่แปลงนาอินทรีย์ และแปลงนาเคมี โดยได้รับความอนุเคราะห์พื้นที่แปลงนาของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี

3.2.2 การศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ

ศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่าง อากาศ ดิน และพืช

3.3 ระยะเวลาของการศึกษา

เริ่มฤดูกาลปลูกข้าวตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2555 ทั้งนี้ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงหลังจากเกิดเหตุการณ์อุทกภัยในช่วงปลายปี พ.ศ.2554 และก่อนการเตรียมแปลงเพาะปลูกนั้น พื้นที่ที่ใช้ศึกษาได้รับผลกระทบจากการถูกน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน

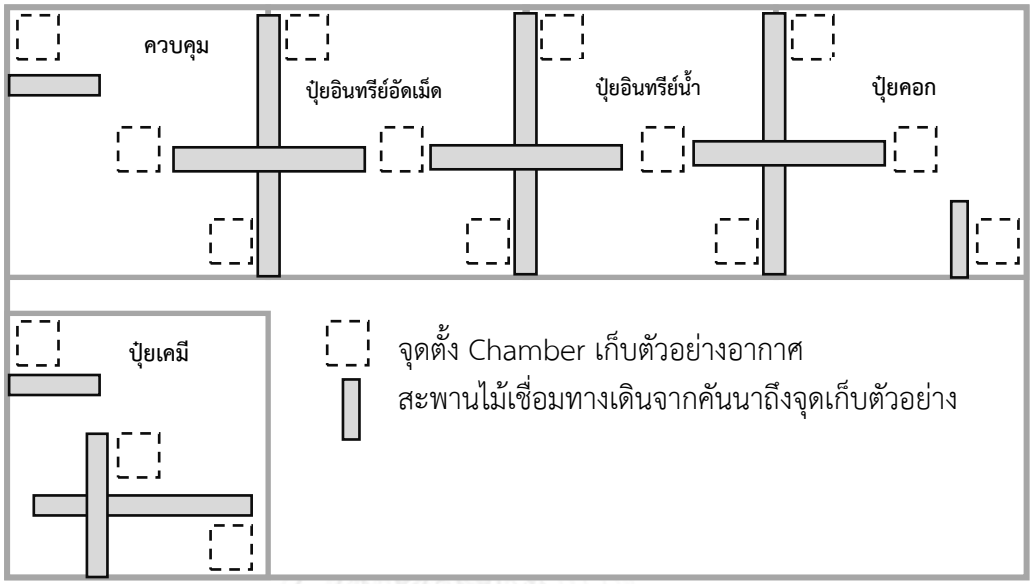
3.4 วิธีดำเนินการศึกษา

3.4.1 การวางแผนการทดลอง

ทำการศึกษาการปลูกข้าวโดยแบ่งออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) ไม่เติมปุ๋ยชนิดใด
ชุดการทดลองที่ 2 ปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว)
ชุดการทดลองที่ 3 ปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
ชุดการทดลองที่ 4 ปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ
ชุดการทดลองที่ 5 ปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) เติมปุ๋ยเคมี (สูตร16-20-0 และ 46-0-0)

แผนการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษามีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด จึงได้ทำการปลูกข้าว 1 แปลง ต่อ 1 ชุดการทดลอง โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ ต่อ 1 ชุดการทดลอง จากการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง รวมเป็น 15 ชุดทดลอง ทั้งนี้สามารถแสดงรายละเอียดแผนผังการทดลองได้ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนผังลักษณะแปลงนาทดลองและจุดเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4.2 การเตรียมแปลงนาทดลอง

การทดลองนี้ ใช้พื้นที่แปลงนาอินทรีย์ และแปลงนาเคมี ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี รวมทั้งสิ้น 5 แปลง โดยในแต่ละแปลงมีขนาด 10 x 12 เมตร ทั้งนี้การเตรียมพื้นที่มีการไถกลบตอซัง และไถพรวนที่ความลึก 30 เซนติเมตร เตรียมแปลงในลักษณะเดียวกันนี้ทุกชุดการทดลอง แล้วจึงทำคันดินกั้นในแต่ละแปลงทดลองเพื่อป้องกันน้ำท่วมถึงรวมทั้งป้องกันการปนเปื้อน จากนั้นจึงดำเนินการเพาะปลูกข้าวนาปรัง (แสดงตารางดำเนินงานดังภาคผนวก ก) โดยวิธีการปักดำและทำสะพานไม้เชื่อมต่อทางเดินระหว่างจุดเก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันการรบกวนดินและต้นข้าว

3.4.3 การเตรียมพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง

พันธุ์ข้าวที่เลือกใช้ในการทดลองนี้คือ ข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) ในการคัดเลือกเมล็ดที่จะทำการเพาะปลูกจะต้องเลือกเมล็ดที่มีคุณสมบัติเปอร์เซ็นการงอกสูงมากกว่า 80 % ซึ่งได้รับจากกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3.4.4 การเตรียมปุ๋ย

ปุ๋ยที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 (ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต) และสูตร 46-0-0 (ปุ๋ยยูเรีย) ทั้งหมดได้จากพื้นที่ในจังหวัดปทุมธานี ทั้งนี้ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองได้รับการตรวจสอบแล้วว่าไม่มีการปนเปื้อนสารพิษ

3.4.5 การปลูกข้าวและการดูแลรักษา

ดำเนินการปลูกข้าวด้วยวิธีการที่เรียกว่า การปักดำ โดยจะเริ่มต้นด้วยการตกกล้าในแปลงขนาดเล็กเป็นระยะเวลา 25 วัน (นับจากวันหว่าน) จากนั้นเมื่อต้นกล้าเจริญเติบโตในขนาดเหมาะสมที่จะปักดำ ได้ทำการย้ายกล้าไปปักดำในแปลงนาทดลอง ดูแลรักษาด้วยการให้น้ำ และควบคุมระดับน้ำให้ท่วมขังในแปลงทดลอง 5-10 เซนติเมตร ตลอดระยะการปลูกจนกระทั่งถึงระยะที่ข้าวออกดอกหรือตั้งท้องจึงปล่อยน้ำให้แห้งเพื่อรอการเก็บเกี่ยว

3.4.6 การเติมปุ๋ย

การเติมปุ๋ยบำรุงดินแบ่งออกตามชุดการทดลองทั้ง 5 ชุดการทดลอง โดยอัตราการเติมปุ๋ยที่ใช้เป็นอัตราการใช้ตามคำแนะนำจาก กรมการข้าว (2554) ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 อัตราการเติมปุ๋ยบำรุงในแปลงนาทดลอง

ระยะการเจริญเติบโตของข้าว	การทดลองที่ 1 ไม่เติมปุ๋ยใดๆ (กิโลกรัมต่อไร่)	การทดลองที่ 2 ปุ๋ยคอก (กิโลกรัมต่อไร่)	การทดลองที่ 3 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (กิโลกรัมต่อไร่)	การทดลองที่ 4 ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ (มิลลิลิตรต่อไร่)	การทดลองที่ 5 ปุ๋ยเคมี (กิโลกรัมต่อไร่)
ระยะก่อนการเพาะปลูก	-	500	20	84*	-
ระยะกล้าหรือ (หลังปักดำ30วัน)	-	-	-	-	(สูตร16-20-0) 30
ระยะข้าวแตกกอ (60วัน)	-	300	20	83*	(สูตร46-0-0) 8
ระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง (90วัน)	-	200	10	83*	(สูตร46-0-0) 8

หมายเหตุ: การเติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ต้องมีการผสมกับน้ำปกติในอัตราส่วน 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร ในระยะเตรียมแปลง และอัตราส่วน 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร ในระยะข้าวแตกกอ และ ข้าวตั้งท้อง ทั้งนี้อัตราในตาราง (*) เป็นอัตราการเติมปุ๋ยที่ยังไม่ได้ผสม

3.4.7 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้แบ่งระยะการเก็บตัวอย่างออกเป็น 5 ช่วงระยะเวลา ได้แก่ ช่วงระยะก่อนการเพาะปลูก ระยะต้นกล้าหรือระยะหลังปักดำ 30 วัน ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง และช่วงสุดท้าย คือก่อนการเก็บเกี่ยว ในช่วงก่อนการเพาะปลูกเลือกเก็บตัวอย่างโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ แปลงนาทดลองอินทรีย์ และแปลงนาทดลองเคมี ส่วนในช่วงระหว่างการเพาะปลูก (ตั้งแต่ระยะกล้า ถึง ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว) ได้ทำการเก็บตัวอย่าง 5 กลุ่มตัวอย่าง จาก 5 แปลงทดลอง ซึ่งในการดำเนินการเก็บตัวอย่างอากาศ ดิน และ

น้ำ ได้ดำเนินการเก็บจำนวน 3 ซ้ำต่อ 1 แปลงทดลอง และเก็บตัวอย่างดินรวม 5 จุด (Composite Sample) ต่อ 1 แปลงทดลอง (ภาคผนวก ข) วิธีการเก็บตัวอย่างสามารถแสดงรายละเอียดดังนี้

3.4.7.1 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงทดลองในระยะต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายท่อโดยปักลงในดินลึกประมาณ 15-30 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างในดินในแต่ละจุดใส่ถุงพลาสติก โดยเก็บแปลงละ 5 จุด ด้วยวิธีการสุ่ม แล้วรวมทั้งห้าจุดเป็นตัวอย่างดินรวม (Composite Sample) ประมาณ 1 กิโลกรัม

3.4.7.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำที่ขังในแปลงนาทดลอง โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างเก็บน้ำในแปลงนาใต้ระดับผิวน้ำ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร โดยเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำต่อ 1 ชุดการทดลอง เพื่อวัดอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ (EC) ทันทีในภาคสนาม ส่วนการวิเคราะห์ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) จะใช้อุปกรณ์สุ่มวัดน้ำในแปลงนาทดลอง แปลงละ 3 จุด

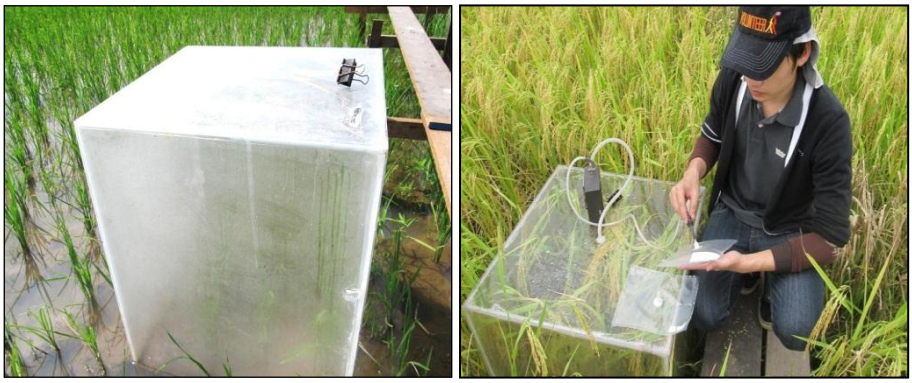
3.4.7.3 การเก็บตัวอย่างพืช

ในระยะการเตรียมแปลงปลูกเก็บต้นกล้าในแปลงนาเล็ก เก็บต้นข้าวในแปลงทดลองตั้งแต่ระยะต้นกล้าหรือระยะหลังปักดำ 30 วัน ระยะแตกกอ ระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้องและระยะก่อนการเก็บเกี่ยว โดยใช้วิธีเก็บแบบสุ่ม 2-3 ต้น

3.4.7.4 การเก็บตัวอย่างอากาศ

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยอุปกรณ์ตู้ครอบ (Chamber) ขนาดความกว้าง 0.6 เมตร ยาว 0.6 เมตร สูง 0.8 เมตร หรือ 0.29 ลูกบาศก์เมตร วางตู้ครอบลงในแปลงนาทดลองทุกแปลงๆ ละ 3 ตู้ครอบ โดยให้มีการวางตู้ครอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ (Personal Pump Air Sample) ดูดอากาศผ่านสายยาง ซึ่งต่อเข้าที่ส่วนบนของกล่องเก็บอากาศ (ดังรูปที่ 3-2) มาเก็บไว้ในถุงเก็บอากาศ จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศภายในกล่องด้วยเครื่องBarometer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-2 ตัวอย่างตู้เก็บอากาศและวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.8.1 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินก่อนระยะเพาะปลูกได้นำตัวอย่างดินรวมของแต่ละแปลงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) นำดินมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นสุ่มตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองตามพารามิเตอร์ (ดังตารางที่ 3-2) และ 2) นำตัวอย่างดินส่วนที่สองไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง จากนั้นบดร่อนด้วยตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก (Heavy Metals) ซึ่งได้แก่ ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) ซิลิเนียม (Se) แมงกานีส (Mn) (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25, 2547) ด้วยวิธีการของ USEPA3052 (United States Environmental Protection Agency, 1979)

ตัวอย่างดินในระยะต้นกล้าหรือระยะหลังปักดำ 30 วัน ระยะแตกกอ ระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว โดยนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องให้แห้งจากนั้นสุ่มตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองตามพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ดิน

คุณสมบัติ	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
ลักษณะเนื้อดิน (Soil Texture)	-	Hydrometer Method
ความเป็นกรด-ด่างของดิน	-	pH Meter (ดิน:น้ำ = 1:5)
ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (CEC)	เซนติโมลต่อกิโลกรัม	NH^{+}_{4} Saturation and Distillation
ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดิน	เดซิซีเมนต่อเมตร	Soil: Water 1:5
ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Potential)		2580 B Oxidation-Reduction Potential
ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter)	เปอร์เซ็นต์	Walkley-Black method
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	เปอร์เซ็นต์	Kjeldahl Method
ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ (Available Phosphorus)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	Bray ll extraction
ปริมาณโพแทสเซียมที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ (Available Potassium)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	Ammonia Acetate 1N pH 7.0 Extraction
ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon)	กรัมต่อกิโลกรัม	Combustion-Infrared Method 5310 B

3.4.8.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำที่ขังในแปลงนาทดลองโดยเก็บ 3 ตัวอย่างต่อ 1 ชุดการทดลอง วัดอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ (EC) ทันทีในภาคสนาม ส่วนการวิเคราะห์ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) จะใช้อุปกรณ์สุ่มวัดน้ำในแปลงนาทดลอง แปลงละ 3 จุด

3.4.8.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างต้นกล้าในระยะกล้าจากแปลงเล็กก่อนการปักดำ และตัวอย่างต้นข้าวที่ได้จากแปลงทดลองตั้งแต่ระยะต้นกล้าหรือระยะหลังปักดำ 30 วัน ระยะแตกกอ ระยะออกดอกหรือตั้งท้องจนถึงระยะก่อนการเก็บเกี่ยว ได้นำตัวอย่างมาล้างน้ำให้สะอาด 2-3 ครั้งและล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ครั้ง จากนั้นนำต้นข้าวมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง จากนั้นบดตัวอย่างให้ละเอียด แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์เพื่อหาค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon)

3.4.8.4 การวิเคราะห์ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

ปุ๋ยที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (มูลไก่) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และสูตร 46-0-0 จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความชื้น (Moisture Content) ปริมาณไนโตรเจน (Total Nitrogen) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) จากปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการสุ่ม

3.4.8.5 การคำนวณความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก

นำข้อมูลที่ได้จากวิเคราะห์ตัวอย่างหาปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ตลอดจนอุณหภูมิมาคำนวณค่าฟลักซ์ (Fluxes) โดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซเมื่อเวลาผ่านไปในกล่องโดยอ้างอิงจากสมการของ (Singh et al., 1998) (ภาคผนวก ข) ดังนี้

$$[F] = \frac{BV_{STD} \times dC \times MW \times 1000 \times 60}{10^4 \times 22400 \times A \times dt} \quad (1)$$

$$[BV_{std}] = \frac{BV \times B.P. \times 273}{(273+T) \times 760} \quad (2)$$

$$[dC] = C_t - C_0$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยที่

F = ค่าฟลักซ์ของก๊าซแต่ละชนิด (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

BV_{STD} = ปริมาตรภายในกล่องพลาสติกมาตรฐานส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำที่ท่วมขัง ณ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ (ลูกบาศก์ เซนติเมตร)

BV = ปริมาตรภายในกล่องพลาสติกส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำที่ท่วมขัง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

B.P. = ความดันบรรยากาศในขณะนั้น (มิลลิเมตรปรอท)

MW = มวลโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิด (กรัมต่อโมล)

T = อุณหภูมิในอากาศที่อยู่ในกล่อง (องศาเซลเซียส)

A = พื้นที่หน้าตัดของกล่อง (ตารางเมตร)

dC = ผลต่างความเข้มข้นก๊าซแต่ละชนิดที่เวลาศูนย์และเวลา t

C_0 = ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซแต่ละชนิด โดยมีค่าเท่ากับ 0

dt = ระยะเวลาที่ใช้ (นาที) (ช่วงเวลาในการครอบ Chamber 180 นาที)

C_t = ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซแต่ละชนิด (ส่วนในล้านส่วน; ppm) ที่เวลา t นาที

3.4.7.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทน ไนตรัสออกไซด์ คุณสมบัติดิน และคุณสมบัติน้ำที่ได้จากการศึกษาวิจัยมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หากพบว่ามีพารามิเตอร์ใดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้ใช้ Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) เพื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล รวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์กับพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมด้วย Pearson's Correlation Coefficient โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติข้างต้น โดยปฏิบัติการผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ คือ Statistic Package for the Social Science (SPSS)

3.4.7.8 การเปรียบเทียบผลผลิตข้าว

ดำเนินการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวจากการศึกษาทั้งหมด 5 แปลง ซึ่งได้แก่ แปลงควบคุม แปลงปุ๋ยคอกปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และปุ๋ยเคมี โดยทำการสุ่มแต่ละแปลงทดลองขนาด 2 เมตร × 5 เมตร จำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 แปลงทดลอง จากนั้นทำข้าวที่เก็บเกี่ยวมานวด ฝัด ทำความสะอาด และชั่งน้ำหนักเพื่อทำการคำนวณผลผลิต

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนาข้าว ณ พื้นที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี โดยปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31 และได้ทำการเก็บตัวอย่างจาก 5 ระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะก่อนการเพาะปลูก ระยะกล้าหรือหลังการปักดำ 30 วัน ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก และระยะก่อนการเก็บเกี่ยว โดยสามารถรายงานผลการทดลองประกอบด้วย ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง คุณสมบัติดินและน้ำ ปริมาณการสะสมคาร์บอนในดิน น้ำ และพืช ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และการเปรียบเทียบผลผลิตข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31 โดยผลการทดลองสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ย เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำนาข้าว เนื่องจากปุ๋ยประกอบด้วยธาตุอาหารต่างๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในทางตรงและทางอ้อม ในทางตรง คือ เป็นตัวช่วยสนับสนุนธาตุอาหาร ที่จำเป็นเพื่อให้พืชนำไปใช้โดยตรง หรืออาจเป็นตัวช่วยปรับปรุงสภาพดินให้เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตแก่พืช โดยปุ๋ยที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และปุ๋ยเคมี (สูตร16-20-0 ; แอมโมเนียฟอสเฟต และสูตร 46-0-0 ; ยูเรีย) ได้จากพื้นที่ในจังหวัดปทุมธานี จากนั้นทำการสุ่มปุ๋ยไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ทั้งนี้สามารถแสดงคุณสมบัติของปุ๋ยในแต่ละประเภทได้ดังตารางที่ 4-1

4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยคอก (มูลวัว)

ปุ๋ยคอกที่ใช้ในการทดลองเป็นปุ๋ยที่ได้จากมูลวัว โดยเมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.3 ซึ่งจัดว่ามีความเป็นด่างสูง และเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับแปลงนาทดลอง ซึ่งมีคุณสมบัติของดินเดิมนั้นเป็นกรดแก่ (ตารางที่ 4-2) เนื่องจากสารอินทรีย์จากปุ๋ยคอกที่ได้จากมูลสัตว์สามารถปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้สูงขึ้นและช่วยปรับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้มีปริมาณธาตุอาหารสำหรับการผลิตพืชมากขึ้น (Wong et al., 1999) ในส่วนของผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีค่าเท่ากับ 46.44 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์บอน 17.85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณดังกล่าวเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในการยื่นคำขอใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าของกรมวิชาการเกษตร (อังคณา สุวรรณกูฏ, 2555) ที่กำหนดว่าปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์ไม่ควรน้อยว่า 1.0% และผลของสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 12:1 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานฯ เช่นเดียวกัน

4.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (มูลไก่)

ในส่วนของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.4 การวิเคราะห์ค่าความชื้นเท่ากับ 31.51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ที่ระบุไว้ที่ระดับความชื้นไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดยังประกอบด้วยปริมาณไนโตรเจน 1.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์บอน 12.25 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าเท่ากับ 10:1 โดยแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดส่วนหนึ่งมาจากมูลไก่ซึ่งเป็นส่วนผสมของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ (ภาคผนวก ค) (ตารางที่ 4-1)

4.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.8 โดยค่าดังกล่าวจัดอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ฯ (อังคณา สุวรรณกูฏ, 2555) เนื่องจากเป็นปุ๋ยอินทรีย์ประเภทน้ำหมัก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีปริมาณไนโตรเจน 0.74 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ พบว่า ธาตุไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในการยื่นคำขอใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าของกรมวิชาการเกษตร (อังคณา สุวรรณกูฏ, 2555) (ภาคผนวก ง) ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนมีค่าเท่ากับ 4.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ในการทดลองครั้งนี้ สำหรับสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 7:1 ปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่ใช้ในการทดลองมีส่วนผสมใกล้เคียงกับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดไม่มีส่วนผสมของมูลไก่แต่มีการผสมสาหร่ายสไปรูลิน่า (ภาคผนวก ค) โดยสาหร่ายสไปรูลิน่าจัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทำปุ๋ยชีวภาพสำหรับนาข้าว เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีน้ำขัง นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจนได้ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548)

4.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 (แอมโมเนียมฟอสเฟต) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.3 ทำให้ทราบว่าปุ๋ยแอมโมเนียฟอสเฟตที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะเป็นกลาง ปริมาณความชื้นพบว่า มีระดับความความชื้นเท่ากับ 2.34 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน 16.3 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์บอน 0.90 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 0.06:1 สำหรับศักยภาพของปุ๋ยแอมโมเนียฟอสเฟตนั้น

ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 9.3 ปริมาณความชื้น 0.46 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน 46.0เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคุณสมบัติข้างต้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยเคมีในการยื่นคำขอใบสำคัญการขึ้นทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการค้าของกรมวิชาการเกษตร (อังคณา สุวรรณกูฏ, 2548) (ภาคผนวก ง) ปริมาณคาร์บอน 0.44 เปอร์เซ็นต์ และมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 0.01:1

ตารางที่ 4-1 สรุปผลวิเคราะห์ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดปุ๋ย	ลักษณะทางกายภาพ	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณคาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	คาร์บอนต่อไนโตรเจน
ปุ๋ยคอก (มูลวัว)	ผงสีน้ำตาล	9.3	46.44	1.50	17.85	12:1
ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	เม็ดสีน้ำตาล	6.4	31.51	1.20	12.25	10.1
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	น้ำสีน้ำตาล	6.8	100	0.74	4.92	7:1
ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต	เม็ดสีน้ำตาล	7.3	2.34	16.30	0.90	0.06:1
ปุ๋ยยูเรีย	เม็ดสีขาว	9.3	0.46	46.00	0.44	0.01:1

4.2 คุณสมบัติของดินในแปลงนาทดลอง

คุณสมบัติของดินนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว เนื่องจากสมบัติของดินนั้นนอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้วยังมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย โดยในการทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในช่วงของการเตรียมดินหรือช่วงเตรียมแปลงก่อนการเพาะปลูก ในพื้นที่แปลงนาอินทรีย์และแปลงนาเคมีของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี จากแปลงทดลอง 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) แปลงนาควบคุมที่มีการปลูกข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 80 โดยไม่มีการเติมปุ๋ย 2) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 3) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ 4) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยคอก และ 5) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยเคมี และได้ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 5 ระยะของการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ 1) ระยะก่อนการเพาะปลูก 2) ระยะต้นกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน 3) ระยะแตกกอ (60วัน) 4) ระยะตั้งท้องหรือออกดอก (90วัน) และ 5) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว (120 วัน) จากนั้นนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

4.2.1 คุณสมบัติของดินเบื้องต้นก่อนทำการเพาะปลูก

ตัวอย่างดินในช่วงก่อนทำการเพาะปลูก แบ่งออกเป็นดินจากแปลงนาอินทรีย์ และดินจากแปลงนาเคมี โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติ ดังนี้ เนื้อดิน (Soil Texture) ค่าความเป็นกรดด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรียวัตถุในดิน (OM) ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) และปริมาณความชื้น (Soil Moisture) ตลอดจน

วิเคราะห์โลหะหนัก (Heavy Metals) ซึ่งได้แก่ ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) ซิลิเนียม (Se) แมงกานีส (Mn) โดยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินเบื้องต้น สามารถแสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 คุณสมบัติดินในช่วงก่อนการเพาะปลูก

คุณสมบัติดิน	หน่วย	แปลงอินทรีย์	แปลงเคมี
1.เนื้อดิน (Soil Texture)	เปอร์เซ็นต์	62.30 (ดินเหนียว)	62.80 (ดินเหนียว)
2.ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity)	เซ็นติโมลต่อกิโลกรัม	13.02	13.44
3.อินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter)	เปอร์เซ็นต์	3.21	3.59
4.ไนโตรเจน (Nitrogen)	เปอร์เซ็นต์	0.16	0.17
5.ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	21.0	19.0
6.โพแทสเซียม (Potassium)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	410.0	325.0
7.ค่าความเป็นกรดด่าง	-	5.30	4.48
8.ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร	555.0	334.3
9.ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction Potential;Eh)	มิลลิโวลต์	288.9	281.3
10.คาร์บอนรวม (Total Carbon)	กรัมต่อกิโลกรัม	27.1	25.6
11.ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N ratio)	-	17:1	15:1

Chulalongkorn University

4.2.1.1 เนื้อดิน (Soil Texture)

ชนิดของเนื้อดินนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิด (Parent Materials) คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของดิน (Jackel et al. (2001) นอกจากนี้ชนิดของเนื้อดินยังมีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) การอุ้มน้ำและการถ่ายเทอากาศของดิน ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน (อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) จากการศึกษาคุณสมบัติดินเบื้องต้น พบว่า แปลงนาอินทรีย์มีอัตราส่วน ทราย (sand) : ดินร่วน (silt) : ดินเหนียว (clay) เท่ากับ 1.1 : 36.6 : 62.3 (เปอร์เซ็นต์) และแปลงนาเคมีมีอัตราส่วน ทราย (sand) : ดินร่วน (silt) : ดินเหนียว (Clay) เท่ากับ 2.5 : 34.7 : 62.8 (เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นจึงสามารถระบุได้ว่าดินในแปลงทดลองทั้งสองประเภทมีจัดเป็นดินประเภทดินเหนียว (Clay) เนื่องจากมีอนุภาค Clay มากกว่า 40% (อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) ซึ่งดินเหนียวเป็นดิน

ที่มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว (อรรควุฒิ ทรรศสองชั้น, 2528) ทั้งนี้อนุภาคดินเหนียวเป็นอนินทรียสารที่มีรูปร่างแบนบางและมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด จะมีพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักมากที่สุด และอนุภาคเหล่านี้มีประจุลบ ซึ่งสามารถดูดยึดประจุบวกไว้ที่ผิวของมันได้มากกว่าดินหยาบ (คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

4.2.1.2 อินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter; OM)

ผลการวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดิน พบว่า ดินในแปลงนาอินทรีย์ มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเฉลี่ย 3.20 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูงปานกลางในการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในขณะที่แปลงนาเคมี มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเฉลี่ย 3.60 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) (ภาคผนวก จ) โดยอินทรียวัตถุมีบทบาทในการช่วยทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง เพิ่มความอุ้มน้ำ ลดความสูญเสียธาตุอาหารของพืชในดินที่เกิดจากการชะล้างของน้ำ ตลอดจนช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดิน ช่วยเพิ่ม CEC แก่ดิน ทำให้ดินสามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ได้มาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

4.2.1.3 ความเป็นกรด-ด่าง

ผลวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างในแปลงนาอินทรีย์มีค่า 5.30 ถือเป็นดินที่มีความเป็นกรดแก่ ในขณะที่แปลงนาเคมี มีค่าเท่ากับ 4.48 ซึ่งจัดอยู่ในประเภทดินที่มีความเป็นกรดจัดมาก ตามเกณฑ์ระดับความเป็นกรดเป็นด่างในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างนี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมธาตุอาหารในดินที่เป็นกรด ธาตุ Ca, Mg, และ K ถูกชะละลายออกมาจากดินได้ง่ายทำให้ดินขาดธาตุเหล่านี้ (อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) ดังนั้น จะต้องแก้ไขด้วยการเติมปุ๋ยเพื่อปรับ ความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

4.2.1.4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (Cation exchange capacity; CEC)

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินคือ ค่าประสิทธิภาพของดินในการดูดซับธาตุอาหารหรือสารประกอบในดินที่มีประจุบวก (Cation) ซึ่งรากพืชและจุลินทรีย์จะนำไปใช้ประโยชน์ ผลวิเคราะห์ดินนาข้าวเบื้องต้นก่อนการทดลอง พบว่า ในดินแปลงอินทรีย์มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินเท่ากับ 13.02 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และในแปลงนาเคมี เท่ากับ 13.44 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยค่าที่วิเคราะห์ได้จากดินในแปลงนาทั้งสองประเภทจัดอยู่ในระดับปานกลาง ตามเกณฑ์จำแนกระดับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) เนื่องจากมีประจุลบจึงดึงดูดธาตุอาหารต่างๆ ในดินซึ่งมีประจุบวกให้เข้ามาเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของตัวเองได้ โดยทั่วไปอนุภาคของดินเหนียวสามารถดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุต่าง ๆ ในดินได้ดี (คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

4.2.1.5 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC)

ความสามารถของดินในการส่งผ่านหรือนำกระแสไฟฟ้า หรือค่า EC มีความสัมพันธ์กับสมบัติดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น เนื้อดิน การแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ความเค็มของดิน (Salinity หรือ Salt Concentration) (นันทรัตน์ ศุภกำเนิด, 2554) ผลการวิเคราะห์การนำไฟฟ้าของดินก่อนการเพาะปลูกพบว่าในแปลงอินทรีย์มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 555.0 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และในแปลงนาเคมีมีค่าเท่ากับ 334.30 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าของดินทั้งสองประเภทจัดอยู่ในระดับความเค็มที่ไม่มีผลกระทบต่อพืช ตามเกณฑ์การจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช (สารละลายดินอิ่มตัว) (นันทรัตน์ ศุภกำเนิด, 2554) (ภาคผนวก จ)

