ผลของการไถกลบหญ้าแฝกและระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติของดินและการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

นายอรรถพล โสภาพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

EFFECT OF VETIVER GRASS PLOUGH AND WATER LEVELS IN RICE FIELD ON SOIL PROPERTIES AND METHANE GAS EMISSION

Mr. Attapon Sophapongse

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Mater of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการไถกลบหญ้าแฝกและระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติของดินและการปลดปล่อยก๊าซมีเทน
โดย	นายอรรถพล โสภาพงศ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง)

……อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

……กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. พิทยากร ลิ่มทอง)

อรรถพล โสภาพงศ์ : ผลของการไถกลบหญ้าแฝกและระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติของดินและการปลดปล่อยก๊าซมีเทน. (EFFECT OF VETIVER GRASS PLOUGH AND WATER LEVELS IN RICE FIELD ON SOIL PROPERTIES AND METHANE GAS EMISSION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. กนกพร บุญส่ง, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ.ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 128 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงดินด้วยการไถกลบหญ้าแฝก และระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติของดินและการปลดปล่อยก๊าซมีเทน จากการผลิตข้าวอินทรีย์ในอำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 4 แปลง แต่ละแปลงมีพื้นที่ประมาณ 800 ตร.ม. มีปัจจัยที่ทำการวิจัย คือ (1) การปรับปรุงดิน 2 แบบ คือ แปลงที่ผ่านการปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ปลูกหญ้าแฝกในแปลงนา 500 วันแล้วไถกลบ) และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ใช้ทำนา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก และภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้งใช้การไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด) และ (2) ปัจจัยด้านระดับน้ำที่ท่วมขัง 2 ระดับ คือ 5 และ 10 ซม. ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีหว่านน้ำตม ระยะเวลาการเพาะปลูก 117 วัน เก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนด้วยเทคนิค static closed chamber ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว 6 ระยะ คือ ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษา พบว่าดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (7.38-7.42 และ 6.74-6.82) การนำไฟฟ้า (0.45-0.52 และ 0.19-0.27 dS/m) ศักย์รีดอกซ์ (-106.93 ถึง -110.21 และ -109.29 ถึง -113.38 mV) ความหนาแน่นรวม (1.33-1.36 และ 1.21-1.24 g/cm^3) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (72.96-74.39 และ 46.70-58.04 mg/kg) สูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 ซม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.79, 18.19, 25.29 และ 29.96 mg/m^2/hr ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว มีค่าต่ำที่สุดในระยะเมล็ดข้าวงอก (0.60-2.83 mg/m^2/hr) และสูงที่สุดในระยะเมล็ดน้ำนม (52.22-86.86 mg/m^2/hr) ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า ศักย์รีดอกซ์ อุณหภูมิ อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ความสูง และมวลชีวภาพรวมของข้าวมีความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนระดับน้ำในนาข้าวไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบแนวโน้มว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 ซม. มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 ซม. ในด้านผลผลิตข้าว พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 ซม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 421.47, 401.35, 374.72 และ 366.79 กก./ไร่ ตามลำดับ จากผลการวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า แปลงที่ผ่านการปรับปรุงดินด้วยการปลูกและไถกลบหญ้าแฝกมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าและมีผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5287310520 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS : VETIVER GRASS / METHANE EMISSION / RICE FIELD

ATTAPON SOPHAPONGSE : EFFECT OF VETIVER GRASS PLOUGH AND WATER LEVELS IN RICE FIELD ON SOIL PROPERTIES AND METHANE GAS EMISSION ADVISOR : ASSIS. PROF. KANOKPORN BOONSONG, Ph. D., CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph. D., 128 pp.

This research aimed to study the effects of vetiver grass plough and water levels on soil properties and methane emission from organic rice production in Cha-am District, Phetchaburi Province. The studies were conducted in four plots of approximately 800 m^2 each. The factors studied were (1) soil improvement i.e., plot with vetiver plough (cultivated vetiver grass for approximately 500 days before ploughing) and plot without vetiver plough (cultivated rice for 3 consecutive crops; and after each harvest, sunn hemp was used as green manure for soil improvement) and (2) floodwater levels i.e., 5 and 10 cm. The rice *Oryza sativa* L. cultivar Chainat1 was cultivated using broadcasting technique for 117 days. The methane emissions were measured 6 periods during growth stages of rice i.e. germination, seedling, tillering, booting, milk grain and harvest using static closed chamber technique. The results indicated that soil in plots with vetiver plough had significantly higher pH (7.38-7.42 and 6.74-6.82), electrical conductivity (0.45-0.52 and 0.19-0.27 dS/m), Eh (-106.93 to -110.21 and -109.29 to -113.38 mV), bulk density (1.33-1.36 and 1.21-1.24 g/cm^3) and exchangeable K (72.96-74.39 and 46.70-58.04 mg/kg) than soil in plots without vetiver plough. For methane emission, the values from plots with vetiver plough with both 5 and 10 cm. water levels (15.79 and 18.19 $mg/m^2/hr$) were lower than plots without vetiver plough (25.29 and 29.96 $mg/m^2/hr$). The methane emission trends were increased with rice growth stages i.e., lowest in germination stage (0.60-2.83 $mg/m^2/hr$) and highest in milk grain stage (52.22-86.86 $mg/m^2/hr$). According to the correlation between soil properties and methane emission, the results indicated significant correlation ($p<0.05$) between soil pH, electrical conductivity, Eh, temperature, organic matter, organic carbon; and methane emission. In addition, shoot height and total biomass of rice were significantly correlated with methane emission. Whereas floodwater level showed non-significantly correlated with methane emission ($p>0.05$). However, there was the tendency that plots with 5 cm. water level emitted lower methane. For rice production, the production in plots with vetiver plough with both 5 and 10 cm. water levels (421.47 and 401.35 kg/rai) were higher than plots without vetiver plough (374.72 and 366.72 kg/rai). In conclusion, overall results suggested that soil improvement by vetiver grass plough emitted lower methane while yielded higher rice production.

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

Academic Year : 2011 Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้เนื่องจากความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกพร บุญส่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำสั่งสอน ให้กำลังใจ รวมทั้งแนะนำเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล ที่ให้คำแนะนำสั่งสอน ตลอดจนความคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร ที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ และ ดร. พิทยากร ลิ่มทอง ที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำชี้แนะ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ จ่าเอกเขียน สร้อยสม เกษตรกรดีเด่นด้านเศรษฐกิจพอเพียง ปี 2549 ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ พร้อมทั้งอนุเคราะห์สถานที่สำหรับทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณสมเกียรติ ท้วมแสง ผู้อำนวยการศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยาสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ที่กรุณาให้คำแนะนำ พร้อมทั้งอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตรจารย์ ดร. ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับตรวจวัดศักย์รีดอกซ์ของดิน

ขอขอบพระคุณ ดาบตำรวจพินิจภณ ปิตุยะ เจ้าหน้าที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่อำนวยความสะดวกในด้านการติดต่อประสานงานในพื้นที่ทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง นักวิทยาศาสตร์ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ การใช้อุปกรณ์ และสารเคมีต่างๆ

ขอขอบคุณ “โครงการการพัฒนาคุณภาพดินเสื่อมโทรมด้วยการปลูกหญ้าแฝกเพื่อเพิ่มผลผลิตและการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในนาข้าวบริเวณพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี” และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้ทุนการศึกษา ให้กำลังใจ เอาใจใส่ และห่วงใยสุขภาพมาโดยตลอด และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ นิสิตปริญญาโท สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ตลอดจนบุคคลท่านอื่นๆ ที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อมจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…….. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……. จ

กิตติกรรมประกาศ…….. ฉ

สารบัญ……... ช

สารบัญตาราง……..... ฌ

สารบัญภาพ……..... ฎ

บทที่

1 บทนำ…….. 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา…… 1

1.2 วัตถุประสงค์……. 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา…….. 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……... 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) และปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming)……..... 3

2.2 ก๊าซมีเทน……...……... 3

2.3 การเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว……..……. 5

2.4 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว…….. 7

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว……..... 9

2.6 ธรรมชาติและสมบัติของดินที่ใช้ปลูกข้าว……. 14

2.7 การเจริญเติบโตของข้าว…… 23

2.8 ระบบการปลูกข้าวในประเทศไทย…… 25

2.9 การปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก……... 27

2.10 การปรับปรุงดินด้วยปอเทือง……... 30

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 31

3 วิธีดำเนินการศึกษา……..…… 35

3.1 พื้นที่ศึกษาและประวัติของแปลงที่ใช้ในการวิจัย…….. 35

3.2 สถานที่ทำวิจัย……... 36

3.3 ปัจจัยที่ทำการวิจัย……. 39

บทที่ หน้า

3.4 การเตรียมแปลงนาและการทำนา…….. 40
3.5 พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการวิจัย…… 40
3.6 การใส่ปุ๋ย การดูแลแปลงนา และการเก็บเกี่ยวผลผลิต..…….... 41
3.7 วิธีดำเนินการวิจัย……... 41
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ…….. 47
4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล……... 48
4.1 ผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำต่อสมบัติของดิน……. 48
4.2 ผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน…… 75
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินและระดับน้ำกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน…… 87
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน……. 92
4.5 ผลผลิตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน……. 99
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ……. 102
5.1 สรุปผลการศึกษา……... 102
5.2 ข้อเสนอแนะ……. 106
รายการอ้างอิง…….. 107
ภาคผนวก…… 114
ภาคผนวก ก ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ…… 115
ภาคผนวก ข ภาพประกอบวิทยานิพนธ์บางส่วน……. 117
ภาคผนวก ค เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน……..... 124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……... 128

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แหล่งปลดปล่อย (sources) และกักเก็บ (sinks) ก๊าซมีเทน…….	5
2.2	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในสภาพที่มีออกซิเจน…….	22
2.3	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน……	22
3.1	ประวัติแปลงนาและปฏิทินกิจกรรมการเตรียมดินก่อนการปลูกข้าว…….	37
3.2	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์สมบัติของดิน……..	43
3.3	การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……..……	45
4.1	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว …….	50
4.2	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……..……..	53
4.3	ค่าเฉลี่ยศักย์รีดอกซ์ของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……..……..	55
4.4	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……..…….	57
4.5	ค่าเฉลี่ยความชื้นในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……..…….	60
4.6	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน…….	62
4.7	ค่าเฉลี่ยความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……..…….	64
4.8	ค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……..…….	66
4.9	ค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน…….	68
4.10	ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……..……	70
4.11	ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……..…	72

ตารางที่		หน้า
4.12	ค่าเฉลี่ยโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……	74
4.13	ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ปลูกข้าว……...……..	77
4.14	ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว……...……	80
4.15	ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ปลูกข้าว……...……..	84
4.16	ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว……...……	86
4.17	ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกัน ในบริเวณที่ปลูกข้าวและไม่ปลูกข้าว……	86
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนามกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน……...……...	88
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน……...…….	90
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน……...	91
4.21	ค่าเฉลี่ยความสูงของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……	93
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน……	94
4.23	ค่าเฉลี่ยความยาวรากข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว…….	95
4.24	ค่าเฉลี่ยจำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……...	96
4.25	ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……...	98
4.26	ผลผลิตข้าว และสัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าว…….	100
5.1	สมการความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินด้านต่างๆ ระดับน้ำ และการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน……...……...…….	105

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว…….…….	8
2.2	การเปลี่ยนแปลงรูปไนโตรเจนในดินที่มีการขังน้ำในนาข้าว...…….	20
3.1	สรุปกิจกรรมการเตรียมแปลงนา การใส่ปุ๋ย การเก็บตัวอย่างดิน การเก็บตัวอย่างข้าว และการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน……...	38
3.2	ลักษณะแปลงนาทดลองทั้ง 4 แปลง และตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างดิน ข้าว และก๊าซมีเทน……...	39
4.1	ความเป็นกรด-ด่างของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ……	50
4.2	การนำไฟฟ้าของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……...…….	53
4.3	ศักย์รีดอกซ์ของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……...…….....	55
4.4	อุณหภูมิของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……...…….	57
4.5	ความชื้นในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……..……..	60
4.6	ความหนาแน่นรวมของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……...….	62
4.7	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……...……...	64
4.8	อินทรียวัตถุในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……...……...……	66
4.9	อินทรีย์คาร์บอนในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……...	68
4.10	ไนโตรเจนทั้งหมดของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……..……...….	70
4.11	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……	72

ภาพที่		หน้า
4.12	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน……...	75
4.13	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ปลูกข้าวและไม่ปลูกข้าว……....	77
4.14	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ปลูกข้าวและไม่ปลูกข้าว……....	85
4.15	ความสูงของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……	93
4.16	ความยาวรากข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……	95
4.17	จำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว…….	97
4.18	มวลชีวภาพรวมของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว……	99

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาพพื้นที่บริเวณโดยรอบศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งแต่เดิมเป็นพื้นที่ที่มีสภาพป่าไม้อุดมสมบูรณ์ แต่เมื่อเวลาผ่านไปได้มีการบุกรุกแผ้วถางป่าเพื่อทำการเกษตรและมีการใช้สารเคมีอย่างผิดวิธี ทำให้ดินบริเวณโดยรอบศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายฯ เสื่อมโทรมลง สภาพดินเป็นดินทราย ปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ ดินมีสภาพเป็นด่าง และเป็นดานแน่นทึบขาดความอุดมสมบูรณ์ เมื่อทำการเกษตรจะได้ผลผลิตต่ำ (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2555) การวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาในพื้นที่นาข้าวของเกษตรกรในบริเวณใกล้กับพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายฯ ซึ่งดินมีสภาพเสื่อมโทรม เกษตรกรจึงได้น้อมนำแนวพระราชดำริการใช้หญ้าแฝกเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสภาพดินดังกล่าว ซึ่งคาดว่ารากหญ้าแฝกที่มีระบบรากฝอยปริมาณมากและสานกันแน่นรวมทั้งสามารถหยั่งลึกลงไปในแนวดิ่งได้ดี (อรรถ สมร่าง, 2537) จะช่วยชอนไชดินทำให้ดินมีความพรุนและยึดเกาะกันเป็นก้อนที่เหมาะสม นอกจากนี้ใบของหญ้าแฝกซึ่งมีองค์ประกอบของออกไซด์ของแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม (CaO, MgO, Na_2O และ K_2O) เท่ากับ 5.42, 1.24, 0.12 และ 15.46 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Nimityongskul และคณะ, 2003) เมื่อไถกลบลงดินก่อนฤดูกาลเพาะปลูกข้าว และเกิดการย่อยสลายจะสามารถช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุและธาตุอาหารให้กับดินได้ ซึ่งสมบัติของดินที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นย่อมมีผลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม การทำนาข้าวนับเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนจากนาข้าวมีหลายปัจจัย เช่น แหล่งคาร์บอนในดิน สมบัติของดิน การจัดการน้ำ ปุ๋ย พันธุ์ข้าว และสภาพภูมิอากาศ (พัชรี แสนจันทร์ และสิริธร คมน์ทิพยรัตน์, 2548; Neue และคณะ, 1996; Le Mer และ Roger, 2001) ดังนั้น การวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของการปรับปรุงดินที่ต่างกัน 2 แบบ คือ แปลงที่ปลูกและไถกลบหญ้าแฝก และแปลงที่ไม่ได้ปลูกและไถกลบหญ้าแฝก ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน รวมทั้งได้ศึกษาผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำในนาข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ซึ่งข้อมูลได้จากการวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแนวทางการปรับปรุงดินเสื่อมโทรมในนาข้าวด้วยการปลูกและไถกลบหญ้าแฝก และการจัดการระดับน้ำเพื่อจำกัดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

1.2 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

2) ศึกษาผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำในนาข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินและระดับน้ำในนาข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยในหัวข้อ ผลของการไถกลบหญ้าแฝกและระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติของดินและการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ได้ทำการศึกษาในพื้นที่นาข้าวของ จ่าเอกเขียน สร้อยสม ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีหว่านน้ำตม ในเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2553 โดยมีปัจจัยที่ทำการวิจัย คือ (1) การปรับปรุงดินที่ต่างกัน 2 แบบ คือ แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ปลูกหญ้าแฝกในแปลงนา 500 วันแล้วไถกลบ) และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ใช้ทำนา 3 ฤดูกาล เพาะปลูก และภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้งใช้การไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด) และ (2) ปัจจัยด้านระดับน้ำที่ท่วมขังต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร และระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีแปลงทดลองทั้งสิ้น 4 แปลงที่มีความแตกต่างกัน คือ (1) แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (2) แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (3) แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร และ (4) แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยแต่ละแปลงมีพื้นที่ประมาณ 800 ตารางเมตร และทุกแปลงมีพื้นที่ส่วนที่ไม่ปลูกข้าวรวมอยู่ด้วย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

2) ทราบถึงผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำในนาข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

3) ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินและระดับน้ำในนาข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

4) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแนวทางการพัฒนาคุณภาพดินที่เสื่อมโทรมในนาข้าวด้วยเทคนิคการปลูกและไถกลบหญ้า

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) และปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming)

ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) มีอยู่ในชั้นบรรยากาศโลกตามธรรมชาติ มีคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานความร้อนทำให้โลกอุ่นขึ้น ซึ่งส่งผลให้สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่บนโลกได้ โดยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) ไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs) เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) โอโซน (O_3) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไอน้ำ (water vapor) (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541; World Meteorological Organization (WMO), 2010) ในปัจจุบันกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากโรงงานอุตสาหกรรม การตัดไม้ทำลายป่า การทำปศุสัตว์ การทำนาข้าว ฯลฯ ได้ทำให้ก๊าซเหล่านี้มีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้การดูดกลืนพลังงานความร้อนสูงเกินไป และส่งผลให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศของโลกสูงขึ้นอีกประมาณ 1.1-6.4 องศาเซลเซียส (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007) WMO (2010) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจกในซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1968-2008 พบว่าก๊าซเรือนกระจกที่พบในปริมาณมาก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยระหว่างปี ค.ศ. 1998-2008 ก๊าซดังกล่าวมีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 1.93 ส่วนในล้านส่วน, 2.5 ส่วนในพันล้านส่วน และ 0.78 ส่วนในพันล้านส่วน ตามลำดับ และในปี ค.ศ. 2008 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 385.2 ส่วนในล้านส่วน, 1,797 ส่วนในพันล้านส่วน และ 321.8 ส่วนในพันล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นทุกปี และส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming) ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกอย่างมาก เช่น ระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพมีการเปลี่ยนแปลง พื้นที่เกษตรและแหล่งน้ำลดลง ความถี่และความรุนแรงของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติสูงขึ้น เกิดโรคระบาดสูงขึ้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเศรษฐกิจและสังคม (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541)