4.2.1.6 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Redox Potential; Eh)

ดินในแปลงนาอินทรีย์มีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน 288.9 มิลลิโวลต์ และแปลงนาเคมีมีค่าเท่ากับ 281.2 มิลลิโวลต์ โดยผลการวิเคราะห์ดินจากทั้งแปลงนาอินทรีย์และแปลงนาเคมีมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยอยู่ในช่วง 281.2-281.9 มิลลิโวลต์นั้นจัดเป็นช่วงที่ดินมีสภาพ Reduction ปานกลาง (Moderately Reduced) ตามเกณฑ์จำแนกลำดับชั้นสภาวะของดิน (Patrick and Mahapatra, 1968; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) (ภาคผนวก จ) และสาเหตุที่ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันอยู่ในช่วงดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่าเนื่องจากตัวอย่างดินในระยะก่อนการเพาะปลูกยังไม่มีการขังน้ำในแปลงนา จึงพอมีออกซิเจนสำหรับเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์

4.2.1.7 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (N, P, K)

ผลวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงนาอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.16 เปอร์เซ็นต์ และแปลงนาเคมีมีค่า 0.17 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก ทั้งนี้ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากไนโตรเจนจะช่วยพืชสร้างโปรตีนและโปรตีนก็เป็นส่วนสำคัญของโพรโทพลาสซึมที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืช (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ในขณะที่ผลวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส พบว่า ในแปลงนาอินทรีย์มีค่า 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูง และในแปลงนาเคมี 19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน จัดอยู่ในระดับปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) ปริมาณโพแทสเซียมในแปลงนาอินทรีย์มีปริมาณ 410 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในแปลงนาเคมีมีปริมาณโพแทสเซียม 325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยทั้งสองแปลงทดลองมีความอุดมสมบูรณ์ของปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในระดับสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ)

4.2.1.8 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ในแปลงนาอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 27.1 กรัมต่อกิโลกรัม และแปลงนาเคมี มีค่า 25.6 กรัมต่อกิโลกรัม อีกทั้งสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ทั้งในแปลงนาอินทรีย์และแปลงนาเคมี พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยแปลงนาอินทรีย์มีสัดส่วน 17:1 ในขณะที่แปลงนาเคมีมีสัดส่วน 15:1 ซึ่งค่า C/N ratio ดังกล่าวถือเป็นปัจจัยที่บ่งชี้ว่าในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นจะมีไนโตรเจนเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ และทำให้การย่อย

สลายวัสดุอินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของกิจกรรมจุลินทรีย์

4.2.1.9 ความชื้นในดิน (Soil Moisture)

ผลการวิเคราะห์ดินเบื้องต้น พบว่า แปลงนาอินทรีย์มีความชื้นในดินเท่ากับ 30.62 เปอร์เซ็นต์ และแปลงนาเคมีเท่ากับ 29.62 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นในดินถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน น้ำในดินมีความสำคัญในการดำรงชีวิตและกิจกรรมต่างๆ โดยเป็นที่อยู่อาศัย ตัวกลางในการเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์ การถ่ายเทอากาศ การละลายธาตุอาหารต่างๆ ในดิน ตลอดจนมีอิทธิพลต่อการทำงานของ Extracellular Enzyme อีกด้วย (ลลิดา นิทัศนจารุกุล, 2541)

4.2.1.10 ปริมาณโลหะหนัก

ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินนาข้าว (ตารางที่ 4-3) ได้แก่ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) อาร์เซนิก (As) ซิลีเนียม และปรอท (Hg) ในระยะก่อนการเพาะปลูกพบว่าดินในพื้นที่ทดลอง มีปริมาณโลหะหนักทุกชนิดดังกล่าวมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (ภาคผนวก จ) (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25, 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ตารางที่ 4-3 ปริมาณโลหะหนักต่างๆ ในดินระยะก่อนเตรียมแปลงปลูกข้าว

ประเภทโลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ค่าปริมาณโลหะหนักในแปลงนาอินทรีย์	ค่าปริมาณโลหะหนักในแปลงนาเคมี
แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and Compound)	37	<0.10	<0.10
โครเมียมชนิดเฮกซาวาเลนท์ (Hexavalent Chromium)	300	84.3	66.9
ทองแดง (Copper)		14.2	14.6
ตะกั่ว (Lead)	400	30.1	30.5
แมงกานีส (Manganese)	1,800	95.1	72.2
นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, Soluble Salt)	1,600	29.2	28.8
สังกะสี (Zinc)		47.4	45.2
สารหนู (Arsenic)	3.9	2.5	2.59
ซีลีเนียม (Selenium)	390	<0.10	<0.10
ปรอท (Mercury)	23	<0.10	<0.10

4.2.2 คุณสมบัติดินตลอดช่วงการทดลอง

ในช่วงการทดลองได้เก็บตัวอย่างดินและทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ 1) ค่าความเป็นกรดด่าง 2) ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Redox Potential; Eh) 3) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) 4) อินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter) และ 5) ปริมาณไนโตรเจน (Total Nitrogen) ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียด ดังนี้

4.2.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน (Soil pH)

ความเป็นกรดเป็นด่างของดินถือเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ความเป็นกรด-ด่างของดินยังส่งผลต่อกิจกรรมการผลิตก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการเจริญเติบโตในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและปัจจัยแวดล้อมด้วย (อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดินทั้ง 4 ระยะการเจริญเติบโตของข้าวสามารถแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4-1 และ ตารางที่ 4-4

1) ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ผลจากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในช่วงข้าวอยู่ในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน พบว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงที่สุดคือ 5.70 ซึ่งจัดเป็นดินกรดปานกลาง ในขณะที่การทดลองชุดอื่นๆ นั้น ดินมีความเป็นกรดค่อนข้างสูง ได้แก่ แปลงที่ไม่เติมปุ๋ย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.20 แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.00 ซึ่งดินจากทั้งสองแปลงทดลองถือเป็นดินกรดจัด ส่วนแปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.80 ซึ่งมีลักษณะเป็นดินกรดจัดมากเช่นเดียวกันกับแปลงทดลองปุ๋ยเคมีที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด คือ 4.50 ตามเกณฑ์ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ)

2) ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) พบว่า ตัวอย่างดินในแปลงนาทดลองทุกแปลงมีค่าความเป็นกรด-ด่างทุกแปลงทดลองให้ผลวิเคราะห์ใกล้เคียงกับระยะกล้า โดยแปลงทดลองที่มีการเติมปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรดด่างสูงสุดซึ่งแตกต่างจากแปลงทดลองอื่นในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 5.60 ซึ่งอยู่ในช่วงของกรดปานกลาง ในขณะที่แปลงควบคุม แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และแปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.94, 4.80 และ 4.80 ตามลำดับ โดยทั้งสามชุดการทดลองข้างต้น มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับดินในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน และยังอยู่ในดินประเภทที่มีความเป็นกรดจัดมากตามเกณฑ์ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) ในขณะที่แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด คือ 4.50 และไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากผลการวิเคราะห์ในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กและสลายตัวให้พืชนำไปใช้ได้เร็ว จึงมีการตกค้างหรือสะสมในดินน้อยกว่าปุ๋ยชนิดอื่น

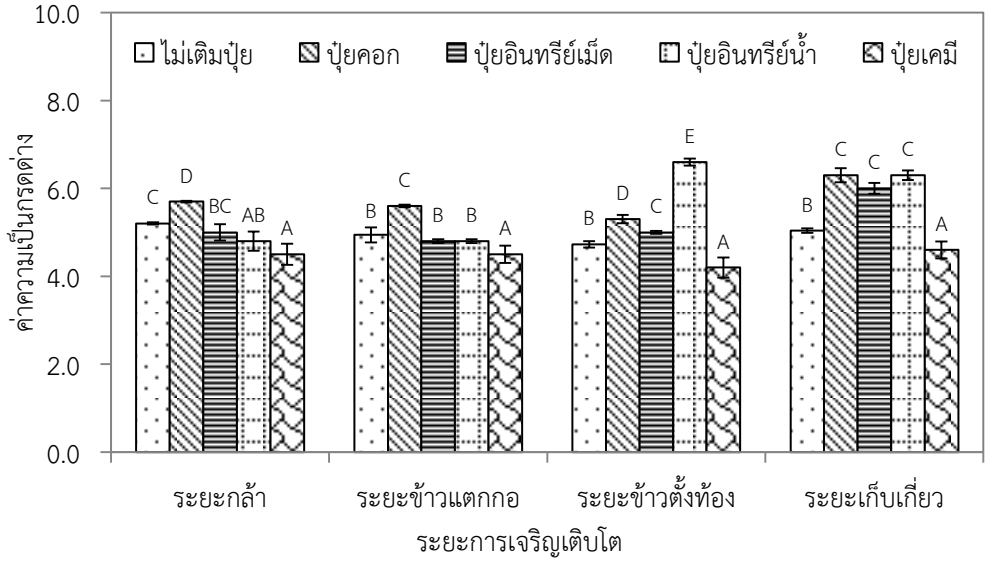
หากแต่ส่งผลทำให้ดินมีสภาพดินนาให้ที่เป็นกรดมากขึ้น ทั้งนี้ดินที่มีความเป็นกรดมาก อาจไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมทำนา เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ข้าวต้องการคือ 5.8-6.3 (ชมรมเกษตรปลอดสารพิษ, 2556)

3) ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) ผลจากการวิเคราะห์ดินในช่วงระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินนาข้าวมีการเปลี่ยนแปลงจากระยะข้าวแตกกอ โดยทุกชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ทั้งนี้พบว่าแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่าความเป็นกรดด่างสูงสุด แสดงให้เห็นถึงการปรับสภาพจากเดิมเป็นดินกรดเข้าสู่สภาพเป็นกลาง โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง คือ 6.60 ขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.30 แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.00 แปลงนาที่ไม่มีการเติมปุ๋ยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.73 และแปลงนาทดลองปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นแปลงทดลองที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดคือ 4.20 เป็นดินที่มีความเป็นกรดจัดมาก ตามเกณฑ์ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) นอกจากนี้ถึงแม้ว่าจะมีการเติมปุ๋ยเคมีที่มีความเป็นด่างสูงแต่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพดินแต่อย่างใด

4) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) ผลจากการวิเคราะห์ดินในช่วงระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินนาข้าวเริ่มเห็นการปรับสภาพเป็นด่างมากขึ้น โดยแปลงนาที่ทดลองด้วยปุ๋ยประเภทอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และปุ๋ยอินทรีย์น้ำ พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.00-6.30 ดังรูป 4-1 (กลุ่มอักษร C) จัดอยู่ในสภาพความเป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสภาพเมื่อมีการสะสมตัวของปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ปุ๋ยแต่ละชนิดในการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างสูงและอยู่ในสภาพเป็นด่าง ส่วนผลวิเคราะห์ดินในแปลงควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ยใดๆ และแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี ยังจัดอยู่ในระดับความเป็นกรดจัดมาก ตามเกณฑ์ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) โดยในการทดลองควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.04 และแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีมีค่าเท่ากับ 4.60 จากผลวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยมาก เนื่องจากแปลงควบคุมไม่มีการเติมปุ๋ยใดๆ ลงในดินทำให้ไม่มีสารเคมีใดๆ เข้าไปเกี่ยวข้อง ดังนั้น ดินในแปลงทดลองจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาพความเป็นกรด ส่วนในแปลงที่เติมปุ๋ยเคมีนั้นแม้ว่าปุ๋ยที่ใช้เติมจะมีสภาพความเป็นด่างมาก แต่อาจเป็นเพราะปุ๋ยเคมีมีขนาดเล็กและอาจสลายตัวให้พืชดูดดึงไปใช้ได้เร็ว จึงไม่ส่งผลต่อการช่วยปรับสภาพความเป็นกรดด่างในดิน

ทั้งนี้สามารถกล่าวโดยสรุป จากผลการวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาตลอดฤดูกาลปลูกข้าว พบว่า ในระยะกล้าหรือหลังการปักดำ 30 วัน ดินในแปลงนาทดลองส่วนใหญ่มีแนวโน้มของค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนการเพาะปลูก โดยตัวอย่างดินจากทุกแปลงมีความเป็นกรดค่อนข้างสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดคือ 4.50 เป็นดินกรดจัด ส่วนดินในระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมียังคงมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดเท่ากับ 4.50 เป็นค่าที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากผลการวิเคราะห์ในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ส่วนผล

การวิเคราะห์ดินในช่วงระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินนาข้าวทุกชุดการทดลอง (ยกเว้นแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี) มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้ แปลงนาที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนที่สุด คือ แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างจากดินกรดเข้าสู่สภาพเป็นกลาง ในขณะที่แปลงนาทดลองปุ๋ยเคมี ยังคงเป็นชุดการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำที่สุด คือ 4.20 ถือเป็นดินที่มีความเป็นกรดจัดมาก ส่วนดินในช่วงระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) พบว่า ดินในแปลงนาที่เติมด้วยปุ๋ยประเภทอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีส่วนช่วยในการปรับสภาพให้ดินมีความเป็นด่างมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.00-6.30 ในกลุ่มอักษร C จัดอยู่ในสภาพความเป็นกรดเล็กน้อย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของตัวอย่างดินตั้งแต่ข้าวอยู่ในระยะกล้าจนถึงระยะก่อนการเก็บเกี่ยวยัง พบว่า แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี เป็นเพียงการทดลองชุดเดียวที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างในดิน เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต และปุ๋ยยูเรียที่ใช้ในการทดลอง (ตาราง 4-1) พบว่า มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 7.3 และ 9.3 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าปุ๋ยเคมีทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในระดับสูงแต่ก็ไม่สามารถทำให้ดินในแปลงนาเปลี่ยนแปลงสภาพกลายเป็นดินด่างได้ เนื่องจากดินเดิมในแปลงนาเคมีในช่วงก่อนการทดลองนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างสูง (3.59 เปอร์เซ็นต์) ในสภาพดินเหนียวหรือดินที่มีอินทรียวัตถุสูงๆ นั้น จะทำดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างหรือ Buffering Capacity สูง (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) ดังนั้น การเติมปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต และปุ๋ยยูเรียไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินเมื่อเปรียบเทียบดินในแปลงนาอินทรีย์ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่า (มีค่า 3.21 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 4-1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตามช่วงอายุข้าว

ตารางที่ 4-4 ค่าความเป็นกรดด่างในดินตลอดฤดูกาลปลูกข้าว

แปลงทดลอง	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน			
	ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน	ระยะข้าวแตกกอ (60วัน)	ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90วัน)	ระยะก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน)
แปลงควบคุม	$^{C}5.20\pm0.03^{c}$	$^{B}4.94\pm0.17^{b}$	$^{A}4.73\pm0.07^{a}$	$^{B}5.04\pm0.05^{bc}$
ปุ๋ยคอก	$^{D}5.70\pm0.02^{b}$	$^{C}5.60\pm0.03^{b}$	$^{B}5.30\pm0.10^{a}$	$^{C}6.30\pm0.16^{c}$
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	$^{BC}5.00\pm0.18^{b}$	$^{B}4.80\pm0.04^{a}$	$^{C}5.00\pm0.03^{b}$	$^{C}6.00\pm0.13^{c}$
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	$^{AB}4.80\pm0.22^{a}$	$^{B}4.80\pm0.04^{a}$	$^{D}6.60\pm0.08^{c}$	$^{C}6.30\pm0.11^{b}$
ปุ๋ยเคมี	$^{A}4.50\pm0.24$	$^{A}4.50\pm0.19$	$^{E}4.20\pm0.23$	$^{A}4.60\pm0.19$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอนบอกถึงความแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้งบอกถึงความแตกต่างกันตามชุดแปลงทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2.2.2 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของดิน (Redox Potential; Eh)

ความสำคัญของการวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในดินนั้น นอกจากจะสามารถบ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนในแปลงนาแล้ว ยังเป็นปัจจัยที่บ่งชี้ถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในรูปแบบต่างๆ ได้ กล่าวคือ ในระดับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันที่แตกต่างกัน สามารถบ่งชี้สารเคมีหรือธาตุที่จะทำหน้าที่ตัวรับอิเล็กตรอนที่แตกต่างกัน โดยผลการวิเคราะห์ระดับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ในระยะต่างๆ สามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังนี้ (รูปที่ 4-2)

1) ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน จากการวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน พบว่า ทุกแปลงนาทดลองมีแนวโน้มค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันลดต่ำลง เมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดินเบื้องต้นในระยะก่อนการเพาะปลูก แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี มีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันสูงที่สุดในช่วงระยะเวลาดังกล่าว โดยมีค่าเท่ากับ 267.23 มิลลิโวลต์ รองลงมาได้แก่ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด และแปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย โดยมีค่าเท่ากับ 281.57, 267.23 และ 137.87 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ในขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันต่ำที่สุด คือ 121.73 มิลลิโวลต์ เมื่อพิจารณาจากอัตราการเติมปุ๋ย (ตารางที่ 3-1) แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกเป็นแปลงนาที่มีการเติมปุ๋ยมากที่สุด อีกทั้งยังพบว่า ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีองค์ประกอบของคาร์บอนสูงกว่าปุ๋ยชนิดอื่น

2) ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) ในระยะข้าวแตกกออยู่ในช่วง -121.27 ถึง 236.60 มิลลิโวลต์ โดยแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันสูงสุด คือ 236.60 มิลลิโวลต์ รองลงมาได้แก่ แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี 224.05 มิลลิโวลต์ โดยดินจากทั้งสอง

แปลงทดลองเป็นดินที่มีการมีสภาพ Reduction อยู่ในระดับปานกลาง Moderately Reduced คือ ช่วง +400 ถึง +200 (Patrick and Mahapatra, 1968, อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) ซึ่งเป็นช่วงที่ Anaerobic Microorganism จะใช้ไอออนในรูปของ Oxidized โดยจุลินทรีย์จะใช้ทั้ง NO_3^- และ Mn^{+4}เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในช่วง Redox Potential ระหว่าง +280 ถึง +220 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ไอออนหรือธาตุที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในดินนาหลังจากถูกน้ำท่วมขังที่ระดับ Eh ช่วงต่างๆ (Patrick and Reddy, 1978; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) (ภาคผนวก จ) นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในระยะนี้ มีแนวโน้มลดลงจากระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากการขังน้ำในแปลงนาตั้งแต่เริ่มการเพาะปลูกซึ่งอาจเป็นสาเหตุของปริมาณออกซิเจนในดินที่ลดต่ำลง ดังจะเห็นได้จากค่าความต่างศักย์ออกซิชัน-รีดักชันของดินในแปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ซึ่งมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันติดลบ โดยมีค่าเท่ากับ -29.47, -31.70 และ -121.27 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

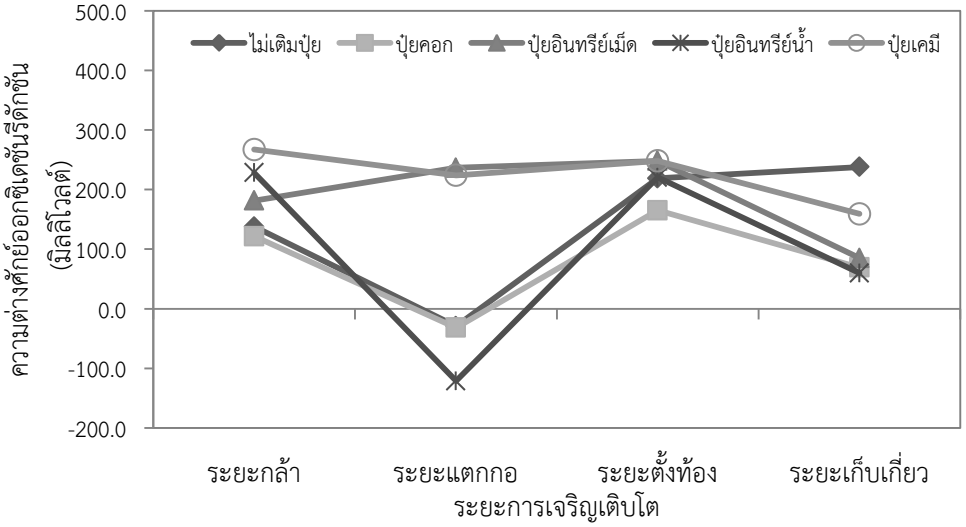
3) ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) ผลการวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก พบว่า มีการปรับตัวสูงขึ้นเมื่อเทียบกับระยะข้าวแตกกอ (อยู่ในช่วง 165.20-248.13 มิลลิโวลต์) ซึ่งบ่งชี้ได้ถึงปริมาณออกซิเจนในดินที่เพิ่มสูงขึ้น โดยในระยะนี้แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันต่ำสุด โดยมีค่า 165.75 มิลลิโวลต์ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าดังกล่าวพบว่า อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์ในดินจะใช้ Fe^{+3} เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา Reduction (Patrick and Reddy, 1978; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) (ภาคผนวก จ) ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆ นั้น มีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยได้แก่ แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย (มีค่าเท่ากับ 248.13, 248.05, 220.46 และ 219.00 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ในกลุ่มอักษร B ดังตารางที่ 4-5)

4) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) ผลการวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 59.87- 237.86 มิลลิโวลต์ โดยค่า Eh ในช่วงดังกล่าวสามารถเกิดได้จากการใช้ไอออนหรือธาตุในการรับอิเล็กตรอนที่หลากหลายซึ่งเป็นได้ทั้ง O_2, NO_3^-, Mn^{+4} และ Fe^{+3} ขึ้นอยู่กับระดับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในแต่ละชุดการทดลอง (Patrick and Reddy, 1978; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) (ภาคผนวก จ) โดยในระยะนี้ แปลงนาทดลองที่ไม่เติมปุ๋ยมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันสูงสุดคือ 237.86 มิลลิโวลต์ และรองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี 159.20 มิลลิโวลต์ ทั้งสองชุดการทดลองมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในขณะที่แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ปุ๋ยคอก และปุ๋ยอินทรีย์น้ำ พบว่า มีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) มีค่า 85.07, 69.12 และ 59.87 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในดินตลอดฤดูกาลปลูกข้าว (ตารางที่ 4-5) สามารถสรุปโดยรวมได้ว่า ในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน พบว่า ทุกแปลงทดลองมีแนวโน้มค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันลดต่ำลงเมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์คุณสมบัติ

ดินเบื้องต้นในระยะก่อนการเพาะปลูก ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณออกซิเจนที่ลดต่ำลงจากการขังน้ำในแปลงนามาได้ระยะหนึ่ง ดินที่มีน้ำขังเป็นเวลานานอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนในดินเนื่องจากกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการ ทำให้ออกซิเจนซึ่งมีอยู่จำกัดในสภาพไร้อากาศถูกออกซิไดซ์ไปอย่างต่อเนื่อง ปริมาณออกซิเจนจึงลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับดินก่อนเพาะปลูกซึ่งยังไม่มีการขังน้ำ ในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน สำหรับแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันต่ำที่สุด คือ 121.73 มิลลิโวลต์ เหตุผลที่ทำให้แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันต่ำกว่าแปลงทดลองอื่นๆ นั้น เพราะมาจากองค์ประกอบของคาร์บอนที่มีสูงกว่าปุ๋ยชนิดอื่น (ตารางที่ 4-1) คือ 17.85% ทั้งนี้คาร์บอนในองค์ประกอบของวัสดุอินทรีย์ถือเป็นแหล่งพลังงานสำคัญให้แก่จุลินทรีย์ (ปัทมา วิตถากร, 2524) จึงกล่าวได้ว่าการเติมปุ๋ยคอกมีส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณและส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน โดยเมื่อมีการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์มากปริมาณออกซิเจนในดินจึงลดต่ำลงไปด้วย ส่วนในระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) พบว่า ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันอยู่ในช่วง -121.27 ถึง 236.60 มิลลิโวลต์ การเปลี่ยนแปลงนาในระยะนี้ มีแนวโน้มลดลงจากระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากการขังน้ำในแปลงนาตั้งแต่เริ่มการเพาะปลูก ดังจะเห็นได้จากค่าความต่างศักย์ออกซิชัน-รีดักชันของดินในแปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ซึ่งมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันติดลบ โดยมีค่าเท่ากับ -29.47, -31.70 และ -121.27 มิลลิโวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากดินอยู่ภายใต้สภาพน้ำท่วมขัง ปริมาณออกซิเจนในจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินซึ่งต้องใช้ออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโต (ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546) สำหรับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในระยะข้าวออกดอกหรือข้าวตั้งท้อง (90 วัน) พบว่า มีการปรับตัวสูงขึ้นเมื่อเทียบกับระยะข้าวแตกกอ (อยู่ในช่วง 165.20-248.13 มิลลิโวลต์) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความต่างศักย์ออกซิชัน-รีดักชันอาจบ่งชี้ได้ถึงปริมาณออกซิเจนในดินที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยหลังจากการขังน้ำในแปลงนาตั้งแต่เริ่มการเพาะปลูกการสูญเสียออกซิเจนไปกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้ดินเริ่มปรับเข้าสู่สภาพ Reduction มากขึ้นในระยะกล้าและระยะข้าวแตกกอ สอดคล้องกับ อรรถพล โสภาพงศ์ (2554) ซึ่งรายงานว่า ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของดินมีการลดต่ำลงเมื่อเข้าสู่ระยะกล้าและระยะข้าวแตกกอ และจากรายงานของ ทัศนีย์ อัตตะนันท์ (2550) ที่กล่าวว่า ภายใน 2-3 สัปดาห์แรกของการขังน้ำค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของดินจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดต่ำสุดและจะกลับมีค่าสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะข้าวตั้งท้องเนื่องจากเริ่มมีการระบายน้ำออกจากแปลงนา นอกจากนี้ยังพบว่าผลจากการวิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในดินตั้งแต่ระยะกล้าจนถึงระยะเก็บเกี่ยวดินในแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนั้นมีระดับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเป็นบวกในทุกระยะการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงสภาพการระบายน้ำของดินได้ดีเนื่องจากในระหว่างการทดลองนั้น พบว่าน้ำในแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีและแปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมักจะลดระดับเร็วหรือมีน้ำแห้งเป็นระยะ จึงต้องมีการเติมน้ำลงในแปลงเพื่อรักษาระดับน้ำให้อยู่ในช่วง 5-10 เซนติเมตร ด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลให้การขังน้ำในแปลงไม่ต่อเนื่องหรือนานจนกระทั่งเกิดสภาพรีดักชันในดินและยังทำให้การแพร่ของออกซิเจนในดินมากขึ้นด้วย ส่วนในระยะก่อนการเก็บเกี่ยว (120 วัน) ไม่มีการรักษาระดับน้ำดังเช่นในช่วงต้นของการเพาะปลูกแต่เป็นการเข้า

สู่ระยะเก็บเกี่ยวด้วยการปล่อยให้น้ำในแปลงนาทั้งหมดค่อยๆ แห้งลง (ตั้งแต่ระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง) จึงเป็นผลให้ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันในระยะนี้ลดต่ำลง เนื่องจากยังคงเหลือน้ำบางส่วนซึ่งยังระบายไม่หมดและขังอยู่ในแปลงนามาเป็นเวลานาน



รูปที่ 4-2 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของดินตามช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

ตารางที่ 4-5 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันของดินตลอดฤดูกาลปลูกข้าว

แปลงทดลอง	ค่าความต่างศักย์ออกซิชัน-รีดักชันของดิน			
	ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน	ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน)	ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน)	ระยะก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน)
แปลงควบคุม	$^{A}137.87\pm7.85^{b}$	$^{B}-29.47\pm8.15^{a}$	$^{B}219.00\pm11.00^{c}$	$^{C}237.86\pm55.19^{c}$
ปุ๋ยคอก	$^{A}121.73\pm13.86^{c}$	$^{B}-31.70\pm14.10^{a}$	$^{A}165.20\pm37.93^{d}$	$^{A}69.12\pm2.75^{b}$
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	$^{B}181.63\pm35.29^{b}$	$^{C}236.60\pm40.01^{c}$	$^{C}248.13\pm4.05^{c}$	$^{A}85.07\pm10.38^{a}$
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	$^{C}228.23\pm4.25^{c}$	$^{A}-121.27\pm4.21^{a}$	$^{A}220.46\pm19.04^{c}$	$^{A}59.87\pm37.07^{b}$
ปุ๋ยเคมี	$^{D}267.23\pm14.42^{d}$	$^{C}224.05\pm16.94^{b}$	$^{A}248.05\pm17.90^{c}$	$^{B}159.2\pm28.33^{a}$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอนบอกถึงความแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้งบอกถึงความแตกต่างกันตามชุดแปลงทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2.2.3 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity; EC)

การวัดค่าการนำไฟฟ้าทำให้สามารถประมาณค่าเกลือละลายน้ำซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงการดูดธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดินทั้ง 4 ระยะสามารถแสดงรายละเอียดดัง ตารางที่ 4-6

1) ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ผลการศึกษา พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด โดยมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 259.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและแปลงนาที่ไม่มีการเติมปุ๋ย มีค่าเท่ากับ 325.03 และ 314.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 307.27 และ 301.03 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ดินในระยะกล้าโดยเฉพาะในแปลงนาเคมี พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงนาของค่าการนำไฟฟ้าโดยลดลงจากระยะก่อนการเพาะปลูกค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมปุ๋ยครั้งแรกในแปลงนาทดลอง ซึ่งแปลงนาทดลองเคมีจะไม่มีการเติมปุ๋ยในระยะแรก แต่จะเติมปุ๋ยครั้งแรกหลังจากการปักดำไปแล้ว 30 วัน ทำให้ตัวอย่างดินในระยะนี้ยังไม่ได้รับสารอาหารใดๆ จากปุ๋ยบำรุง ดังนั้นเมื่อทำการปักดำกล้าข้าวลงในแปลงนา จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงเนื่องจากธาตุอาหาร (ธาตุที่มีประจุ) ซึ่งมีอยู่เดิมในดินนาข้าวถูกพืชดูดดึงไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตนั่นเอง (ยงยุทธ โอสถสภา 2542)

2) ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) ผลวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดินในแปลงนาระยะข้าวแตกกอนั้น พบว่า ทุกแปลงทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน โดยพบว่า แปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 413.6, 382.6 และ 344.3 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกและแปลงที่เติมปุ๋ยเคมีนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าลดต่ำลง โดยมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 191.2 และ 292.6 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะการเก็บตัวอย่างดินในช่วงเวลานี้ เป็นช่วงที่ข้าวเริ่มเข้าสู่ระยะแตกกอซึ่งต้นข้าวเริ่มมีการเจริญเติบโตจึงทำให้เกิดการดูดดึงธาตุอาหารจากดินไปใช้เป็นพลังงานมากขึ้น (พันธวัศ สัมพันธ์พานิช 2554)

3) ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่าอยู่ในช่วง 180.50 – 505.50 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คือ 505.50 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) เช่นเดียวกับแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี ที่มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระยะนี้และมีค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 344.00 และ 322.23 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้านี้อาจเกิดจากการเติมปุ๋ยในครั้งที่ 2 เพื่อเสริมธาตุอาหารที่ถูกใช้ไปมากในระยะข้าวแตกกอ ในกรณีของปุ๋ยเคมีมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าปุ๋ยคอกและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เนื่องจากปุ๋ยเคมีอยู่ในรูปอนินทรีย์สาร หรือในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีซึ่งต่างจากปุ๋ยคอกและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่จะต้องผ่านการแปรสภาพจากอินทรียสารเป็นอนินทรียสาร ซึ่งอาจเป็นเหตุให้ธาตุอาหารในชุดการทดลองเคมีถูกพืชดูดดึงไปใช้ได้

เร็วกว่า ในขณะที่แปลงนาควบคุมซึ่งไม่มีการเติมปุ๋ยและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงจากระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) คือ มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 267.03 และ 180.53 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับแปลงควบคุมอาจเกิดจากปริมาณธาตุอาหารถูกพืชดูดดึงไปใช้ในปริมาณมากแต่ไม่มีการเติมธาตุอาหารทดแทนส่วนที่สูญเสียให้แก่พืช ในขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีลักษณะการใช้โดยการฉีดพ่นทางใบ ซึ่งต้นข้าวจะรับธาตุอาหารโดยตรงจากปุ๋ย ทำให้ไม่เกิดการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ดังนั้น ค่าการนำไฟฟ้าในดินซึ่งแสดงถึงปริมาณธาตุอาหาร (ธาตุที่มีประจุ) ในดินจึงลดลง

4) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่าอยู่ในช่วง 233.00 – 384.97 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยแปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 384.97 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นจากระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง (90 วัน) เช่นเดียวกันกับ แปลงนาที่ไม่เติมปุ๋ยและแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าจากทั้งสองแปลงทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 340.03 และ 332.45 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่าการนำไฟฟ้า 275.90 และ 233.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวลดลงจากระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง

ตารางที่ 4-6 ค่าการนำไฟฟ้าในดินในช่วงการทดลอง

แปลงทดลอง	ค่าการนำไฟฟ้าในดิน (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)			
	ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน	ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน)	ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน)	ระยะก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน)
ควบคุม	$^{C}314.00\pm2.00^{a}$	$^{A}413.57\pm2.71^{b}$	$^{D}267.03\pm1.80^{c}$	$^{A}340.03\pm1.95^{d}$
ปุ๋ยคอก	$^{A}259.00\pm2.12^{a}$	$^{B}191.23\pm0.75^{b}$	$^{C}322.23\pm2.05^{c}$	$^{B}332.45\pm2.30^{d}$
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	$^{D}325.03\pm2.78^{a}$	$^{C}344.33\pm2.45^{b}$	$^{A}505.47\pm6.24^{c}$	$^{C}233.00\pm1.31^{d}$
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	$^{B}301.03\pm6.07^{b}$	$^{D}382.57\pm2.06^{c}$	$^{E}182.53\pm0.95^{a}$	$^{D}384.97\pm2.89^{c}$
ปุ๋ยเคมี	$^{B}307.27\pm2.40^{a}$	$^{E}292.63\pm3.61^{b}$	$^{B}344.00\pm2.50^{c}$	$^{E}275.90\pm2.07^{d}$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอนบอกถึงความแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้งบอกถึงความแตกต่างกันตามชุดแปลงทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2.2.4 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter)

อินทรียวัตถุในดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการควบคุมและกำหนดสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพของดิน เช่นการปลดปล่อยธาตุอาหารหลักของพืชในดิน การช่วยให้ดินเกาะตัวกันเป็นโครงสร้าง การช่วยเพิ่มการดูดยึดน้ำในดิน การระบายอากาศ การลดอัตราการชะล้าง

พังทลาย ตลอดจนส่งเสริมกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินทั้ง พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ที่ร่วมกันใช้อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) ทั้งนี้สามารถอธิบายผลวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดินแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวได้ ดังนี้ (รูปที่ 4-3)

1) ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ผลการวิเคราะห์ พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีเป็นแปลงนาที่มีอินทรียวัตถุสูงสุดคือ 4.78 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณอินทรียวัตถุที่มากกว่า 4.50 นั้นถือว่าเป็นดินที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงมาก โดยอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) รองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุ 4.56 เปอร์เซ็นต์ แปลงนาที่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีอินทรียวัตถุ 4.31 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ดินจากทั้งสองชุดการทดลองข้างต้นมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำและแปลงนาที่ไม่มีการเติมปุ๋ย มีปริมาณอินทรียวัตถุ 4.14 และ 3.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในระยะกล้าหรือหลังการปักดำ 30 วัน พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากช่วงการเตรียมแปลงสำหรับเพาะปลูก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมปุ๋ยบำรุงในช่วงการเตรียมแปลงนาทำให้แปลงนาได้รับอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นและยังรวมไปถึงการไถกลบซากตอซังในช่วงการเตรียมแปลงนาก่อนการปักดำเกิดการทับถมของซากพืชซากสัตว์ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นและมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น

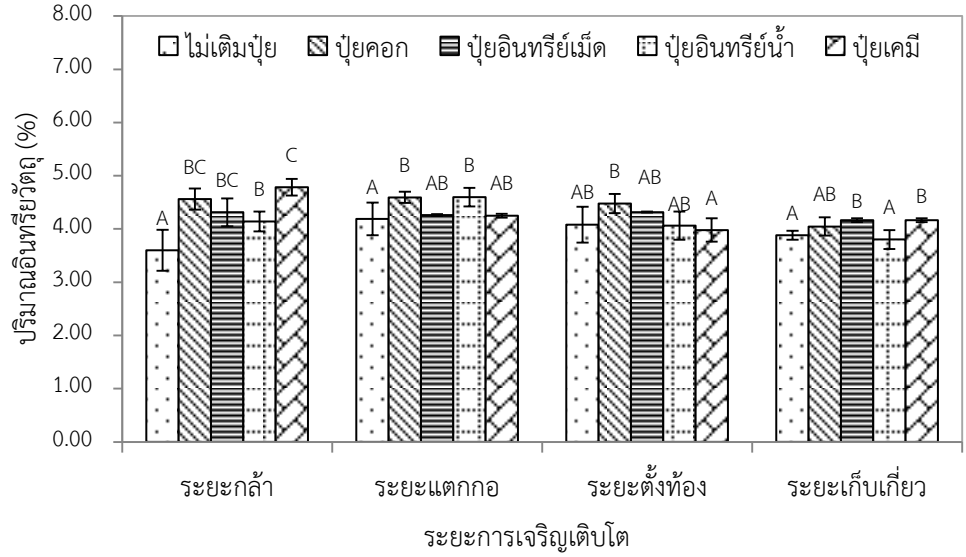
2) ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) ผลวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่า แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกัน (กลุ่มอักษร B, รูปที่ 4-3) โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 4.60 และ 4.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 4.26 เปอร์เซ็นต์ แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี 4.25 เปอร์เซ็นต์ และแปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ยใดๆ มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่าทุกชุดการทดลองเท่ากับ 4.19 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในระยะข้าวแตกกอพบว่า ดินทุกชุดการทดลองยังคงมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก โดยอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) (ภาคผนวก จ) เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงนาของปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพื่อเปรียบเทียบกับการทดลองในระยะกล้า พบว่า มีเพียงแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำและแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงนาของปริมาณอินทรียวัตถุในดินและมีค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3) ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) ผลวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ พบว่า ดินในแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด คือ 4.48 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ดินในแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดคือ 4.32 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยใดๆ และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่าปริมาณอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกันคือ 4.08 และ 4.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีพบว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อยที่สุด คือ 3.98 เปอร์เซ็นต์ จากผลการวิเคราะห์เมื่อเทียบกับปริมาณอินทรียวัตถุในระยะข้าวแตกกอ พบว่า มีเพียงแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำและแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีเท่านั้นที่มีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินมากที่สุดในช่วงระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากันทั้งสองแปลงคือ 4.17 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอก แปลงนาทดลองควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยใด และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ พบว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 4.05, 3.88, 3.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หากเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุกับระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง พบว่า แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยคอกและแปลงที่เติมปุ๋ยเคมี มีการเปลี่ยนแปลงนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีพบปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น แม้จะไม่มีการเติมอินทรียสารตลอดระยะการเจริญเติบโต แต่ในระยะที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่ ใบ หรือ ดอก ที่เจริญเต็มที่อาจหล่นร่วงลงสู่ดินซากพืชนั้นจึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้น ในแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงในระยะก่อนการเก็บเกี่ยว โดยอินทรียวัตถุในดินอาจลดลงจากการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และแปรสภาพเป็นอนินทรียสาร และในระยะนี้ไม่มีการเติมปุ๋ยเพิ่มเติม ดังนั้นจึงไม่มีการเพิ่มอินทรียวัตถุลงในดิน

จากผลวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดินสรุปได้ว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มปริมาณอินทรียวัตถุในลดต่ำลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอินทรียวัตถุในดินอาจมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเมื่อพิจารณาในส่วนของความสามารถในการระบายอากาศและปริมาณออกซิเจนในดิน (พิจารณาจากค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน รูปที่ 4-1) จะพบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีนั้นเป็นแปลงนาที่มีออกซิเจนในปริมาณสูง ในขณะที่ค่าความชื้นในดินต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งทั้งสองปัจจัยข้างต้นเป็นตัวแปรที่ส่งเสริมอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่เติมปุ๋ยเคมีจึงลดลงและมีค่าความแตกต่างกับแปลงนาทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ยังรวมไปถึงปัจจัยในเรื่องความชื้นในดินที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอินทรียวัตถุด้วย สอดคล้องกับรายงานของ สมศักดิ์ วังใน (2528) ที่ระบุว่าการสลายตัวของอินทรียวัตถุจะมากขึ้นถ้าความชื้นมากขึ้น แต่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนมากพอ ในขณะที่รายงานของ ลลิดา นิทัศนจารุกุล (2541) กล่าวว่า ดินที่มีความชื้นสูงถึงขั้นอิ่มตัวด้วยน้ำจะเกิดสภาพการขาดออกซิเจนทำให้อัตราการย่อยสลายลดลงอย่างรวดเร็ว

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4-3 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

4.2.2.5 ปริมาณไนโตรเจนในดิน (Total Nitrogen)

ไนโตรเจนมีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นอย่างมาก โดยรูปที่เป็นประโยชน์ที่ข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ได้ คือ ไนเตรท (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) อีกทั้งยังมีอิทธิพลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย เนื่องจากไนโตรเจนเป็นแหล่งโปรตีนในการสร้างเนื้อเยื่อของจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนในดินน้ำขังสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาด้วยปัจจัยต่างๆ อาทิ สภาพการออกซิเดชันและรีดักชัน ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน และอุณหภูมิของดิน เป็นต้น โดยผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนในดินสามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังรูปที่ 4-4

1) ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดิน พบว่าแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีมีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด คือ 0.24 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก 0.23 เปอร์เซ็นต์ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.22 และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแปลงนาควบคุมซึ่งไม่มีการเติมปุ๋ยชนิดใดๆ มีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุด คือ 0.18 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในดินทุกแปลงนาทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะก่อนการเพาะปลูก ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการไถกลบซากตอซังในช่วงการเตรียมแปลงก่อนการปักดำ จึงเกิดการทับถมของซากพืชซากสัตว์ ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น ซึ่งอินทรียวัตถุถือเป็นแหล่งของไนโตรเจนในดินที่สำคัญ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมา 2-5 % ของอินทรียวัตถุในดิน (อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547)

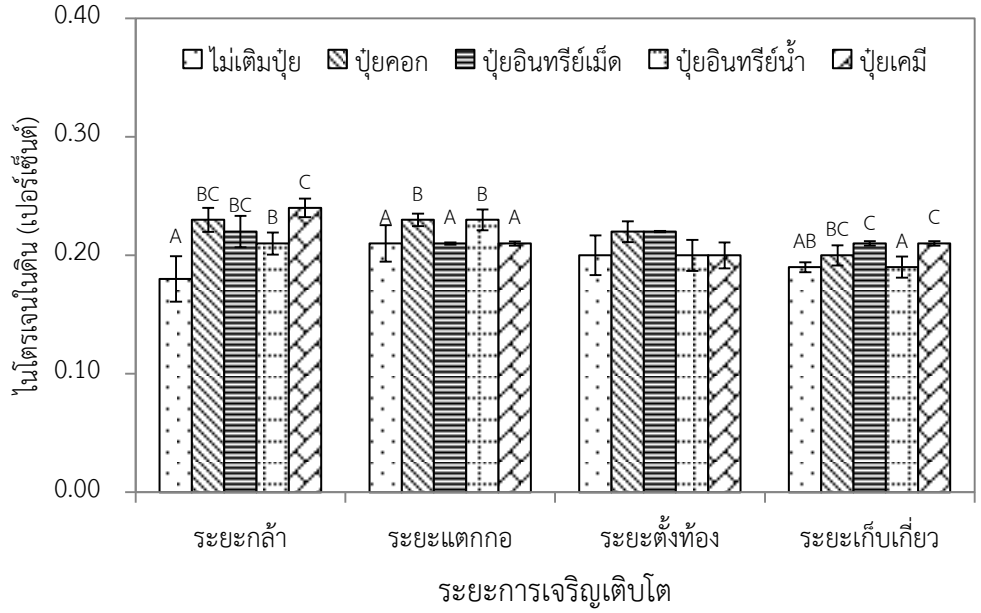
2) ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) ปริมาณไนโตรเจนในดินที่วิเคราะห์ได้ในระยะข้าวแตกกอมีดังนี้ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากัน คือ 0.23 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันกับแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี และแปลงนา

ควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยชนิดใดมีปริมาณไนโตรเจน 0.21 เปอร์เซ็นต์เท่ากันทั้งสามแปลงทดลอง จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าแปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยใดและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงขึ้นแทนที่จะลดลง ทั้งนี้เพราะถูกจุลินทรีย์และพืชดึงไนโตรเจนไปใช้ การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนในดินในกรณีนี้อาจเกิดจากการปลดปล่อยไนโตรเจนของอินทรียวัตถุที่มีอยู่เดิมในดินผ่านกระบวนการ Mineralization ซึ่งในดินที่มีน้ำขังนั้นสามารถเกิดกระบวนการ Mineralization ได้เร็วกว่ากระบวนการ Immobilization (De Datta, 1981; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547)

3) ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดิน พบว่า ทุกแปลงทดลองมีปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยทั้งแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอกและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ต่างมีปริมาณไนโตรเจนในดินเท่ากับ คือ 0.22 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันกับแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ปุ๋ยเคมี และแปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย มีปริมาณไนโตรเจนในดินเท่ากัน คือ 0.20 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับระยะข้าวแตกกอ พบว่า ทุกแปลงทดลองมีค่าไนโตรเจนลดต่ำลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นทั้งในกรณีที่พืชดูดดึงไนโตรเจนไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต และกรณีของจุลินทรีย์ในดินที่ต้องการไนโตรเจนไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับการสร้างเนื้อเยื่อของจุลินทรีย์ (ปัทมา วิตถากร, 2524)

4) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดิน พบว่า ทุกแปลงนาทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับเดียวกันคือ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงนาควบคุม พบว่า ปริมาณไนโตรเจนมีค่าเท่ากันคือ 0.20 เปอร์เซ็นต์ทั้งสามชุดการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในดินกับระยะข้าวออกดอกหรือข้าวตั้งท้อง (90 วัน) พบว่า มีเพียงชุดการทดลองปุ๋ยเคมีเท่านั้นที่มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการเติมปุ๋ยยูเรีย ซึ่งมีไนโตรเจนสูงในแปลงทดลองในช่วงระยะข้าวออกดอกหรือข้าวตั้งท้อง (90 วัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4-4 ปริมาณไนโตรเจนในดินแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

4.3 คุณสมบัติของน้ำในการทดลอง

การทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินการในพื้นที่แปลงนาอินทรีย์ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี โดยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงของการเตรียมดินหรือเตรียมแปลงก่อนการเพาะปลูก จากแปลงทดลอง 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) แปลงนาควบคุมที่มีการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยไม่มีการเติมปุ๋ย 2) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 3) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ 4) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยคอก และ 5) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยเคมี โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 5 ระยะของการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ 1) ระยะก่อนการเพาะปลูก 2) ระยะต้นกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน 3) ระยะแตกกอ (60วัน) 4) ระยะตั้งท้องหรือออกดอก (90วัน) และ 5) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว (120 วัน) จากนั้นนำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียด ได้ดังนี้

4.3.1 คุณสมบัติของน้ำในแปลงนาก่อนทำการเพาะปลูก

การเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงการเตรียมแปลงแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตัวอย่าง ได้แก่ น้ำจากแปลงทดลองอินทรีย์ และ แปลงทดลองเคมี โดยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำในแปลงนาสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4-5 จากผลการวิเคราะห์พบว่าทั้งแปลงนาอินทรีย์และแปลงนาเคมี มีค่าความเป็นกรดด่างในน้ำตัวอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยแปลงนาอินทรีย์มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.81 และแปลงนาเคมีมีค่าเท่ากับ 3.82 โดยที่ตัวอย่าง

น้ำทั้งสองตัวอย่างนั้นมีความเป็นกรดสูงมากและมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภท 3 (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 2537) (ภาคผนวก จ) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพื้นที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่ใช้ในการทดลองนั้นเกิดอุทกภัยในช่วงก่อนทำการทดลอง ซึ่งอาจมีสิ่งตกค้างซึ่งพัดมากับน้ำที่ท่วมขังในพื้นที่จนกระทั่งส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำได้ ในส่วนค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ เช่น เกลือที่ละลายน้ำได้ จากการศึกษา พบว่า ในแปลงนาอินทรีย์มีค่าการนำไฟฟ้า 1,994 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในขณะที่แปลงนาเคมีมีค่านำไฟฟ้า 1,750 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหตุผลที่ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าในช่วงของการเตรียมแปลงก่อนการเพาะปลูกมีค่าสูงอาจจะมาจากการเกิดอุทกภัยดังที่ได้กล่าวข้างต้น ซึ่งสามารถอาจทำให้มีอนินทรีย์สารที่ชะละลายมากับน้ำจนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของพื้นที่ค่อนข้างมาก นอกจากนี้ผลวิเคราะห์ค่าปริมาณของออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแปลงนาอินทรีย์มีค่าเท่ากับ *2.60* มิลลิกรัมต่อลิตร และแปลงเคมีมีค่าเท่ากับ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออกซิเจนละลายน้ำของแปลงนาอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 5.74 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำในแปลงนาเคมีมีค่า 6.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภท 3 คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8, 2537) (ภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4-7 คุณสมบัติน้ำเบื้องต้นในแปลงนาทดลอง

คุณสมบัติน้ำ	หน่วย	แปลงอินทรีย์	แปลงเคมี
1. ค่าความเป็นกรดด่าง	-	3.81	3.82
2. ค่าการนำไฟฟ้า (Electro Conductivity)	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร	1,994	1,750
3. ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)	มิลลิกรัมต่อลิตร	5.74	6.89

4.3.2 คุณสมบัติของน้ำตลอดช่วงการทดลอง

ในช่วงการทดลองได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงของการเตรียมดินหรือเตรียมแปลงก่อนการเพาะปลูก จากแปลงทดลอง 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) แปลงนาควบคุมที่มีการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยไม่มีการเติมปุ๋ย 2) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 3) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ 4) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยคอก และ 5) แปลงนาทดลองที่ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยมีการเติมปุ๋ยเคมี ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (ตารางที่ 4-8) ดังนี้

4.3.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำในแปลงนาเป็นปัจจัยที่สามารถบ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยความเป็นกรดด่างของน้ำอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น สารเคมี ปุ๋ย หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น โดยผลการศึกษาความเป็นกรดเป็นด่างของทั้ง 4 ช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าว สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4-8

1) ระยะกล้าหรือหลังการปักดำ 30 วัน ผลวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในระยะนี้อยู่ในช่วง 3.9-6.5 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของทุกแปลงทดลองได้ปรับสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ในระยะก่อนการเพาะปลูกซึ่งอาจเป็นผลจากการเติมปุ๋ยบำรุงดิน ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงทำให้เกิดการปรับสภาพของน้ำในแปลงนาให้เปลี่ยนไปด้วย โดยเฉพาะแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก ซึ่งเดิมผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำช่วงก่อนการเพาะปลูก (ยังไม่มีการเติมปุ๋ย) น้ำในส่วนแปลงนาอินทรีย์มีความเป็นกรดสูงมาก แต่เมื่อมีการเติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 9.3 (ตารางที่ 4-1) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนโดยวัดตัวอย่างน้ำได้ที่ 6.59 ซึ่งเป็นระดับที่น้ำเริ่มปรับเข้าสู่สภาพเป็นกลาง รองลงมาได้แก่ แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยใด และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์เม็ด มีค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเท่ากับ 5.65, 4.27, 4.07 และ 3.95 ตามลำดับ ทั้งนี้มีเพียงแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกและแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีเท่านั้นที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภท 3 (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 2537) (ภาคผนวก จ)

2) ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) ในระยะข้าวแตกกอค่าความเป็นกรด-ด่าง เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย เว้นแต่แปลงเคมีที่มีความเป็นกรดค่อนข้างสูง ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 3.7-6.3 ในภาพรวมเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าความเป็นกรด-ด่างในระยะก่อนการเพาะปลูกและระยะกล้า (30 วัน) พบว่า น้ำในแปลงนามีการปรับสภาพเข้าสู่ความเป็นด่างมากขึ้น ทั้งนี้แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก และแปลงนาควบคุม มีค่าความเป็นกรดด่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 6.38, 6.28, 6.06 และ 6.06 ตามลำดับ (กลุ่มอักษร B ดังตารางที่ 4-8) โดยแปลงนาที่มีการปรับตัวของค่าความเป็นกรด-ด่าง มากที่สุด คือ แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดซึ่งปรับตัวจากค่าความเป็นกรดด่างที่ 3.95 เป็น 6.28 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเติมปุ๋ยที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าน้ำในแปลง อีกทั้งปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนั้นสลายตัวได้ง่ายจึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของน้ำได้แปลงนาได้มากกว่าปุ๋ยที่สลายตัวช้า ในขณะที่แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีเป็นเพียงชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดด่างลดลงจากระยะกล้า และมีค่าต่ำสุดซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.05$) โดยพบว่า มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 3.76 ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในดินเกิดเป็นกรดอินทรีย์ที่ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำลดลง (เกริก ปิ่นตระกูล, 2550)

3) ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) คุณภาพน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเทียบกับระยะข้าวแตกกอ ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 5.65 - 6.19 โดยน้ำใน

แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงนาควบคุม และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 6.19, 6.07 และ 6.05 ตามลำดับ กลุ่มอักษร B เช่นเดียวกันกับแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่า 5.66 และ 5.65 9 ตามลำดับ (กลุ่มอักษร A) ในระยะนี้จะสังเกตเห็นว่าน้ำในแปลงนาทดลองมีแนวโน้มในการปรับตัวเข้าสู่สภาพเป็นด่างมากยิ่งขึ้น และมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภท 3 (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 2537) (ภาคผนวก จ)

4) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) ในระยะนี้เป็นช่วงที่น้ำในแปลงเริ่มแห้งหลังจากได้เริ่มมีการปล่อยน้ำออกเพื่อเตรียมเก็บเกี่ยวผลผลิต ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อเปรียบเทียบกับระยะข้าวตั้งท้องโดยส่วนใหญ่คงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และยังพบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้นจากระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้องโดยทั้งสองชุดการทดลองมีค่าความเป็นกรดด่างของน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 6.32 และ 6.31 ตามลำดับ (กลุ่มอักษร B) เช่นเดียวกันกับแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอก แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี และแปลงนาควบคุม มีค่า 6.13, 6.04 และ 5.95 ตามลำดับ (กลุ่มอักษร A) ทั้งนี้ตัวอย่างน้ำทั้งหมดมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภท 3 (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 2537) (ภาคผนวก จ)

ตารางที่ 4-8 ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว

แปลงทดลอง	ความเป็นกรดเป็นด่าง			
	ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน	ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน)	ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน)	ระยะก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน)
แปลงควบคุม	$^{A}4.07\pm0.27^{a}$	$^{B}6.06\pm0.11^{b}$	$^{B}6.07\pm0.20^{b}$	$^{A}5.95\pm0.19^{b}$
ปุ๋ยคอก	$^{B}6.59\pm0.08^{b}$	$^{B}6.06\pm0.63^{ab}$	$^{A}5.66\pm0.25^{a}$	$^{A}6.13\pm0.09^{ab}$
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	$^{A}3.95\pm0.67^{a}$	$^{B}6.28\pm0.29^{b}$	$^{B}6.05\pm0.06^{b}$	$^{B}6.32\pm0.08^{b}$
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	$^{A}4.27\pm0.26^{a}$	$^{B}6.38\pm0.10^{c}$	$^{A}5.65\pm0.14^{b}$	$^{B}6.31\pm0.10^{c}$
ปุ๋ยเคมี	$^{C}5.65\pm0.20^{b}$	$^{A}3.76\pm0.19^{a}$	$^{B}6.19\pm0.08^{c}$	$^{A}6.04\pm0.15^{c}$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอนบอกถึงความแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้งบอกถึงความแตกต่างกันตามชุดแปลงทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC)

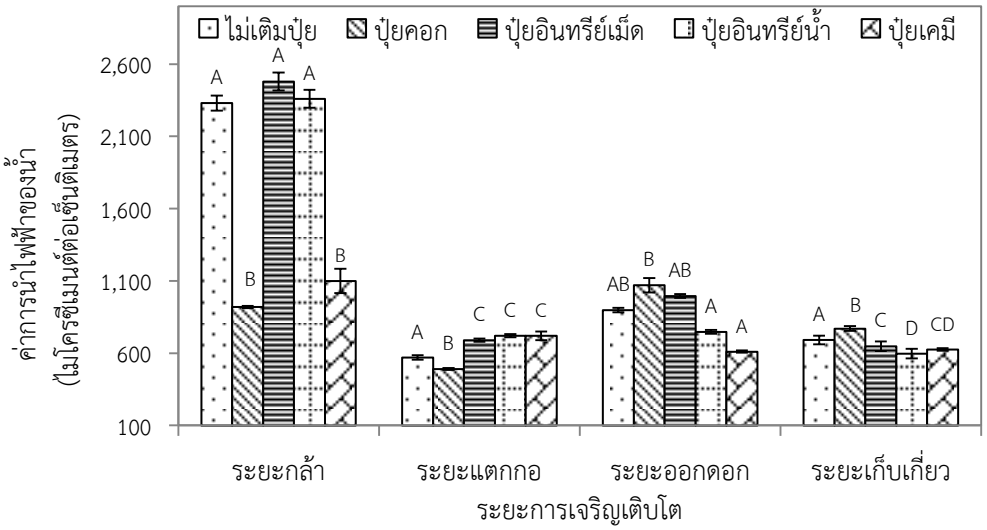
ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำสามารถบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของอนินทรียสาร ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าตลอดฤดูกาลปลูกข้าว โดยผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียด ดังนี้ (รูปที่ 4-5)

1) ระยะกล้าหรือหลังการปักดำ 30 วัน ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าในระยะนี้มีค่าสูงโดยค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 919.67-2,480.33 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ยมีค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 2,480.33, 2,360 และ 2,330.33 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (กลุ่มอักษร A) ในขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีและแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน มีค่าการนำไฟฟ้า 1,100 และ 919.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (กลุ่มอักษร B) ค่าการนำไฟฟ้าจากตัวอย่างน้ำทุกชุดการทดลองซึ่งเดิมมีค่าสูงมากตั้งแต่ระยะเตรียมการเพาะปลูก และยังคงเพิ่มสูงขึ้นนั้น อาจเป็นผลจากผันน้ำเข้าแปลงนาหลังจากมีการปักดำกล้าข้าวทำเกิดการชะละลายสารจำพวกอนินทรีย์ ซึ่งสะสมอยู่ในดินเดิมออกมามากขึ้น และยังรวมไปถึงปริมาณสารอนินทรีย์จากการแปรสภาพของอินทรียวัตถุในดินที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย

2) ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) ค่าการนำไฟฟ้าในระยะข้าวแตกกอวิเคราะห์ได้ในช่วง 490-720 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่า 720, 720 และ 690.33 ตามลำดับ (กลุ่มอักษร C) ในขณะที่แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอก และแปลงนาควบคุม มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 570.33 และ 489.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำลดลงจากระยะกล้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะธาตุอาหารถูกพืชดูดดึงไปใช้มากในระยะนี้ เพราะข้าวในระยะแตกกอเป็นระยะที่ข้าวเริ่มแตกหน่อใหม่ ซึ่งต้องอาศัยธาตุอาหารปริมาณมากเพื่อช่วยให้ข้าวแตกหน่อใหม่ที่สมบูรณ์แข็งแรง (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551, พันธวัศ สัมพันธ์พานิช 2554)

3) ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) มีค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 747.67-1,070 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดในระยะนี้ คือ 1,070 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร รองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และแปลงนาควบคุมซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่า 995.33 และ 898.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (กลุ่มอักษรAB) ในขณะที่แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีค่า 747.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (กลุ่มอักษร A) และแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี 611.00 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (กลุ่มอักษร A) จากผลวิเคราะห์พบว่า ทุกแปลงนาทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นจากระยะข้าวแตกกอ เว้นแต่แปลงนาเคมีที่ค่าการนำไฟฟ้าลดลงค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะองค์ประกอบของปุ๋ยเคมีเป็นสารที่อยู่ในรูปอนินทรีย์ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านการแปรสภาพ ทำให้อนินทรียสารที่เติมลงไปในแปลงนาถูกดูดดึงไปใช้ได้เร็วกว่าแปลงนาที่เติมปุ๋ยประเภทอินทรีย์ ซึ่งธาตุอาหารในรูปอินทรีย์นั้นจะต้องถูกแปรสภาพเป็นสารอนินทรีย์

4) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดต่ำลงจากระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก โดยวิเคราะห์ได้ในช่วง 625.00-770.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยผลการวิเคราะห์ในระยะนี้ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในระยะนี้แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเท่ากับ 770.67 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร รองลงมาได้แก่ แปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีค่าเท่ากับ 691.33, 647.67, 625.00 และ 597.33 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าทั้งหมดลดต่ำลงจากระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง (90 วัน) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะต้นข้าวมีการดูดธาตุอาหารไปใช้มากในระยะข้าวออกดอกหรือข้าวตั้งท้อง จนทำให้ปริมาณธาตุอาหารลดลงค่าการนำไฟฟ้าจึงลดต่ำลง