2.2 ก๊าซมีเทน

ก๊าซมีเทน (methane gas; CH_4) เป็นสารประกอบอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) และเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนาแน่น 0.7168 กรัมต่อลิตร จุดเดือด -161.5 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว -183 องศาเซลเซียส ก๊าซมีเทนสามารถละลายน้ำได้เล็กน้อยแต่ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ เช่น น้ำมันเบนซิน อีเทอร์ และแอลกอฮอล์ เมื่อเผาไหม้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ พลังงานที่ใช้ใน

การแยกพันธะเท่ากับ 104 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนพลังงานที่ใช้ในการสร้างพันธะเท่ากับ 179 กิโลแคลอรีต่อโมล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (อุดม ก๊กผล และคณะ, 2547; ไตรมิตร ใจบรรจง, 2545; งามเนตร เอกตาแสง, 2546)

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (WMO, 2010) โดยก๊าซมีเทนมีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (global warming potential; GWP) เท่ากับ 21 เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซอ้างอิงที่มีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเท่ากับ 1 นั่นหมายความว่าก๊าซมีเทน 1 โมเลกุลมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานรังสีอินฟราเรดได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า

สำหรับแหล่งกำเนิดก๊าซมีเทนในชั้นบรรยากาศแบ่งได้เป็น 2 แหล่ง คือ แหล่งที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ได้แก่ หนองน้ำ แม่น้ำ ทะเลสาบ มหาสมุทร หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland) ต่างๆ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (digestive tract of animal) บ่อก๊าซธรรมชาติ (natural gas reservoir) เป็นต้น และแหล่งที่มาจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การทำนาน้ำขัง การเลี้ยงสัตว์ การปล่อยของเสียจากการบำบัดน้ำเสีย พื้นที่ฝังกลบขยะ การทำเหมืองถ่านหิน การใช้ก๊าซธรรมชาติ การเผาไหม้พลังงานชีวมวล เป็นต้น (Neue, 1993 อ้างถึงในชาติชาย มณีสุวรรณ, 2545) การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากแหล่งต่างๆ ทั่วโลกทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ ประมาณ 460 ล้านตันต่อปี แต่โดยธรรมชาติก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะมีแหล่งรองรับ (sinks) ประมาณ 360 ล้านตันต่อปี โดยแบ่งเป็น ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิลในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (troposphere) ประมาณ 260 ล้านตันต่อปี ส่วนที่ถูกเคลื่อนย้ายไปอยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) ประมาณ 60 ล้านตันต่อปี และส่วนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในดินประมาณ 40 ล้านตันต่อปี อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า แหล่งรองรับไม่เพียงพอกับก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทำให้มีก๊าซมีเทนเหลืออยู่ในชั้นบรรยากาศประมาณ 100 ล้านตันต่อปี (ตารางที่ 2.1) (Schutz และคณะ, 1991 อ้างถึงในชาติชาย มณีสุวรรณ, 2545) ดังนั้น การสะสมของก๊าซมีเทนจะส่งผลโดยตรงต่อการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน

สำหรับพื้นที่นาข้าวมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ย 77 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 17 ของก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศโลก จัดเป็นแหล่งที่มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงเป็นอันดับ 3 (เช่นเดียวกับการเผาไหม้พลังงานชีวมวล) รองจากพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ และระบบการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ตามลำดับ (Schutz และคณะ, 1991 อ้างถึงในไตรมิตร ใจบรรจง, 2545) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมีความสำคัญที่จะต้องตระหนักและหาวิธีการในการลดการปลดปล่อยลง

ตารางที่ 2.1 แหล่งปลดปล่อย (sources) และกักเก็บ (sinks) ก๊าซมีเทน

แหล่งปลดปล่อย (sources) และกักเก็บ (sinks) ก๊าซมีเทน	ช่วงค่าเฉลี่ย (ล้านตันต่อปี)	ค่าเฉลี่ย (ล้านตันต่อปี)	ร้อยละ
แหล่งปลดปล่อย (sources)			
นาข้าว (rice paddies)	58-96	77	17
พื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ (natural wetlands)	50-150	100	22
การย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (digestive tract of animals)	70-100	85	18
พื้นที่ฝังกลบขยะ (landfills)	30-70	50	11
บ่อก๊าซธรรมชาติ (natural gas reservoirs)	65-75	70	15
การเผาไหม้พลังงานชีวมวล (biomass burning)	55-100	77.5	17
รวมทั้งหมด	328-591	459.5	100
แหล่งกักเก็บ (sinks)			
การเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิลในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (tropospheric OH)	260	260	72
การเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิลในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ (stratospheric OH)	60	60	17
การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในดิน (soil oxidation)	40	40	11
รวมทั้งหมด	360	360	100

ที่มา: Schutz และคณะ (1991) อ้างถึงในไตรมิตร ใจบรรจง (2545)

2.3 การเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว

ในสภาพที่มีการขังน้ำในนาข้าว ออกซิเจนในดินถูกใช้โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) ให้หมดไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นแบคทีเรียกลุ่มที่อยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobic bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) สามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้นในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน โดยการย่อยสารอินทรีย์จนได้ก๊าซมีเทนของแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนมีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) กระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

กระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง เช่น น้ำตาล กรดไขมัน และกรดอะมิโน โดยแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสารเหล่านี้ภายนอกเซลล์

2) กระบวนการสร้างกรด (acidogenesis)

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดนำไปใช้เพื่อสร้างกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวไทริก (butyric acid) โดยกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสร้างก๊าซมีเทนในกระบวนการถัดไป

3) กระบวนการสร้างกรดอะซิติกและกรดไขมันระเหย (acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด (acidogenesis) จะถูกแบคทีเรียอะซิโตเจนิก (acetogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำเท่านั้น

4) กระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (methanogenesis)

กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ที่เกิดจากกระบวนการสร้างกรดอะซิติกและกรดไขมันระเหย (acetogenesis) จะถูกใช้โดยแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน (methanogenic bacteria) โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ช้าและเจริญเติบโตเฉพาะในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น ได้แก่ *Methanosarcina* และ *Methanococcus* ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เกิดขึ้นนอกจากจะได้ก๊าซมีเทนแล้วยังมีผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย ปริมาณธาตุอาหารในดิน และกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Henzen และ Harremoes, 1983 อ้างถึงใน เพ็ญศรี ศรีภักดิ์ชัยกุล, 2552)

นอกจากนี้ก๊าซมีเทนในนาข้าวยังเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียเหล่านี้จะใช้สารประกอบต่างๆ ในดินซึ่งมีระดับออกซิเดชัน (oxidation number) สูงๆ และสารประกอบอนินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ได้แก่ ไนเตรต (NO_3^-) แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เมื่อดินอยู่ในสภาพที่มีการขังน้ำและไม่มีออกซิเจน แบคทีเรียกลุ่ม facultative anaerobic bacteria จะใช้ NO_3^- เป็นตัวรับอิเล็กตรอนชนิดแรกในกระบวนการหายใจ โดยจะถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ดินที่มี NO_3^- อยู่

ในปริมาณสูงจะรักษาระดับค่าศักย์รีดอกซ์ของดินให้มีค่าอยู่ระหว่าง 200 ถึง 400 mV และสามารถชะลอการเกิดรีดักชันในดินได้ เมื่อ NO_3^-ถูกรีดิวซ์หมดไปแล้ว MnO_2 จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในลำดับถัดมา แต่ในสภาพที่แท้จริงตามธรรมชาติ MnO_2จะเริ่มถูกรีดิวซ์ตั้งแต่ปริมาณออกซิเจนและ NO_3^- ในดินเหลืออยู่ในปริมาณต่ำแล้ว ดังนั้น ปฏิกิริยารีดักชันในระยะแรกจะเกิดคาบเกี่ยวกันกับการรีดักชันของออกซิเจนและ NO_3^- ตามลำดับ จากนั้น Fe_2O_3 จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในลำดับถัดมา โดย Fe_2O_3 จะถูกรีดิวซ์เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) เมื่อเกิดสภาพรีดักชันรุนแรงขึ้น SO_4^{2-} จะถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์ (S^{2-}) และตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะถูกรีดิวซ์กลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) (เทียนชัย สุวรรณเวช, 2539 อ้างถึงในชาติชาย มณีสุวรรณ, 2545; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

2.4 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

สภาพที่มีการขังน้ำในนาข้าวทำให้ anaerobic bacteria ซึ่งรวมถึง methanogenic bacteria มีกิจกรรมสูงขึ้น หากดินมีสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของ methanogenic bacteria สูงจะทำให้เกิดการสร้างก๊าซมีเทนได้สูงด้วย โดยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นสามารถเคลื่อนที่ออกสู่ชั้นบรรยากาศได้ 3 ทาง ดังนี้

1) การเคลื่อนที่ผ่านต้นข้าว (plant mediate active transport)

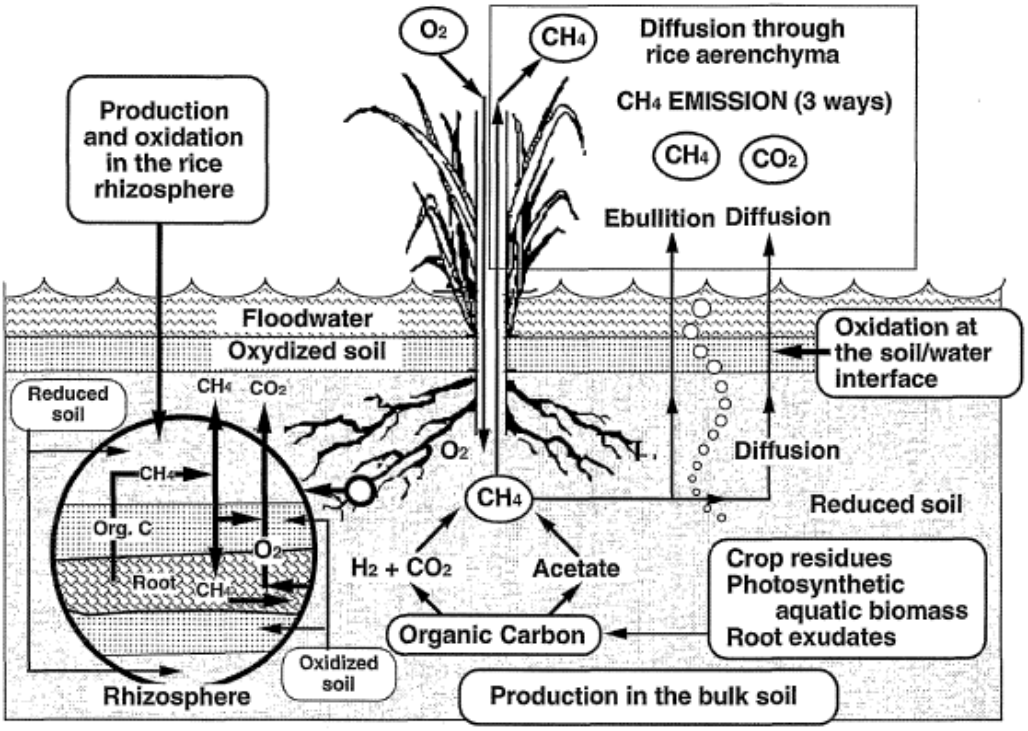
ก๊าซมีเทนที่อยู่ในดินจะแพร่ผ่านรากข้าวเข้าสู่ aerenchyma ซึ่งเป็นช่องอากาศ แล้วจึงปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศที่บริเวณกาบใบ โดยก๊าซมีเทนจะถูกปลดปล่อยสูงที่สุดในบริเวณใบแรกๆ ที่อยู่เหนือจากระดับน้ำในนาข้าว (Butterbach-bahl, 1992 อ้างถึงใน Neue และคณะ, 1997) โดยในช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะสืบพันธุ์มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนผ่านต้นข้าวคิดเป็นร้อยละ 90 ของปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ปลดปล่อยจากนาข้าว

2) การเคลื่อนที่โดยกระบวนการแพร่ (diffusion)

ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในดิน น้ำ และอากาศซึ่งแตกต่างกันทำให้ก๊าซมีเทนสามารถแพร่ผ่านชั้นน้ำออกสู่ชั้นบรรยากาศได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดฟองก๊าซ คือ ความเร็วลม อุณหภูมิของน้ำ ความดันบรรยากาศ แสงแดด และระดับน้ำ รวมทั้งก๊าซมีเทนที่แพร่ผ่านชั้นน้ำอาจถูกออกซิไดซ์โดยชั้นออกซิเจนที่อยู่บริเวณผิวน้ำทำให้เกิดการปลดปล่อยในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทน ดังนั้น ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากกระบวนการแพร่จึงมีปริมาณต่ำ คิดเป็นร้อยละ 2 ของปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ปลดปล่อยจากนาข้าว อย่างไรก็ตามการแพร่ของก๊าซผ่านน้ำเกิดขึ้นช้ามาก ช้ากว่าในบรรยากาศถึง 10^4 เท่า

3) การเคลื่อนที่เป็นฟองก๊าซมีเทนลอยสู่ผิวน้ำ (ebullition)

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรูปนี้จะเกิดมากที่สุดในช่วงแรกของการทำนา เนื่องจากในระยะแรกปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณมากทำให้ methanogenic bacteria สร้างก๊าซมีเทนได้มากจนทำให้ความดันของก๊าซมีเทนสูงกว่าความดันของน้ำ ก๊าซมีเทนจึงสามารถปลดปล่อยในรูปของฟองก๊าซได้ ประกอบกับก๊าซมีเทนละลายน้ำได้น้อยมากจึงทำให้สามารถปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้ง่ายขึ้น โดยปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการเคลื่อนที่เป็นฟองก๊าซคิดเป็นร้อยละ 8 ของปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ปลดปล่อยจากนาข้าว (Le Mer และ Roger, 2001; พัชรี แสนจันทร์ และสิริธร คมน์ทิพยรัตน์, 2548) (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

ที่มา: Le Mer และ Roger (2001)

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดก๊าซในนาข้าวมีหลายปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนแตกต่างกัน ปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่ แหล่งของคาร์บอน สมบัติของดิน พันธุ์ข้าว ปุ๋ย น้ำ และสภาพภูมิอากาศ โดยสามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

2.5.1 แหล่งของคาร์บอน

สารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เมื่อผ่านการย่อยสลายและหมักจนได้กรดอินทรีย์จะถูก methanogenic bacteria ใช้เป็นแหล่งอาหารในการสร้างเซลล์และการเจริญเติบโตและปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมา การเติมอินทรียวัตถุให้กับดิน เช่น การหมักฟางข้าวในแปลงนาหลังการเก็บเกี่ยวจะเป็นการเพิ่มแหล่งคาร์บอน (carbon source) ให้กับดินอย่างมาก นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่หลั่งออกมาจากรากข้าว (root exudate) ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน และสารประกอบฟีนอลก็เป็นแหล่งคาร์บอนให้กับ methanogenic bacteria ได้เป็นอย่างดี

2.5.2 สมบัติของดิน

สมบัติของดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดินมีความสำคัญยิ่งต่อผลผลิตของพืช ดินในทางเกษตรกรรม หมายถึง ส่วนของธาตุอาหารซึ่งเกิดจากการสลายตัวและผุกร่อนของหินหรืออินทรียวัตถุ โดยทั่วไปแล้วดินจะมีอินทรียวัตถุเฉลี่ยประมาณร้อยละ 5 ขององค์ประกอบทั้งหมด ดินยังช่วยในการยึดเกาะลำต้น และเป็นแหล่งธาตุอาหารและน้ำสำหรับพืช ข้าวเป็นพืชชนิดหนึ่งที่สามารถเจริญเติบโตในดินที่มีความแตกต่างกันค่อนข้างมากได้ โดยเจริญเติบโตได้ทั้งดินเหนียวและดินทราย อย่างไรก็ตามดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าวควรเป็นดินที่สามารถอุ้มน้ำได้ดี (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

การขังน้ำเพื่อการทำนาเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสร้างก๊าซมีเทน เนื่องจากดินที่มีน้ำท่วมขังจะขาดออกซิเจนอย่างรุนแรง และการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าวจะผันแปรตามสมบัติเฉพาะของดิน โดยแยกพิจารณาได้เป็นสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดิน ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ เนื้อดิน โครงสร้างของดิน รวมถึงความร่วนซุยของดิน มีผลต่อการอุ้มน้ำ การระบายน้ำ และความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของดินซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยดินที่สามารถอุ้มน้ำได้ดีจะทำให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของ

methanogenic bacteria ดำเนินไปด้วยดี Kanno และคณะ (1997) และ Boeckx และคณะ (1997) พบว่า ดินเนื้อละเอียดซึ่งมีการอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าดินเนื้อหยาบ เนื่องจากดินเนื้อหยาบมีการระบายอากาศดีกว่าดินเนื้อละเอียด ทำให้ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นถูกออกซิไดซ์กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ Neue และคณะ (1997) พบว่า ดินที่มีประเภทเนื้อดินต่างกันแต่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเท่ากันก็จะปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้แตกต่างกัน โดยดินทรายจะปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้สูงกว่าดินเหนียว

2) สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดินที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ศักย์รีดอกซ์ (Eh) อินทรียวัตถุ (organic matter) และอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon)

ความเป็นกรด-ด่างของดินมีความสำคัญยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตในดินและพืช โดยความเป็นกรด-ด่างของดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดิน ถ้าดินมีความเป็นกรด-ด่างต่ำหรือสูงกว่า 7 เกินไปจะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งโดยทั่วไปจุลินทรีย์ดินจะเจริญเติบโตได้ดีในความเป็นกรด-ด่างของดินที่ใกล้กับ 7 ความเป็นกรด-ด่างของดินยังมีผลต่อการละลายของธาตุอาหารในดิน โดยความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมจะทำให้ธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่รากพืชสามารถดูดไปใช้ได้ นอกจากนี้ความเป็นกรด-ด่างของดินยังสัมพันธ์กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน กล่าวคือ methanogenic bacteria มีความไวต่อความเป็นกรด-ด่างอย่างมาก ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่างแคบๆ ประมาณ 6-8 และความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ ความเป็นกรด-ด่างที่ใกล้ 7 (สมศักดิ์ วังใน, 2528; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550; Wang และคณะ, 1993; Le Mer และ Roger, 2001) ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำหรือสูงกว่า 7 เกินไปจะทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้ลดลง และหากค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.8 หรือสูงกว่า 8.8 จะไม่พบการเกิดก๊าซมีเทน (Wang และคณะ, 1993) อย่างไรก็ตามก๊าซมีเทนเกิดขึ้นได้บ้างในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด เช่น ในดินพีท สำหรับดินที่มีสภาพเป็นด่างเมื่อขังน้ำในนาข้าวเพียงไม่กี่ชั่วโมง methanogenic bacteria จะสามารถสร้างก๊าซมีเทนได้ ส่วนในดินที่มีสภาพเป็นกลาง ก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นภายหลังการขังน้ำนาน 2-3 สัปดาห์ และในดินที่มีสภาพเป็นกรด ก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นภายหลังการขังน้ำนานถึง 5 สัปดาห์ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

ค่าศักย์รีดอกซ์ของดิน (oxidation reduction potential; ORP หรือ Eh) เป็นค่าที่แสดงถึงความรุนแรงของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของดิน (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550) ซึ่งในสภาพที่มีการขังน้ำในนาข้าวปฏิกิริยารีดักชันสามารถเกิดได้รุนแรงทำให้มีผลโดยตรงต่อ methanogenic bacteria ยิ่งมีสภาพรีดักชันรุนแรงมากขึ้น การสร้างก๊าซมีเทนยิ่งเพิ่มสูงขึ้น Wang และคณะ (1993) กล่าวว่าค่าศักย์รีดอกซ์ของดินมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับการเกิดก๊าซมีเทน กล่าวคือ ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินที่สูงจะทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้ปริมาณน้อย แต่ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินต่ำจะทำให้เกิดก๊าซมีเทนปริมาณสูง สำหรับค่า

ศักย์รีดอกซ์ของดินเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการสร้างก๊าซมีเทนจะมีค่าต่ำกว่า -150 มิลลิโวลต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพรีดักชันและสมบัติของดิน และเมื่อค่าศักย์รีดอกซ์ของดินมีค่าลดต่ำลงจะทำให้เกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น

อินทรียวัตถุ และอินทรีย์คาร์บอนในดิน ดินที่มีอินทรียวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง เมื่อถูกย่อยสลายจนกลายเป็นกรดอินทรีย์จะทำให้ methanogenic bacteria สามารถใช้กรดอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารและพลังงานในการสร้างเซลล์และการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ก๊าซมีเทนจึงมีปริมาณสูงขึ้น Neue และคณะ (1996) กล่าวว่า ดินที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงจะมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้สูง

2.5.3 พันธุ์ข้าว

ก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดจากนาข้าวจะปลดปล่อยผ่านต้นข้าว โดยผ่าน aerenchyma ภายในลำต้นออกสู่บรรยากาศทางกาบใบ ดังนั้น พันธุ์ข้าว (rice cultivar) แต่ละพันธุ์ซึ่งมีขนาดและปริมาตรของ aerenchyma ที่ต่างกันจะมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน นอกจากนี้ระยะการเจริญเติบโตของข้าวจะมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยพันธุ์ข้าวที่มีรากหนาแน่นต่างกันจะปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่างกัน กล่าวคือ ข้าวที่มีรากหนาแน่นจะทำให้ก๊าซมีเทนแพร่เข้าทางรากได้สูงและปลดปล่อยออกทางกาบใบได้สูง (ชาติชาย มณีสุวรรณ, 2545) นอกจากนี้ รากข้าวสามารถหลั่ง root exudate ซึ่งจะถูก methanogenic bacteria นำไปใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานในการเจริญเติบโตและได้ผลผลิต คือ ก๊าซมีเทน (จิติมาพร สุขพินิจ, 2538) ดังนั้น พันธุ์ข้าวที่มีรากหนาแน่นสูงจึงมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้สูงกว่าพันธุ์ข้าวที่มีรากหนาแน่นต่ำ

2.5.4 ปุ๋ย

ปุ๋ย หมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงไปในดินเพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นต้น โดยการใส่ปุ๋ยลงไปในดินจะทำให้พืชเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูงขึ้น สำหรับการทำนาข้าว เกษตรกรมักจะใส่ปุ๋ยลงไปในดินเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับข้าว ซึ่งปุ๋ยที่นิยมใช้ในนาข้าวมี 2 กลุ่มหลัก คือ ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) และปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอนินทรีย์ (chemical or inorganic fertilizer) ผลของปุ๋ยที่ใส่ในนาข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะขึ้นกับองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ย โดยสามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

1) ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer)

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่สามารถหาได้ง่ายในพื้นที่เกษตรและประหยัดต้นทุนเนื่องจากเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตเสร็จแล้วเกษตรกรสามารถไถกลบตอซังให้กลายเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าว ซึ่งข้อดีของปุ๋ยอินทรีย์ คือ ทำให้ดินมีความร่วนซุยมากขึ้น รากของต้นข้าวสามารถชอนไชดินและเจริญเติบโตได้ดี (ยงยุทธ

โอสถสภา และคณะ, 2551) แต่ข้อเสียของปุ๋ยอินทรีย์ คือ เป็นการเติมอินทรีย์คาร์บอนให้กับดินซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอน ทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนจึงทำให้ methanogenic bacteria เจริญเติบโตได้ดีและปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น มีงานวิจัยหลายฉบับที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าวทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น อาทิ วัชรีย์ ผลเดชสถาพร (2544) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้โสนอัฟริกันเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับแปลงควบคุมซึ่งไม่ใช้ปุ๋ยพืชสด พบว่า แปลงที่ใช้โสนอัฟริกันเป็นปุ๋ยพืชสดมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่า และมีผลผลิตสูงกว่าแปลงควบคุม สอดคล้องกับ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และคณะ (2547) ที่ได้ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยเปรียบเทียบปุ๋ยอินทรีย์ 5 ชนิด คือ แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด (โสนอัฟริกัน) ฟางข้าว และแปลงควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) พบว่า แปลงที่ใช้ฟางข้าวเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าวมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดเท่ากับ 15.16 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากฟางข้าวยังสลายตัวไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการย่อยสลายในสภาพที่ไม่มีอากาศทำให้สภาพรีดักชันเกิดได้รุนแรง ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินลดต่ำมาก กอปรกับแปลงที่ไถกลบฟางข้าวมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุดจึงส่งเสริมให้ methanogenic bacteria สร้างก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญต่อดินอย่างยิ่ง โดยอินทรียวัตถุช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างดิน และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินทำให้สามารถทำการเกษตรได้อย่างยั่งยืน

2) ปุ๋ยเคมี หรือ ปุ๋ยอนินทรีย์ (chemical or inorganic fertilizer)

การใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวมีผลต่อการสร้างก๊าซมีเทนเช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ แต่โดยทั่วไปผลที่เกิดขึ้นไม่มากเท่าปุ๋ยอินทรีย์ (นิวัติ เจริญศิลป์ และคณะ, 2542 อ้างถึงในพัชรี แสนจันทร์และคณะ, 2551) Lindau (1994) กล่าวว่าการใส่ปุ๋ยเคมีที่มี NO_3^- และ SO_4^{2-} เป็นองค์ประกอบช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถใช้ NO_3^- และ SO_4^{2-} เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจนกระทั่ง NO_3^- และ SO_4^{2-} หมดไป จุลินทรีย์จึงใช้ CO_2 เป็นตัวรับอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดก๊าซมีเทน ดังนั้น การใส่ปุ๋ยเคมีที่มี NO_3^- และ SO_4^{2-} เป็นองค์ประกอบจึงทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้ลดลง Le Mer และ Roger (2001) รายงานว่า การเติมยิปซัมหรือแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) เพื่อช่วยในการปรับปรุงดินเค็มและดินด่างสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนลงได้ ส่วนการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) สามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ ซึ่งกลไกจะไม่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าศักย์รีดอกซ์ของดินซึ่งเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ SO_4^{2-} มีผลโดยตรงต่อการยับยั้งการสร้างก๊าซมีเทน อย่างไรก็ตามการเติม SO_4^{2-} ลงในดินอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อข้าว เพราะในสภาพที่ดินขาดออกซิเจนรุนแรง SO_4^{2-} จะถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อรากข้าว แต่สำหรับการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้น พบว่า เป็นการส่งเสริมให้เกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเนื่องจากปุ๋ยยูเรียจะทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินสูงขึ้นซึ่งอาจจะส่งผลให้ methanogenic bacteria มีกิจกรรมสูงขึ้นจึงผลิตก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น (Wang และคณะ, 1992)

2.5.5 น้ำ

น้ำในนาข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวเนื่องจากต้นข้าวจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูงเมื่อมีการขังน้ำในนาข้าว โดยน้ำมีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของข้าว คือ ความสูง การแตกกอ และความต้านทานการล้ม เป็นต้น (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2526) นอกจากนี้การขังน้ำในนาข้าวยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิด โดยเฉพาะฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซิลิก้า และเหล็ก (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550) อย่างไรก็ตามหากมีการขังน้ำในระดับที่สูงเกินความจำเป็นจะทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจนรุนแรงซึ่งอาจทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ ซัลไฟด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ จนเป็นพิษต่อรากข้าวได้ (พัชรี แสนจันทร์ และสิริธร คมน์ทิพยรัตน์, 2548) นอกจากนี้ความสูงของระดับน้ำที่ท่วมขังในนาข้าวทำให้ความรุนแรงของสภาพรีดักชันของดินแตกต่างกัน ยิ่งมีระดับน้ำที่ท่วมขังในนาสูงจะทำให้สภาพรีดักชันรุนแรงมากขึ้นทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้น (สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ, 2543) สอดคล้องกับ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ (2544) รายงานว่า การปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในแปลงที่มีระดับน้ำ 20 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 และ 0 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากระดับน้ำที่ท่วมขังสูงส่งผลให้ดินอยู่ในสภาพรีดักชันรุนแรงจึงทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น

การระบายน้ำในนาข้าวทำให้ดินมีการถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้นและยังช่วยระบายเอากรดอินทรีย์ ซัลไฟด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมอยู่ในปริมาณมากบริเวณรากข้าวออกไปได้ (ชาติชาย มณีสุวรรณ, 2545; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550) นอกจากนี้การระบายน้ำยังสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวได้ เนื่องจากเป็นการเพิ่มสภาพออกซิไดซ์ในดินทำให้การเกิดก๊าซมีเทนลดลง Towprayoon และคณะ (2005) รายงานว่า การระบายน้ำในนาข้าวช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยแปลงที่ไม่มีการระบายน้ำมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูกเท่ากับ 243.60 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ขณะที่แปลงที่มีการระบายน้ำ 2 ครั้ง คือ ภายหลังการปลูกข้าว 30 และ 75 วัน มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 156.79 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์

2.5.6 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณแสง เป็นต้น โดยในฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงจะทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้สูงกว่าในฤดูหนาวเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ methanogenic bacteria มีกิจกรรมได้สูงขึ้น สำหรับปริมาณแสงจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของข้าว ถ้าข้าวสังเคราะห์แสงได้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงจะทำให้รากข้าวสามารถหลั่ง root exudate ได้สูงขึ้น ซึ่งสารที่หลั่งออกมาเป็นสารอินทรีย์ซึ่งจะเป็นแหล่งอาหารและพลังงานในการสร้างก๊าซมีเทนของ methanogenic bacteria (Neue และ Roger, 1993 อ้างถึงใน ชาติชาย มณีสุวรรณ, 2545)

2.6 ธรรมชาติและสมบัติของดินที่ใช้ในการปลูกข้าว

เมื่อมีการขังน้ำในนาข้าวทำให้ดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน สภาพออกซิเดชัน-รีดักชันที่เกิดขึ้นในดินโดยกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลง จุลินทรีย์จะใช้สารประกอบหรือธาตุอาหารอื่นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนตามลำดับ คือ NO_3^-, Mn^{4+}, Fe^{3+}, SO_4^{2-} และ CO_2 ซึ่งจะเปลี่ยนรูปเป็น N_2, Mn^{2+}, Fe^{2+}, S^{2-} และ CH_4 นอกจากนี้ดินนาที่มีการขังน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น 4 ด้าน คือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

2.6.1 การเปลี่ยนทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical changes)

1) การลดลงของศักย์รีดอกซ์ของดิน

กระบวนการออกซิเดชัน คือ กระบวนการที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอน (e^-) หรือการสูญเสียไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือการได้มาซึ่งออกซิเจน และในปฏิกิริยาออกซิเดชันจะต้องมีกระบวนการรีดักชันเกิดขึ้นด้วยเสมอ ซึ่งในการรีดักชันจะเกิดตรงข้ามกับออกซิเดชัน นั่นคือ มีการรับอิเล็กตรอน การรับไฮโดรเจนไอออน หรือการสูญเสียออกซิเจนเกิดขึ้นด้วย ทั้งนี้เราเรียกตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ว่าเป็นสารออกซิไดซ์ (oxidizer) และเรียกตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) ว่าเป็นสารรีดิวซ์ (reducer) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) ในการตรวจวัดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ (half cell potential) หรือเรียกว่า ศักย์ของขั้วไฟฟ้า (electrode potential) ซึ่งไม่สามารถหาได้โดยตรง แต่หาได้โดยการเปรียบเทียบกับขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐาน (standard hydrogen electrode; SHE) โดยที่ E^o คือ ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ SHE ซึ่งเขียนได้ใหม่เป็น Eh และเรียกว่า รีดอกซ์โพเทลเชียล (redox potential) หรือศักย์รีดอกซ์ ค่าศักย์รีดอกซ์จึงแสดงถึงแนวโน้มของการให้หรือรับอิเล็กตรอน และเป็นการบอกถึงสภาพทางไฟฟ้าเคมีของดิน หากค่าศักย์รีดอกซ์เป็นบวก แสดงว่าระบบมีแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอน แต่หากค่าศักย์รีดอกซ์เป็นลบ แสดงว่าระบบมีแนวโน้มในการให้อิเล็กตรอน (มั่นสิน ตุณฑุลเวศม์, 2545; ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546)

ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินสามารถวัดโดยแพลทตินัมอิเล็กโทรด (platinum electrode) มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV) (Mitsch และ Gosselink, 2000)

เมื่อมีการขังน้ำในนาข้าว ปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นโดยเริ่มในสภาวะที่มีออกซิเจน ออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากการย่อยสลายของ organic substrate โดยมีค่าศักย์รีดอกซ์ระหว่าง 400 ถึง 600 มิลลิโวลต์ ดังสมการ

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow H_2O$$

ต่อมาเมื่อออกซิเจนหมดไป ระบบจะเปลี่ยนเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน NO_3^- จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวต่อไป โดยมีค่าศักย์รีดอกซ์ประมาณ 250 มิลลิโวลต์ ดังสมการ

$$2NO_3^- + 10e^- + 4H^+ \rightarrow N_2 + 6H_2O$$

จากนั้นค่าศักย์รีดอกซ์จะลดลงเรื่อยๆ แมงกานีสจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวต่อไป โดยจะมีค่าศักย์รีดอกซ์ประมาณ 225 มิลลิโวลต์ ดังสมการ

$$MnO_2 + 2e^- + 4H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$$

เหล็กจะเปลี่ยนจาก Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ที่ค่าศักย์รีดอกซ์เท่ากับ +100 ถึง -100 มิลลิโวลต์ ดังสมการ

$$Fe(OH)_3 + e^- + 3H^+ \rightarrow Fe^{2+} + 2H_2O$$

จากนั้น SO_4^{2-} ถูกรีดิวซ์เป็น S^{2-} ที่ค่าศักย์รีดอกซ์เท่ากับ -100 ถึง -200 มิลลิโวลต์ ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + 8e^- + 9H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$$

ท้ายสุด อินทรียวัตถุหรือคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายที่ค่าศักย์รีดอกซ์ต่ำกว่า -200 มิลลิโวลต์ เกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีโมเลกุลต่ำๆ และก๊าซมีเทน ดังสมการ

$$CO_2 + 8e^- + 8H^+ \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินจะแตกต่างกันตามสภาพของดิน เช่น สภาพที่ดินอิ่มตัวไปด้วยออกซิเจนหรือดินแห้ง ค่าศักย์รีดอกซ์จะมีค่าสูงและเป็นบวก แต่ถ้าดินมีน้ำท่วมขังค่าศักย์รีดอกซ์จะมีค่าต่ำหรืออาจมีค่าติดลบ ในสภาพที่มีการขังน้ำค่าศักย์รีดอกซ์ของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้าอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าศักย์รีดอกซ์จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการน้ำขังและลดลงจนถึงจุดต่ำสุดภายใน 1-2 สัปดาห์แรกของการขังน้ำ จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ การลดลงของค่าศักย์รีดอกซ์จะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอินทรียวัตถุ อุณหภูมิของดิน ค่าศักย์รีดอกซ์ และความเป็นกรด-ด่างของดินเดิมก่อนที่จะมีการขังน้ำ รวมทั้งชนิดและปริมาณของตัวรับอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในดิน (Mitsch และ Gosselink, 2000; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

2) การเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน

เมื่อดินนาอยู่ในสภาพที่มีการขังน้ำจะทำให้ดินกรดมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น เนื่องจาก Fe^{3+} ถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+} ทำให้ปริมาณของ H^+ ลดลง ดังสมการ

$$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^- \rightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$$
$$Fe_3(OH)_6 + 8H^+ + 2e^- \rightarrow 3Fe^{2+} + 8H_2O$$

ส่วนดินด่างจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำลง เนื่องจากมีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ไม่ว่าดินจะเป็นกรดหรือด่างเมื่ออยู่ในสภาพที่มีการขังน้ำค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจะถูกปรับเข้าสู่ความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง (neutral) ซึ่งมีค่าระหว่าง 6.7-7.2 ดินจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น หรือลดลง และคงที่หลังจากมีการขังน้ำได้ 2-3 สัปดาห์เนื่องจากถูกควบคุมด้วยความดัน (partial pressure) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน (PCO_2) เนื่องจากดินอยู่ในสภาพรีดักชันและสมดุลกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.1 ดังสมการ

$$pH = 6.1 - 5.8\log PCO_2$$

ความเป็นกรด-ด่างของดินที่ระดับนี้จะมีผลต่อสมดุลของไฮดรอกไซด์ (hydroxide) คาร์บอเนต (carbonate) ซัลเฟต (sulfate) ฟอสเฟต (phosphate) และซิลิเกต (silicate) ซึ่งสมดุลของสารประกอบเหล่านี้จะควบคุมการตกตะกอนและการละลายของสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในดินทำให้การดูดซับและการปลดปล่อยไอออนต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ Ponnamperuma (1972) รายงานว่า ดินที่มีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.6 เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างนี้ จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี ทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ทองแดง สังกะสี และโมลิบดินัมในดินสูงขึ้น รวมทั้งยังทำให้ระดับความเข้มข้นของสารประกอบต่างๆ เช่น อะลูมินัม แมงกานีส เหล็ก คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอินทรีย์ อยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อข้าว

3) การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของดิน

ค่าการนำไฟฟ้าของดินจะสูงขึ้นเมื่อดินอยู่ในสภาพที่มีการขังน้ำ แต่หากระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าจะแสดงถึงสมดุลระหว่างปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดไอออนและปฏิกิริยาที่ทำให้ตกตะกอน ในดินที่เป็นกรดการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 2-3 สัปดาห์แรกของการขังน้ำเป็นผลจากการที่ Fe^{3+}และ Mn^{4+} ถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+}และ Mn^{2+} ซึ่งละลายน้ำ แต่เมื่อมีการขังน้ำนานขึ้น Fe^{2+} และ Mn^{2+} สามารถตกตะกอนในรูป $Fe_3O_4.nH_2O$ และ $MnCO_3$ ซึ่งทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินภายหลังการขังน้ำ 2-3 สัปดาห์แรกกลับลดลง สำหรับดินที่เป็นด่าง ในช่วง 2-3 สัปดาห์แรก

ของการขังน้ำ ปริมาณของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะสูงขึ้นเพราะน้ำสามารถละลาย Ca^{2+} และ Mg^{2+} ได้เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่าสูงแต่เมื่อขังน้ำนานขึ้น Ca^{2+} และ Mg^{2+} สามารถตกตะกอนในรูป $CaCO_3$ และ $MgCO_3$ ซึ่งทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินลดลง

2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

1) การเปลี่ยนแปลงของเหล็ก (Fe)

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดเมื่อมีการขังน้ำในนาข้าว คือ การที่ Fe^{3+} ซึ่งไม่ละลายน้ำถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+} ซึ่งละลายน้ำ และน้ำยังทำให้เหล็กอยู่ในรูป Fe^{2+} ละลายได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) สามารถถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+} ดังสมการ

$$Fe(OH)_3 + OH^- + e^- \rightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$$

เมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำ Fe^{2+} จะละลายน้ำอยู่ในสารละลายดินจนถึงจุดสูงสุดและลดลง โดยในดินกรด Fe^{2+}จะสามารถละลายน้ำได้สูงขึ้น จนทำให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าวได้ ส่วนการลดลงของ Fe^{2+} เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำเป็นเวลานานซึ่งทำให้ความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นและ PCO_2 ลดลง Fe^{2+} จะตกตะกอนในรูป $Fe_3(OH)_8$ หรือ $Fe_3O_4.nH_2O$ ซึ่งทำให้ Fe^{2+} ลดลง และคงที่เมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำนานขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของปฏิกิริยารีดักชันของเหล็ก ได้แก่ ปริมาณและชนิดของ active Fe ปริมาณอินทรียวัตถุ และอุณหภูมิของดิน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Fe^{2+} ยังมีผลต่อความเข้มข้นของไอออนบวกอื่นๆ ด้วย เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, NH_4^+ และ K^+

2) การเปลี่ยนแปลงของแมงกานีส (Mn)

หลังจากที่ NO_3^- ถูกรีดิวซ์เนื่องจากขาดออกซิเจนในสภาพที่มีการขังน้ำ Mn^{4+} ซึ่งไม่ละลายน้ำจะถูกรีดิวซ์เป็น Mn^{2+} ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีกว่า หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันแล้ว ถ้าดินเป็นกรดหรือเป็นกรดอ่อน Mn^{2+} อาจอยู่ในสารละลายดิน หรืออาจถูกดูดซับอยู่ที่สารประกอบเชิงซ้อน (exchange complex) ในดิน แต่ถ้าดินมีความเป็นกรด-ด่างใกล้เป็นกลาง Mn^{2+} จะตกตะกอนเป็น $MnCO_3$ หรือเป็นออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของแมงกานีส

การเปลี่ยนแปลงของ Mn^{2+} ที่ละลายได้ในน้ำขึ้นอยู่กับสมบัติของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างและปริมาณอินทรียวัตถุ ในดินนาที่มีการขังน้ำ ส่วนใหญ่ปริมาณ Mn^{2+} ที่ละลายได้จะเพียงพอกับความต้องการของข้าว และไม่พบว่า Mn^{2+} มีความเป็นพิษในดินที่มีการขังน้ำ แต่ปริมาณ MnO_2 ที่มีอยู่เดิมในดิน

กับที่ใส่ลงไปเพิ่มอาจต้านทานการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของดิน และช่วยแก้ปัญหาปริมาณ Fe^{2+} และสารรีดิวซ์อื่นๆ ที่มีมากเกินไปได้

3) การเปลี่ยนแปลงของซัลเฟต (SO_4^{2-})

ก่อนจะเกิดรีดักชันของซัลเฟต Fe^{3+} จะถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+} จากนั้น SO_4^{2-} จะถูกรีดิวซ์เป็น S^{2-} เมื่อเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ขึ้น H_2S สามารถทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+} เกิดเป็น FeS ซึ่งตกตะกอน ปฏิกิริยานี้จะช่วยลดความเป็นพิษของ H_2S แต่หากดินมีปริมาณเหล็กต่ำจะทำให้ปริมาณเหล็กไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยากับ H_2S ดังนั้น จุลินทรีย์หรือพืชจึงอาจได้รับพิษจาก H_2S ได้ จุลินทรีย์ที่สามารถรีดิวซ์ SO_4^{2-} เป็น S^{2-} เป็นพวกดีซัลโฟวิบริโอ (desulfovibrio) ซึ่งเป็น anaerobic bacteria และใช้ SO_4^{2-} เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ แบคทีเรียกลุ่มนี้ใช้สารประกอบที่ได้จากกระบวนการหมักและก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ไปรีดิวซ์ SO_4^{2-} แบคทีเรียกลุ่มนี้มีความคงทนต่อ H_2S และปริมาณเกลือที่มีความเข้มข้นสูง โดยสามารถมีกิจกรรมได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.5-9.0 และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้า

$$SO_4^{2-} + 4H_2 \rightarrow S^{2-} + 4H_2O$$
$$SO_3^{2-} + 3H_2 \rightarrow S^{2-} + 3H_2O$$
$$S_2O_3 + 4H_2 \rightarrow 2SH^- + 3H_2O$$

thiosulfate mercaptans

การเปลี่ยนแปลงของ SO_4^{2-} ที่ละลายน้ำได้ในดินนาที่มีการขังน้ำขึ้นอยู่กับสมบัติของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความสำคัญของปฏิกิริยารีดักชันของ SO_4^{2-} ต่อการปลูกข้าว คือ ข้าวอาจขาดกำมะถัน (S) ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงที่เป็นกลางถึงด่างที่มีปริมาณ SO_4^{2-} ต่ำ ทำให้สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ เนื่องจากตกตะกอนเป็น ZnS และ CuS

4) การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต (PO_4^{3-})

ฟอสฟอรัสไม่ได้เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในดินที่มีน้ำขังโดยตรง แต่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ทำให้การขังน้ำมีผลต่อฟอสฟอรัส กล่าวคือ ทำให้ฟอสฟอรัสในดินเป็นประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากดินในสภาพที่มีออกซิเจน PO_4^{3-} จะอยู่รวมกับเหล็กในรูปของสารประกอบ strengite ($FePO_4.H_2O$) ซึ่งไม่ละลายน้ำ และถูกเคลือบด้วย ferric oxyhydroxide ที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นเมื่อมีการขังน้ำในนาข้าวทำให้ Fe^{3+} ถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+} ซึ่งทำให้ PO_4^{3-} สามารถแยกออกมาจากสารประกอบ $FePO_4.H_2O$ จึงทำให้ PO_4^{3-} เป็นประโยชน์ได้มากขึ้น แต่ถ้าขังน้ำในนานานเกินไปจะทำให้ PO_4^{3-} ลดลงเนื่องจาก PO_4^{3-} อาจถูกตรึงอยู่กับอนุภาคดินเหนียว (clay) หรือ อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ หรือทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับสารประกอบบางชนิด

การที่ PO_4^{3-} ละลายได้มากขึ้นเมื่อดินมีการขังน้ำเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

(1) สารประกอบ strengite ($FePO_4.H_2O$) เปลี่ยนเป็นสารประกอบ vivianite [$Fe_3(PO_4)_2.8H_2O$] ซึ่งสามารถละลายน้ำได้มากกว่า

(2) เมื่อมีการขังน้ำสารที่เคลือบอยู่กับ PO_4^{3-} คือ ferric oxyhydroxide จะถูกรีดิวซ์ทำให้ PO_4^{3-} ถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลายดินได้มากขึ้น

(3) เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ $Fe(OH)_2H_2PO_4$ และ $Al(OH)_2H_2PO_4$ ทำให้ PO_4^{3-} สามารถปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น

$$Fe(OH)_2H_2PO_4 + OH^- \rightarrow Fe(OH)_3 + H_2PO_4^-$$
$$Al(OH)_2H_2PO_4 + OH^- \rightarrow Al(OH)_3 + H_2PO_4^-$$

(4) เมื่อมีการขังน้ำไอออนประจุลบ (annion exchange) จะไปไล่ที่ PO_4^{3-} ที่ตรึงอยู่กับ Fe และ Al oxide ทำให้ PO_4^{3-} สามารถปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น

(5) เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันรุนแรง PO_4^{3-} สามารถปลดปล่อยออกมาได้มากขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$Fe_3(PO_4)_2 + 3H_2S \rightarrow 3FeS + 2H_3PO_4$$

5) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนบวก (cation exchange)

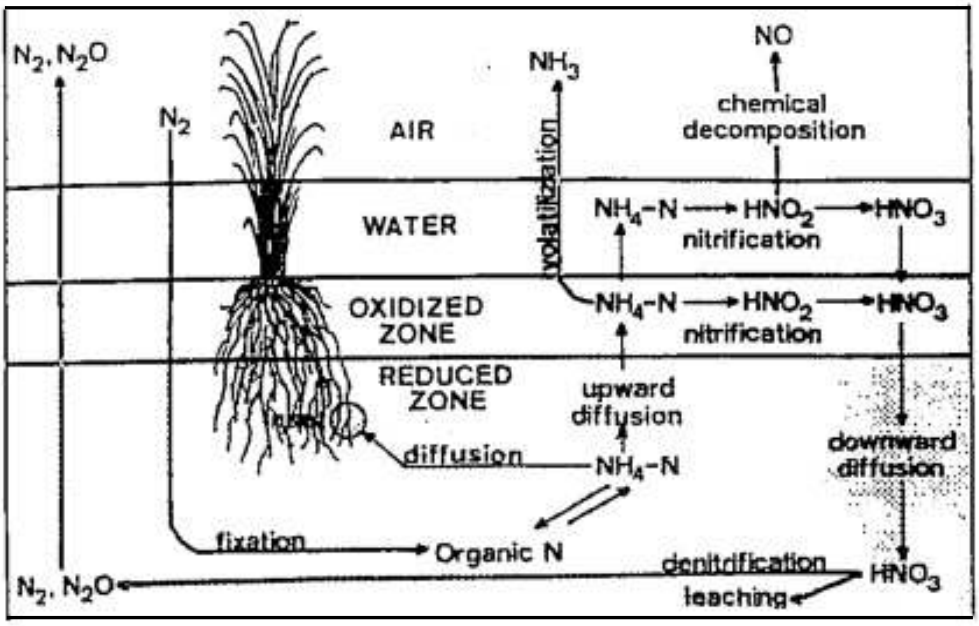
เมื่อมีการขังน้ำในนาข้าวจะทำให้ไอออนบวกมีปริมาณสูงขึ้น เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ และ K^+ เนื่องจากการขังน้ำทำให้ปริมาณของ Fe^{2+} และ Mn^{2+} เพิ่มสูงขึ้นซึ่ง Fe^{2+} และ Mn^{2+} ที่เพิ่มขึ้นนี้จะไปไล่ที่ไอออนบวกที่ตรึงอยู่กับสารประกอบชนิดอื่นๆ ให้ถูกปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายดินได้ดีขึ้น

6) การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (N)

ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน แต่รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ รูปของอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น NO_3^- และแอมโมเนียม (NH_4^+) ในดินที่มีการถ่ายเทอากาศดีจะเกิดปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) และไนตริฟิเคชัน (nitrification) ดังนี้

ไนโตรเจนอินทรีย์ → แอมโมเนียม (NH_4^+) → ไนไตรต์ (NO_2^-) → ไนเตรต (NO_3^-)

เมื่อดินนาอยู่ในสภาพที่มีการขังน้ำจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 บริเวณ คือ ดินชั้นบนบางๆ ที่มีออกซิเจนอยู่บ้าง (oxidized zone) และดินชั้นล่างที่มีสภาพขาดออกซิเจน (reduced zone) การเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในดินชั้นบนจะเหมือนกับดินที่มีออกซิเจนซึ่งจะเกิดปฏิกิริยา nitrification ได้ NO_3^- ส่วนดินชั้นล่างจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยมีการสะสม NH_4^+ เพิ่มสูงขึ้นทำให้ NH_4^+ ไม่สามารถถูกออกซิไดซ์เป็น NO_3^- ได้ การสะสม NH_4^+ ขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะสะสม NH_4^+ ได้สูงกว่าดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำ และดินที่มีอัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจน (C: N ratio) ของดินแคบจะมีการสะสม NH_4^+ ได้สูงกว่าดินที่มีอัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนกว้าง อีกทั้งการขังน้ำในนาข้าวยังทำให้มีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซ เช่น ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งจะเห็นว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเป็นการสูญเสียไนโตรเจนในนาข้าวและยังปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศอีกด้วย (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงรูปไนโตรเจนในดินที่มีการขังน้ำในนาข้าว
ที่มา: Reddy (1982)

2.6.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ

กระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ได้กล่าวมาแล้วจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) จำนวนของจุลินทรีย์

ดินที่ใช้ปลูกข้าวจะมีจุลินทรีย์ประเภท aerobes, facultative anaerobes และ obligate anaerobes ในปริมาณและสัดส่วนที่ต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ขังในนาข้าว การที่มีน้ำขังในนาข้าวทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนซึ่งมักพบจุลินทรีย์ประเภท anaerobes แต่สามารถพบว่าชั้นบางๆ บริเวณที่ผิวดินสัมผัสกับน้ำอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนซึ่งจะพบจุลินทรีย์ประเภท aerobes อย่างไรก็ตามชั้นที่มีออกซิเจนนี้อาจหายไปได้หากมีการขังน้ำในปริมาณมากและเป็นเวลานาน ในดินที่มีการขังน้ำแบคทีเรียจะเป็นจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุด และในเขตบริเวณรากข้าวจะพบจุลินทรีย์มากกว่าบริเวณที่อยู่ห่างออกไป โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะเกาะแน่นที่ผิวของรากข้าวและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงขึ้น จุลินทรีย์ที่พบมากบริเวณรากข้าว คือ *Mycobacteria*, *Bacillus* และ *Pseudomonas* บางครั้งพบพวก aerobic bacteria รวมทั้งรา (fungi) ไส้เดือนฝอย (nematode) ยีสต์ (yeast) และโปรโตซัว (protozoa) ภายในเนื้อเยื่อของรากข้าว

2) กิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีการขังน้ำ

ในสภาพที่มีการขังน้ำทำให้จุลินทรีย์ในดินเกิดการเปลี่ยนแปลง จุลินทรีย์ประเภท facultative anaerobes จะมาแทนที่จุลินทรีย์ประเภท aerobes อย่างเดียว และจุลินทรีย์ประเภท anaerobes จะมีกิจกรรมสูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอย่างมาก แต่ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดคือปฏิกิริยารีดักชัน โดยจุลินทรีย์จะรีดิวซ์สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ไปตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

(1) กิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่มีออกซิเจน (aerobic metabolism)

กิจกรรมของจุลินทรีย์ในชั้นดินที่ถูกออกซิไดซ์จะเหมือนกับกิจกรรมที่อยู่ในสภาพที่มีออกซิเจน สารประกอบอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรป (heterotroph) เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแอมโมเนียม จากนั้นจุลิทรีย์กลุ่มเคโมออโตโทรป (chemoautotroph) จะนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ต่อในปฏิกิริยาถัดไป (ตารางที่ 2.2)