รูปที่ 4-5 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

4.3.2.3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

การศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำตลอดระยะการเพาะปลูกข้าวนั้น สามารถบ่งชี้ว่าแหล่งน้ำมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่ โดยผลการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแต่ละช่วงการเจริญของข้าว สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้ (รูปที่ 4-6)

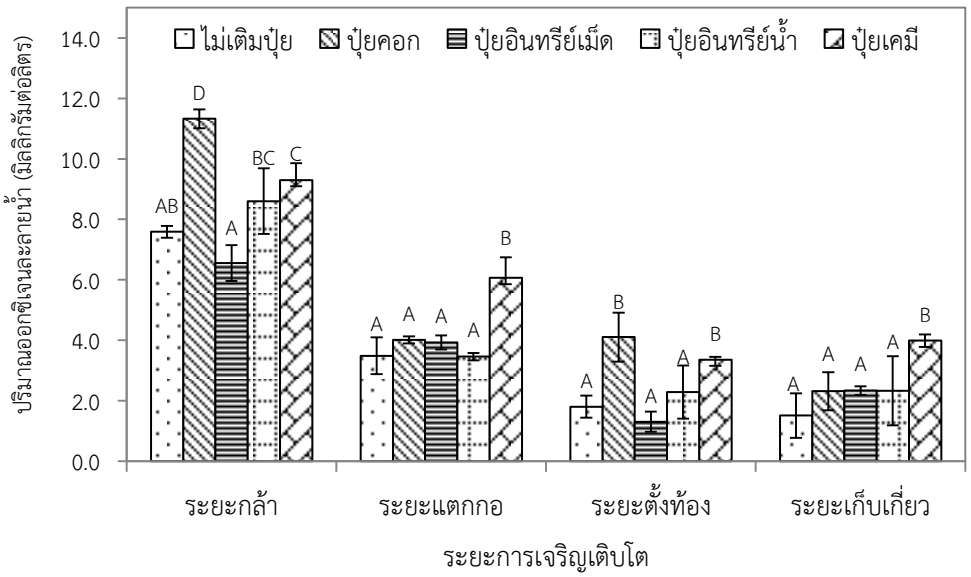
1) ระยะกล้าหรือหลังการปักดำ 30 วัน ผลการวิเคราะห์ออกซิเจนละลายน้ำภายหลังการปักดำข้าว 30 วัน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 6.55-11.33 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทุกชุดการทดลองมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าสูงที่สุดในระยะนี้ คือ 11.33 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาที่ไม่เติมปุ๋ย และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีค่าเท่ากับ 9.30, 8.60, 7.59 และ 6.55 ตามลำดับ ในระยะนี้ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าค่อนข้างสูงในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้มีหลายปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับสภาวะ

แวดล้อมด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวเคมี เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความดันบรรยากาศ หรือปริมาณสารเจือปนที่ใช้ออกซิเจนอยู่ในน้ำ (ไพฑูรย์ หมายมั่นสมบูรณ์, 2553) สำหรับสาเหตุที่ทำให้ระยะนี้มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องแล้ว คาดว่าอาจเป็นเพราะน้ำที่ผันลงในแปลงนามีปริมาณสารเจือปนที่ใช้ออกซิเจนอยู่น้อย

2) ระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) ผลการวิเคราะห์ออกซิเจนละลายน้ำ ในระยะนี้พบว่า น้ำในแปลงนามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3.46 – 6.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์น้ำในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากทุกชุดการทดลองนั้นลดต่ำลง โดยแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีมีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$; โดยมีค่าเท่ากับ 6.06 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนชุดการทดลองอื่นๆ นั้นมีค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ ได้แก่ แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอก แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่ไม่เติมปุ๋ย และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีค่าเท่ากับ 4.01, 3.93, 3.49 และ 3.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ในกลุ่มอักษร A ดังรูปที่ 4-6) การที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงในระยะนี้อาจเป็นผลมาจากความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียในน้ำ (Aerobic Bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง (ไพฑูรย์ หมายมั่นสมบูรณ์, 2553)

3) ระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) ผลการวิเคราะห์ออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1.31- 4.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงดังกล่าวลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ในระยะข้าวแตกกอ โดยแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก และแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 4.10, 3.36 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ในกลุ่มอักษร B) เช่นเดียวกันกับแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และแปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย ที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.29, 1.80, 1.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (กลุ่มอักษร A) ดังนั้น การที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มลดต่ำกว่าระยะกล้าและระยะแตกกอนั้น อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่มีอยู่เดิม อีกทั้งยังมีการเติมปุ๋ยเพิ่มในระยะข้าวแตกกอจึงอาจทำให้ความต้องการในการใช้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง

4) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต (120 วัน) พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด คือ 3.99 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าที่แตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) รองลงมา ได้แก่ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก และแปลงนาทดลองที่ไม่เติมปุ๋ย 2.34, 2.33, 2.32 และ 1.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเติมปุ๋ยในช่วงระยะข้าวออกดอก จึงทำให้จุลินทรีย์จึงต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสลายพวกปุ๋ยต่างๆ รวมทั้งเศษซากพืชที่ยังตกค้างอยู่ในแปลงที่อาจมีผลทำให้ค่าออกซิเจนละลายของน้ำลดต่ำลง



รูปที่ 4-6 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

4.4 การปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4)

ก๊าซมีเทน เป็นก๊าซที่เกิดผ่านกระบวนการ Methanogenesis โดยจุลินทรีย์ในดินทั้งนี้ กระบวนการ Methanogenesis จะเกิดขึ้นภายใต้สภาพไร้อากาศของชั้นดินนาข้าวผ่านการย่อยสลายอินทรียวัตถุของแบคทีเรีย (Dubey, 2005) ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากกิจกรรมการทำนา โดยทำการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศทั้ง 5 ช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ 1) ระยะก่อนการเพาะปลูก 2) ระยะกล้า หรือหลังการปักดำ 30 วัน 3) ระยะข้าวแตกกอ 4) ระยะข้าวออกดอกหรือข้าวตั้งท้อง และ 5) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว โดยผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้ (ภาคผนวก ช)

4.4.1 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนก่อนการเพาะปลูก

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนในระยะก่อนการเพาะปลูก ได้ทำการคัดเลือกตัวแทนแปลงทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แปลงนาอินทรีย์ และแปลงนาเคมี โดยผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4-9 จากผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในพื้นที่ทดลอง พบว่า ทั้งแปลงนาอินทรีย์และแปลงนาเคมี มีค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยแปลงนาอินทรีย์มีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 0.03 – 0.43 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ในขณะที่แปลงนาเคมีมีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 0.15 – 0.57 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.34 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) นอกจากนี้ วรทัย รักหฤทัย (2546) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซ

มีเทนในนาข้าวในระยะที่ยังไม่มีการขังน้ำ พบว่า มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.024 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ตารางที่ 4-9 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยในระยะก่อนการเพาะปลูก

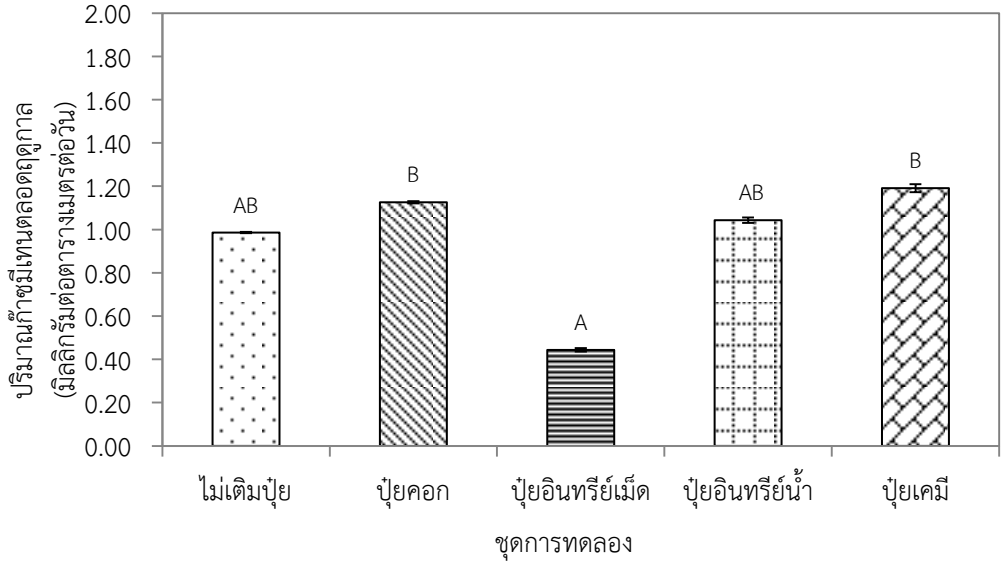
ก๊าซมีเทนเฉลี่ย	แปลงนาอินทรีย์	แปลงนาเคมี	F-Value
(มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)	0.29	0.34	0.07^{NS}

หมายเหตุ: NS หมายถึง ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

โดยทั่วไปมีแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับ การผลิตก๊าซมีเทนและการใช้ก๊าซมีเทนมี 2 ชนิด ได้แก่ Methanogenic Bacteria และ Methanotrophic Bacteria ถึงแม้ว่าในดินนาข้าวจะสามารถพบแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่ม แต่แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้จะเจริญภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน กล่าวคือ Methanogen จะเจริญภายใต้สภาพไร้อากาศ (Anaerobic) ในขณะที่ Methanotrop จะเจริญในสภาพที่มีอากาศ (Aerobic) (วรทัย รักหฤทัย, 2546) ทั้งสองสภาวะมีความแตกต่างกันในเรื่องของปริมาณออกซิเจน กล่าวคือการเคลื่อนตัวของออกซิเจนในอากาศไปสู่ดินจะถูกยับยั้งในพื้นที่ที่มีน้ำขังทำให้สูญเสียความเข้มข้นของออกซิเจนในดินและส่งผลต่อค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Redox Potential; Eh) ที่ลดต่ำลง (Lindau et al., 1994) การเกิดก๊าซมีเทนในช่วงก่อนการเพาะปลูกนี้ แม้ว่าจะเป็นช่วงที่ยังไม่มีพืชหรือต้นข้าวและและยังไม่มีการเติมปุ๋ยในแปลงนาก็ตาม แต่ในช่วงของการเตรียมแปลงนั้น มีการระบายน้ำเข้าแปลงนาบางส่วนจึงทำให้ดินมีลักษณะเป็นดินเลนที่ชุ่มไปด้วยน้ำซึ่งน้ำอาจแทนที่อากาศบางส่วนในดิน ซึ่งอาจทำให้ Methanogenic Bacteria เจริญเติบโตได้ในบริเวณดังกล่าว จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้บางส่วนแม้ยังไม่มีการเพาะปลูก

4.4.2 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดทั้งฤดูกาลเจริญการเติบโตของข้าว ในแปลงนาทดลองทั้ง 5 ชุดการทดลอง (รูปที่ 4-7) พบว่า ชุดการทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี มีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูกาลสูงที่สุด คือ 1.19 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน รองลงมาได้แก่ แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูกาล เท่ากับ 1.13, 1.04, 0.99 และ 0.44 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4-10) นอกจากนี้ยังพบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยที่สุดโดยมีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่า 0.44 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน



รูปที่ 4-7 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองตลอดฤดูการเจริญเติบโตของข้าว

จากผลวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาล พบว่า มีความสอดคล้องกับการศึกษา Sampanpanish (2012) เรื่องการใช้ปุ๋ยด้วยการปลูกข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ซึ่งรายงานว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าการเติมปุ๋ยคอก(มูลวัว) และปุ๋ยเคมี ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงการใช้ปุ๋ยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปริมาณก๊าซมีเทน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ทั้งชุดการทดลองปุ๋ยเคมีและชุดการทดลองปุ๋ยคอก (มูลวัว) ต่างก็มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในปริมาณสูง โดยทั้งสองชุดการทดลองมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในกรณีของการใช้ปุ๋ยคอก (มูลวัว) สามารถอธิบายได้ว่าองค์ประกอบของปุ๋ยอาจมีส่วนสำคัญในการส่งเสริมการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ เนื่องจากปุ๋ยคอกมีส่วนประกอบของอินทรียวัตถุ ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพของดิน (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังเป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ ดินที่มีอินทรียวัตถุมากจึงเป็นดินที่มีจุลินทรีย์มากตามไปด้วย (พัชรี ธีรจินดาขจร, 2549) ดังนั้น การเติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) จึงสามารถส่งผลให้ปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินนาเพิ่มมาก โดยเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogen ที่เจริญได้ดีในสภาพน้ำขัง สอดคล้องกับรายงานของ ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ และคณะ (2554) ที่กล่าวว่า นาข้าวที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่านาข้าวที่ปลูกโดยทั่วไปที่ใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นการเติมมีอินทรียวัตถุในดินนา

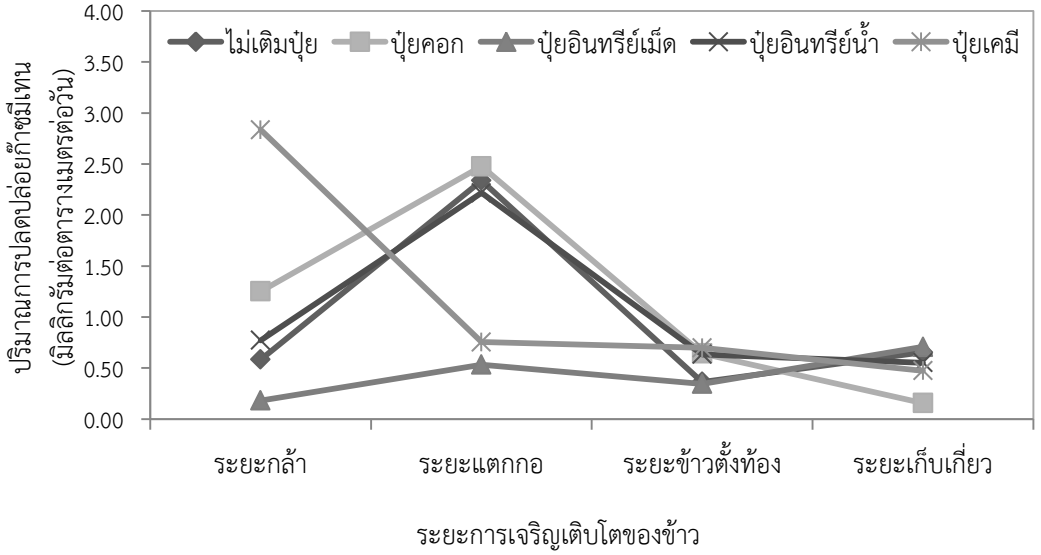
สำหรับกรณีของการใช้ปุ๋ยเคมีนั้น ได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของปุ๋ยเคมีที่มีต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า อิทธิพลจากปุ๋ยเคมีที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน จะขึ้นอยู่กับปัจจัย ได้แก่ ชนิดของปุ๋ยเคมี อัตราการใช้ปุ๋ย รวมถึงรูปแบบการใช้ปุ๋ยด้วย (Adhya et al., 2000; Dubey, 2005; Schütz et al., 1989; Sethunathan et al., 2000) ทั้งนี้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ปุ๋ยเคมีสองชนิด ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต และปุ๋ยยูเรีย ซึ่งมีผลในแง่ของการส่งเสริมกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนตามรายงานของ Wang et al. (1993) ที่กล่าวว่า การใช้ปุ๋ยยูเรียมีส่วนเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเมื่อความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มสูงขึ้นจากกระบวนการไฮโดรไลซิส และมีความต่างศักย์ออกซิเดชัน-

รีดักชันลดต่ำลง ซึ่งเป็นช่วงของที่เหมาะสมกับกิจกรรมของ Methanoganic หากแต่ผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ในขณะที่แปลงทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในปริมาณสูง แต่กลับมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในระดับต่ำ และไม่มีการปรับตัวสูงขึ้นแต่อย่างใด อีกทั้งยังมีค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันเป็นบวกตลอดทั้งฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณสมบัติดินในแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี พบว่า ดินเดิมในแปลงนามีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงมากโดยอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) และมีปริมาณสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ทำให้แปลงที่เติมปุ๋ยเคมีเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่าชุดการทดลองอื่นในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน และเมื่อทำการติดตามปริมาณอินทรียวัตถุในดินตลอดทั้งฤดูกาลจะเห็นได้ว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่เติมปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

สำหรับผลการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำกับแปลงควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ หรือกล่าวได้ว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำไม่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว เพราะวิธีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดน้ำในการศึกษาครั้งนี้คือ การฉีดพ่นทางใบซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ปุ๋ยสัมผัสกับพืชโดยตรงและอาจทำให้มีปุ๋ยตกค้างในดินได้น้อย ดังนั้นจึงคาดว่าจะไม่ส่งผลหรือส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้ยังพบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (มีค่า 0.44^{A} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน; F-value = 2.27) ดังนั้นการเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดส่งผลกระทบต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยที่สุดซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ มนตรี แสนวังสี และคณะ (2548) ที่ได้ทำการศึกษาการเพิ่มผลผลิตข้าว และการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ โดยเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนระหว่างปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 กับปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด พบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและยูเรียส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและยูเรีย

4.4.3 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ย โดยแบ่งตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (รูปที่ 4-8) พบว่า ในช่วงระยะข้าวแตกกอนั้นเป็นช่วงที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (F-value = 2.99) โดยพบปริมาณมีเทนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 1.66^{b} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.18 – 2.84 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ตารางที่ 4-10 แสดงผลการวิเคราะห์ข้าวในระยะกล้าพบว่า มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยรวม 1.13 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.53- 0.48 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ในขณะที่ระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยวมีค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 0.53 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.15-0.70; กลุ่มอักษร c)



รูปที่ 4-8 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

จากผลการทดลองพบว่า ข้าวในระยะแตกกอเป็นระยะที่มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดโดยมีค่าที่แตกต่างกันจากช่วงระยะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งนี้เพราะช่วงระยะแตกกอเป็นช่วงที่มีการขังน้ำอยู่ในแปลงนามาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งระยะเวลาการขังน้ำอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว โดยการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการขังน้ำในแปลงนาที่ความสูงประมาณ 5-10 เซนติเมตร และจะเริ่มระบายน้ำออกหรือปล่อยน้ำให้แห้งในช่วงที่ข้าวออกดอกหรือตั้งท้องจนถึงระยะเก็บเกี่ยว จนอาจส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนในแปลงที่ลดต่ำลง ซึ่งสภาวะดังกล่าวเป็นตัวเร่งกระบวนการ Methanogenesis หรือกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนของกลุ่มจุลินทรีย์ (พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gogoi et al. (2005) ที่ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนของข้าว 4 สายพันธุ์ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด 2 ช่วง คือ ระยะข้าวแตกกอสูงสุด (Maximum Tillering Stage) และระยะที่ข้าวสร้างดอกอ่อน (Panicle Initial Stage) โดยระยะข้าวแตกกอนั้นรากข้าวจะหลั่งสารอินทรีย์ที่ทางราก (Root Exudate) ทำให้ Methanogenic Bacteria มีกิจกรรมสูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตั้งแต่ระยะก่อนการเพาะปลูก (มีค่า 0.32 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ในช่วงต้นของการเพาะปลูกจนกระทั่งมีปริมาณสูงสุดที่ระยะข้าวแตกกอ จากนั้นการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะลดลงในช่วงท้ายฤดูกาลปลูก เมื่อเริ่มมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนกลับมาเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งอาจมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว เนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มที่สร้างมีเทนสามารถเจริญได้ดีในสภาพไร้อากาศ เมื่อมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นกิจกรรมของ Methanogenic Bacteria จึงลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wassman et al. (2000) ที่กล่าวว่าในระยะเริ่มต้นของฤดูกาลของการทำนาข้าวจะมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าช่วงกลางฤดูกาลปลูก โดยระยะเริ่มต้นปริมาณก๊าซมีเทนจะปลดปล่อย

เพิ่มขึ้นและจะลดปริมาณลงอยู่ระดับต่ำมากๆในช่วงก่อนหรือหลังการเก็บเกี่ยว และกว่า 50% ของก๊าซมีเทนจะปลดปล่อยในครึ่งฤดูกาลแรกของการเพาะปลูกข้าวของไทย แต่จะมีสำหรับนาข้าวในญี่ปุ่นที่มีการเกิดมีเทนมากในครึ่งหลังของฤดูกาลปลูก (Jermasawatdipong et al., 1994) ทั้งนี้เป็นเพราะช่วงอุณหภูมิที่สูงของพื้นที่เขตร้อนในช่วงต้นของการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งส่งผลต่อการย่อยสลายของดินและวัสดุอินทรีย์ที่ได้ถูกเติมลงในแปลงในช่วงต้นของการเพาะปลูกทำให้มีกิจกรรมของกระบวนการเกิดก๊าซมีเทนเกิดขึ้นมากในช่วงต้นระยะการเติบโตของข้าว นอกจากนี้ยังพบว่าการศึกษาในนาข้าวของประเทศสเปน มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดในระยะข้าวออกดอก (Seiler et al., 1984) ทั้งนี้ช่วงเวลาในการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอาจมีความเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่ ซึ่งส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในแปลงที่เติมปุ๋ยเคมี พบว่า เป็นชุดการทดลองที่มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ก่อนที่ปริมาณก๊าซมีเทนจะลดต่ำลงเมื่อเวลาผ่านไปซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ลดปริมาณลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ไม่มีการเติมอินทรียวัตถุใดๆ ลงในแปลงเคมีทำให้แหล่งคาร์บอนจากอินทรียวัตถุถูกจุลินทรีย์ใช้ย่อยสลายไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน ดังรายงานของ สมศักดิ์ วังใน (2528) ที่ระบุว่า การสลายตัวของอินทรียวัตถุจะมากขึ้นถ้าความชื้นมากขึ้นแต่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนมากพอ ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายของอินทรียวัตถุคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน (Kimura et al., 2004) ดังนั้นปริมาณและอัตราการย่อยของสลายอินทรียวัตถุในดินจึงเป็นปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อการเกิดก๊าซมีเทน ดังจะเห็นได้จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีที่ให้ผลสอดคล้องกัน

ตารางที่ 4-10 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามชุดการทดลองและช่วงการเจริญเติบโต

ชุดการทดลอง	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)				
	ระยะกล้า	ระยะแตกกอ	ระยะข้าวตั้งท้อง	ระยะเก็บเกี่ยว	ค่าเฉลี่ยทั้งฤดูกาล
ไม่เติมปุ๋ย	$^{B}0.58\pm0.00^{b}$	$^{C}2.34\pm0.01^{c}$	$^{B}0.36\pm0.00^{a}$	$^{D}0.65\pm0.00^{b}$	0.99^{AB}
ปุ๋ยคอก	$^{D}1.25\pm0.00^{c}$	$^{D}2.48\pm0.02^{d}$	$^{C}0.64\pm0.00^{b}$	$^{A}0.16\pm0.00^{a}$	1.13^{B}
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	$^{A}0.18\pm0.00^{a}$	$^{A}0.53\pm0.01^{c}$	$^{A}0.34\pm0.01^{b}$	$^{E}0.71\pm0.02^{d}$	0.44^{A}
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	$^{C}0.77\pm0.01^{a}$	$^{C}2.21\pm0.02^{b}$	$^{C}0.63\pm0.01^{a}$	$^{C}0.55\pm0.01^{a}$	1.04^{AB}
ปุ๋ยเคมี	$^{E}2.84\pm0.01^{d}$	$^{B}0.75\pm0.03^{c}$	$^{D}0.70\pm0.01^{b}$	$^{B}0.47\pm0.02^{a}$	1.19^{B}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอนบอกถึงความแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้งบอกถึงความแตกต่างกันตามชุดแปลงทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.5 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O)

ก๊าซไนตรัสออกไซด์เกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Denitrification คือ ปฏิกิริยาของการรีดิวท์ไนเตรทให้กลายเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจนโดยแบคทีเรีย Denitrifying Bacteria (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2549) ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการเก็บตัวอย่างอากาศจาก 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) แปลงทดลองควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ยชนิดใด 2) แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) 3) แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 4) แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และ 5) แปลงที่เติมปุ๋ยเคมี โดยเก็บตัวอย่างใน 5 ช่วงระยะการเจริญเติบโต เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน และน้ำ คือ 1) ระยะก่อนการเพาะปลูก 2) ระยะต้นกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน 3) ระยะแตกกอ (60 วัน) 4) ระยะตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) และ 5) ระยะก่อนการเก็บเกี่ยว (120 วัน) จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) โดยผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้ (ภาคผนวก ซ)

4.5.1 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ก่อนการเพาะปลูก

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ในระยะก่อนการเพาะปลูกได้คัดเลือกตัวแทนแปลงทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แปลงนาอินทรีย์ และแปลงนาเคมี โดยผลการวิเคราะห์ก๊าซไนตรัสออกไซด์สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4-11 จากผลการวิเคราะห์ก๊าซไนตรัสออกไซด์ในพื้นที่ทดลอง พบว่า ทั้งแปลงนาอินทรีย์และแปลงนาเคมี มีค่าการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยแปลงนาอินทรีย์มีการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์อยู่ในช่วง 0.13 – 0.25 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (ค่าเฉลี่ย 0.17 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) และแปลงนาเคมีปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์อยู่ในช่วง 0.11 – 0.13 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (ค่าเฉลี่ย 0.12 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ทั้งนี้ปริมาณไนตรัสออกไซด์ในระยะนี้อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำเนื่องจากเป็นระยะที่ยังไม่มีการเติมปุ๋ยใดๆ แต่อาจเกิดขึ้นได้เพราะธาตุอาหารที่มีอยู่เดิมในดินของแปลงนาที่ใช้ในการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

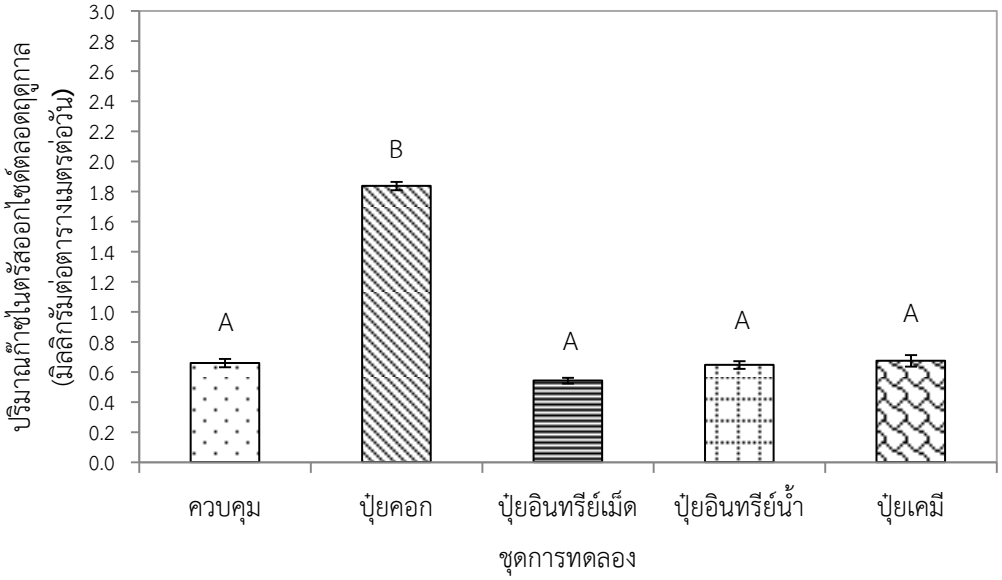
ตารางที่ 4-11 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยในระยะก่อนการเพาะปลูก

แปลงทดลอง	แปลงนาอินทรีย์	แปลงนาเคมี	F-value
ก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)	0.17	0.12	11.77^{S}

หมายเหตุ: S หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.5.2 ผลการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว

ผลการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยตลอดทั้งฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว ในแปลงนาทดลอง 5 ชุดการทดลอง รูปที่ 4-9 พบว่า แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เท่ากับ 1.84 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆนั้น มีการปลดปล่อยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ได้แก่ แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงนาควบคุม แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เท่ากับ 0.67, 0.66, 0.65 และ 0.54 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ (ในกลุ่มอักษร A)



รูปที่ 4-9 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า การเติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) ในแปลงนาอาจส่งผลต่อการกระบวนการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์มากกว่าปุ๋ยชนิดอื่นๆ โดยแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 1.84 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของปุ๋ยคอก พบว่า ปุ๋ยคอกมีองค์ประกอบของคาร์บอนสูงกว่าปุ๋ยชนิดอื่น เนื่องจากเป็นปุ๋ยที่ผลิตจากมูลสัตว์ (มูลวัว) ซึ่งเป็นแหล่งของอินทรียวัตถุที่สำคัญ ซึ่งคาร์บอนในองค์ประกอบของวัสดุอินทรีย์นั้นก็ถือเป็นแหล่งพลังงานสำคัญให้แก่จุลินทรีย์ (ปัทมา วิตถากร, 2524) ดังนั้น การเติมปุ๋ยคอกจึงมีส่วนสำคัญในการส่งเสริมกิจกรรมของจุลิทรีย์ในดินที่มากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการเกิดกระบวนการ Denitrification ประกอบด้วยหลายปัจจัย นอกเหนือจากปริมาณสารอินทรีย์แล้วยังรวมไปถึงปริมาณไนเตรท (NO^-_3) และไนไตรท์ (NO^-_2) (Towprayoon et al., 2005) เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม Denitrifying จำเป็นจะต้องใช้ไนเตรทเข้ามาเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนใน

กระบวนการหายใจแบบไร้อากาศ (Paul and Clark, 1996) โดยการทำปฏิกิริยารีดิวซ์ไนเตรท(NO_3^-) (Takaya, 2002)