(2) กิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic metabolism)

เมื่อ aerobic bacteria ใช้ออกซิเจนหมดไป anaerobic bacteria จะมีกิจกรรมสูงขึ้นโดยจะใช้สารประกอบอนินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนไปตามลำดับทีละอนุมูล (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในสภาพที่มีออกซิเจน

แบคทีเรีย	ปฏิกิริยาทางชีวเคมี		
heterotrophic	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$	→	$6CO_2 + 6H_2O$
heterotrophic	$CH_3CH_2OH + H_2$	→	$CH_3COOH + H_2O$
Nitrosomonas sp.	$2NH_4^+ + 3O_2$	→	$2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$
Nitrobacter sp.	$2NO_2^- + O_2$	→	$2NO_3^-$
maganese oxidizing	$Mn^{2+} + O_2$	→	MnO_2
iron bacteria	$4Fe^{2+} + 4H^+ + O_2$	→	$4Fe^{3+} + 2H_2O$
Thiobacillus sp.	$2S + 3O_2 + 2H_2O$	→	$2H_2SO_4$
Beggiatoa sp.	$2H_2S + O_2$	→	$2S + 2H_2O$
methane oxidizing	$CH_4 + 2O_2$	→	$CO_2 + 2H_2O$
Hydrogenomonas sp.	$2H_2 + O_2$	→	$2H_2O$

ที่มา: Yoshida (1978) อ้างถึงในทัศนีย์ อัตตะนันทน์ (2550)

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน

แบคทีเรีย	ปฏิกิริยาทางชีวเคมี		
heterotrophic	$C_6H_{12}O_6$	→	$2CO_2 + 2C_2H_5OH$
denitrifying	$C_6H_{12}O_6 + 4NO_3^-$	→	$6CO_2 + 6H_2O + 2N_2$
denitrifying	$5CH_3COOH + 8NO_3^-$	→	$10CO_2 + 6H_2O + 8OH^- + 4N_2$
nitrate reducing	$CH_3COOH + NO_3^-$	→	$2CO_2 + OH^- + NH_3$
maganese reducing	$CH_3COOH + MnO_2$	→	$2CO_2 + Mn^{2+} + 4H^+$
iron reducing	$CH_3COOH + 8Fe^{3+} + 2H_2O$	→	$2CO_2 + 8Fe^{2+} + 8H^+$
Desulfovibrio sp.	$H_2 + SO_4^{2-}$	→	$S^{2-} + 4H_2O$
sulfate reducing	$2CH_3CHOHCOOH + SO_4^{2-}$	→	$2CH_3COOH + 2H_2O + 2CO_2 + S^{2-}$
Methanomonas sp.	$CO_2 + 4H_2$	→	$CH_4 + 2H_2O$

ที่มา: Yoshida (1978) อ้างถึงในทัศนีย์ อัตตะนันทน์ (2550)

3) การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารบริเวณรากข้าว

ข้าวเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีการขังน้ำ ซึ่งข้าวมีลักษณะพิเศษ คือ ก๊าซออกซิเจนสามารถเข้าไปในรากได้โดยผ่านช่องอากาศ (air space) ที่บริเวณกาบใบ โดยพื้นที่ที่รากข้าวแผ่กระจายออกไปส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณดินชั้นบนซึ่งเป็นบริเวณที่มีออกซิเจน ดังนั้น บริเวณรากข้าวจะเกิดจุดสัมผัสระหว่างส่วนที่มีก๊าซออกซิเจนและส่วนที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนเหมือนกับการมีชั้นออกซิไดซ์สัมผัสกับชั้นรีดิวซ์ นอกจากนี้ยังพบว่าการตรึงไนโตรเจนในบริเวณรากข้าวสามารถเกิดขึ้นโดยไนโตรเจนจากชั้นบรรยากาศแพร่ผ่านชั้นน้ำลงไปในดินบริเวณรากข้าว ซึ่งในบริเวณนี้จะมีคาร์โบไฮเดรตและก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการตรึงไนโตรเจนเหมือนดินชั้นบน และพบว่าประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำจะดีกว่าสภาพที่มีออกซิเจนสูง เนื่องจากเอนไซม์ของการตรึงก๊าซไนโตรเจนจะไวต่อก๊าซออกซิเจน

2.6.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของดินในนาข้าวมีความสำคัญน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงที่กล่าวมาทั้ง 3 ด้าน เนื่องจากในทางปฏิบัติเกษตรกรนิยมไถกลบ ไถพรวน และไถทำเทือกทำดินให้เป็นตม (puddling) ซึ่งทำให้โครงสร้างของดินเสีย ดินจะแข็งและแน่นทึบขึ้น แต่ข้อดีของการไถทำเทือก คือ ง่ายต่อการปักดำ ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น และยังเป็นการทำลายวัชพืชด้วย

ในดินที่มีเนื้อหยาบ ถ้าทำดินให้อัดตัวกันแน่น (compaction) โดยใช้รถไถหนักๆ วิ่งไปวิ่งมาเพื่อให้ได้ความหนาแน่นตามต้องการก่อนที่จะปล่อยน้ำเข้านาจะทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้น และช่วยลดปริมาณการใช้น้ำเมื่อเปรียบเทียบการทำดินให้เป็นตม

2.7 การเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ และการเจริญเติบโตทางด้านเมล็ด รายละเอียดของการเจริญเติบโตแต่ละระยะมีดังนี้

2.7.1 การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth)

การเจริญเติบโตในช่วงนี้แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

1) ระยะต้นกล้า (seedling stage)

การเจริญเติบโตในระยะนี้จะเริ่มตั้งแต่ข้าวเริ่มงอกจากเมล็ดจนกระทั่งข้าวเริ่มแตกกอ ข้าวมีจำนวนใบ 5-6 ใบ ระยะนี้ข้าวจะใช้อาหารจากเมล็ดเป็นส่วนใหญ่ การเจริญเติบโตในระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 20 วัน

2) ระยะข้าวแตกกอ (tillering stage)

การเจริญเติบโตในระยะนี้จะเริ่มตั้งแต่ข้าวเริ่มแตกกอ ข้าวแตกกอสูงสุด จนกระทั่งข้าวเริ่มสร้างดอกอ่อน ในระยะที่ข้าวแตกกอสูงสุด (maximum tillering stage) ถ้าเป็นข้าวนาปี ข้าวจะรอช่วงแสงที่สั้นกว่าแสงวิกฤต (critical photoperiod) จึงจะออกดอก การเจริญเติบโตในระยะนี้จะอยู่ในช่วงประมาณวันที่ 21-50 นับจากวันเริ่มปลูกข้าว

2.7.2 การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth)

การเจริญเติบโตในช่วงนี้แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

1) ระยะสร้างดอกอ่อนหรือระยะเกิดช่อดอก (panicle initiation stage)

เมื่อข้าวผ่านระยะข้าวแตกกอสูงสุดแล้ว ต้นข้าวจะยืดลำต้นสูงขึ้นและเปลี่ยนลักษณะจากลำต้นแบนมาเป็นลำต้นกลม ข้าวจะสร้างจุดกำเนิดช่อดอก (primordium of panicle) บริเวณปลายข้อสุดท้ายภายในต้นข้าว ซึ่งจะเห็นจุดสีขาวปุยๆ รูปสามเหลี่ยม และต่อไปจะพัฒนาเป็นรวงข้าว จากนั้นข้าวจะสร้างช่อดอก (panicle initiation) โดยมีก้านดอกประกอบด้วยดอกเล็กๆ โดยรอบ การเจริญเติบโตในระยะนี้จะอยู่ในช่วงประมาณวันที่ 51-65 นับจากวันเริ่มปลูกข้าว หลังจากนั้นจึงจะเข้าสู่ระยะข้าวตั้งท้อง

2) ระยะข้าวตั้งท้อง (booting stage)

ในระยะนี้ดอกอ่อนของข้าวจะเริ่มขยายตัวใหญ่ขึ้นจนเป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ ซึ่งจะเห็นว่ากาบใบของใบธง (flag leaf sheath) ห่อหุ้มช่อดอกจนมีลักษณะบวมเป่งคล้ายกับต้นข้าวตั้งท้องซึ่งสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน การเจริญเติบโตในระยะนี้จะอยู่ในช่วงประมาณวันที่ 66-72 นับจากวันเริ่มปลูกข้าว หลังจากนั้นจึงจะเข้าสู่ระยะออกดอกและผสมพันธุ์

3) ระยะออกดอกและผสมพันธุ์ (flowering and fertilization stage)

เมื่อข้าวตั้งท้องเต็มที่แล้ว ข้าวจะส่งช่อดอก (heading) ออกจากกาบใบ ต่อจากนั้นดอกข้าวจะบาน (flowering) พร้อมในการปฏิสนธิ เมื่อดอกข้าวบานอับเกสรจะแตกออกทำให้ละลองเกสรผสมกัน (fertilization) ซึ่งถือเป็นการสิ้นสุดการเจริญเติบโตในระยะนี้ การเจริญเติบโตในระยะนี้จะอยู่ในช่วงประมาณวันที่ 73-87 นับจากวันเริ่มปลูกข้าว หลังจากนั้นจึงจะเข้าสู่ระยะเมล็ดน้ำนม

2.7.3 การเจริญทางด้านเมล็ด (grain development)

การเจริญเติบโตในช่วงนี้แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

1) ระยะเมล็ดน้ำนม (milk grain stage)

หลังการปฏิสนธิภายในรังไข่และเกิดการแบ่งตัวของเซลล์จะพบว่า ภายในกลีบดอกที่ปฏิสนธิแล้ว ถ้าใช้มือบีบจะมีลักษณะคล้ายน้ำนมสีขาวขุ่นเหลวๆ การเจริญเติบโตในระยะนี้จะอยู่ในช่วงประมาณวันที่ 88-97 นับจากวันเริ่มปลูกข้าว หลังจากนั้นจึงจะเข้าสู่ระยะเมล็ดแป้ง

2) ระยะเมล็ดแป้ง (dough stage)

หลังจากระยะเมล็ดน้ำนม เมล็ดจะมีการพัฒนามากขึ้นจากน้ำนมสีขาวขุ่นเหลวๆ เป็นเมล็ดแป้งที่แข็งขึ้น การเจริญเติบโตในระยะนี้จะอยู่ในช่วงประมาณวันที่ 98-107 นับจากวันเริ่มปลูกข้าว หลังจากนั้นจึงจะเข้าสู่ระยะเมล็ดสุกแก่

3) ระยะเมล็ดสุกแก่ (ripening grain stage)

หลังจากระยะเมล็ดแป้ง เมล็ดจะพัฒนามากขึ้นเป็นเมล็ดที่แข็งขึ้นพร้อมในการเก็บเกี่ยว การเจริญเติบโตในระยะนี้จะอยู่ในช่วงวันที่ 108-120 นับจากวันเริ่มปลูกข้าว (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2526)

2.8 ระบบปลูกข้าวในประเทศไทย (rice cropping system in Thailand)

ระบบการปลูกข้าวในประเทศไทยแตกต่างไปจากระบบการปลูกข้าวในเขตร้อนโดยทั่วไป โดยแบ่งเป็น 3 ระบบหลักๆ คือ ระบบการทำนาหยอด ระบบการทำนาหว่าน และระบบการทำนาดำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.8.1 ระบบการทำนาหยอด (direct seed system)

โดยปกติการทำนาหยอดจะใช้กับการปลูกข้าวไร่หรือนาที่ฝนไม่ตกตามฤดูกาลทำให้ไม่สามารถเตรียมน้ำสำหรับปักดำต้นกล้าได้ การทำนาหยอดจะเริ่มจากการไถกลบ (ไถดะ) ตั้งแต่ฝนเริ่มตก เพื่อกำจัดวัชพืช หลังจากนั้นทำการไถพรวน (ไถแปร) และไถทำเทือก (ไถคราด) แล้วเก็บวัชพืชออกจากนา การทำนาหยอดแบ่งได้ 2 แบบ คือ การหยอดเป็นหลุม และการหยอดตามร่อง

2.8.2 ระบบการทำนาหว่าน (broadcast system)

1) การทำนาหว่านสำรวย

โดยปกติการทำนาหว่านสำรวยจะใช้กับข้าวขึ้นน้ำเพราะพื้นที่สำหรับหว่านข้าวจะเป็นที่ลุ่มและน้ำบ่าเข้าท่วมเร็ว หรือข้าวนาสวนที่มีพื้นที่ลาดเทมากสามารถควบคุมน้ำได้ และมีจำนวนแรงงานไม่เพียงพอสำหรับการทำนาดำ การทำนาหว่านสำรวยมักจะไถกลบตั้งแต่ต้นฤดูฝนหรือปลายเดือนเมษายน เพื่อให้หญ้าตาย เมื่อฝนเริ่มตกชุกจึงไถพรวนแล้วจึงหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวในสภาพข้าวแห้ง โดยทั่วไปใช้อัตราประมาณ 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อหว่านเมล็ดพันธุ์แล้ว หากดินเป็นดินร่วนหรือค่อนข้างร่วนจะกลบหน้าดินเพื่อป้องกันนก หนู กินเมล็ดข้าว แต่หากเป็นดินแข็ง เมื่อไถพรวนแล้วควรจะรีบหว่านข้าว เพื่อให้เมล็ดข้าวไม่อยู่ลึกเกินไปซึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวงอกได้น้อย

2) การทำนาหว่านน้ำตม

การเตรียมแปลงนาเพื่อทำนาหว่านน้ำตม เริ่มจากการปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอ โดยการไถกลบเพื่อปรับสภาพดินและกำจัดวัชพืช จากนั้นทำการไถพรวนและไถทำเทือก หากมีวัชพืชจำนวนมากให้ขังน้ำไว้ประมาณ 3 สัปดาห์ เพื่อให้เมล็ดวัชพืชงอกให้หมด แล้วทำการไถทำเทือกซ้ำอีกครั้งหนึ่ง วัชพืชจะหลุดออกจากดินและลอยอยู่ในนาทำให้เก็บออกได้ง่ายขึ้น แล้วจึงระบายน้ำออกและปรับเทือกให้สม่ำเสมอ โดยเทือกที่ดีจะต้องไม่แข็งหรือเละจนเกินไป ถ้าเทือกแข็งเกินไป เมื่อหว่านเมล็ดข้าวจะลอยอยู่บนดิน รากข้าวแทงลงดินได้ยาก ถ้าเทือกเละเกินไป เมล็ดข้าวจะจมดินทำให้เน่าเสียหาย สำหรับนาที่เป็นดินทรายมีตะกอนหรือมวลดินน้อย หลังจากไถทำเทือกแล้วให้หว่านข้าวทันที แล้วขังน้ำไว้ 1 คืน เพื่อให้ตะกอนดินตกทับเมล็ดข้าว แล้วจึงระบายน้ำออก เพราะหากระบายน้ำออกก่อนหว่านข้าว รากข้าวจะไม่ยึดเกาะกับดิน อัตราเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ประมาณ 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ การหว่านข้าวในอัตราที่สูงเกินไปจะทำให้ข้าวแตกกอไม่ดีส่งผลให้ผลผลิตข้าวต่ำ

ภายหลังการหว่านข้าว 5-6 วัน เปิดน้ำเข้านาให้มีระดับน้ำ 2-3 เซนติเมตร เหนือพื้นดิน แล้วค่อยๆ เพิ่มระดับน้ำตามความสูงของต้นข้าว แต่ไม่ควรเกิน 5 เซนติเมตร เพราะถ้าระดับน้ำสูงเกินไปจะทำให้ต้นข้าวหนีน้ำ ลำต้นสูง และแตกกอน้อย เมื่อข้าวแตกกอสูงสุดอาจเพิ่มความสูงของระดับน้ำ แต่ไม่ควรเกิน

10 เซนติเมตร ภายหลังการหว่านข้าว 20-30 วัน สามารถใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ได้ ก่อนข้าวออกดอกประมาณ 40 วัน ควรระบายน้ำออกจากนาข้าวเพื่อเป็นการระบายก๊าซในนาข้าวออกไป ซึ่งจะทำให้รากข้าวเจริญได้ดีขึ้นและทำให้ลำต้นของข้าวไม่ยืดสูงเกินไปซึ่งจะทำให้ข้าวล้มง่าย

2.8.3 ระบบการทำนาดำ (transplanting system)

การทำนาดำมี 4 ขั้นตอน คือ การตกกล้า การถอนกล้า การเตรียมแปลงปักดำ และการปักดำ โดยก่อนการตกกล้าควรเตรียมพื้นที่ที่ใกล้แหล่งน้ำเพื่อใช้เป็นแปลงเพาะต้นกล้า โดยหว่านเมล็ดข้าวที่แช่น้ำเอาไว้ 1 คืน และใช้ผ้าที่ชุ่มน้ำห่อเมล็ดข้าวอีก 2 คืน เมื่อต้นกล้าเริ่มแตกหน่อจึงค่อยๆ เปิดน้ำเข้าแปลงนาในระดับที่ไม่ลึกมาก จากนั้นจึงถอนต้นกล้าโดยไม่ให้รากขาดเพื่อนำไปปักดำ ต้นกล้าควรมีอายุประมาณ 25-30 วัน การเตรียมแปลงปักดำควรเตรียมตั้งแต่มีการตกกล้า โดยเตรียมแปลงนาให้สม่ำเสมอ ไม่มีวัชพืช และไถทำเทือกให้ดินไม่แข็งพร้อมในการปักดำ และในการปักดำควรใช้ต้นกล้าเพียงกำละ 3-4 ต้น และระยะในการปักดำขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพื้นที่ ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำควรปักดำให้ถี่ในระยะ 20-25 เซนติเมตร ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงควรปักดำให้ห่างในระยะ 30 เซนติเมตร ระดับน้ำในแปลงนาไม่ควรลึกมากเพราะจะทำให้ต้นกล้าตาย และไม่ควรปักต้นกล้าให้ลึกมากเพราะจะทำให้ต้นกล้าตั้งตัวและแตกกอได้ช้า (วิโรจน์ อิ่มพิทักษ์, 2531 อ้างถึงใน ชาติชาย มณีสุวรรณ, 2545)

2.9 การปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก

2.9.1 ลักษณะทั่วไปของหญ้าแฝก

หญ้าแฝก มีชื่อสามัญว่า vetiver grass เป็นพืชล้มลุกข้ามปี (perennial grass) ที่จัดอยู่ในวงศ์หญ้า (วงศ์ Poaceae) หรือรู้จักกันดีว่าวงศ์ Gramineae เช่นเดียวกับข้าว ข้าวฟ่าง ตะไคร้ และหญ้าคา (ธนียา เจติยานุกรกุล, 2539) และอยู่ในสกุล *Vetiveria* หญ้าแฝกพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศตั้งที่พื้นที่ลุ่มจนถึงพื้นที่ดอน หญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยมี 2 ชนิด คือ หญ้าแฝกลุ่มหรือหญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) และหญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus) โดยหญ้าแฝกทั้ง 2 ชนิด สามารถเจริญได้ดีในดินเกือบทุกชนิด ลักษณะโดยทั่วไปของหญ้าแฝกจะขึ้นเป็นกอ ทรงพุ่ม เส้นผ่าศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร มีลำต้นขนาดเล็กและมีข้อปล้องไม่ชัดเจน ความสูงจากยอดถึงโคนประมาณ 50-150 เซนติเมตร ใบแคบและยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ขอบใบขนานมีปลายสอบแหลม และมีหนามละเอียด ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อจากส่วนของลำต้นใต้ดินและสามารถขยายพันธุ์แบบอาศัยเพศด้วยการติดเมล็ดในดอกสมบูรณ์เพศแต่เมล็ดมีความสามารถในการงอก (vitality) จำกัดเพียงระยะสั้น หากพบกับสภาพแห้งแล้ง แดดจัด และลมแรงจะสูญเสียความสามารถในการงอก รากของหญ้า

แฝกเป็นส่วนสำคัญและมีลักษณะพิเศษที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นหลัก กล่าวคือ รากสามารถเจริญอย่างรวดเร็ว หยั่งรากลึกลงในดินและแตกแขนงเป็นรากฝอยประสานกันแน่นเหมือนตาข่ายหรือร่างแหเกาะยึดกันให้มีความมั่นคงแข็งแรง รากของหญ้าแฝกจะช่วยชะลอการไหลซึมของน้ำใต้ดินทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ระบบรากจะแผ่ขยายกว้าง จากรอบกอเพียง 50 เซนติเมตร ทำให้ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง ดังนั้น จึงสามารถนำหญ้าแฝกมาปลูกเพื่อใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ดินมีความชุ่มชื้นและรักษาหน้าดินได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

2.9.2 การใช้หญ้าแฝกปรับปรุงดิน

สุมล โสภากร และดิเรก เทพาทิพย์ (2546) ได้ทำการศึกษาเพื่อคัดเลือกพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมที่จะใช้ปลูกในดินเสื่อมโทรม โดยใช้หญ้าแฝกลุ่ม 5 พันธุ์ คือ พันธุ์อินเดียใต้ ฟิจิ พระราชทาน มอนโต และสุราษฎร์ธานี และหญ้าแฝกดอน 5 พันธุ์ คือ พันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ร้อยเอ็ด กำแพงเพชร ราชบุรี และนครสวรรค์ ศึกษาการเจริญเติบโตด้านความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง จำนวนต้นต่อกอ และน้ำหนักสดของราก รวมทั้งสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์คาร์บอน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความหนาแน่นรวมของดิน และความชื้นของดิน พบว่า หญ้าแฝกที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด 3 ลำดับแรก ตามพารามิเตอร์แต่ละด้าน มีดังนี้ คือ ความสูง ได้แก่ หญ้าแฝกพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ (243.3 เซนติเมตร) ราชบุรี (227.0 เซนติเมตร) และนครสวรรค์ (220.0 เซนติเมตร) เส้นผ่าศูนย์กลางของกอ ได้แก่ หญ้าแฝกพันธุ์นครสวรรค์ (23.3 เซนติเมตร) ราชบุรี (22.7 เซนติเมตร) และมอนโต (22.3 เซนติเมตร) จำนวนต้นต่อกอ ได้แก่ หญ้าแฝกพันธุ์พระราชทาน (60.7 ต้นต่อกอ) นครสวรรค์ (59.0 ต้นต่อกอ) และราชบุรี (55.3 ต้นต่อกอ) น้ำหนักสดของราก ได้แก่ หญ้าแฝกพันธุ์นครสวรรค์ (2,130.0 กรัมต่อกอ) สุราษฎร์ธานี (1,893.3 กรัมต่อกอ) และร้อยเอ็ด (1,726.7 กรัมต่อกอ) สำหรับการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน พบว่า ดินที่ปลูกหญ้าแฝกลุ่มและหญ้าแฝกดอนมีสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินดีกว่าดินที่ไม่ได้ปลูกหญ้าแฝกทุกพารามิเตอร์ กล่าวคือ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงขึ้น จากดินที่เป็นกรดปานกลาง (ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.9) กลายเป็นดินที่เป็นกรดเล็กน้อย (ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.3) ซึ่งเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืชยิ่งขึ้น อินทรีย์คาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.47 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.64 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก จาก 1.2 ส่วนในล้านส่วน เป็น 37.9 ส่วนในล้านส่วน โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากจาก 36 ส่วนในล้านส่วน เป็น 107 ส่วนในล้านส่วน ส่วนความหนาแน่นรวมของดินมีค่าใกล้เคียงกัน ระหว่างดินที่ปลูกแฝกกับดินที่ไม่ได้ปลูกแฝกมีค่าระหว่าง 1.50-1.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความชื้นของดินมีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม พบแนวโน้มว่าความชื้นในดินที่ปลูกแฝกสูงกว่าดินที่ไม่ได้ปลูกแฝก มีค่าระหว่าง 0.81-21.50 เปอร์เซ็นต์

อิสริยา มีสิงห์ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกในการฟื้นฟูดินในนาข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยศึกษาในแปลงนาทดลองที่ต่างกัน 8 แบบ คือ แปลงควบคุม แปลงตามวิธีของเกษตรกร แปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งแบ่งได้ 3 แบบ คือ ปลูกหญ้าแฝกแล้วตัดใบออกที่ระดับผิวดินเมื่ออายุ 4, 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ และแปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 ซึ่งแบ่งได้ 3 แบบ คือ ปลูกหญ้าแฝกแล้วตัดใบออกที่ระดับผิวดินเมื่ออายุ 4, 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ โดยทุกแปลงนาทดลองใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (ยกเว้นแปลงควบคุม) จากนั้นปลูกข้าวในแปลงนาทดลองทั้ง 8 แปลง โดยได้ทำการปลูกข้าว 2 ฤดูกาลเพาะปลูกติดต่อกัน ใช้ข้าวพันธุ์ กข 6 ในฤดูกาลแรก และข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ในฤดูกาลถัดไป และวิเคราะห์สมบัติของดินก่อนและหลังการปลูกหญ้าแฝก ผลการวิจัย พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความหนาแน่นรวมของดินก่อนปลูกหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าดินหลังปลูกหญ้าแฝก มีค่าเท่ากับ 5.5, 5.3 และ 1.74, 1.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของดินก่อนปลูกหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าดินหลังปลูกหญ้าแฝก มีค่าเท่ากับ 0.61, 0.66 เปอร์เซ็นต์, 6.25, 12.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 160.0, 476.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาระหว่างแปลงนาทดลองทั้ง 8 แปลง พบว่า ดินหลังปลูกหญ้าแฝกของแปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ที่ตัดใบออกเมื่ออายุ 6 เดือนมีค่าอินทรียวัตถุและโพแทสเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 0.84 เปอร์เซ็นต์ และ 554.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 ที่ตัดใบออกเมื่ออายุ 4 เดือนมีค่าความเป็นกรด-ด่างและความหนาแน่นรวมของดินสูงที่สุดเท่ากับ 5.6 และ 1.74 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และแปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 ที่ตัดใบออกเมื่ออายุ 6 เดือนมีค่าฟอสฟอรัสสูงที่สุดเท่ากับ 16.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในด้านการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ในฤดูเพาะปลูกทั้งสองฤดู ความสูง เมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนักข้าว 100 เมล็ดของแปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ที่ตัดใบออกเมื่ออายุ 6 เดือนมีค่าดังกล่าวสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 ที่ตัดใบออกเมื่ออายุ 6 เดือน แต่ในด้านผลผลิตข้าว พบว่า แปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์สงขลา 3 ที่ตัดใบออกเมื่ออายุ 6 เดือนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 497.5 กิโลกรัมต่อไร่ ในฤดูกาลเพาะปลูกแรก และ 247.5 กิโลกรัมต่อไร่ ในฤดูกาลเพาะปลูกถัดมา รองลงมา คือ แปลงที่ปลูกหญ้าแฝกพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ที่ตัดใบออกเมื่ออายุ 6 เดือน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 435.0 และ 245.0 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

2.10 การปรับปรุงดินด้วยปอเทือง

2.10.1 ลักษณะทั่วไปของปอเทือง

ปอเทือง มีชื่อสามัญว่า sunn hump มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Crotalaria juncea* L. อยู่ในวงศ์ Leguminosae เป็นพืชวงศ์ถั่วชนิดหนึ่ง ลำต้นตั้งตรงสูงประมาณ 150-170 เซนติเมตร ช่อดอกประกอบด้วยดอกย่อยประมาณ 8-10 ดอก ดอกสีเหลือง โดยจะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 45-50 วัน เติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่ดอนที่มีการระบายน้ำดี ทนแล้ง และไม่ชอบน้ำท่วมขัง ปลูกเป็นปุ๋ยพืชสดโดยวิธีหว่านเมล็ดพันธุ์ในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดในช่วงออกดอก เมื่ออายุประมาณ 50 วัน สำหรับการปลูกเพื่อขยายพันธุ์ทำได้โดยหยอดเมล็ดหลุมละ 3 เมล็ด ใช้ระยะปลูก 50x100 เซนติเมตร เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุประมาณ 120-150 วัน ปอเทืองเป็นพืชที่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสได้ดี ปอเทืองจะให้น้ำหนักสดต่อการไถกลบประมาณ 240-800 กิโลกรัมต่อไร่ ขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของดินและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่นั้นๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2555ก)

2.10.2 การใช้ปอเทืองปรับปรุงดิน

กมลาภา วัฒนประพัฒน์ (2549) ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยพืชสดวงศ์ถั่วต่อสมบัติทางเคมีและชีวภาพของดิน และผลผลิตข้าวโพดหวานในชุดดินปากช่อง โดยใช้พืชวงศ์ถั่ว 3 ชนิด คือ ถั่วพุ่ม (*Vigna unguiculata*) ถั่วพร้า (*Canavalia ensiformis*) และปอเทือง (*Crotalaria juncea*) ที่สับส่วนต้นและรากไถกลบลงในแปลงข้าวโพดหวาน วิเคราะห์สมบัติของดินก่อนการทดลอง (หลังการไถกลบ 15 วัน) และหลังการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า พืชวงศ์ถั่วทั้ง 3 ชนิด สะสมธาตุอาหารไนโตรเจนไว้ในส่วนต้นและรากเท่ากับ 11.67, 13.78 และ 10.90 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ การปรับปรุงดินด้วยพืชวงศ์ถั่วทั้ง 3 ชนิดทำให้ความหนาแน่นรวมของดินหลังปลูกข้าวโพดหวานมีค่าต่ำกว่าก่อนปลูกข้าวโพดหวาน มีค่าอยู่ในช่วง 1.38-1.40 และ 1.40-1.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินหลังปลูกข้าวโพดหวานมีค่าอยู่ในช่วง 1.99-2.01 เปอร์เซ็นต์, 0.108-1.148 เปอร์เซ็นต์, 16.25-18.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, 1,772-1,869 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนดินก่อนปลูกข้าวโพดหวานมีค่าอยู่ในช่วง 1.80-1.85 เปอร์เซ็นต์, 0.03 เปอร์เซ็นต์, 15.98-16.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 1,640-1,649 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าดินหลังปลูกข้าวโพดหวานมีค่าดังกล่าวสูงกว่าดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน ในด้านผลผลิตข้าวโพดหวาน พบว่า แปลงที่ใช้ถั่วพุ่มเป็นปุ๋ยพืชสดมีผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 1,723 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ แปลงที่ใช้ถั่วพร้าเป็นปุ๋ยพืชสดมีค่าเท่ากับ 1,718 กิโลกรัมต่อไร่ และแปลงที่ใช้ปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสดมีค่าเท่ากับ 1,658 กิโลกรัมต่อไร่

ชุติมา สุรีพิทักษ์ (2550) ได้ทำการศึกษาการใช้พืชวงศ์ถั่วเป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว โดยใช้พืชวงศ์ถั่ว 3 ชนิด คือ โสนอัฟริกัน (*Sesbania rostrata*) ถั่วเขียว (*Vigna radiata*) และปอเทือง (*Crotalaria juncea*) ผลการวิจัยพบว่า การใช้พืชวงศ์ถั่วเป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อปรับปรุงดินก่อนการปลูกข้าวทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น กล่าวคือ แปลงที่ใช้ปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสดมีปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.87 เปอร์เซ็นต์, 0.051 เปอร์เซ็นต์, 22.5 ส่วนในล้านส่วน, 44.1 ส่วนในล้านส่วน และ 5.02 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใช้โสนอัฟริกันเป็นปุ๋ยพืชสดมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 0.87 เปอร์เซ็นต์, 0.046 เปอร์เซ็นต์, 18.0 ส่วนในล้านส่วน, 29.9 ส่วนในล้านส่วน และ 4.96 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และแปลงที่ใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 0.90 เปอร์เซ็นต์, 0.046 เปอร์เซ็นต์, 18.0 ส่วนในล้านส่วน, 35.9 ส่วนในล้านส่วน และ 4.48 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแปลงที่ใช้โสนอัฟริกันเป็นปุ๋ยพืชสดและแปลงที่ใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดมีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกัน สำหรับผลผลิตข้าวพบว่า แปลงที่ใช้ปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสดให้ผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 994 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ แปลงที่ใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดมีค่าเท่ากับ 993 กิโลกรัมต่อไร่ และแปลงที่ใช้โสนอัฟริกันเป็นปุ๋ยพืชสดมีค่าเท่ากับ 974 กิโลกรัมต่อไร่

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

1) งานวิจัยในประเทศ

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในจังหวัดชัยนาทโดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปัจจัยด้านวิธีการปลูกข้าวที่ต่างกัน 2 แบบ คือ ปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำ และวิธีหว่านน้ำตม ปัจจัยด้านพันธุ์ข้าวที่ต่างกัน 5 พันธุ์ คือ พันธุ์ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 กข6 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และขาวดอกมะลิ 105 และปัจจัยด้านการจัดการน้ำที่ต่างกัน คือ ระดับน้ำ 0 และ 20 เซนติเมตร และการระบายน้ำ 2 วิธี คือ ระบายน้ำ 60 วันหลังการปักดำ และระบายน้ำ 2 ครั้ง คือ 30 และ 60 วันหลังการปักดำ ผลการวิจัยพบว่า การปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำที่ระดับน้ำ 0 เซนติเมตร ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูกสูงกว่าขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.44 และ 18.84 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ขณะที่การปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตมที่ระดับน้ำ 0 เซนติเมตร ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูกสูงที่สุด รองลงมา คือ ขาวดอกมะลิ 105 ชัยนาท 1 กข6 และสุพรรณบุรี 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.34, 23.77, 19.31, 18.80 และ 15.17 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ และการปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตมที่ระดับน้ำ 20 เซนติเมตร ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูกสูงที่สุด รองลงมา คือ กข6 สุพรรณบุรี 1 ขาว

ดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1 มีค่าเท่ากับ 28.03, 26.07, 24.55, 22.49 และ 19.45 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ สำหรับการระบายน้ำในนาข้าว 2 วิธี พบว่า วิธีการระบายน้ำ 60 วันหลังการปักดำมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าการระบายน้ำ 2 ครั้ง คือ 30 และ 60 วันหลังการปักดำ โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเท่ากับ 6.23, 4.77 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง และ 6.29, 5.66 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการระบายน้ำทำให้ดินได้รับออกซิเจนมากขึ้นเป็นผลให้ก๊าซมีเทนลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบการระบายน้ำทั้ง 2 วิธี พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) งานวิจัยในต่างประเทศ

Gogoi และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในประเทศอินเดีย โดยได้ศึกษาในพื้นที่ต่างกัน 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ตอนล่างของแคว้นอัสสัม ซึ่งปลูกข้าวพันธุ์ Jaya และ GRT และพื้นที่ตอนบนของแคว้นอัสสัม ซึ่งปลูกข้าวพันธุ์ Jyotiprasad และ Bishnuprasad โดยทั้ง 2 พื้นที่มีประเภทเนื้อดินที่เหมือนกัน คือ ดินร่วนปนดินทราย (sandy loam) ผลการวิจัยพบว่า แปลงที่ปลูกข้าวพันธุ์ Jyotiprasad มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูกสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์ GRT, Jaya และ Bishnuprasad ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 11.31, 10.76, 9.98 และ 9.78 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวพบว่า ข้าวทั้ง 4 พันธุ์มีแนวโน้มปลดปล่อยก๊าซมีเทนไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุด 2 ช่วง คือ ในระยะข้าวแตกกอสูงสุด (maximum tillering stage) เพราะรากข้าวหลั่ง root exudate ทำให้ methanogenic bacteria มีกิจกรรมสูงขึ้น และในระยะสร้างดอกอ่อน (panicle initiation stage) เพราะในระยะนี้ข้าวเจริญเติบโตสูงสุดพร้อมในการสืบพันธุ์ทำให้ aerenchyma ภายในลำต้นของข้าวมีขนาดใหญ่ ทำให้ปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่ชั้นบรรยากาศได้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างจำนวนใบของข้าว จำนวนต้นต่อกอ และดัชนีพื้นที่ผิวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.11.2 การศึกษาอิทธิพลของดินต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