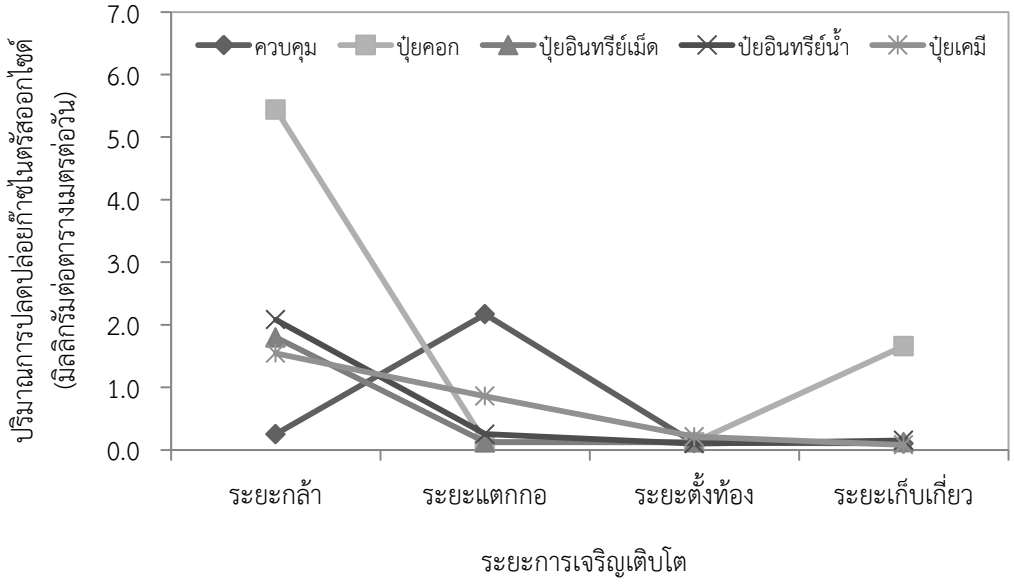
ในขณะที่ผลการทดลองของแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงนาควบคุม แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยเฉพาะในกรณีของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน กล่าวคือ เป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในระดับต่ำที่สุด แม้ว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของมูลสัตว์เช่นเดียวกันกับปุ๋ยคอก แต่กลับให้ผลการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านกายภาพของปุ๋ยและอัตราการใช้ปุ๋ย โดยชนิดและขนาดของปุ๋ยอาจมีผลต่ออัตราการสลายตัว หากปุ๋ยมีการสลายตัวให้พืชดูดดึงไปใช้ได้เร็วก็อาจส่งผลต่อการลดสารตั้งต้นในกระบวนการ ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบองค์ประกอบของธาตุอาหารในปุ๋ยทั้งสองชนิด (อ้างถึงในตารางที่ 4-1) พบว่า ปุ๋ยคอก(มูลวัว) มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่า คือ 1.5% ในส่วนของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด (มูลไก่) มีไนโตรเจน 1.2% อีกทั้งอัตราการใช้ปุ๋ยคอกมีปริมาณสูงกว่า (1,000 กิโลกรัมต่อไร่) จึงทำให้แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกได้รับไนโตรเจนสูงกว่าแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยไนโตรเจนถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญต่อการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน (Davidson and Scimel, 1995) หรือกระบวนการการแปรสภาพไนโตรเจนในรูปที่รวมกับธาตุอื่นไปเป็นก๊าซไนโตรเจน (วีรานุช หลาง, 2551)

ผลการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในชุดการทดลองปุ๋ยอินทรีย์น้ำ พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ไม่แตกต่างกับแปลงนาควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับผลการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และอาจมีผลมาจากลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ทำให้ต้องวิธีการการฉีดพ่นทางใบ ซึ่งทำให้ปุ๋ยสัมผัสกับพืชโดยตรงและพืชอาจดูดดึงไปใช้ได้ทั้งหมด จนทำให้ไม่มีปุ๋ยสัมผัสหรือตกค้างในดินทำให้ผลการวิเคราะห์มีค่าไม่แตกต่างกับแปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย ในขณะที่ผลของปุ๋ยเคมีที่มีต่อการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ แม้ว่าจะมีการศึกษาอย่างแพร่หลายถึงความสำคัญของการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าว ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเพิ่มปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ ดังเช่นรายงานของ Gogoi and Baruah (2012) ที่กล่าวว่า การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในโลกจะเพิ่มสูงขึ้น 35%-60% ในปี 2030 อันเนื่องมาจากสาเหตุการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยมูลสัตว์ในกิจกรรมการเกษตร ในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีกับแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี มีปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์อยู่ในระดับต่ำกว่าแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก โดยมีโดยมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เพียง 0.67 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่ปุ๋ยคอก (มูลวัว) ที่แม้ว่าจะมีองค์ประกอบของไนโตรเจนต่ำกว่ากลับพบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในปริมาณสูง กล่าวคือ ไม่ใช่เพียงแต่ปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้นที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนาข้าว หากแต่การเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ในกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชัน นั้น ยังมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวด้วย เนื่องจากก๊าซไนตรัสออกไซด์ไม่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่แท้จริงของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เพียงแต่เป็นสารที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ ซึ่งสามารถเล็ดลอดออกมาจากดินเข้าสู่ชั้นบรรยากาศเท่านั้น (วรทัย รัก

หฤทัย และคณะ, 2547) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยแท้จริงของกระบวนการนี้ คือ ก๊าซไนโตรเจน (Bernhard, 2012) ดังนั้น แม้ว่าปุ๋ยเคมีจะเต็มไปด้วยองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนแต่หากมีปัจจัยสภาพแวดล้อมในแปลงนาไม่เหมาะสม โอกาสที่จะเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศจึงมีได้มากกว่าก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับ Mosier (1994) อ้างถึงใน Weiwei et al. (2013) ที่กล่าวว่า การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์มักจะอยู่ในระดับต่ำในระหว่างที่มีน้ำท่วมขัง เพราะก๊าซไนตรัสออกไซด์สามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้หากอยู่ภายใต้สภาวะไร้อากาศเป็นเวลานาน

4.5.3 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ตามการเจริญเติบโตของข้าว

การเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวในการทดลอง สามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-12 พบว่า ข้าวในระยะกล้ามีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงสุดโดยมีความแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (รูปที่ 4-10) โดยมีค่าเฉลี่ยทุกชุดการทดลองเท่ากับ 2.22 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.25-5.44 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) รองลงมาได้แก่ ข้าวในระยะแตกกอที่มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เท่ากับ 0.70 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.12-2.17 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ส่วนข้าวในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.42 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.10-1.66 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) และระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้องพบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.13 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.21 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) โดยข้าวในระยะแตกกอ ระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยวมีค่าการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



รูปที่ 4-10 การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

ตารางที่ 4-12 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลองและช่วงการเจริญเติบโต

ชุดการทดลอง	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)				
	ระยะกล้า	ระยะแตกกอ	ระยะข้าวตั้งท้อง	ระยะเก็บเกี่ยว	ค่าเฉลี่ยทั้งฤดูกาล
ไม่เติมปุ๋ย	$^{A}0.25\pm0.04^{b}$	$^{D}2.17\pm0.02^{c}$	$^{A}0.11\pm0.03^{a}$	$^{AB}0.10\pm0.02^{a}$	0.66^{A}
ปุ๋ยคอก	$^{E}5.44\pm0.07^{c}$	$^{A}0.12\pm0.00^{a}$	$^{A}0.12\pm0.00^{a}$	$^{C}1.66\pm0.04^{b}$	1.84^{B}
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	$^{C}1.80\pm0.07^{c}$	$^{A}0.13\pm0.00^{a}$	$^{A}0.12\pm0.00^{a}$	$^{AB}0.12\pm0.00^{a}$	0.54^{A}
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	$^{D}2.08\pm0.01^{b}$	$^{B}0.25\pm0.03^{a}$	$^{A}0.10\pm0.00^{a}$	$^{B}0.15\pm0.06^{a}$	0.65^{A}
ปุ๋ยเคมี	$^{B}1.54\pm0.03^{d}$	$^{C}0.86\pm0.10^{c}$	$^{B}0.21\pm0.02^{b}$	$^{A}0.08\pm0.01^{a}$	0.67^{A}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอน บอกถึงความแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง บอกถึงความแตกต่างกันตามชุดแปลงทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในแต่ละชุดการทดลองตามช่วงการเจริญเติบโตของข้าว ดังตารางที่ 4-12 พบว่า แปลงนาทุกแปลง (ยกเว้นแปลงควบคุม) มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงที่สุดในระยะกล้าหรือหลังการปักดำ 30 วัน โดยมีค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แล้วจะมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ระยะข้าวแตกกอจนกระทั่งก่อนระยะเตรียมการเก็บเกี่ยว โดยสาเหตุที่การศึกษาครั้งนี้ พบค่าก๊าซไนตรัสออกไซด์ทุกชุดการทดลองอยู่ในระดับต่ำ อาจเป็นผลมาจากการเตรียมแปลงสำหรับการเพาะปลูกเพราะมีการไถกลบซากตอซังและมีการเติมปุ๋ยที่อาจส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของอินทรียวัตถุในดินและจุลินทรีย์ในดิน โดยทั้งสองปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการส่งเสริมกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน กล่าวคือ มีปริมาณอินทรียวัตถุมากทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดได้มาก ทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังมีปัจจัยด้านปริมาณออกซิเจนและค่า pH ที่เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดไนตรัสออกไซด์ เนื่องจากไนตรัสออกไซด์จะเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ หากอยู่ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนสูงและพีเอชต่ำ (วีรานุช หลาง, 2551) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (รูปที่ 4-8) พบว่า ข้าวในระยะกล้าเป็นช่วงที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่สูงมาก เท่ากับ 8.67 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเฉพาะในแปลงที่เติมปุ๋ยคอก ซึ่งมีค่าออกซิเจนละลายน้ำมากที่สุด คือ 11.33 มิลลิกรัมต่อลิตร สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า แปลงที่เติมปุ๋ยคอกมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงที่สุดในระยะนี้ ทั้งนี้เป็นเพราะเอ็นไซม์ไนตรัสออกไซด์รีดักเตสซึ่งมีหน้าที่ทำการรีดิวซ์ไนตรัสออกไซด์ให้เป็นก๊าซไนโตรเจนนั้นมีความไวต่อออกซิเจนมากที่สุด และสามารถถูกยับยั้งได้ตั้งแต่ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำๆ (วีรานุช หลาง, 2551)

4.6 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวตลอดฤดูกาลปลูก

การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยทั้งฤดูกาลของการปลูกข้าว พบว่า ก๊าซเรือนกระจกทั้งสองประเภทมีค่าการปลดปล่อยสู่บรรยากาศแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบปริมาณก๊าซมีเทน 0.96 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ 0.87 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (ตารางที่ 4-13) นอกจากนี้การศึกษาของ วรทัย รักหฤทัย (2546) พบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวตลอดฤดูกาล เท่ากับ 30.46 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่ Xiang (1994) รายงานผลการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนาข้าวเท่ากับ 0.11 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับรายงาน ของ วรทัย รักหฤทัย (2546) จะพบว่า การศึกษาในครั้งนี้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอยู่ในระดับต่ำมาก ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันของดิน (Eh) ที่แม้ว่าจะลดต่ำในช่วงระยะแตกกอจนถึงค่าติดลบ แต่ก็เป็นการลดระดับที่ยังคงมีปริมาณออกซิเจนแพร่กระจายอยู่ในดิน ทั้งนี้เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ระดับน้ำในแปลงทดลองมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะเวลาการขังน้ำไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น ปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยจากนาข้าวในการศึกษาครั้งนี้จึงมีระดับต่ำมากเพราะ Methanogenic Bacteria จะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ไร้อากาศเท่านั้น

ตารางที่ 4-13 ผลการศึกษาก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซเรือนกระจก	การศึกษาครั้งนี้ (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)
ก๊าซมีเทน	0.96	30.46[a]
ก๊าซไนตรัสออกไซด์	0.87	0.11[b]

หมายเหตุ: a - วรทัย รักหฤทัย (2546)
b - Xiang (1994)

การวิเคราะห์ผลของปุ๋ยต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ สามารถแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-13 พบว่า สำหรับก๊าซมีเทน แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีเป็นชุดการทดลองที่มีการปลดปล่อยมีเทนสูงที่สุด โดยมีค่า 1.19^{NS} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่ก๊าซไนตรัสออกไซด์ พบว่า มีปริมาณสูงที่สุดในแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกโดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่า 1.84^{S} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนั้นเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซมีเทนต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ก๊าซมีเทน 0.44^{S} และก๊าซไนตรัสออกไซด์ 0.54^{NS} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณรวมทั้งก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีปริมาณรวมของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด คือ 1.49^{S} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และชุดการทดลองที่มีการปลดปล่อยก๊าซทั้งสองชนิดต่ำที่สุด ได้แก่ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด คือ 0.49^{NS} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ทั้งนี้ แม้ว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะมีปริมาณสูงกว่าก๊าซไนตรัสออกไซด์แต่เนื่องจากเป็นก๊าซต่างชนิดกันจึงส่งผลกระทบต่อการเกิดสภาวะโลกร้อนในระดับที่แตกต่างกันด้วย เมื่อเปรียบเทียบค่าศักยภาพการก่อโลกร้อน หรือ Global Warming Potential (ก๊าซมีเทน มีค่าเท่ากับ 21 เท่า และก๊าซไนตรัสออกไซด์มีค่าเท่ากับ 310 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ดังนั้น จากผลวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการศึกษาครั้งนี้ จึงพบว่า แปลงที่เติมปุ๋ยคอก ส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อนสูงสุด คือ 216.59 กิโลกรัมต่อไร่ต่อวัน ในขณะที่แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และแปลงที่เติมปุ๋ยเคมีส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อนต่ำที่สุด คือ 68.64 และ 68.58 กิโลกรัมต่อไร่ต่อวัน (ตารางที่ 4-13) ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วย Pearson's Correlation Coefficient พบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า R =0.46 ค่าดังแสดงความสัมพันธ์ในระดับต่ำ โดยอ้างอิงระดับความสัมพันธ์ตามเกณฑ์ของ Hinkle, D.E. (1998) ในความสัมพันธ์นี้ อาจมีปัจจัยของสภาพแวดล้อมทำให้ทั้งก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์เพิ่มหรือลดปริมาณไปในทิศทางเดียวกัน ปัจจัยสำคัญที่คาดว่ามีความเกี่ยวข้อง นั่นคือ สภาพน้ำขังในแปลงทดลอง เนื่องจากสภาวะน้ำขังเป็นกุญแจสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติของดินนาข้าว แม้ว่าคุณสมบัติบางอย่างของดินนาข้าวจะเกิดจากการที่มีสภาพน้ำขังสลับกับการระบายน้ำก็ตาม (Kyuma, 2004)

ตารางที่ 4-14 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยตลอดฤดูกาลเจริญเติบโตของข้าว

ชุดการทดลอง	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)		GWP (CH_4+N_2O) (กิโลกรัมต่อไร่ต่อวัน)
	ก๊าซมีเทน	ก๊าซไนตรัสออกไซด์	
ควบคุม	0.99^{AB}	0.66^{A}	84.44
ปุ๋ยคอก	1.13^{B}	1.84^{B}	216.59
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	0.44^{A}	0.54^{A}	68.64
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	1.04^{AB}	0.65^{A}	75.93
ปุ๋ยเคมี	1.19^{B}	0.67^{A}	68.58

หมายเหตุ: - ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงค่าความแตกต่างกันในแนวตั้ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)
GWP=Global Warming Potential (ค่าศักยภาพการก่อภาวะโลกร้อนโดยเทียบกับ CO_2)

4.7 ปริมาณคาร์บอนในดินและพืชต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

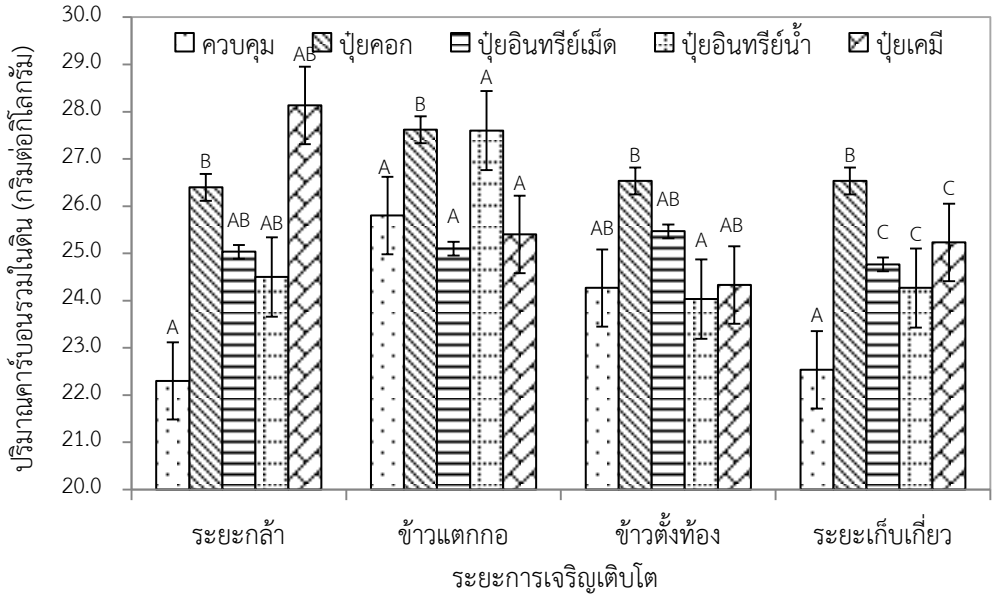
คาร์บอนถือเป็นปัจจัยหนึ่งในกระบวนการเกิดก๊าซมีเทนในการทำนาข้าว ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุของกลุ่มจุลินทรีย์ในดินโดยมีผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน แหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน นอกจากได้จากการใช้ปุ๋ยแล้ว ยังมีต้นกำเนิดมาจากชีวมวลของพืชผ่านทางระบบการสังเคราะห์แสงของพืชในการเปลี่ยนรูปอนินทรีย์คาร์บอน ในบรรยากาศมาเก็บไว้ในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในชีวมวล และกลายเป็นอินทรีย์คาร์บอนสะสมไว้ในดิน เมื่อส่วนต่างๆ ของพืช ร่วงหล่นและย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน รวมทั้งสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (Root Exudation) เซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว และสารที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ กระบวนการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินดังกล่าว เรียกว่า การกักเก็บคาร์บอนในดิน (นวรัตน์ ไกรพานนท์ และ ศิวัช แก้วเจริญ, 2550; สิริกานดา วัชราไทย, 2551) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าปริมาณคาร์บอนทั้งในดินและพืช มีความเกี่ยวข้องหรืออาจมีอิทธิพลต่อกระบวนการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์คาร์บอนรวม (Total Carbon) ในดิน และพืชตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าว ตั้งแต่ระยะเตรียมแปลงจนกระทั่งถึงการเก็บเกี่ยว โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนรวมสามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังนี้ (ภาคผนวก ฉ)

4.7.1 ปริมาณคาร์บอนรวมในดิน

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินตามช่วงอายุข้าว (รูปที่ 4-7) พบว่า พบว่า ในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก เป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินสูงที่สุด คือ 27.62 กรัมต่อกิโลกรัมดิน รองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย โดยพบปริมาณคาร์บอนสะสมในดินเท่ากับ 25.37, 25.03, 24.50 และ 22.30 กรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนสะสมในดินระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินสูงที่สุด คือ 27.62 กรัมต่อกิโลกรัมดิน รองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีและแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยพบปริมาณคาร์บอนสะสมในดินเท่ากับ 25.90, 25.80, 25.40 และ 25.10 กรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ สำหรับปริมาณคาร์บอนสะสมในดินระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินสูงที่สุด คือ 26.53 กรัมต่อกิโลกรัมดิน รองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ โดยพบปริมาณคาร์บอนสะสมในดินเท่ากับ 25.47, 24.33, 24.27 และ 24.03 กรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ และปริมาณคาร์บอนสะสมในดินระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (120 วัน) พบว่า แปลงที่เติมปุ๋ยคอกเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินสูงที่สุด คือ 26.53 กรัมต่อกิโลกรัมดิน รองลงมาคือแปลงที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย โดยพบปริมาณคาร์บอนสะสมในดินเท่ากับ 25.23, 24.77, 24.27 และ 22.53 กรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวในระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน พบว่าแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยคอกมีคาร์บอนในดินสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ

(รูปที่ 4-7) ในขณะที่แปลงนาทดลองของปุ๋ยชนิดอื่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากการเติมปุ๋ยคอกซึ่งเป็นอินทรียวัตถุในปริมาณมากจึงทำให้พบการสะสมคาร์บอนในชุดการทดลองดังกล่าวมีปริมาณสูง ส่วนชุดการทดลองอื่นๆใช้ปุ๋ยในอัตราที่ต่ำกว่า ต่อมาในระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) พบว่าแนวโน้มยังคงเป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน โดยพบว่าทุกแปลงทดลองมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในแปลงควบคุมที่ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนในดินนั้น นอกจากการเติมปุ๋ยแล้วยังรวมไปถึงปัจจัยด้านการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของพืช ตลอดจนการปลดปล่อยสารอินทรีย์จากรากพืชอีกด้วย จากปัจจัยข้างต้นอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อแหล่งคาร์บอนในดินที่เพิ่มสูงขึ้นในระยะนี้ นอกจากนี้ ยังพบว่าในระยะข้าวแตกกอ ทุกชุดการทดลองมีปริมาณคาร์บอนในดินสูงกว่าทุกช่วงอายุข้าว โดยมีความสอดคล้องกับปริมาณก๊าซมีเทน ซึ่งมีการปลดปล่อยมากที่สุดในระยะข้าวแตกกอ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตมีเทนจะใช้แหล่งคาร์บอนจากดินในกระบวนการ Methanogenesis ทำให้ระยะข้าวแตกกอมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด และเป็นผลให้ในเวลาต่อมาในระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง (90 วัน) คาร์บอนในดินจากทุกชุดการทดลองลดปริมาณลงจากระยะแตกกอซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ว่าคาร์บอนในดินสูญเสียไปในกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน ส่วนในระยะก่อนการเก็บเกี่ยว พบว่า แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีเป็นชุดการทดลองเดียวที่มีปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มสูงขึ้น ในระยะนี้ไม่มีการเติมปุ๋ยใดๆในการทดลองทำให้ปริมาณคาร์บอนจากอินทรียวัตถุไม่ได้ถูกเติมลงในดิน และในนาทดลองแปลงที่เติมปุ๋ยเคมีก็ไม่ได้รับการเติมอินทรียวัตถุใดๆ ตลอดการทดลอง ดังนั้นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณคาร์บอนได้นั้นอาจเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช โดยปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางกิ่งและใบของต้นพืชมากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนต่ำ เมื่อต้นข้าวเจริญเต็มที่เกิดการสลัดใบร่วงลงสู่ดินจึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นในระยะนี้



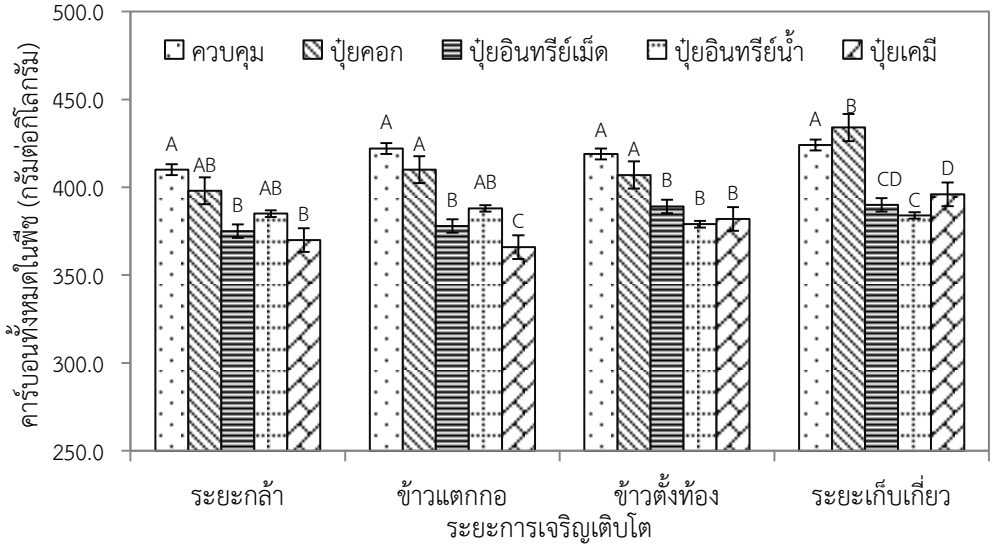
รูปที่ 4-11 ปริมาณคาร์บอนรวมในดินแต่ละช่วงเจริญเติบโตของข้าว

4.7.2 ปริมาณคาร์บอนรวมในพืช

สำหรับผลวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวทั้งต้นตามช่วงการเจริญเติบโต (รูปที่ 4-8) โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลการสะสมคาร์บอนเบื้องต้นในข้าวช่วงก่อนการทดลอง (ข้าวในแปลงเพาะขนาดเล็ก) พบว่า ปริมาณคาร์บอนสะสมของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข31 มีค่าเท่ากับ 408 กรัมต่อกิโลกรัม จากนั้นทำการถอนกล้าแล้วนำไปปักดำในแปลงนาทดลอง และทำการเก็บตัวอย่างทุกช่วงอายุของข้าว (5 ระยะ) โดยในระยะกล้าหรือหลังการปักดำ 30 วัน พบว่า ผลวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าว พบว่า แปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) คือ 410 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยพบปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวเท่ากับ 398, 385, 375 และ 370 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวระยะข้าวแตกกอ (60 วัน) พบว่า แปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวสูงที่สุด คือ 422 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และแปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี โดยพบปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวเท่ากับ 410, 388., 378 และ 366 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวระยะข้าวตั้งท้องหรือออกดอก (90 วัน) พบว่า แปลงนาควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ยเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวสูงที่สุด คือ 419 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ โดยพบปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวเท่ากับ 407, 389, 382 และ 379 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวระยะก่อนเก็บเกี่ยว (120 วัน) พบว่า แปลงนาควบคุมที่เติมปุ๋ยคอกเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวสูงที่สุดโดยมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) คือ 434.00 กรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ แปลงนาที่ไม่มีการเติมปุ๋ย แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ โดยพบปริมาณคาร์บอนสะสมในข้าวเท่ากับ 424, 390, 396 และ 384 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่า ปริมาณคาร์บอนรวมในข้าวทั้งต้นสายพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ เพิ่มปริมาณขึ้นตามช่วงอายุของข้าว ซึ่งคาร์บอนที่ได้มาจากกระบวนการจากการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อเวลาผ่านไปข้าวที่มีการเจริญเติบโตมากขึ้นจึงพบปริมาณคาร์บอนมากขึ้นจากส่วนต่างๆของต้นข้าว หากแต่เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลจากปุ๋ย พบว่าไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดปริมาณคาร์บอน และไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอนในต้นพืชต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แม้ว่าคาร์บอนจะเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Methanogen (Oremland, 1998) แต่การใช้คาร์บอนของจุลินทรีย์จะเกิดโดยการย่อยสลายของแหล่งคาร์บอนในดิน ในขณะที่พืชช่วยส่งเสริมแหล่งคาร์บอนให้แก่ Methanogen ในทางอ้อม นั่นคือ คาร์บอนอินทรีย์ซึ่งมีกำเนิดมาจากชีวมวลของพืชผ่านทางระบบการสังเคราะห์แสง ในการเปลี่ยนรูปอนินทรีย์คาร์บอนในบรรยากาศมาเก็บไว้ในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในชีวมวล เมื่อส่วนต่างๆ ของพืช ร่วงหล่น รวมทั้งสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (นวรัตน์ ไกรพานนท์ และ ศิวัช แก้วเจริญ, 2550; สิริกานดา วัชราไทย, 2551) ดังนั้น ผลของ

คาร์บอนในตันข้าวจึงไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน แต่อาจเป็นเพียงปัจจัยสนับสนุนในทางอ้อมเท่านั้น



รูปที่ 4-12 ปริมาณคาร์บอนรวมในข้าวในแต่ละช่วงเจริญเติบโตของข้าว

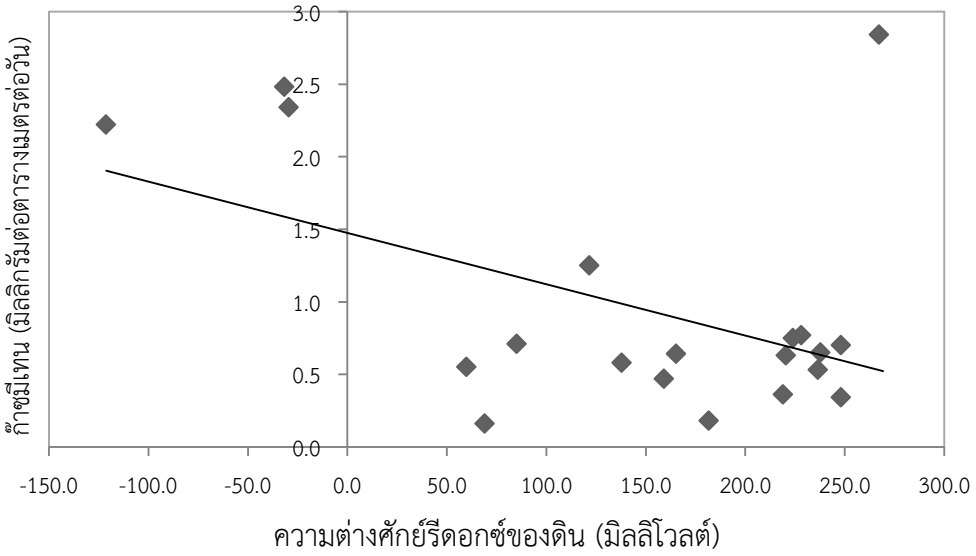
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับสภาพแวดล้อม

เนื่องจากการทำนาข้าวเป็นการปลูกพืชในสภาพน้ำขัง จึงทำให้สภาพแวดล้อมมีความแตกต่างจากการทำเกษตรกรรมทั่วไป สภาพแวดล้อมในนาข้าวเป็นสภาวะค่อนข้างซับซ้อนและมีปัจจัยมากมายที่มีอิทธิพลต่อการเกิดก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ เช่น คุณสมบัติของดิน คุณสมบัติน้ำ ตลอดจนการใช้ปุ๋ยบำรุงดิน โดยปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ในทางอ้อม ด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในนาข้าวให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน หรือ Methanogenesis และกระบวนการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ หรือ Denitrification อย่างไรก็ตามสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์นั้นย่อมแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ในดิน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์จากทุกชุดการทดลองตลอดฤดูกาลปลูกของข้าว และศึกษาความสัมพันธ์ของสภาพแวดล้อมในแปลงนาที่มีความเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ด้วยวิธีทางสถิติ พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์มีความสัมพันธ์กับ คุณสมบัติของดิน น้ำ และอากาศ โดยผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถแสดงรายละเอียด ดังนี้

4.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติดินกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างคุณสมบัติดินต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนา พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวมีความสัมพันธ์กับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันในเชิงลบ หรือมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