1) งานวิจัยในประเทศ

วัชรีย์ ผลเดชสถาพร (2544) ได้ทำการศึกษาผลการใช้โสนอัฟริกันเป็นปุ๋ยพืชสดต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว 2 ประเภท คือ การทำนาน้ำฝน และการทำนาในเขตชลประทาน ในจังหวัดขอนแก่น โดยปลูกโสนอัฟริกันในแปลงนา เมื่อมีอายุได้ 60-70 วัน สับโสนอัฟริกันและไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดในแปลงนา ในอัตราที่ต่างกัน 5 อัตรา คือ 1,000 2,000 3,000 4,000 และ 5,000 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการวิจัยพบว่า การทำนาน้ำฝน แปลงที่ใส่ปุ๋ยพืชสดในอัตรา 5,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีการ

ปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด รองลงมาคือ แปลงที่ใส่ปุ๋ยพืชสดในอัตรา 4,000 2,000 3,000 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30.05, 16.71, 7.94, 5.85 และ 3.93 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่การทำนาในเขตชลประทานซึ่งพบว่า แปลงที่ใส่ปุ๋ยพืชสดในอัตรา 5,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด รองลงมาคือ แปลงที่ใส่ปุ๋ยพืชสดในอัตรา 4,000 3,000 2,000 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.12, 18.81, 17.30, 11.22 และ 5.02 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าโดยรวมการทำนาชลประทานมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าการทำนาน้ำฝนเนื่องจากมีระดับน้ำที่ท่วมขังสูงกว่าทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนซึ่งทำให้ methanogenic bacteria สามารถเจริญเติบโตได้ดี เป็นผลให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้น สำหรับการใส่ปุ๋ยพืชสดในอัตราที่ต่างกันจะเห็นแนวโน้มว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยพืชสดในอัตราที่สูงมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงเนื่องจากต้นโสนอัฟริกันมีองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์สูง เมื่อใส่ลงไปในปริมาณมากจึงเป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานที่สำคัญของ methanogenic bacteria

2) งานวิจัยในต่างประเทศ

Parashar และคณะ (1993) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิของดินต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในประเทศอินเดีย ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิของดินมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ อุณหภูมิของดินในช่วงที่ข้าวมีอายุ 1-100 วัน หรือก่อนช่วงที่ข้าวออกดอกจะพบความสัมพันธ์อย่างมากต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยที่อุณหภูมิของดิน 34.5±0.5 องศาเซลเซียส จะสร้างก๊าซมีเทนได้สูงที่สุด เพราะ methanogenic bacteria มีกิจกรรมสูงที่สุดที่อุณหภูมินี้ แต่ถ้าอุณหภูมิของดินสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำให้กิจกรรมของ methanogenic bacteria ลดลง

2.11.3 การศึกษาอิทธิพลของการจัดการน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

1) งานวิจัยในประเทศ

สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ (2543) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการปลูกข้าวและการจัดการน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยศึกษาวิธีการปลูกข้าว 2 วิธี คือ วิธีปักดำและวิธีหว่านน้ำตม และการจัดการน้ำที่ต่างกัน 4 แบบ คือ ไม่มีน้ำท่วมขัง และระดับน้ำท่วมขัง 0, 5, 10 และ 15 เซนติเมตร ผลการวิจัยพบว่า การปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำ ในแปลงที่มีระดับน้ำ 0, 5, 10 และ 15 เซนติเมตร มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 2.40, 2.70, 2.74 และ 2.82 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ในขณะที่การปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตม ในแปลงที่มีระดับน้ำ 0, 5, 10 และ 15 เซนติเมตร มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 2.52, 2.78, 2.81 และ 2.77 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการปลูกข้าวด้วยวิธีปักดำมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้นตามระดับน้ำที่ท่วมขังสูงขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตมมีการปลดปล่อยก๊าซ

มีเทนใกล้เคียงกันเมื่อใช้ระดับน้ำ 5, 10 และ 15 เซนติเมตร ส่วนระดับน้ำ 0 เซนติเมตร มีค่าต่ำที่สุด และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) งานวิจัยในต่างประเทศ

Tyagi และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาผลของการจัดการน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในประเทศอินเดีย โดยมีการจัดการน้ำที่ต่างกัน 4 แบบ คือ การขังน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก การระบายน้ำออกในระยะข้าวแตกกอ การระบายน้ำในช่วงกลางฤดูเพาะปลูก และการระบายน้ำ 2 ครั้ง ในวันที่ 21 และวันที่ 77 หลังการปลูกข้าว ผลการวิจัยพบว่า แปลงที่มีการขังน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูกมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 346.6 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน รองลงมาคือ แปลงที่มีการระบายน้ำออกในระยะข้าวแตกกอ แปลงที่มีการระบายน้ำในช่วงกลางฤดูกาลเพาะปลูก และแปลงที่มีการระบายน้ำ 2 ครั้ง โดยมีค่าเท่ากับ 315.1, 219.3 และ 204.7 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ และพบว่าในระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (ประมาณวันที่ 80 หลังการปลูกข้าว) แปลงที่มีการขังน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก และแปลงที่มีการระบายน้ำออกในระยะข้าวแตกกอ มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด แต่แปลงที่มีการระบายน้ำในช่วงกลางฤดูเพาะปลูก และแปลงที่มีการระบายน้ำ 2 ครั้ง ในวันที่ 21 และวันที่ 77 หลังการปลูกข้าว ซึ่งการระบายน้ำในวันที่ 77 เป็นการระบายน้ำก่อนเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ 3 วัน จึงช่วยทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนลดลงได้ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์รีดอกซ์ของดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน กล่าวคือ การสร้างก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นได้เมื่อค่าศักย์รีดอกซ์ของดินมีค่าต่ำกว่า -100 มิลลิโวลต์

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษาและประวัติของแปลงที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ดำเนินการในพื้นที่นาข้าวตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี พิกัด 1405986.00 N และ 602758.00 E ห่างจากศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอชะอำ ไปทางทิศตะวันออก ด้วยระยะทางประมาณ 5.2 กิโลเมตร จากแผนที่กลุ่มชุดดิน มาตราส่วน 1: 100,000 ของสำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน (ปี 2544) แปลงนาตั้งอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 20 ชุดดินหนองแก (Nong Kae series; Nk) ซึ่งมีสมบัติของดิน คือ เนื้อดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินทรายปนดินร่วน ปริมาณอินทรียวัตถุ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดินค่อนข้างต่ำ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ ข้อเสนอแนะในการทำการเกษตรควรปลูกพืชที่ทนความเค็มได้ดีพอสมควรเพราะดินค่อนข้างเค็ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2555ข)

การวิจัยนี้ได้ดำเนินการผลิตข้าวอินทรีย์ ไม่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรทุกชนิด ทั้งปุ๋ยเคมี สารควบคุมและกำจัดศัตรูพืช และสารป้องกันกำจัดโรคและแมลง โดยทำการปลูกข้าวด้วยวิธีการหว่านน้ำตม ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2553 ซึ่งเป็นช่วงรอยต่อระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนซึ่งมีฝนตกชุกและหนาแน่น ซึ่งจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา รหัสสถานีที่ 465201 อำเภอเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี (ตารางที่ ก1-ก3) พบว่า ในช่วงเดือนดังกล่าวมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 29.36, 28.57, 28.90 และ 27.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 4.82, 8.55, 2.62 และ 29.22 มิลลิเมตร ตามลำดับ และจำนวนวันฝนตกสูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 20 วัน

แปลงนาข้าวนี้เป็นของ จ่าเอกเขียน สร้อยสม ซึ่งเป็นเกษตรกรดีเด่นประจำปี 2549 สาขาเศรษฐกิจพอเพียง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยนาข้าวบริเวณนี้มีสภาพดินเสื่อมโทรม เป็นดินดานแน่นทึบ ปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ ความเป็นกรด-ด่างสูง และดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ทำให้ผลผลิตข้าวต่ำ ดังนั้น จ่าเอกเขียน สร้อยสม จึงได้หาแนวทางปรับปรุงดินนา (ซึ่งโดยปกติภายหลังการเก็บเกี่ยวข้าวจะใช้การปลูกและไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด) โดยได้น้อมนำแนวพระราชดำริการปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ มาประยุกต์ใช้ในพื้นที่นาข้าว เนื่องจากหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากฝอยปริมาณมากและสานกันแน่น และสามารถหยั่งรากลึกในแนวดิ่งได้ถึง 3 เมตร รากหญ้าแฝกจึงสามารถชอนไชดินทำให้ดินมีความร่วนซุย ยึดเกาะเป็นก้อนที่เหมาะสม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) และเมื่อไถกลบหญ้าแฝกก่อนฤดูกาลเพาะปลูกข้าวจึงคาดว่าหญ้าแฝกจะถูกย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับดิน (ภาพที่ ข1)

วิธีการปรับปรุงดินด้วยการปลูกและไถกลบหญ้าแฝกของจ่าเอกเขียน สร้อยสม ได้ดำเนินการปลูกหญ้าแฝก 2 พันธุ์ โดยปลูกหญ้าแฝกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานีเป็นหลัก และปลูกหญ้าแฝกดอนพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์เสริม ทำการปลูกเป็นแถวตามแนวร่องของแปลงนา โดยใช้กล้าหญ้าแฝกจำนวน 8,000 กล้าต่อไร่ ระยะห่างระหว่างต้น 30 เซนติเมตร การดูแลหญ้าแฝกโดยให้แนวร่องมีน้ำขังอยู่เสมอ ไม่มีการให้ปุ๋ย กำจัดวัชพืชโดยการถอนหรือตัดทิ้ง เมื่อหญ้าแฝกมีอายุประมาณ 4 เดือน ทำการตัดส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกออก และตัดซ้ำครั้งที่ 2 และ 3 เมื่อหญ้าแฝกอายุ 8 และ 12 เดือน และเมื่อหญ้าแฝกอายุ 16 เดือนเศษ (ประมาณ 500 วัน) จึงได้ทำการไถกลบหญ้าแฝกเมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2553 โดยหญ้าแฝกมีความสูงประมาณ 80-120 เซนติเมตร และรากยาวประมาณ 50 เซนติเมตร

ในช่วงเวลาเดียวกัน แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก จ่าเอกเขียน สร้อยสม ได้ใช้ทำนาอย่างต่อเนื่อง 3 ฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละทุกครั้งได้ทำการปรับปรุงดินโดยใช้ปอเทือง โดยหว่านเมล็ดพันธุ์ปอเทืองประมาณ 6-8 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมไปกับการไถกลบตอซัง เพราะในขณะนั้นดินจะมีความชื้นที่เหมาะสมทำให้เมล็ดปอเทืองสามารถงอกได้อย่างสม่ำเสมอ จากนั้นเมื่อปอเทืองอายุประมาณ 50 วัน จึงได้ทำการไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด และเตรียมดินสำหรับการทำนาในฤดูกาลเพาะปลูกถัดไป นอกจากนั้น พื้นที่ส่วนหนึ่งในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ภายหลังจากที่ได้ใช้ทำนาไปแล้ว 2 ฤดูกาล เมื่อเข้าสู่ฤดูกาลที่ 3 (ตุลาคม 2552) เกษตรกรได้เปลี่ยนการให้ปุ๋ยปีนการใช้ปุ๋ยสั่งตัดแทนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยการตรวจวิเคราะห์ดินว่าขาดธาตุอาหารชนิดใด แล้วจึงใส่ปุ๋ยเคมีตามธาตุอาหารที่ขาด และเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ได้ปลูกปอเทืองเพื่อปรับปรุงดินในลักษณะเช่นเดิม ดังนั้น โดยสรุป พื้นที่แปลงนาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้นอกจากจะมีการใช้ประโยชน์และการปรับปรุงดินที่แตกต่างกันในช่วงระยะเวลาประมาณ 500 วันแล้ว ในแปลงที่ใช้ทำนาอย่างต่อเนื่องยังมีการใช้ปุ๋ยที่ต่างกันในช่วง 6 เดือนสุดท้าย ก่อนการไถพรวนเพื่อเตรียมดินสำหรับการวิจัยนี้อีกด้วย

สำหรับการวิจัยนี้เกษตรกรได้ไถกลบปอเทืองเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2553 (ซึ่งช้ากว่าการไถกลบหญ้าแฝกในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก 25 วัน) สำหรับรายละเอียดของกิจกรรมในแปลงนาที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก แสดงในตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.1

3.2 สถานที่ทำวิจัย

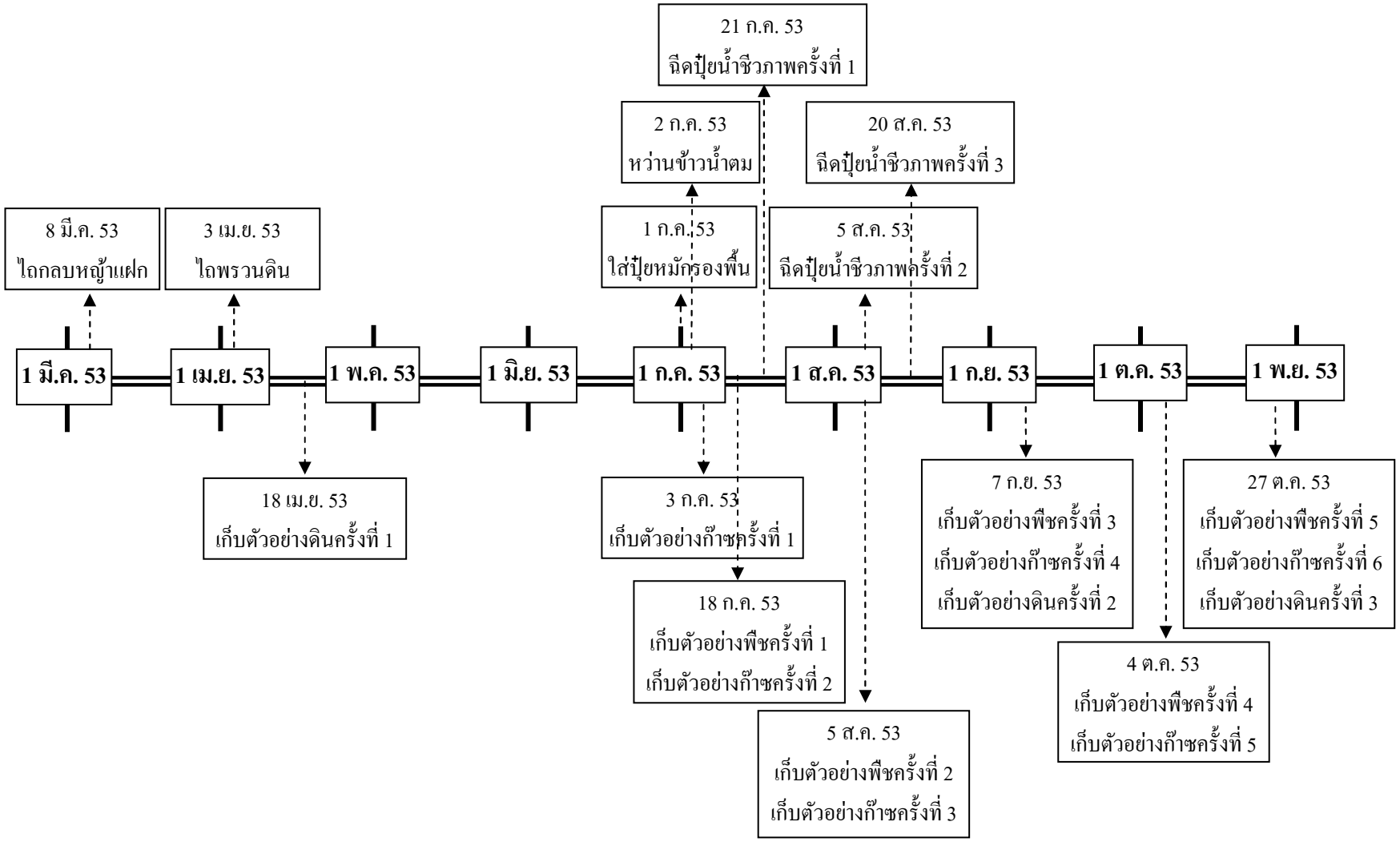
การวิจัยนี้ได้ดำเนินการในพื้นที่นาข้าวของจ่าเอกเขียน สร้อยสม ซึ่งตั้งอยู่ถนนคลองชลประทาน (ไทรย้อย) ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ห่างจากพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ประมาณ 5.2 กิโลเมตร

การวิเคราะห์ตัวอย่างดินได้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซได้ดำเนินการที่ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

ตารางที่ 3.1 ประวัติแปลงนาและปฏิทินกิจกรรมการเตรียมดินก่อนการปลูกข้าว

วัน/เดือน/ปี	**ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก**	**ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก**	
		ปุ๋ยอินทรีย์	**ปุ๋ยอินทรีย์ + ปุ๋ยสั่งตัด**
ก.ย. 51	-	ปลูกข้าว ครั้งที่ 1	ปลูกข้าว ครั้งที่ 1
ต.ค. 51	ปลูกหญ้าแฝก	-	-
ม.ค. 52	-	เก็บเกี่ยวข้าวและปลูกปอเทืองเพื่อปรับปรุงดิน	เก็บเกี่ยวข้าวและปลูกปอเทืองเพื่อปรับปรุงดิน
มี.ค. 52	-	ไถกลบปอเทืองและปลูกข้าว ครั้งที่ 2	ไถกลบปอเทืองและปลูกข้าว ครั้งที่ 2
ก.ค. 52	-	เก็บเกี่ยวข้าวและปลูกปอเทืองเพื่อปรับปรุงดิน	เก็บเกี่ยวข้าวและปลูกปอเทืองเพื่อปรับปรุงดิน
ต.ค. 52	-	ไถกลบปอเทืองและปลูกข้าว ครั้งที่ 3	ไถกลบปอเทืองและปลูกข้าว ครั้งที่ 3 โดยใช้ปุ๋ยสั่งตัด
ก.พ. 53	-	เก็บเกี่ยวข้าวและปลูกปอเทืองเพื่อปรับปรุงดิน	เก็บเกี่ยวข้าวและปลูกปอเทืองเพื่อปรับปรุงดิน
8 มี.ค. 53	ไถกลบหญ้าแฝก	-	-
3 เม.ย. 53	ไถพรวนดิน	ไถกลบปอเทืองและไถพรวนดิน	ไถกลบปอเทืองและไถพรวนดิน
18 เม.ย. 53	เก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1	เก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1	เก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1
1 ก.ค. 53	ใส่ปุ๋ยหมักรองพื้นและไถทำเทือก	ใส่ปุ๋ยหมักรองพื้นและไถทำเทือก	ใส่ปุ๋ยหมักรองพื้นและไถทำเทือก