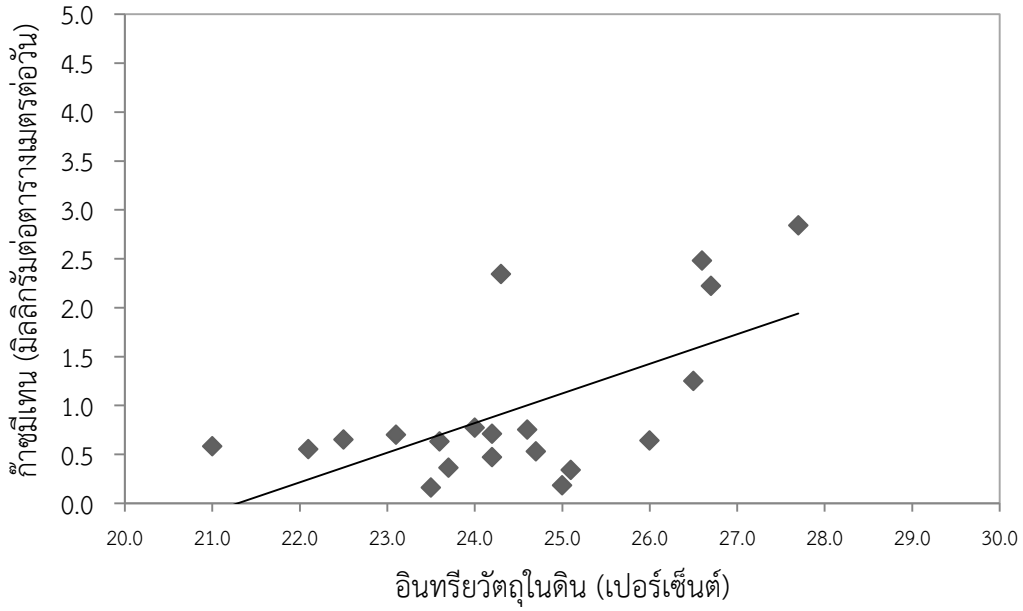
ข้าว ดังรูปที่ 4-13 เนื่องจาก R มีค่าเป็นลบ (-0.475) กล่าวคือ ก๊าซมีเทนจะมีการปลดปล่อยสูงขึ้น เมื่อค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันลดลง โดยเป็นความเป็นความสัมพันธ์ที่จัดอยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้อ้างอิงระดับความสัมพันธ์ตามเกณฑ์ของ Hinkle, D.E. (1998) ในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซมีเทนกับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันสามารถอธิบายได้ว่า ภายหลังจากการเกิดขังน้ำในแปลงนา ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในดินจะถูกใช้โดย Aerobic Microorganism จนกระทั่งปริมาณออกซิเจนเริ่มลดต่ำลงและเข้าสู่สภาพไร้อากาศ ซึ่งเป็นสภาวะที่ทำให้ประชากรจุลินทรีย์จำพวก Aerobic Microorganism ลดจำนวนหรือตายลงไป เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มนี้จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต แต่ในทางกลับกันสภาวะการขาดออกซิเจนจะทำให้ Anaerobic Microorganism เพิ่มจำนวนมากขึ้น เนื่องจากเป็นกลุ่มที่สามารถเจริญได้ดีในสภาวะการขาดออกซิเจน (Kyuma, 2004) หนึ่งในนั้นคือ แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทน Methanoganic Bacteria ซึ่งจะสร้างก๊าซมีเทนให้เกิดขึ้นจากชั้น Anaerobic ของดินนาข้าว (Dubey, 2005) ดังนั้น เมื่อค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันของดิน (Eh) ลดต่ำลง จนเกิดสภาวะการขาดออกซิเจน จึงเป็นสาเหตุที่มีความสอดคล้องกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่จะเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันของดิน (Eh) จะลดต่ำลงแต่ก็พบว่ามีการลดระดับลงเพียงเล็กน้อย หรือกล่าวได้ว่ายังคงมีปริมาณออกซิเจนแพร่กระจายอยู่ในดิน ดังนั้นปริมาณก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยจากนาข้าวในการศึกษาครั้งนี้จึงมีระดับต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นๆ



รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ORP ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุในดินและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (รูปที่ 4-14) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ

มีเทนในแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05 ; R = 0.621; จัดเป็นความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง) แต่ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์แต่อย่างใด กล่าวคือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณอินทรียวัตถุของดินซึ่งถือเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญของกระบวนการ Methanogenesis นอกจากนี้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนยังขึ้นกับอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ความชื้นในดินและปริมาณออกซิเจนในดินอีกด้วย ในส่วนของค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน ไม่พบความสัมพันธ์ต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่อย่างใด

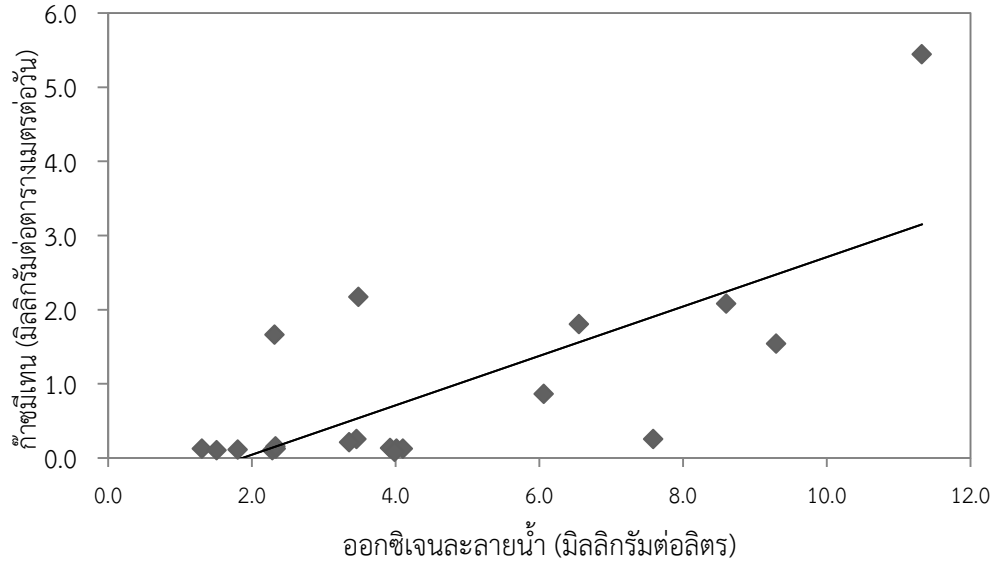


รูปที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรียวัตถุต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

4.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวไม่มีความสัมพันธ์กับค่าออกซิเจนละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.01) หากแต่พบความสัมพันธ์ต่อระหว่างก๊าซไนตรัสออกไซด์กับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) โดยมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแปลงนาอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.01) โดยมีค่า R = 0.718 ถือเป็นความสัมพันธ์ในระดับสูง โดยอ้างอิงระดับความสัมพันธ์ตามเกณฑ์ของ Hinkle et al. (1998) ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณออกซิเจน อีกทั้งก๊าซไนตรัสออกไซด์จะเกิดขึ้นได้ด้วยการทำงานของเอ็นไซม์ไนตรัสออกไซด์รีดักเตส แต่เอ็นไซม์นี้จะถูกยับยั้งที่พีเอชต่ำ และไวต่อออกซิเจนมากกว่าเอ็นไซม์อีกสามชนิดในกระบวนการดีไนตริเคชัน ดังนั้น ก๊าซไนตรัสออกไซด์จะเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนสูงและพีเอชต่ำหรือกล่าวโดยสรุปคือ

การสร้างเอ็นไซม์และกิจกรรมของจุลินทรีย์จะถูกควบคุมโดยปริมาณของออกซิเจน (วีรานุช หลาง, 2551) ทั้งนี้เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลง อาจเป็นสาเหตุให้เอ็นไซม์ไนตรัสออกไซด์รีดักเตสถูกยับยั้งการทำงาน ดังนั้นแทนที่จะเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย จึงกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ ทำให้การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ลดลง ดังรูปที่ 4-15 ในส่วนคุณสมบัติอื่นๆของน้ำในแปลงนา ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด-ด่าง นั้นไม่พบความสัมพันธ์ต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์

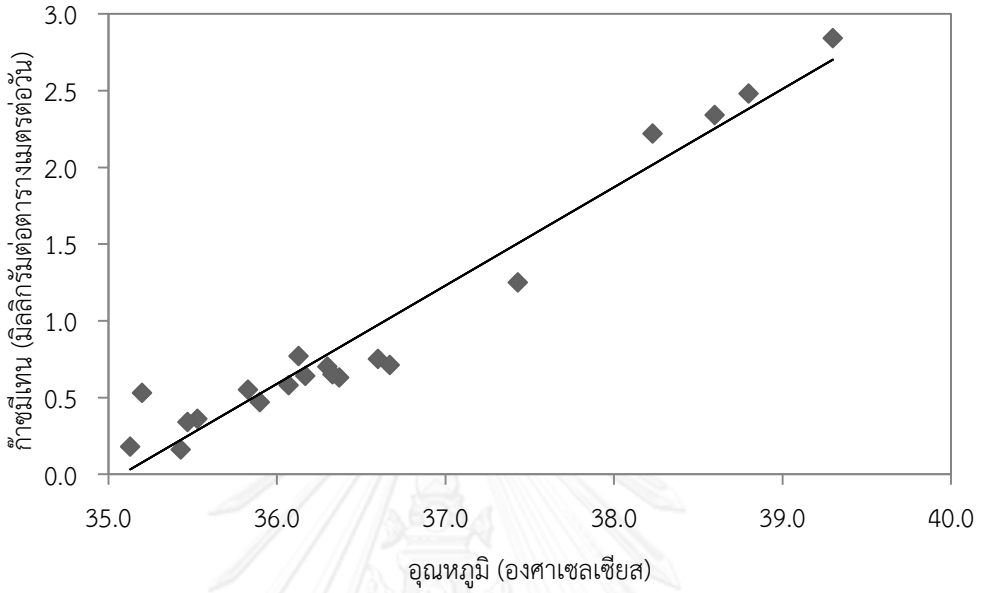


รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง DO ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์

4.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ในอากาศสำหรับการทดลองครั้งนี้ พบว่า มีประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศสำหรับที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4-16 และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า สภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ (R = 0.99) กล่าวคือ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยแปรผันตามระดับอุณหภูมิอากาศ ในขณะที่ก๊าซไนตรัสออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 35– 39 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิเป็นอย่างยิ่ง และไม่เพียงแต่ก๊าซมีเทนเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogenic ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการด้วย (Dubey, 2005) สอดคล้องกับการศึกษาของ Wassman et al. (2000) ที่กล่าวว่าการเกิดก๊าซมีเทนจะสูงที่สุดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ในขณะที่รายงานของ Hattori et al. (2001) ที่ได้ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซมีเทนในนาข้าวญี่ปุ่น พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจะมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด แต่เมื่อพิจารณา

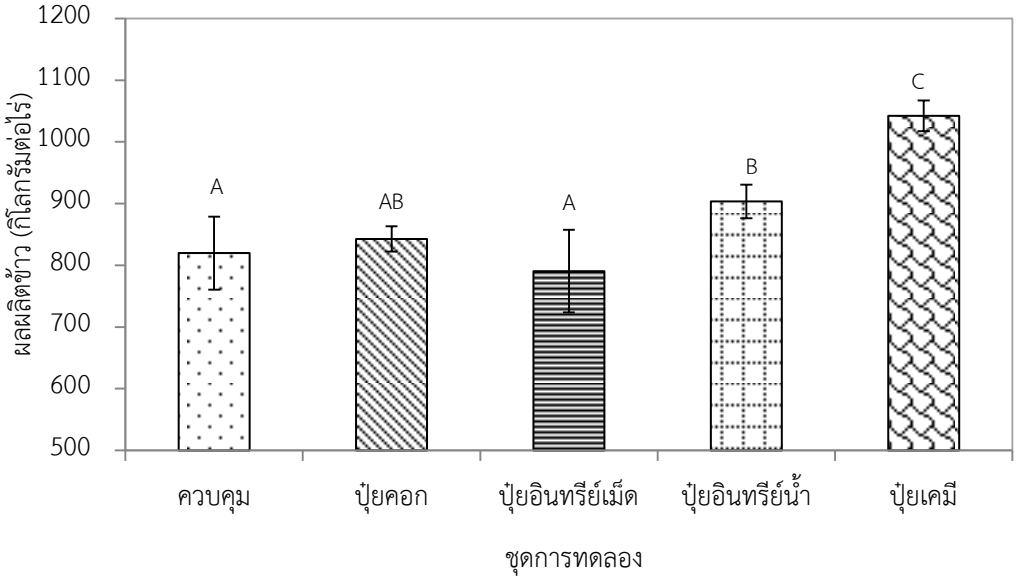
ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศกับปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ พบว่าอุณหภูมิไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

4.9 ผลผลิตข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31)

จากการปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) และได้ดำเนินการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากทั้ง 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) แปลงนาควบคุมที่มีไม่มีการเติมปุ๋ย 2) แปลงนาทดลองที่มีการเติมปุ๋ยคอก 3) แปลงนาทดลองที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 4) แปลงนาทดลองที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และ 5) แปลงนาทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมี ด้วยวิธีการสุ่มเกี่ยวในแต่ละแปลงทดลองขนาด 1 x 1 เมตร จำนวน 3 แปลงต่อหนึ่งชุดการทดลอง จากผลการวิเคราะห์ พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี มีปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกสูงที่สุดโดยมีค่าแตกต่างกับแปลงนาทดลองชุดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้เท่ากับ 1,042 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ แปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงนาที่เติมปุ๋ยคอก แปลงนาควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย และแปลงนาที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 904, 843, 820 และ 791 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (แสดงดังรูปที่ 4-17 และภาคผนวก ฌ)



รูปที่ 4-17 ผลผลิตข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 แต่ละชุดการทดลอง

จากปริมาณผลผลิตอาจกล่าวได้ว่า ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่ช่วยส่งเสริมการเพิ่มปริมาณผลผลิตข้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และ 46-0-0 มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตพืช โดยเฉพาะไนโตรเจนที่มีปริมาณสูงทำให้พืชในชุดการทดลองปุ๋ยเคมีมีการเจริญเติบโตที่ดี ตลอดจนได้ผลผลิตสูง สอดคล้องกับรายงานของ (ณัฏฐกิตติยา ไพบูลย์ และพัชรี แสนจันทร์, 2554) ที่ศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวสายพันธุ์ชัยนาท 1 โดยการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตที่มีซัลเฟต 42% เพื่อผลิตข้าวและมีการเติมปุ๋ยสูตร 16-20-0 (42%SO_4) อัตรา 0, 16, 32 และ 48 กิโลกรัมต่อไร่ ในนาข้าว ผลการศึกษา พบว่า สามารถให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าตำรับที่ไม่ได้รับปุ๋ย ถึง 2.5 เท่า แต่ในขณะเดียวกันปุ๋ยเคมีก็มีข้อจำกัดและอาจสร้างผลกระทบได้เช่นกัน ปุ๋ยเคมีทำลายสมดุลของระบบนิเวศดิน และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในดิน ปุ๋ยเคมีจะเร่งอัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุ ทำให้โครงสร้างของดินเสื่อมลง ดินจึงกระด้าง และไม่อุ้มน้ำซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพืช อีกทั้งการเติมปุ๋ยเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนมากๆ จะทำให้ดินเป็นกรดจนธาตุฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินแปรสภาพไปจากเดิมซึ่งพืชนำมาใช้ไม่ได้ (วิฑูรย์ ปัญญากุล 2547) ในขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์น้ำเป็นปุ๋ยอีกชนิดที่ให้ผลผลิตข้าวค่อนข้างสูง โดยพบปริมาณผลผลิตรองจากปุ๋ยเคมี คือ 904 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์น้ำเป็นปุ๋ยชีวภาพที่มีส่วนผสมของสาหร่ายสไปรูลินา ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-Green Algae หรือ Cyanobacteria) โดยสาหร่ายประเภทนี้มีประโยชน์ทั้งต่อดินและพืช โดยมีความสามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน ส่วนหนึ่งนำไปสร้างโปรตีนและบางส่วนปล่อยออกมาในดินและน้ำ อีกทั้งยังสามารถปลดปล่อยฮอร์โมนพืชที่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทำให้ได้ผลิตสูงขึ้น นอกจากนี้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินยังมีลักษณะเฉพาะนั่นคือ ต้องการน้ำเป็นปัจจัยเพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขังจึงเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้รวดเร็วและมีส่วนช่วยในการเพิ่มผลผลิตข้าว (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) ในการทดลองครั้งนี้จึงให้ผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิด

อื่นๆ ขณะที่ผลผลิตข้าวในแปลงนาที่เติมปุ๋ยคอกมีค่าเท่ากับ 843 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ พบว่า มีผลผลิตค่อนข้างต่ำแต่มีผลผลิตสูงกว่าแปลงทดลองควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ยใดๆ และเปรียบเทียบกับรายงานของ สุนิยม ตาปราบ และคณะ (2552) ที่ศึกษาศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวสายพันธุ์ กข31 (ปทุมธานี80) พบว่า หากปลูกด้วยวิธีปักดำข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) จะให้ผลผลิต 745 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ผลผลิตจากแปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่พบว่า มีผลผลิตต่ำที่สุด คือ 791 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับผลผลิตในแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ จากผลวิเคราะห์อาจกล่าวได้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดสามารถส่งเสริมผลผลิตข้าวได้น้อยกว่าปุ๋ยทุกชนิดในการทดลอง

ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปริมาณผลผลิต (ตารางที่ 4-15) พบว่า แปลงที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลผลิตข้าวสูงที่สุด คือ 30.83 กิโลกรัมต่อไร่ต่อกิโลกรัมผลผลิตข้าว รองลงมา ได้แก่ แปลงนาทดลองที่ไม่เติมปุ๋ย แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปริมาณผลผลิตปริมาณต่ำสุดเท่ากับ 7.9 กิโลกรัมต่อไร่ต่อกิโลกรัมผลผลิตข้าว

ตารางที่ 4-15 ปริมาณผลผลิตข้าวปทุมธานี 80 ทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่)	GWP (CH_4+N_2O) (กิโลกรัมต่อไร่ต่อกิโลกรัมผลผลิตตลอดฤดูกาลเพาะปลูก)
ไม่เติมปุ๋ย	^{A} 820±59.1	12.36
ปุ๋ยคอก	^{AB} 843±20.5	30.83
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	^{A} 791±67.0	10.41
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	^{B} 904 ±7.7	10.08
ปุ๋ยเคมี	^{C}1,042±12.7	7.90

หมายเหตุ : - ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง
- S หมายถึง มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
GWP=Global Warming Potential (ค่าศักยภาพการก่อภาวะโลกร้อนโดยเทียบกับ CO_2)
- ฤดูกาลเพาะปลูก 1 รอบ มีระยะเวลา 120 วัน

4.10 ข้อแนะนำการเติมปุ๋ยบำรุงดินเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก

การศึกษาผลของปุ๋ยที่มีต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ในนาข้าว เพื่อการวางแนวทางการใช้ปุ๋ยสำหรับการทำนา สามารถสรุปผลกระทบด้านต่างๆ ได้ดังตาราง 4-16 ผลกระทบของปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดทั้งฤดูกาล พบว่า การใช้ปุ๋ยคอกในนาข้าวส่งผลกระทบต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลผลิต พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีเพิ่มผลผลิตให้แก่ข้าวปทุมธานี 80 ได้สูงที่สุด คือ 1,042 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ต้นทุนการใช้ปุ๋ย (ต่อพื้นที่ 1 ไร่) พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีต้นทุนต่ำที่สุด คือ 200 บาท และเมื่อพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปริมาณผลผลิต พบว่า แปลงที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผลผลิตข้าวสูงที่สุด คือ 30.83 กิโลกรัมต่อไร่ต่อกิโลกรัมผลผลิตข้าว ในขณะที่ปุ๋ยเคมีปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปริมาณผลผลิต เท่ากับ 7.9 กิโลกรัมต่อไร่ต่อกิโลกรัมผลผลิตข้าว จากผลการศึกษาที่ได้กล่าวข้างต้น จึงขอเสนอแนะแนวทางการจัดการใช้ปุ๋ยในการทำนา ดังนี้

ตารางที่ 4-16 สรุปผลการวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจก ผลผลิต และต้นทุนการใช้ปุ๋ย

ชนิดของปุ๋ย	ปุ๋ยคอก (มูลวัว)	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	ปุ๋ยเคมี	
				ยูเรีย	แอมโมเนียมฟอสเฟต
GWP (CH_4+N_2O) (กิโลกรัมต่อไร่ต่อกิโลกรัมผลผลิต)	30.83	10.41	10.08	7.90	
ผลผลิตข้าว (กิโลกรัม)	820	791	904	1,042	
ต้นทุนราคาปุ๋ย (บาท)	2,000	1,200	200	208	474

หมายเหตุ: - คำนวณราคาปุ๋ยตามอัตราที่ใช้ในการทดลอง (กิโลกรัมต่อไร่ หรือ มิลลิลิตรต่อไร่)

- GWP=Global Warmimg Potential (ค่าศักยภาพการก่อภาวะโลกร้อนโดยเทียบกับ CO_2)
- ผลผลิตคำนวณในหน่วย กิโลกรัมต่อไร่ต่อฤดูกาลเพาะปลูก 1 รอบ มีระยะเวลา 120 วัน

การใช้ปุ๋ยทำนานั้นควรปรับวิธีการใช้ปุ๋ย โดยใช้ร่วมกันระหว่างปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์น้ำและ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ในส่วนของปุ๋ยอินทรีย์น้ำและปุ๋ยเคมี พบว่า ปุ๋ยทั้งสองชนิดส่งผลกระทบต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยและให้ผลผลิตข้าวในปริมาณสูง ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 และ 16-20-0 มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการพืช โดยเฉพาะไนโตรเจนที่มีอยู่มากทำให้พืชในชุดการทดลองปุ๋ยเคมีมีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตสูง อย่างไรก็ตามแม้ว่าปุ๋ยเคมีจะให้ผลผลิตข้าวในปริมาณสูง แต่กลับมีข้อเสียต่อสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยปุ๋ยเคมีจะเร่งอัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุ ทำให้โครงสร้างของดินเสื่อมลง ดินจึงกระด้าง และไม่อุ้มน้ำซึ่งหากมีการใช้ปุ๋ยเคมีต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน สภาพของดินที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะส่งผลเสียต่อผลผลิตของพืชได้ ดังนั้น เพื่อป้องกันปัญหาดินเสื่อมโทรมที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตเนื่องจากปุ๋ยเคมี จึงควรลดช่วงระยะของการใส่ปุ๋ยเคมีให้น้อยลง เพื่อลดการสะสมของสารเคมีในดิน ในขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แม้ว่าจะให้ผลผลิตต่ำกว่าทุกแปลงทดลอง แต่พบว่ามีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ต่ำมากในทุกๆ ระยะการเจริญเติบโตของข้าวเมื่อเทียบกับปุ๋ยคอก ดังนั้น หากใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมาช่วย

ปรับปรุงบำรุงดินในระยะของการเตรียมการเพาะปลูกและระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน แทนการใช้อินทรียวัตถุอื่นๆ อาจมีส่วนช่วยลดปริมาณก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากการทำนาได้ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงที่มีการผลิตก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดของฤดูกาล จากนั้นในช่วงที่ข้าวเริ่มแตกกอจนถึงระยะข้าวตั้งท้อง จึงค่อยทำการฉีดพ่นปุ๋ยอินทรีย์น้ำทางใบร่วมกับการเติมปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตและปุ๋ยยูเรีย เนื่องจากระยะดังกล่าวเป็นช่วงที่พืชต้องการธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต ดังนั้นการเติมปุ๋ยเคมีที่เป็นอนินทรียสารจะทำให้ต้นข้าวสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้ทันทีในกระบวนการแตกกอและออกดอก

อย่างไรก็ตามจากข้อแนะนำการใช้ปุ๋ยข้างต้นนี้ เป็นเพียงข้อเสนอแนะที่อ้างอิงบนพื้นฐานของผลการศึกษาซึ่งเกิดจากสายพันธุ์ข้าวเพียงชนิดเดียว คือ ข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 และทำการศึกษาเฉพาะในพื้นที่เดียว อีกทั้งยังเป็นการศึกษาเพียง 1 ฤดูกาล เท่านั้น ดังนั้นการขยายผลเพื่อประยุกต์ใช้จริงกับการทำนาของเกษตรกรนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องเพื่อผลการวิจัยที่สมบูรณ์ ก่อนนำไปขยายผลต่อการปลูกข้าวในพื้นที่ของเกษตรกร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยในนาข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในพื้นที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี ในช่วงระหว่างเดือน มกราคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ.2555 และได้ทำการศึกษาโดยการปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 หรือ กข 31 เพื่อเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ ต่อปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำนาข้าว ได้แก่ ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ ตลอดจนเปรียบเทียบผลผลิตข้าวที่ได้จากการทดลอง ทั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน น้ำ พืชและอากาศ รวม 5 ระยะการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ระยะก่อนการเพาะปลูก ระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยสามารถสรุปผลการศึกษาวิจัย ได้ดังนี้

5.1.1 ปริมาณคาร์บอนในดินและพืช

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การสะสมคาร์บอนในดิน ปุ๋ยคอก (มูลวัว) เป็นปุ๋ยที่ส่งเสริมการสะสมคาร์บอนในดินได้มากกว่าปุ๋ยชนิดอื่นๆ โดยมีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยตลอดฤดูกาลสูงที่สุดมีค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ปุ๋ยมีอินทรียวัตถุสูง ซึ่งอินทรียวัตถุนั้นเป็นแหล่งคาร์บอนของดิน นอกจากนี้ยังรวมไปถึงคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืชและการหลั่งจากรากข้าว โดยแต่ละชุดการทดลองค่อนข้างมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันและมีความสอดคล้องกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยพบว่า

ผลวิเคราะห์คาร์บอนในต้นข้าวพบว่า มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของอัตราการเจริญของพืชแปลงทดลองส่วนใหญ่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนไปในทิศทางของการเพิ่มปริมาณขึ้นตามอายุการเจริญเติบโตของข้าว แต่ไม่พบความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอนในต้นพืชต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่พืชช่วยส่งเสริมแหล่งคาร์บอนให้แก่ Methanogen ในทางอ้อม นั่นคือ คาร์บอนอินทรีย์ซึ่งมีกำเนิดมาจากชีวมวลของพืชผ่านทางระบบการสังเคราะห์แสง ในการ เมื่อส่วนต่างๆ ของพืช ร่วงหล่น รวมทั้งสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (Root Exudation) ดังนั้น ผลของคาร์บอนในตันข้าวจึงไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน แต่อาจเป็นเพียงปัจจัยสนับสนุนในทางอ้อมเท่านั้น

5.1.2 อิทธิพลของปุ๋ยต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว

ผลการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแปลงนาทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี มีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูกาลสูงที่สุด คือ 1.19 มิลลิกรัมต่อตาราง

เมตรต่อวัน รองลงมา ได้แก่ แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย และแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดฤดูกาล เท่ากับ 1.13, 1.04 , 0.99 และ 0.44 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ในขณะที่การวิเคราะห์ก๊าซไนตรัสออกไซด์ให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ แปลงทดลองที่เติมปุ๋ยคอก (มูลวัว) มีการปลดปล่อยสูงที่สุดเท่ากับ 1.84 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และมีความแตกต่างกับแปลงทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมา ได้แก่ แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี แปลงควบคุม แปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด และแปลงนาทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ โดยมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เท่ากับ 0.67, 0.66, 0.65 และ 0.54 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน โดยทั้งการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์แต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.1.3 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามระยะการเจริญเติบโต พบว่าในช่วงระยะข้าวแตกกอนั้นเป็นช่วงที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดและแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเฉลี่ยรวมทุกชุดการทดลองพบว่า มีปริมาณก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยจากแปลงนาทดลอง 1.66 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.18 – 2.84 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) สำหรับข้าวในระยะกล้าพบว่า มีค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยรวม 1.13 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.53- 0.48 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ในขณะที่ช่วงระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยวมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 0.53 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.15-0.70 ตามลำดับ

สำหรับการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ พบว่า ข้าวในระยะกล้ามีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงสุดโดยมีความแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยทุกชุดการทดลองเท่ากับ 2.22 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.25-5.44 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) รองลงมาได้แก่ ข้าวในระยะแตกกอที่มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เท่ากับ 0.70 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.12-2.17 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ส่วนข้าวในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.42 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.10-1.66 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) และระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้องพบว่า มีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.13 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (มีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.21 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ทั้งนี้ ข้าวในระยะแตกกอระยะข้าวออกดอกหรือตั้งท้อง และระยะก่อนการเก็บเกี่ยวมีค่าการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.1.4 ความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์

การเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์เฉลี่ยทั้งฤดูกาลของการปลูกข้าว พบว่า ก๊าซเรือนกระจกทั้งสองประเภทมีค่าการปลดปล่อยสู่บรรยากาศแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนมีการปลดปล่อยเท่ากับ 0.96^{S} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เท่ากับ 0.87^{S} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน แต่เมื่อจำแนกตามชุดการทดลอง พบว่า ในทุกชุดการทดลองมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมีเป็นชุดการทดลองที่มีการปลดปล่อยมีเทนสูงที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ โดยมีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 1.19^{NS} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่ก๊าซไนตรัสออกไซด์พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยสูงสุดในแปลงที่เติมปุ๋ยคอกโดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) มีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 1.84^{S} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนแปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนั้นเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซมีเทนต่ำที่สุด (ก๊าซมีเทน 0.44^{S} และ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ 0.54^{NS} มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)

5.1.5 ความสัมพันธ์ของก๊าซเรือนกระจกกับคุณสมบัติดินและน้ำในแปลงนา

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างคุณสมบัติดินต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนา พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวมีความสัมพันธ์กับค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันในเชิงลบ หรือมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจาก R มีค่าเป็นลบ (-0.475) ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรียวัตถุในดินและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ $R = 0.621$ จัดเป็นความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง แต่ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และค่าความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์แต่อย่างใด

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวไม่มีความสัมพันธ์กับค่าออกซิเจนละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.01$) หากแต่พบความสัมพันธ์ต่อระหว่างก๊าซไนตรัสออกไซด์กับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) โดยมีการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแปลงนาอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) โดยมีค่า $R = 0.718$ ถือเป็นความสัมพันธ์ในระดับสูง ในส่วนคุณสมบัติอื่นๆของน้ำในแปลงนา ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด-ด่าง นั้น ไม่พบความสัมพันธ์ต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์

5.1.6 ผลการเปรียบเทียบผลิตข้าว

จากการปลูกข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 80 (กข31) ทั้ง 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) แปลงนาควบคุมที่มีไม่มีการเติมปุ๋ย 2) แปลงนาทดลองที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 3) แปลงนาทดลองที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ 4) แปลงนาทดลองที่มีการเติมปุ๋ยคอก และ 5) แปลงนาทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมี พบว่า แปลงนาที่เติมปุ๋ยเคมี มีปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกสูงที่สุดเท่ากับ 1,042 กิโลกรัมต่อไร่ และแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) รองลงมาได้แก่ แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ แปลงที่เติมปุ๋ยคอก แปลงควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย และแปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 904, 843, 820 และ 791 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ จากปริมาณผลผลิตที่ได้รับจากการทดลองครั้งนี้ สามารถกล่าวได้ว่า ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่ช่วยส่งเสริมการเพิ่มปริมาณผลผลิตข้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 และ 16-20-0 มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการพืช โดยเฉพาะไนโตรเจนที่มีปริมาณสูงทำให้พืชในชุดการทดลองปุ๋ยเคมีมีการเจริญเติบโตที่ดีตลอดจนได้ผลผลิตสูง หากแต่การใช้ปุ๋ยเคมีในปริมาณมากและติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน จะทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์และสารอาหารที่จำเป็นต่อพืช เมื่อเวลาผ่านไปจะส่งผลกระทบต่อการเพาะปลูกที่อาจทำให้ผลผลิตเสียคุณภาพ นอกจากนี้ปุ๋ยเคมียังเป็นปุ๋ยที่ไม่มีอินทรียวัตถุ จึงไม่เกิดการส่งเสริมการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพ ดังนั้นในการใช้ปุ๋ยเคมีควรเลือกใช้ใช้ร่วมกันกับปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยชีวภาพ และจำกัดการใช้อัตราที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้ปุ๋ยทำนานั้นควรปรับวิธีการใช้ปุ๋ย โดยใช้ร่วมกันระหว่างปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์น้ำและ ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ในส่วนของปุ๋ยอินทรีย์น้ำและปุ๋ยเคมี พบว่า ปุ๋ยทั้งสองชนิดส่งผลกระทบต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยและให้ผลผลิตข้าวในปริมาณสูง ในขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด แม้ว่าจะให้ผลผลิตต่ำกว่าทุกแปลงทดลอง แต่พบว่ามีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ต่ำมากในทุกๆระยะการเจริญเติบโตของข้าวเมื่อเทียบกับปุ๋ยคอก ดังนั้น หากใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมาช่วยปรับปรุงในดินระเตรียมการเพาะปลูกและระยะกล้าหรือหลังปักดำ 30 วัน แทนการใช้อินทรียวัตถุอื่นๆ อาจมีส่วนช่วยลดปริมาณก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากการทำนาได้ จากนั้นในช่วงที่ข้าวเริ่มแตกกอจนถึงระยะข้าวตั้งท้อง จึงทำการฉีดพ่นปุ๋ยอินทรีย์น้ำทางใบร่วมกับการเติมปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตและปุ๋ยยูเรีย เพื่อช่วยให้ต้นข้าวสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาข้อแนะนำการใช้ปุ๋ยเป็นเพียงข้อเสนอแนะที่อ้างอิงจากผลการศึกษาที่เกิดจาก สายพันธุ์ข้าวเพียงชนิดเดียว และทำการศึกษาในพื้นที่เดียว อีกทั้งยังเป็นการศึกษาเพียง 1 ฤดูกาล ดังนั้น การขยายผลเพื่อประยุกต์ใช้จริงกับการทำนาของเกษตรกรนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องเพื่อผลการวิจัยที่สมบูรณ์ จากนั้นจึงสามารถขยายความรู้จากงานวิจัยสู่เกษตรกรในชุมชน เพื่อชี้แนะให้เกษตรกรได้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้ปุ๋ยในการทำนา ข้อดี ข้อเสียของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี นอกจากการเลือกใช้ปุ๋ยแล้ว แนวทางการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวยังควรต้องให้ความสำคัญต่อด้านอื่นๆ อีกด้วย อาทิ การเตรียมดิน การไถพรวน อัตราการใช้ปุ๋ย การจัดการน้ำ กรรมวิธีในการทำนาและ สายพันธุ์ข้าวที่ใช้ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

Adhya, T.K. et al. (2000). Methane Emission from Rice Fields at Cuttack, India. Nutrient Cycling in Agroecosystems 58(1-3): 95-105.

Ahmad, S.L.C. et al. (2009). Greenhouse Gas Emission from Direct Seeding Paddy Field under Different RiceTillageSystems in Central China. Soil& Tillage.

Bernhard, A. (2012). The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. Nature Education Knowledge 3(10): 25.

Crutzen, P.J. (1970). Influence of nitrogen oxides on atmospheric ozone content J. R. Meteorol. Soc. (London)**:** 320–325.

Davidson, E.A. and Scimel, J.P. (1995). Microbial process of production and consumtion of nitric oxide,nitrous oxide and methane. Biogenic Trace Gases: Measuring Emission from Soil and Water., Backwell Science Ltd., London.

De Datta, S.K. (1981). Chemical Changes in Submerged Rice Soil. Principle and practices of Rice Production. . Los Banos Laguna Philipines., IRRI**:** 89-145.

Dubey, S.K. (2005). Microbial Ecology of Methane Emission in Rice Agroecosystem: A Review. Applied ecology and environmental research 3(2): 27.

Gogoi, B. and Baruah, K. (2012). Nitrous Oxide Emissions from Fields with Different Wheat and RiceVarieties. Pedosphere 22(1): 10.

Guangxi, X. et al. (2009). Nitrous oxide emission from paddy fields in China. Acta Ecologica Sinica 29: 45–50.

Hansen, J. (2000). Climatic Change: Understanding Global Warming One World: The Health & Survival of the Human Species in the 21st Century.

Hattori, C., Ueki, A., Seto, T. and Ueki, K. (2001). Seasonal variation in temperature dependence of methane production in paddy soil. Microbes and Environment 16: 227-233.

Hinkle, D.E., William, W. and Stephen, G.J. (1998). Applied Statistics for the Behavior Sciences. . New York : Houghton Mifflin.

Jackel, U., Schnell, S. and Conrad, R. (2001). Effects of moisture, texture and aggregate size of paddy soil on production and consumption of CH4. Soil Biology and Biochemistry 33: 965-971.

Jermasawatdipong, P. et al. (1994). Methane emission from plot with dillerenes in fertilizer application in Thai paddy fields. soil Science and Plant Nutrition 40: 63-71.

Kimura, M., Murase, J. and Lu, Y. (2004). Carbon cycling in rice field ecosystems in the context of input, decomposition and translocation of organic materials and

the fates of their end products ($CO_2$and CH_4). Soil Biology and Biochemistry , 36(9): 1399-1416.

Kirby, A., Stuhberger, C. and Heberlein, C. (2009). Climate in Peril : A Popular Guide to the Latest IPCC Report. Arendal, Arendal Map& Graphics Library,UNEP/GRID.

Kyuma, K. (2004). Paddy Soil Science. Kyoto Japan, Kyoto University Press.

Lindau, C.W., Detaune, R.D. and Kludze, H.K. (1994). Methane production and in rice In CH4 and N2O : Global emission and control from rice fields an dother agricultureal and industrial sources, . National Institute of Agriculture Science (NIAES). K. Miami, Mosier, A. and Sass, R. Tsukuha, Japan: 79-86.

Maier, M., Pepper, L. and Gerba, P. (2000). Environmental Microbiology. Canada, Academic Press.

Mosier, A. (1994). Nitrous oxide emissions from agricultural soil. Fert Res 37(191-200).

Oremland, R.S. (1998). Biogeochemistry of Methanogenic Bacteria. Biology of Anaerobic Microorganisms: 641-705.

Patrick, W.H.J.R. and Mahapatra, I.C. (1968). Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Adv. Agron 20: 323-359.

Patrick, W.H.J.R. and Reddy, I.C. (1978). Chemical change in rice soils. Soil and Rice, IRRI Los Banos Laguna,Philippinnes: 825.

Paul, E.A. and Clark, F.E. (1996). Soil Microbiology and Biochemistry.2nd Academic Press, San Diego Environmental Protection Agency 2004 Non-CO2 Gases Economic Analysis and Inventory. [Online] Available from http://www.epa.gov. [July 2011]

Pearson, P.N. and Palmer, M.R. (2000). Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years. Nature 406: 695-699.

Sampanpanish, P. (2012). Effect of Organic Fertilizer on CO_2, CH_4 and N_2O Emissions in a Paddy Field. Modern Applied Science 6(12): 13-21.

Schütz, H., Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R., Rennenberg, H. and Seiler, W. (1989). A 3-year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy. ournal of Geophysical Research 94(16): 405–416.

Seiler, W., Holzapfel-Pschon, A., Conrad, R. and Scharffe, D. (1984). Methane emission from rice paddies. Journal of Atmostpheric Chemistry 1: 241-268.

Sethunathan, N. et al. (2000). Methane production oxidation and emission from Indian rice soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems 58(377-388).

Singh, J.S., Raghubanshi, A.S., Reddy, V.S., Singh, S. and Kashyap, A.K. (1998). Methane flux from irrigated paddy and dryland rice fields, and from seasonally dry tropical forest and savanna soils of India Soil Biol. Biochem 30(2): 135-139.

Takaya, N. (2002). Dissimilatory nitrate reduction metabolisms and their control in fungi. Journal of Bioscience and Bioengineering 94(6): 506-510.

Thomas, L.R. (1997). Section of Plant Biology Division of Biological Sciences UNIVERSITY OF CALIFORNIA, DAVIS.

Towprayoon, S., Smakgahn, K. and Poonkaew, S. (2005). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. Chemosphere 59(11): 1547-1556.

Tsuruta, H. (2002). Methane and Nitrous oxide emissions from rice paddy fields. Paper Presented at World Congress of Soil Science. Bangkok, Thailand.

United States Environmental Protection Agency. (1979). Criteria for classification of solid waste disposal facilities and practices. Federal Register Environmental document 44: 53438-53468.

Wang, Z.P., Klude, C.R., Crozier, C.R. and Patrick, W.H. (1995). Soil characteristics affecting methane production and emission in flood rice. *In Climate Change and Rice*: 80-90.

Wang, Z.P., Kludze, C.R., Crozier, C.R., W.H. and Patrick, J. (1993). Soil redox and pH effects on methane production and emission in flood rice soils. Soil Science society of American Journal 57: 382-385.

Wassman, R., Latin, R.S., Neu, H.D. and Buendia, L. (2000). Characterization of Methane emission from rice fields in Asia. III Mitigation option and future research needs. Nutrient Cycling in Agroecosystems 58: 23-36.

Weiwei, C., Yiyong, W., Zhichun, Z. and Feng, C. (2013). The effect density on carbon dioxide, methane and nitrous oxide emission from a cold paddy field in the Sanjiang Plain northeast China. Agriculture, Ecosystem and Environment 178: 64-70.

Wong, J.W.C., Fang, K.M. and Cheung, P. (1999). Utilization of manure compost for organic farming in Hong Kong. Bioresource Technologh 67: 43-46.

Xianxian, Z. et al. (2014). Comparison of greenhouse gas emission from rice paddy fields under difference nitrogen fertilizer loads in Chongming Island Eastern China. Science of the Total Environment 472: 381-388.

Yagi, K. (1994). Methane.In Miami,K. (Ed.) Pedosphere and Atmosphere Gas Metabolism of soil Ecosystem and the Global Environment, Asakura Shoten Tokyo (In Japanese).

Zou, J., Huang, Y. and Jiang, J. (2005). A 3-Year Field Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Rice Paddies in China: Effects of Water Regime, Crop Residue, and Fertilizer Application. Global Biogeochemical Cycles 19.

กรมการข้าว. (2554.). องค์ความรู้เรื่องข้าว. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.brrd.in.th/rkb/ [1 สิงหาคม 2555]

กรมพัฒนาที่ดิน. (2547). คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ, สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรมพัฒนาที่ดิน.

กรมวิชาการเกษตร. (2547). พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 และกฎกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศกรมวิชาการเกษตรที่เกี่ยวข้อง: 84.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2551). การปลูกข้าวแบบบูรณาการ. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: www.brrd.in.th/rkb. [มิถุนายน 2554].

กัลยกร โปร่งจันทึก (2549). การเพิ่มผลผลิตข้าวอินทรีย์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในดินนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เกริก ปิ่นตระกูล. (2550). ผลของการใช้ปุ๋ยต่อคุณภาพดินและน้ำในนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). ปุ๋ยอินทรีย์. ภ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 68(1): 77-79.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2544). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี. (2553). ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/650-?groupid=178. [26 กันยายน 2556]

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. (2534). ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ, สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชมรมเกษตรปลอดสารพิษ. (2556). วิธีแก้ปัญหาดินและน้ำเป็นสนิมในนาข้าว. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.thaigreenagro.com/Aticle.aspx?id=13151&Param2=14. [5 มิถุนายน 2556]

ณัฏฐกิตติยา ไพบูลย์ และพัชรี แสนจันทร์ (2554). การเพิ่มผลผลิตข้าวด้วยปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต (ซัลเฟต 42%) และผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทน. Graduate Research Conference 2012, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์. (2550). ดินที่ใช้ปลูกข้าว. กรุงเทพฯ, ภาควิชา ปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นรีลักษณ์ ชูวรเวช. (2548). เรื่องควรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์, สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

นวรัตน์ ไกรพานนท์ และ ศิวัช แก้วเจริญ. (2550). ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินเป็นแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 21 (3): 50-55.

นันทรัตน์ ศุภกำเนิด. (2554). การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์และการแปลผล. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2537). ออกตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนที่ 16 ง.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25. (2547). พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ประพาส วีระแพทย์. (2520). สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่ม 3. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://kanchanapisek.or.th/kp6 / BOOK3 / chapter1 / t3 -1 -l1 . htm#sect2 . [2 พฤษภาคม 2555]

ปัทมา วิตถากร. (2524). ข้อคิดจากการใช้ประโยชน์จากส่วนเหลือทิ้งจากการเพาะปลูก. วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น 9(1): 17-22.

พระราชบัญญัติปุ๋ย ฉบับที่ 2. (2550). [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://law.longdo.com/law/376/rev840. [24 มกราคม 2551]

พัชรี ธีรจินดาขจร. (2549). ดินเมื่อมีอินทรียวัตถุ. วารสารศูนย์บริการวิชาการ 14(3).

พัชรี แสนจันทร์ และ อรรคเดช ศรีบุตตะ. (2545). การปลอดปล่อยก๊าซมีเทนจากข้าวนาดินเค็มของเกษตรในจังหวัดขอนแก่น. วารสารดินและปุ๋ย 24: 127-141.

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช (2554). รายงานการวิจัยผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการทำนาเพื่อลดภาวะโลกร้อน ปีที่ 1, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. (2555). รายงานการวิจัยผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการทำนาเพื่อลดภาวะโลกร้อน ปีที่ 2, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมบูรณ์. (2553). การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย, กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. (2546). เคมีดิน (Soil chemistry). เชียงใหม่, คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ, ชยาพร วัฒนศิริ, เครือมาศ สมัครการ, ตุลวิทย์ สถาปนจารุ และ ประไพพิศ ชัยรัตนมโนกร. (2554). ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการกักเก็บคาร์บอน

ในดินตามหลักของการผลิตทางการเกษตรดีที่เหมาะสม การผลิตเกษตรอินทรีย์และการจัดการน้ำ ในพื้นที่ปลูกข้าว, สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

มนตรี แสนวังสี และคณะ. (2548). การเพิ่มผลผลิตข้าวและลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการจัดการน้ำในนาชลประทาน. วารสารวิจัย มข 5(2): 36-46.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2544). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (SOIL FERTILITY). กรุงเทพฯ, โอเดียนสโตร์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2548). ปุ๋ยอินทรีย์. กรุงเทพฯ, บ้านและสวน.

ยงยุทธ โอสถสภา (2542). ศัพท์ในวงการปุ๋ย. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลลิดา นิทัศนจารุกุล. (2541). ผลของอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดด่างต่อ Cellulase Activity ในดินนาข้าว, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรทัย รักหฤทัย. (2546). การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่เกษตรกรรม. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรทัย รักหฤทัย, คุณาวุฒิ บุญญานพคุณ, Masatoshi Aoki และ ประเสริฐ ภวสันต์. (2547). การปลดปล่อย มีเทน และไนตรัสออกไซด์จากพื้นที่การเกษตรที่ไม่มีน้ำท่วมขังและที่มีน้ำท่วมขัง. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 26: 33-45.

วิฑูรย์ ปัญญากุล. (2538). โลกร้อน บทเรียนจากอนาคต. กรุงเทพฯ.

วิฑูรย์ ปัญญากุล (2547). เกษตรยั่งยืน วิถีการเกษตรเพื่ออนาคต. กรุงเทพ, มูลนิธิสายใยแผ่นดิน.

วิฑูรย์ ปัญญากุล. (2555). เกษตรอินทรีย์กับโลกร้อน. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์สุภา.

วีรานุช หลาง. (2551). จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศักดิ์ วังใน. (2528). จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). เนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร รายจังหวัด ปี พ.ศ. 2554. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/download/use_soilNew/soilNew/landused2554.html. [11 พฤศจิกายน 2556]

สิริกานดา วัชราไทย. (2551). การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนิยม ตาปราบ และคณะ. (2552). ข้าวพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี80). วารสารวิชาการข้าว 3 (กรกฎาคม -มิถุนายน 2552): 8-23.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. (2549). จุลชีววิทยาทางดิน. กรุงเทพฯ, โอเดียนสโตร์.

ห้องหนังสืออิเล็คทรอนิกส์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. (2011). ปฏิบัติการเรื่องข้าว. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://e-book.ram.edu. [13 พฤศจิกายน 2556]

อนนท์ สุขสวัสดิ์. (2547). การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินนา. กรุงเทพฯ, โอเดียนสโตร์.

อภิชา สืบสามัคคี. (2551). โลกร้อน ปรากฏการณ์ธรรมชาติเข้าขั้นวิกฤติ = Global warming, ยูโรปา เพรส : กรุงเทพฯ, 2551.

อรรควุฒิ ทรรศสองชั้น. (2528). เรื่องของข้าว (Rice story). กรุงเทพฯ, ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรถพล โสภาพงศ์. (2554). ผลของการไถกลบหญ้าแฝกและระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติดินและการปลดปล่อยก๊าซมีเทน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อังคณา สุวรรณกูฏ. (2555). จดหมายข่าวผลิใบก้าวใหม่การวิจัยและพัฒนาเกษตร ตอนค้าปุ๋ยถูกกฎหมาย (ตอนที่ 2). [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://it.doa.go.th/pibai/pibai/n11/v_11-nov/ceaksong.html. [20 กันยายน 2555]

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. (2551). ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ตารางรายละเอียดและขั้นตอนการทำนาในแต่ละแปลงทดลอง

วันที่	กิจกรรม	อายุข้าว	รายละเอียด	รูปแบบการทดลองและอัตราการเติมปุ๋ย				
				A	B	C	D	E
3 ม.ค.55	เตรียมแปลงปลูก	0 วัน	1. ไถดะ ทิ้งไว้ 7-10วัน 2. ไถแปร เอาน้ำเข้าแช่ขี้ไถ 3. คราด 1-2 ครั้ง ปรับระดับผิวดินทำเทือก	-	37.5 กก.ต่อแปล	1.5 กก. ต่อแปลง	6.23 มล. ต่อแปลง	-
30 ม.ค.55	เพาะกล้า		4. เพาะกล้าในแปลงอินทรีย์เพื่อใช้ในหารปักดำ ประมาณ 15-20 กิโลกรัมต่อไร่					
20 ก.พ.55	เก็บตัวอย่างครั้งที่		5. เก็บตัวอย่างดิน และตัวอย่างน้ำ					
21-24 ก.พ.55	เติมปุ๋ยครั้งที่ 1		6. เติมปุ๋ย(ตามรูปแบบการทดลอง) แล้วไถกลบ 7. ใส่น้ำให้ท่วมขังพื้นที่แปลงนา สูงประมาณ 5-10 ซม					
25 ก.พ.55	ทำการปักดำ	20 วัน	1. ปักดำข้าวระยะที่ 20 X 20 เซนติเมตรให้สม่ำเสมอ 2. ขังน้ำให้ท่วมแปลงนาสูงประมาณ 5-10 ซม.	-	-	-	-	-
6 มี.ค.55	เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เติมปุ๋ยเคมีครั้งแรก	30 วัน	1. เก็บตัวอย่างอากาศ ดิน น้ำ และพืช	-	-	-	-	สูตร 16-20-0 2.25 กก.ต่อแปลง
16 มี.ค.55	การกำจัดวัชพืช โรคพืชและศัตรูข้าว เติมปุ๋ยครั้งที่ 2	40 วัน	1. ใช้วิธีการถอนออกหรือใช้ชีววิธี 2. รักษาระดับน้ำ 5-10 ซม.	-	22.5 กก.ต่อแปลง	1.5 กก.ต่อแปลง	6.23 มล.ต่อแปลง	สูตร 46-0-0 0.6 กก.ต่อแปล
5-8 เม.ย.55	การกำจัดวัชพืช โรคพืช และศัตรูข้าว ระยะสร้างรวง	60 วัน (แตกกอสูงสุด)	1. ใช้วิธีการถอนออกหรือใช้ชีววิธี 2. รักษาระดับน้ำ 5-10 เซนติเมตร	-	-	-	-	-
9เม.ย.55	เก็บตัวอย่างครั้งที่	60 วัน	เก็บตัวอย่างอากาศ ดิน น้ำ และพืช	-	-	-	-	-

ตารางรายละเอียดและขั้นตอนการทำนาในแต่ละแปลงทดลอง (ต่อ)

วันที่	กิจกรรม	อายุข้าว	รายละเอียด	รูปแบบการทดลองและอัตราการเติมปุ๋ย				
				A	B	C	D	E
11-14 เม.ย.55	เติมปุ๋ยครั้งที่ 3	60-65 วัน			15 กกต่อแปลง	0.75 กก.ต่อแปลง	6.23 มล.ต่อแปลง	สูตร 46-0-0 0.6 ก.ก.ต่อแปลง
	บันทึกวันที่ข้าวออกดอก	80-85 วัน	วันที่ข้าวออกดอก คือวันที่ข้าวออกดอก 80% ของต้นข้าวทั้งหมด					
8 พ.ค.55	เก็บตัวอย่างครั้งที่	90 วัน	เก็บตัวอย่างอากาศ ดิน น้ำ และพืช ก่อนระบายน้ำออกหรือปล่อยให้แห้ง					
7 มิ.ย.55	เก็บตัวอย่างครั้งที่	120 วัน	1. เก็บตัวอย่างอากาศ ดิน น้ำ และพืช 2. ไม่ต้องสูบน้ำเข้า ปล่อยให้ดินแห้ง หรือระบายน้ำออกจากแปลง					
	เก็บเกี่ยวระยะพลับพลึง (สุกแก่)	1 เดือนหลังจากข้าวออกดอก (115-120 วัน)	1. เก็บเกี่ยวหลังข้าวออกดอกแล้ว 28-30 วัน 2. ดูจากรวงข้าว 2 ใน 3 ส่วนจากปลายรวงข้าวจะสุก มีสีเหลืองฟางข้าวที่โคนรวงประมาณ 1 ใน 3 ส่วน ยังมีสีเขียว เมล็ดแข็งแกร่ง 3. วัดผลผลิตต่อไร่(พื้นที่ 1X1 เมตร จำนวน 3 ซ้ำ)					
	หลังเก็บเกี่ยว		นวดข้าวฝัดข้าว และทำความสะอาดชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างข้าวเพื่อวัดความชื้น และผลผลิต					

หมายเหตุ

แปลง A หมายถึง ชุดการทดลองในแปลงที่ไม่มีการเติมปุ๋ย
แปลง B หมายถึง ชุดการทดลองในแปลงที่มีการเติมปุ๋ยคอก
แปลง C หมายถึง ชุดการทดลองในแปลงที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
แปลง D หมายถึง ชุดการทดลองในแปลงที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ
แปลง E หมายถึง ชุดการทดลองในแปลงที่มีการเติมปุ๋ยเคมี

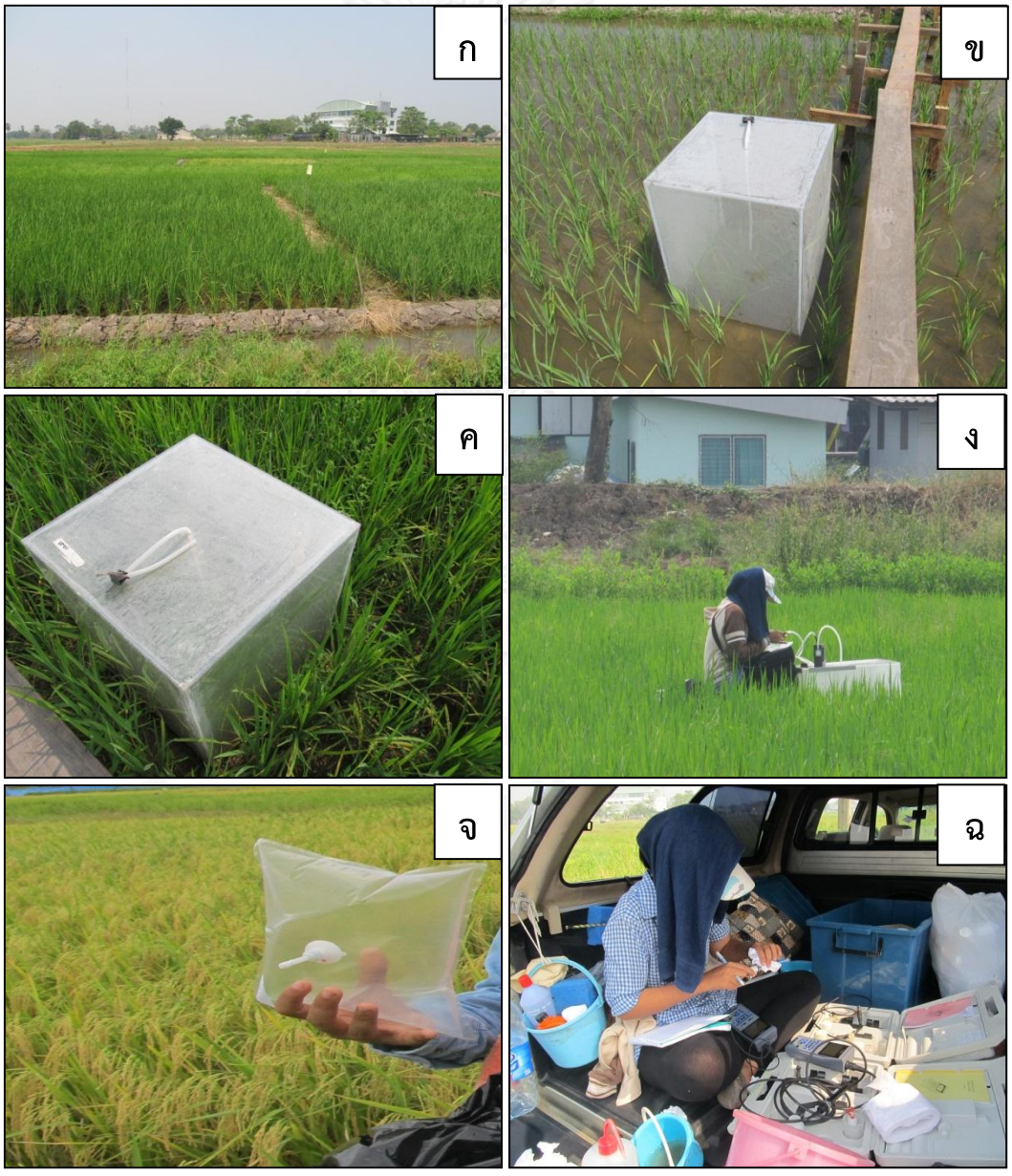
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

การเก็บตัวอย่างภาคสนาม และการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ข-1 ภาพการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

ก. แปลงนาทดลองในศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ข. แสดงตัวอย่างตู้เก็บอากาศ
ค. ตัวอย่างตู้เก็บอากาศ ง. ระหว่างทำการเก็บตัวอย่างอากาศ
จ. ถุงเก็บอากาศ (Air Bag) ฉ. การวัดคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำ



ข-2 การวิเคราะห์ค่าฟลักซ์ก๊าซเรือนกระจก

<u>สูตรคำนวณค่าฟลักซ์</u>

$$[F] = \frac{BV_{STD} \times dC \times MW \times 1000 \times 60}{10^4 \times 22400 \times A \times dt} \quad (1)$$

$$[BV_{std}] = \frac{BV \times B.P. \times 273}{(273+T) \times 760} \quad (2)$$

$$[dC] = C_t - C_0$$

F = ค่าฟลักซ์ของก๊าซแต่ละชนิด (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

BV_{STD} = ปริมาตรภายในกล่องพลาสติกมาตรฐานส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำที่ท่วมขัง ณ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

BV = ปริมาตรภายในกล่องพลาสติกส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำที่ท่วมขัง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

B.P. = ความดันบรรยากาศในขณะนั้น (มิลลิเมตรปรอท)

MW = มวลโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิด (กรัมต่อโมล)

T = อุณหภูมิในอากาศที่อยู่ในกล่อง (องศาเซลเซียส)

A = พื้นที่หน้าตัดของกล่อง (ตารางเมตร)

dC = ผลต่างความเข้มข้นก๊าซแต่ละชนิดที่เวลาศูนย์และเวลา t (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

C_0 = ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซแต่ละชนิด โดยมีค่าเท่ากับ 0

dt = ระยะเวลาที่ใช้ (นาที) (ช่วงเวลาในการครอบ Chamber 180 นาที)

C_t = ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซแต่ละชนิด (ส่วนในล้านส่วน; ppm) ที่เวลา t นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

โดยที่

BV	ปริมาตรภายในกล่อง	= 28,800 cm^3
B.P.	ความดันบรรยากาศในขณะนั้น	= 1007 mmHg
T	อุณหภูมิ	= 35 C
MW	มวลโมเลกุล	= 12 mg/m^3
DC	ความเข้มข้นก๊าซ CH_4	= 50 mg/m^3
A	พื้นที่หน้ากัด	= 0.36 m^2
Dt	ระยะเวลาครอบ	= 180 min

$$[F] = \frac{1{,}018 \times 0.982 \times 12 \times 1000 \times 60}{10^4 \times 22400 \times 0.36 \times 180} \quad (1)$$

$$[BV_{std}] = \frac{28800 \times 1007 \times 273}{(273+37.5) \times 760} \quad (2)$$

$$[dC] = 0.982 - 0$$

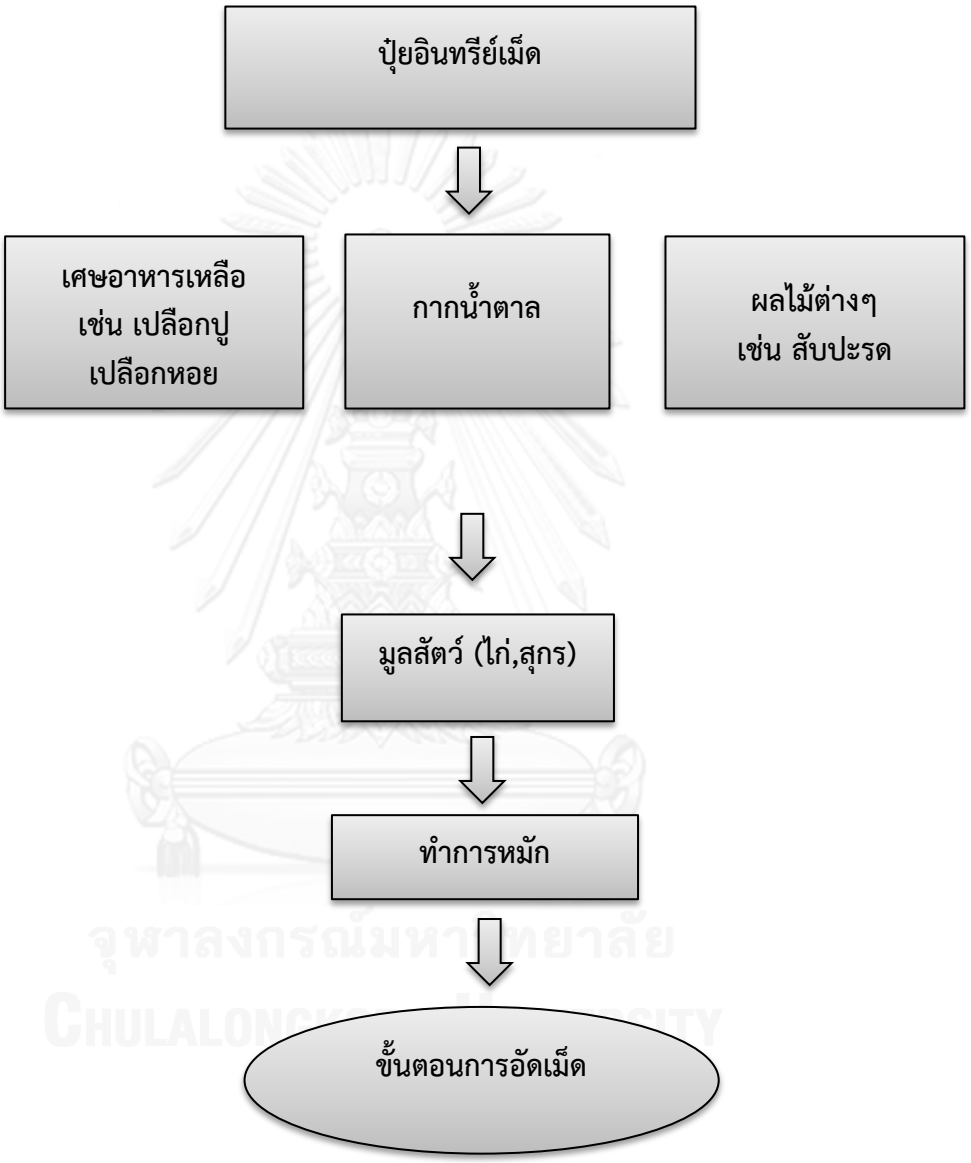
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังนั้น $F = 0.066\ mg/m^{-2}/Day$

ภาคผนวก ค

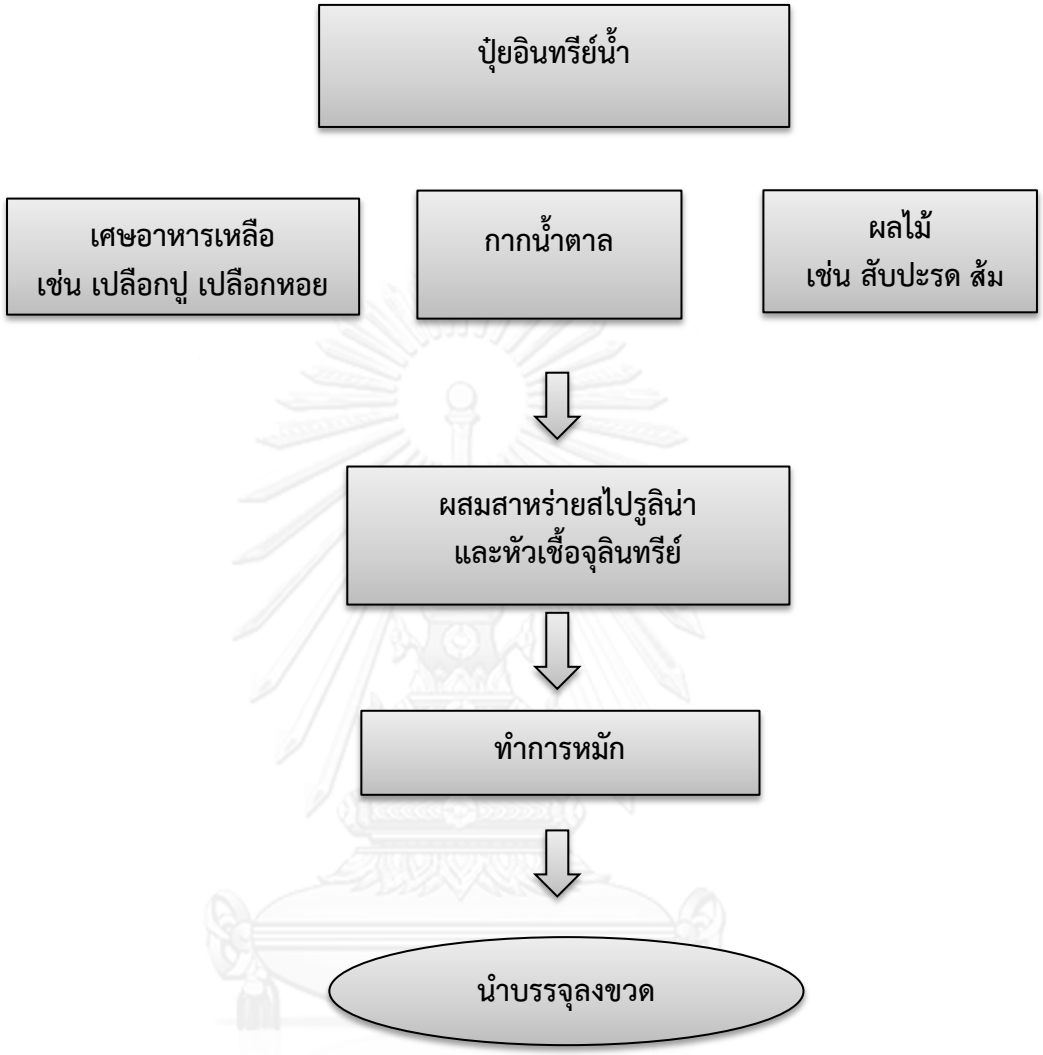
องค์ประกอบปุ๋ยอินทรีย์น้ำและอินทรีย์อัดเม็ด

ค-1 ข้อมูลพื้นฐานปุ๋ยอินทรีย์เม็ด



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค-2 ข้อมูลพื้นฐานปุ๋ยอินทรีย์น้ำ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง

เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี

เกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2538

ตารางที่ ง.1 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ชนิดที่ไม่ใช่ของเหลว)

คุณสมบัติ	เกณฑ์มาตรฐาน
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5
C/N ratio	ไม่เกิน 20:1
อินทรียวัตถุรับรอง	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนัก
ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร
ปริมาณเกลือ	ไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
ความชื้น	ไม่เกินร้อยละ 30 ของนำหนัก
การย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้ว	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

ตารางที่ ง.2 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ชนิดที่เป็นของเหลว)

คุณสมบัติ	เกณฑ์มาตรฐาน
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5
C/N ratio	ไม่เกิน 20:1
อินทรียวัตถุรับรอง	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนัก
ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร
ปริมาณเกลือ	ไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ง.2 มาตรฐานปุ๋ยเคมี (ยูเรีย)

คุณสมบัติ	เกณฑ์มาตรฐาน
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 44
ความชื้น	ไม่เกินร้อยละ 3
ปริมาณไบยูเร็ต	ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ภาคผนวก จ

เกณฑ์มาตรฐานดินและน้ำ

ตารางที่ จ-1 มาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน

ระดับ	อินทรียวัตถุ (ร้อยละ)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5-1.0
ต่ำปานกลาง	1.0-1.5
ปานกลาง	1.5-2.5
สูงปานกลาง	2.5-3.5
สูง	3.5-4.5
สูงมาก	>4.5

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ตารางที่ จ-2 ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ระดับ	ความเป็นกรด-ด่าง
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
ด่างอ่อน	7.4 – 7.8
ด่างปานกลาง	7.9 – 8.4
ด่างจัด	8.5 – 9.0

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

ตารางที่ จ-3 ระดับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ระดับ	C.E.C (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)
ต่ำมาก	< 3.0
ต่ำ	3.0 – 5.0
ค่อนข้างต่ำ	5.0 - 10.0
ปานกลาง	10.0 – 15.0
ค่อนข้างสูง	15.0 -20.0
สูง	20.0 – 30.0
สูงมาก	> 30.0

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ จ-4 การจำแนกระดับความเค็มที่มีผลกระทบต่อพืช (สารละลายดินอิ่มตัว)

ค่าการนำไฟฟ้า	ระดับความเค็ม	อาการพืช
น้อยกว่า 2	ไม่เค็ม	ไม่มีผลกระทบต่อพืช
2-4	เค็มน้อย	มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่ทนเค็ม
4-8	เค็มปานกลาง	มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด
8-15	เค็มมาก	เฉพาะพืชทนเค็มเท่านั้นจึงเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้
มากกว่า 5	เค็มจัด	เฉพาะพืชทนเค็มจัดจึงเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้

ที่มา: นันทรัตน์ ศุภกำเนิด (2554)

ตารางที่ จ-5 ค่าของ Oxidation-Reduction Potential

Reduction	Redox Potential (mV)
ดินที่มีการระบายน้ำที่ดี (Arated)	+700 to +500
ดินที่มีสภาพ Reduction ปานกลาง (Moderately reduced)	+400 to +200
ดินที่มีสภาพ Reduction (Reduced)	+100 to -100
ดินที่มีสภาพ Reduction สูงมาก (Highly reduced)	-100 to -300

ที่มา: Patrick and Mahapatra (1968)

ตารางที่ จ-6 ลำดับธาตุที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนสำคัญๆ ในดินนาหลังถูกน้ำขังที่ Eh ช่วงต่างๆ

Reduction	Redox Potential (mV)
$O_2 \longrightarrow H_2O$	+380 to +320
$NO^-_3 \longrightarrow N_2, Mn^{+4} \longrightarrow Mn^{+2}$	+280 to +220
$Fe^{+3} \longrightarrow Fe^{+2}$	+180 to +150
$SO_4^{-2} \longrightarrow S^{-2}$	-120 to -180
$CO_2 \longrightarrow CH_4$	-200 to -280

ที่มา: Patrick and Reddy (1978)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ จ-7 ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
1.สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound)			
1) เบนซีน (Benzene)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 6.5	ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธี Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 2.5	
3) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 3.5	
4) 1,1-ไดคลอโรเอทธิลีน (1,1-Dichloroethylene)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 0.5	
5) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 43	
6) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทธิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 63	
7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 89	
8) แอทธิลเบนซีน (Ethylbenzene))	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 230	
9) สไตรีน (Styrene)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 1,700	
10) เตตระคลอโรเอทธิลีน (Tetrachloroethylene)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 57	
11) โทลูอีน (Toluene)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 520	
12) ไตรคลอโรเอทธิลีน (Trichloroethylene))	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 28	
13) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 630	
14) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 8.4	
16) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 210	

ตารางที่ จ-7 ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม(ต่อ)

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
2. โลหะหนัก (Heavy metals)			
1) สารหนู (Arsenic)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 3.9	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 37	
3) โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเลนท์ (Hexavalent Chromium)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 300	ใช้วิธี Coprecipitation หรือวิธี Colorimetric หรือวิธี Chelation/Extraction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
4) ตะกั่ว (Lead)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 400	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
5) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 1,800	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ จ-7ตารางแสดงค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม(ต่อ)

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
6) ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 23	ให้ใช้วิธี Cold-Vapor Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
7) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 1,600	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
8) ซีลีเนียม (Selenium)	มก/กก.	ต้องไม่เกิน 390	

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ จ-7 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
				ประเภทที่				
				1	2	3	4	5
1.	สี กลิ่น และรส (Coloir Odour and Taste)		-	ธ	ธ /	ธ /	ธ /	-
2.	อุณหภูมิ (Temperature)		^{O} ซ	ธ	ธ /	ธ /	ธ /	-
3.	ความเป็นกรดและด่าง		-	ธ	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	-
4.	ออกซิเจนละลาย (DO)[3/]	P20	mg/l	ธ	6.0	4.0	2.0	-
5.	บีโอดี (BOD)	P80	mg/l	ธ	1.5	2.0	4.0	-
6.	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	P80	MPN/100ml	ธ	5,000	20,000	-	-
7.	แบคทีเรียกลุ่มฟิโคลิฟอร์ม (FecalColiform Bacteria)	P80	MPN/100ml	ธ	1,000	4,000	-	-
8.	ไนเตรต(NO_3)ในหน่วยไนโตรเจน		mg/l	ธ	5.0	5.0	5.0	-
9.	แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน		mg/l	ธ	0.5	0.5	0.5	-
10.	ฟีนอล (Phenols)		mg/l	ธ	0.005	0.005	0.005	-
11.	ทองแดง		mg/l	ธ	0.1	0.1	0.1	-
12.	นิคเกิล (Ni)		mg/l	ธ	0.1	0.1	0.1	-
13.	แมงกานีส (Mn)		mg/l	ธ	1.0	1.0	1.0	-
14.	สังกะสี (Zn)		mg/l	ธ	1.0	1.0	1.0	-
15.	แคดเมียม (Cd)		mg/l	ธ	0.005* 0.05*	0.005* 0.05*	0.005* 0.05*	- -
16.	โคเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์(Cr Hexavalent)		mg/l	ธ	0.05	0.05	0.05	-
17.	ตะกั่ว (Pb)		mg/l	ธ	0.05	0.05	0.05	-
18.	ปรอททั้งหมด (Total Hg)		mg/l	ธ	0.002	0.002	0.002	-
19.	สารหนู (As)		mg/l	ธ	0.01	0.01	0.01	-
20.	ไซยาไนด์ (Cyanide)		mg/l	ธ	0.005	0.005	0.005	-
21.	กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) - ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) - ค่ารังสีเบตา (Beta)		Becqu-erel /l	 ธ ธ	 0.1 1.0	 0.1 1.0	 0.1 1.0	 - -

ตารางที่ จ-7 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
				ประเภทที่				
				1	2	3	4	5
22.	สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดมีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides		mg/l	ธ	0.05	0.05	0.05	-
23.	ดีดีที (DDT)		µg/l.	ธ	1.0	1.0	1.0	-
24.	บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)		µg/l.	ธ	0.02	0.02	0.02	-
25.	ดีลดริน (Dieldrin)		µg/l.	ธ	0.2	0.2	0.2	-
26.	อัลดริน (Aldrin)		µg/l.	ธ	0.1	0.1	0.1	-
27.	เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลอร์อิปอกไซด์ (Heptachlor & Heptachlor epoxide)		µg/l.	ธ	0.2	0.2	0.2	-
28.	เอนดริน (Endrin)		µg/l.	ธ		-		

ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24กุมภาพันธ์ 2537 (ภาคผนวก ฐ)

หมายเหตุ

1/ การแบ่งประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการ ปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำการประมง

(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

2/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

3/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ / อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

^{o} ซ องศาเซลเซียส

P20 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล. มิลลิกรัมต่อลิตร

มล. มิลลิลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์คาร์บอนสะสมในดิน น้ำ และพืช

ตารางที่ ฉ-1 คาร์บอนสะสมในดิน และพืช

ระยะการเจริญเติบโต	ค่าปริมาณคาร์บอนรวมในดิน (กรัมต่อกิโลกรัม)				
	ควบคุม	ปุ๋ยคอก	ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	ปุ๋ยเคมี
ระยะกล้า	22.30	26.40	25.03	24.50	28.13
ระยะข้าวแตกกอ	25.80	27.62	25.10	25.90	25.40
ระยะข้าวตั้งท้อง	24.33	26.53	25.47	24.27	24.03
ระยะเก็บเกี่ยว	22.53	26.53	24.77	24.27	25.23

ตารางที่ ฉ-2 คาร์บอนสะสมในพืช

ระยะการเจริญเติบโต	ค่าปริมาณคาร์บอนรวมในข้าว (กรัมต่อกิโลกรัม)				
	ควบคุม	ปุ๋ยคอก	ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	ปุ๋ยเคมี
ระยะกล้า	410	398	375	385	370
ระยะข้าวแตกกอ	422	410	378	388	366
ระยะข้าวตั้งท้อง	419	407	389	379	382
ระยะเก็บเกี่ยว	424	434	390	384	396

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ฉ-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคาร์บอนรวมในดินแต่ละชุดการทดลอง

ระยะการเติบโต	ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
ระยะกล้า	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	22.3000				
	ปุ๋ยเคมี	3	24.5000	24.5000			
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3	25.0333	25.0333			
	ปุ๋ยคอก	3	26.4000	26.4000			
	ควบคุม	3		28.1333			
	Sig		.080	.115			
ระยะข้าวแตกกอ	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	25.1000				
	ปุ๋ยเคมี	3	25.8021				
	ควบคุม		25.3667				
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3	27.5667				
	ปุ๋ยคอก	3	27.6200				
	Sig.		.197				
ระยะข้าวตั้งท้อง	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3	24.0333				
	ควบคุม	3	24.2667	24.2667			
	ปุ๋ยเคมี	3	24.3333	24.3333			
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	25.4667	25.4667			
	ปุ๋ยคอก	3		26.5333			
	Sig.		.206	.058			
ระยะเก็บเกี่ยว	ควบคุม	3	22.5333				
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3		24.2667			
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3		24.7667			
	ปุ๋ยเคมี	3		25.2333			
	ปุ๋ยคอก	3			26.5333		
	Sig.		1.000	.084	1.000		

ตารางที่ ฉ-4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติคาร์บอนรวมในต้นข้าวแต่ละชุดการทดลอง

ระยะการเติบโต	ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
ระยะกล้า	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	370.3333				
	ปุ๋ยเคมี	3	375.3333				
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3	384.6667	384.6667			
	ปุ๋ยคอก	3	398.0000	398.0000			
	ควบคุม	3		410.0000			
	Sig.		.096	.116			
ระยะข้าวแตกกอ	ปุ๋ยเคมี	3	366.0000				
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด		378.0000	378.000			
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ			388.000			
	ปุ๋ยคอก				410.000		
	ควบคุม				422.000		
	Sig.		.186	.264	.186		
ระยะข้าวตั้งท้อง	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3	379.0000				
	ปุ๋ยเคมี	3	382.0000				
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	389.0000				
	ปุ๋ยคอก	3		407.0000			
	ควบคุม	3		419.0000			
	Sig.		.134	.068			
ระยะเก็บเกี่ยว	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3	384.0000				
	ปุ๋ยเคมี	3	390.0000	390.0000			
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3		396.0000			
	ควบคุม	3			423.0000		
	ปุ๋ยคอก	3				434.000	
	Sig.		.218	.218	1.000	1.000	

ภาคผนวก ช

ผลการศึกษาก๊าซมีเทน

ตารางที่ ช-1 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทน

ชุดการทดลอง	อายุข้าว	REP	CH_4 (มล/ตร./วัน)	ค่าเฉลี่ย	SD
ควบคุม	ระยะกล้า	1	0.58	0.58	0.00078
		2	0.58		
		3	0.58		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	2.34	2.34	0.00498
		2	2.34		
		3	2.33		
	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.36	0.36	0.00329
		2	0.37		
		3	0.36		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.66	0.65	0.00122
		2	0.65		
		3	0.65		
ปุ๋ยคอก	ระยะกล้า	1	1.25	1.25	0.00207
		2	1.25		
		3	1.25		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	2.47	2.48	0.01525
		2	2.46		
		3	2.49		
	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.65	0.64	0.00284
		2	0.64		
		3	0.64		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.16	0.16	0.00086
		2	0.16		
		3	0.16		
ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ระยะกล้า	1	0.18	0.18	0.00162
		2	0.18		
		3	0.18		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	0.53	0.53	0.00533
		2	0.53		
		3	0.54		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ช-1 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทน (ต่อ)

ชุดการทดลอง	อายุข้าว	REP	CH_4 (มล/ตร./วัน)	ค่าเฉลี่ย	SD
ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.35	0.34	0.00943
		2	0.33		
		3	0.35		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.73	0.71	0.01590
		2	0.69		
		3	0.70		
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	ระยะกล้า	1	0.79	0.77	0.01448
		2	0.76		
		3	0.77		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	2.24	2.22	0.01905
		2	2.20		
		3	2.21		
	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.62	0.63	0.00935
		2	0.63		
		3	0.64		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.56	0.55	0.00655
		2	0.54		
		3	0.55		
ปุ๋ยเคมี	ระยะกล้า	1	2.83	2.84	0.01300
		2	2.85		
		3	2.82		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	0.72	0.75	0.03149
		2	0.78		
		3	0.77		
	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.69	0.70	0.00843
		2	0.70		
		3	0.71		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.47	0.47	0.01986
		2	0.50		
		3	0.46		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ช-2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของก๊าซมีเทน

ระยะการเติบโต	ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
ระยะกล้า	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	.1821				
	ควบคุม	3		.5939			
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3			.7791		
	ปุ๋ยคอก	3				1.2517	
	ปุ๋ยเคมี	3					2.8386
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ระยะข้าวแตกกอ	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	.5336				
	ปุ๋ยเคมี	3		.7542			
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3			2.2167		
	ควบคุม	3				2.3371	
	ปุ๋ยคอก	3					2.4768
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ระยะข้าวตั้งท้อง	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	.3447				
	ควบคุม	3		.3645			
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3			.6341		
	ปุ๋ยคอก	3			.6426		
	ปุ๋ยเคมี	3				.6976	
	Sig.		1.000	1.000	.187	1.000	
ระยะเก็บเกี่ยว	ปุ๋ยคอก	3	.1573				
	ปุ๋ยเคมี	3		.4737			
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3			.5517		
	ควบคุม	3				.6547	
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3					.7077
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ช-2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของก๊าซมีเทน (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ระยะการเติบโต	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
ควบคุม	ระยะข้าวตั้งท้อง	3	.3575			
	ระยะกล้า	3		.5935		
	ระยะเก็บเกี่ยว	3		.6447		
	ระยะข้าวแตกกอ	3			2.3471	
	Sig.		1.000	.543	1.000	
ปุ๋ยคอก	ระยะเก็บเกี่ยว	3	.1576			
	ระยะข้าวตั้งท้อง	3		.6436		
	ระยะกล้า	3			1.2517	
	ระยะข้าวแตกกอ	3				2.4767
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ระยะกล้า	3	.1811			
	ระยะข้าวตั้งท้อง	3		.3447		
	ระยะข้าวแตกกอ	3			.5402	
	ระยะเก็บเกี่ยว	3				.7077
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	ระยะเก็บเกี่ยว	3	.5517			
	ระยะข้าวตั้งท้อง	3	.6308			
	ระยะกล้า	3	.7791			
	ระยะข้าวแตกกอ	3		2.2100		
	Sig.		.091	1.000		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ซ

ผลการศึกษาก๊าซไนตรัสออกไซด์

ตารางที่ ซ-1 ผลวิเคราะห์ก๊าซไนตรัสออกไซด์

ชุดการทดลอง	ระยะ	REP	N_2O (mg/m^{-2}-Day)	Average	SD
ชุดควบคุม	ระยะกล้า	1	0.23	0.25	0.03790
		2	0.23		
		3	0.30		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	2.14	2.17	0.02168
		2	2.18		
		3	2.19		
	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.12	0.11	0.03235
		2	0.07		
		3	0.13		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.12	0.10	0.01716
		2	0.08		
		3	0.11		
ปุ๋ยคอก	ระยะกล้า	1	5.36	5.44	0.07000
		2	5.50		
		3	5.46		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	0.12	0.12	0.00151
		2	0.12		
		3	0.12		
	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.13	0.12	0.00307
		2	0.12		
		3	0.13		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	1.62	1.66	0.03704
		2	1.68		
		3	1.68		
ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ระยะกล้า	1	1.81	1.80	0.07061
		2	1.72		
		3	1.86		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	0.13	0.13	0.00436
		2	0.12		
		3	0.12		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ซ-1 ผลการวิเคราะห์ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ระยะ	REP	N_2O (มล./ตร.ม/วัน)	ค่าเฉลี่ย	SD
ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.12	0.12	0.00013
		2	0.12		
		3	0.12		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.12	0.12	0.00143
		2	0.13		
		3	0.12		
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	ระยะกล้า	1	2.09	2.08	0.00794
		2	2.08		
		3	2.08		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	0.28	0.25	0.02891
		2	0.23		
		3	0.24		
	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.09	0.10	0.00653
		2	0.10		
		3	0.11		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.22	0.15	0.05908
		2	0.12		
		3	0.12		
ปุ๋ยเคมี	ระยะกล้า	1	1.52	1.54	0.03308
		2	1.53		
		3	1.58		
	ระยะข้าวแตกกอ	1	0.90	0.86	0.09463
		2	0.93		
		3	0.75		
	ระยะข้าวตั้งท้อง	1	0.23	0.21	0.01783
		2	0.19		
		3	0.21		
	ระยะเก็บเกี่ยว	1	0.08	0.08	0.00876
		2	0.09		
		3	0.08		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ซ-2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของก๊าซไนตรัสออกไซด์

ระยะการเติบโต	ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
ระยะกล้า	ควบคุม	3	.2529				
	ปุ๋ยเคมี	3		1.5434			
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3			1.7977		
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3				2.0827	
	ปุ๋ยคอก	3					5.4418
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
ข้าวแตกกอ	ปุ๋ยคอก	3	.1201				
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	.1257				
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3		.2514			
	ปุ๋ยเคมี	3			.8598		
	ควบคุม	3				2.1693	
	Sig.		.882	1.000	1.000	1.000	
ระยะข้าวตั้งท้อง	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3	.0990				
	ควบคุม	3	.1091				
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	.1218				
	ปุ๋ยคอก	3	.1242				
	ปุ๋ยเคมี	3		.2112			
	Sig.		.118	1.000			
ระยะเก็บเกี่ยว	ปุ๋ยเคมี	3	.0814				
	ควบคุม	3	.1042	.1042			
	ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3	.1250	.1250			
	ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3		.1537			
	ปุ๋ยคอก	3			1.6602		
	Sig.		.147	.104	1.000		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ซ-2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของก๊าซไนตรัสออกไซด์ (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ระยะการเติบโต	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
ควบคุม	ระยะเก็บเกี่ยว	3	.1042			
	ระยะข้าวตั้งท้อง	3	.1091			
	ระยะกล้า	3		.2529		
	ระยะข้าวแตกกอ	3			2.1693	
	Sig.		.838	1.000	1.000	
ปุ๋ยคอก	ระยะข้าวแตกกอ	3	.1201			
	ระยะข้าวตั้งท้อง	3	.1242			
	ระยะข้าวเก็บเกี่ยว	3		1.6602		
	ระยะกล้า	3			5.4418	
	Sig.		.901	1.000	1.000	
ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	ระยะข้าวตั้งท้อง	3	.1218			
	ระยะเก็บเกี่ยว	3	.1250			
	ระยะข้าวแตกกอ	3		.2514		
	ระยะกล้า	3			1.7977	
	Sig.		.921	1.000	1.000	
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	ระยะข้าวตั้งท้อง	3	.0990			
	ระยะข้าวแตกกอ	3	.1257			
	ระยะเก็บเกี่ยว	3	.1537			
	ระยะกล้า	3		2.0827		
	Sig.		.065	1.000		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ฌ

ผลผลิตข้าว

ตารางที่ ฌ-1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตข้าวปทุมธานี 80 (กิโลกรัมต่อไร่)

ชุดการทดลอง	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	SD
ควบคุม	877.09	823.70	758.99	819.93	59.14
ปุ๋ยคอก	866.29	829.28	832.40	842.66	20.52
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	722.45	856.08	793.00	790.51	66.85
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	896.27	902.80	911.62	903.56	7.70
ปุ๋ยเคมี	1053.77	1028.60	1044.40	1042.26	12.72

ตารางที่ ฌ-2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักผลผลิตข้าวปทุมธานี 80 (กรัม)

ชุดการทดลอง	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	SD
ควบคุม	5414.30	5165.00	6188.00	5589.10	533.43
ปุ๋ยคอก	5450.10	4157.90	4743.70	4783.90	647.03
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	4515.30	5356.70	4263.10	4711.70	572.64
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	5562.90	5041.20	5697.60	5433.90	346.70
ปุ๋ยเคมี	6500.90	5539.80	6452.50	6164.40	541.50

ตารางที่ ฌ-3 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวปทุมธานี 80 (เปอร์เซ็นต์)

ชุดการทดลอง	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	SD
ควบคุม	14.00	13.70	14.00	13.90	0.17
ปุ๋ยคอก	13.50	13.10	14.00	13.50	0.50
ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด	14.00	14.10	14.00	14.00	0.06
ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	13.40	13.70	14.00	13.70	0.30
ปุ๋ยเคมี	13.70	14.00	13.50	13.70	0.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ณ-4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิตข้าวปทุมธานี 80

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์น้ำ	3	790.5078		
แปลงควบคุม	3	819.9260		
แปลงที่เติมปุ๋ยคอก	3	842.6569	842.6569	
แปลงที่เติมปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	3		903.6912	
แปลงที่เติมปุ๋ยเคมี	3			1042.2582
Sig.		.172	.102	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสารินี โฉมแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 26 กันยายน 2531 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจาก โรงเรียนอำนวยวิทย์ และระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนกาญจนานุเคราะห์ จังหวัดกาญจนบุรี ในปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จากนั้นในปีการศึกษา 2554 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยในระหว่างการศึกษาได้ทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัยกับ ผศ.ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช และได้ร่วมจัดทำโครงการดังนี้

1. การจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการทำเหมืองใต้ดินประเภทแร่โพแทช คำขอที่ 5/2555 อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา
2. โครงการชุมชนจิตอาสาเพื่อพัฒนาสิ่งแวดล้อม (จุฬาฯ จิตอาสา)
3. โครงการพัฒนาความเข้าใจด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อการบริหารจัดการอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาที่ดินของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ได้เข้าร่วมเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ และได้เผยแพร่ผลงานดังต่อไปนี้

Chomkaew, S. and Sampanpanish, P. (2013) Effect of Fertilizers on Methane Emission in Paddy Field. In Proceeding, the International Conference Environmental and Hazardous Substance Management towards a Green Economy, May 21-23, 2013, The Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok Thailand.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University