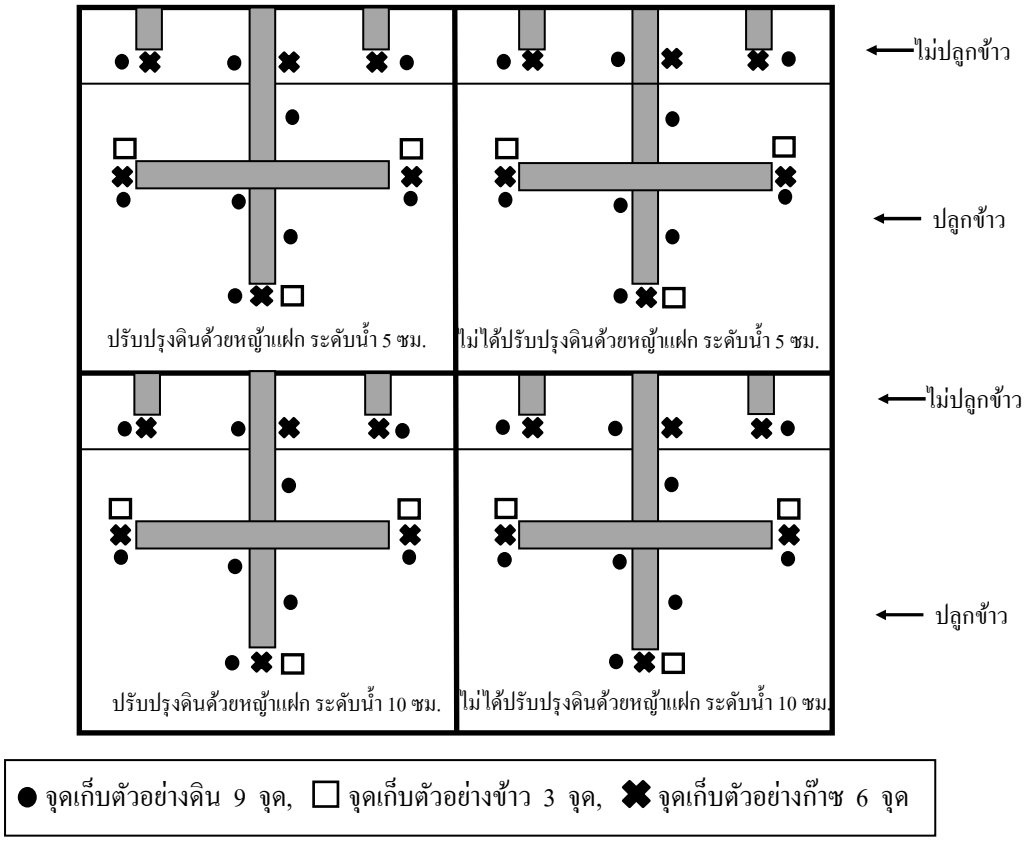


ภาพที่ 3.1 สรุปกิจกรรมการเตรียมแปลงนา การใส่ปุ๋ย การเก็บตัวอย่างดิน การเก็บตัวอย่างข้าว และการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน

3.3 ปัจจัยที่ทำการวิจัย

ปัจจัยที่ทำการวิจัย คือ ปัจจัยด้านการปรับปรุงดินที่ต่างกัน 2 แบบ คือ แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ปลูกหญ้าแฝกในแปลงนา 500 วันแล้วไถกลบ) และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ใช้ทำนา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก และภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้งใช้การไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด) และปัจจัยด้านระดับน้ำที่ท่วมขังในนาต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร และระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีแปลงทดลองทั้งสิ้น 4 แปลง คือ (1) แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (2) แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (3) แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร และ (4) แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยแต่ละแปลงมีพื้นที่ประมาณ 800 ตารางเมตร และทุกแปลงมีพื้นที่ส่วนที่ไม่ปลูกข้าวรวมอยู่ด้วย (ภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 ลักษณะแปลงนาทดลองทั้ง 4 แปลง และตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างดิน ข้าว และก๊าซมีเทน

3.4 การเตรียมแปลงนาและการทำนา

การวิจัยนี้ได้ทำนาข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตม ซึ่งการเตรียมแปลงนาทดลองทั้ง 4 แปลงมีขั้นตอนที่เหมือนกัน คือ เริ่มต้นด้วยการไถกลบหรือไถดะ โดยใช้ผาน 3 ซึ่งไถหน้าดินได้ลึก 60 เซนติเมตร และเป็นการช่วยพลิกหน้าดิน จากนั้นทำการไถพรวน โดยใช้ผาน 7 ซึ่งไถหน้าดินได้ลึก 30 เซนติเมตร ช่วยให้ดินละเอียดและมีความร่วนซุยมากขึ้น จากนั้นก่อนหว่านข้าว 1 วัน ทำการไถทำเทือกทำดินให้เป็นตม (puddling)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยแช่เมล็ดข้าวเปลือกไว้ 1 คืน ซึ่งรากจะงอกออกมาเล็กน้อย วันถัดมาปล่อยน้ำเข้าแปลงนาในระดับน้ำที่ไม่สูงมาก แล้วจึงทำการหว่านเมล็ดพันธุ์ที่แช่น้ำไว้ในอัตรา 32 กิโลกรัมต่อไร่ (2 กรกฎาคม 2553) ภายหลังการหว่านข้าว 10 วัน (11 กรกฎาคม 2553) เติมน้ำเข้าแปลงนาตามระดับน้ำที่กำหนด คือ 5 หรือ 10 เซนติเมตร ภายหลังการหว่านข้าว 115 วัน (25 ตุลาคม 2553) เริ่มระบายน้ำออกจากนาข้าว และภายหลังการหว่านข้าว 117 วันทำการเก็บเกี่ยวข้าว (27 ตุลาคม 2553) ดังภาพที่ 3.1

3.5 พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งได้จากการผสม 3 ทางระหว่างข้าวสายพันธุ์ IR13146-158-1 กับ IR15314-43-2-3-3 และ BKN6995-16-1-1-2 ที่สถานีทดลองข้าวจังหวัดชัยนาท และมีการพัฒนาสายพันธุ์อย่างต่อเนื่องจนได้สายพันธุ์ CNTBR82075-43-2-1 และเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2536 จึงมีมติให้รับรองพันธุ์จากคณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร ลักษณะทั่วไปของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวเจ้า ไม่ไวต่อช่วงแสง ส่วนต้นสูงประมาณ 113 เซนติเมตร ลักษณะทรงกอตั้ง ใบสีเขียว ใบธง (flag leaf) ค่อนข้างยาวตั้งตรง ใบแก่ช้า รวง (spike) ยาวและแน่น คอรวง (panicle base) สั้น ระแง้ หรือ แขนงของรวงข้าว (secondary branch) ค่อนข้างถี่ เมล็ดยาวเรียวและมีคุณภาพดี เปลือกเมล็ดสีฟาง ท้องไข่ (chalky grain) น้อย ระยะพักตัวของเมล็ด (seed dormancy) ประมาณ 8 สัปดาห์ ฟาง (straw) แข็ง ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ดี ต้านทานโรคใบหงิก และโรคไหม้ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยกระโดดหลังขาว สามารถปลูกได้ทั้งนาปี นาปรัง และพื้นที่เขตชลประทานทั่วประเทศ ในฤดูฝนมีอายุประมาณ 120-130 วัน และในฤดูแล้งมีอายุประมาณ 130 วัน ให้ผลผลิตสูงประมาณ 740 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมการข้าว, 2555)

3.6 การใส่ปุ๋ย การดูแลแปลงนา และการเก็บเกี่ยวผลผลิต

การวิจัยนี้เป็นการผลิตข้าวอินทรีย์ ไม่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรทุกชนิด ใช้เพียงปุ๋ยอินทรีย์ โดยแปลงนาทดลองทั้ง 4 แปลงมีการใส่ปุ๋ยเหมือนกัน คือ ก่อนการหว่านข้าวทำการใส่ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยรองพื้นในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ โดยปุ๋ยหมักได้หมักจากกากอ้อย ขี้วัว แกลบดิบ และปุ๋ยน้ำชีวภาพ จากนั้นในขณะปล่อยน้ำเข้านา ใส่ปุ๋ยน้ำชีวภาพในอัตรา 30 ลิตรต่อไร่ โดยปุ๋ยน้ำชีวภาพหมักจากหอยและสับปะรด และภายหลังการหว่านข้าว 20 วัน (21 ก.ค. 53), 35 วัน (5 ส.ค. 53) และ 50 วัน (20 ส.ค. 53) ฉีดพ่นปุ๋ยน้ำชีวภาพครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในอัตรา 160 มิลลิลิตรต่อไร่ โดยใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1: 500 ดังภาพที่ 3.1

การดูแลแปลงนา การกำจัดวัชพืชใช้วิธีกล คือ การถอนต้นหญ้าทิ้ง และควบคุมระดับน้ำในนาใช้การระบายน้ำเข้าหรือออกจากแปลง โดยใช้หลักการระบายน้ำจากที่สูงไปที่ต่ำ เพื่อรักษาระดับน้ำให้เป็นไปตามที่กำหนด

การเก็บเกี่ยวผลผลิต ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต 3 วัน ได้ทำการระบายน้ำออกจากแปลงนา จากนั้นจึงเก็บเกี่ยวผลผลิตภายหลังการหว่านข้าว 117 วัน ด้วยรถเกี่ยวข้าว

3.7 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา 3 ด้าน คือ การศึกษาด้านสมบัติของดิน การศึกษาด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว และการศึกษาด้านการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยรายละเอียดการศึกษาแต่ละด้านประกอบด้วย การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง ช่วงระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ ดังนี้

3.7.1 การศึกษาด้านสมบัติของดิน

1) การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

การวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนาม โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินแปลงละ 6 จุด ทุกจุดอยู่ในบริเวณเดียวกันกับการเก็บก๊าซมีเทน และยังได้เก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีด้านอื่นๆ โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างแปลงละ 9 จุด ซึ่ง 6 จุดเป็นบริเวณเดียวกันกับจุดตรวจวัดสมบัติของดินในภาคสนามดังกล่าวแล้ว และบริเวณใกล้เคียงอีก 3 จุด (ภาพที่ 3.2)

2) ช่วงระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

การศึกษาสมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนาม ได้กำหนดให้มีการตรวจวัดในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน 6 ครั้ง คือ ระยะข้าวงอก ระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว และการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีด้านอื่นๆ ได้กำหนดให้เก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง คือ ช่วงก่อนการปลูกข้าว (ภายหลังการไถพรวน 15 วัน) ช่วงระหว่างปลูกข้าว (ภายหลังการหว่าน 67 วัน ซึ่งตรงกับระยะข้าวตั้งท้อง) และช่วงหลังการเก็บเกี่ยวข้าว (วันเดียวกันกับการเก็บเกี่ยว ภายหลังการหว่าน 117 วัน) ดังภาพที่ 3.1

3) วิธีการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

การศึกษาสมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนามได้ทำการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ศักย์รีดอกซ์ (oxidation reduction potential; ORP หรือ Eh) และ อุณหภูมิ (temperature) ของดิน ที่ระดับ 5 เซนติเมตร จากผิวดิน โดยการตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้าและศักย์รีดอกซ์ของดิน ใช้ท่อพีวีซีปักลงไปในดินลึกประมาณ 20 เซนติเมตร ใช้หัวตรวจวัด (probe) ที่เฉพาะเจาะจงกับพารามิเตอร์นั้นๆ จุ่มลงไปในดินที่อยู่ภายในท่อพีวีซีลึกประมาณ 5 เซนติเมตร ท่อพีวีซีที่ปักไว้นี้ใช้สำหรับกำหนดจุดในการเก็บตัวอย่างตามตำแหน่งเดิมตลอดช่วงทำการวิจัย ส่วนการวัดอุณหภูมิของดินใช้เทอร์โมมิเตอร์ตรวจวัด (ตารางที่ 3.2)

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินโดยกวาดเศษวัชพืชหรือเศษซากใบไม้ที่ปกคลุมดินออกให้หมด ใช้จอบหรือเสียมขุดหลุมให้เป็นรูปตัว V ลึกลงไปประมาณ 15 เซนติเมตร หลังจากนั้น จึงแซะเอาดินด้านข้างด้านใดด้านหนึ่ง หนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร จากปากหลุม ขนานลงไปตามหน้าดินที่ขุดไว้ลึกถึงก้นหลุม เก็บตัวอย่างดินใส่ในถุงพลาสติกที่สะอาด รัดปากถุงให้แน่น และจดบันทึกรายละเอียด นำตัวอย่างดินที่เก็บได้ไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air dried) แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร นำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.0 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์เนื้อดิน (soil texture) ส่วนดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ไปวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ที่กำหนด ได้แก่ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity; CEC) อินทรียวัตถุ (organic matter) อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) นอกจากนี้ยังทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (bulk density) และความชื้นของดิน (soil moisture) โดยใช้ soil core (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์สมบัติของดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (soil pH)	ตรวจวัดในภาคสนาม โดย Mettler Toledo SevenEasy pH
2. ค่าการนำไฟฟ้า (soil electrical conductivity)	ตรวจวัดในภาคสนาม โดย YSI Model 30
3. ค่าศักย์รีดอกซ์ (oxidation reduction potential; ORP or Eh)	ตรวจวัดในภาคสนาม โดย HANNA HI 9026
4. อุณหภูมิ (soil temperature)	ตรวจวัดในภาคสนาม โดย เทอร์โมมิเตอร์
5. เนื้อดิน (soil texture)	Hydrometer method (Ashworth, 2001)
6. ความชื้น (soil moisture)	Gravimetric method (กรมวิชาการเกษตร, 2553)
7. ความหนาแน่นรวม (bulk density)	Core method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
8. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity; CEC)	Leaching method (Soil Survey Staff, 1996)
9. อินทรียวัตถุ (organic matter)	Walkley and Black method (Soil Survey Staff, 1996)
10. อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon)	คำนวณจากค่าอินทรียวัตถุ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
11. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl method (Soil Survey Staff, 1996)
12. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)	Bray II determine by spectrophotometer (Soil Survey Staff, 1996)
13. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)	Ammonium acetate extraction determine by atomic adsorption spectrophotometer (Soil Survey Staff, 1996)

3.7.2 การศึกษาด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

1) การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวแบบง่าย (simple random sampling) โดยใช้ quadrat ขนาด 1x1 ตารางเมตร จำนวน 3 quadrat/แปลง (ภาพที่ 3.2)

2) ช่วงระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

การกำหนดการเก็บตัวอย่างตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวทั้งหมด 5 ระยะคือ ระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกตอ ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว (ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่างในระยะเมล็ดข้าวงอกเนื่องจากหว่านข้าวได้เพียง 1 วัน) ดังภาพที่ 3.1

3) วิธีการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

การสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าว โดยถอนต้นข้าวอย่างระมัดระวังไม่ให้รากขาด จากนั้นนำรากมาล้างดินออกให้หมด แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้านการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว ดังต่อไปนี้

(1) การศึกษาด้านการเจริญเติบโตของข้าว ได้ทำการศึกษา 4 ด้าน ดังนี้ (ภาพที่ ข2)

- ความสูงของข้าว โดยวัดความสูงจากโคนต้นจนถึงปลายใบที่ยาวที่สุด
- ความยาวรากข้าว โดยวัดความยาวรากจากโคนต้นจนถึงปลายรากที่ยาวที่สุด
- จำนวนต้นต่อพื้นที่ โดยนับจำนวนต้นข้าว แล้วคำนวณเป็นจำนวนต้นต่อหน่วยพื้นที่
- มวลชีวภาพรวม (ส่วนต้นและใบ ราก และรวง) โดยนำต้นข้าวมาตัดแยกส่วนต้นและใบ ราก และรวง (สำหรับรวงทำการศึกษาเฉพาะระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว) นำแต่ละส่วนไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

(2) การศึกษาด้านผลผลิตข้าว ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเฉพาะระยะเก็บเกี่ยว โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างรวงข้าว 3 quadrat/แปลง จากนั้นนำรวงข้าวมาแยกเอาแต่เฉพาะเมล็ดข้าว แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักสด คำนวณผลผลิตข้าวเป็นหน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่ (ภาพที่ ข3)

3.7.3 การศึกษาด้านการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

1) การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนแปลงละ 6 จุด แบ่งเป็นบริเวณที่ปลูกข้าว 3 จุด และบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว 3 จุด (ภาพที่ 3.2) โดยได้ทำการสร้างสะพานในแปลงนาทดลองทั้ง 4 แปลง ตามตำแหน่งที่กำหนดเพื่อป้องกันการรบกวนดินในขณะเก็บตัวอย่างซึ่งจะมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (ภาพที่ ข4)

2) ช่วงระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนได้กำหนดให้เก็บตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 6 ระยะ ได้แก่ ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกตอ ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 3.3, ภาพที่ 3.1 และภาพที่ ข5)

ตารางที่ 3.3 การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ระยะการเจริญเติบโตของข้าว	ช่วงเวลาการเจริญเติบโต (จำนวนวันหลังการหว่าน)	วันที่เก็บตัวอย่างก๊าซ (จำนวนวันหลังการหว่าน)
1. ระยะเมล็ดข้าวงอก (germination)	2 ก.ค.-4 ก.ค. 53 (0-3 วัน)	3 ก.ค. 53 (1 วัน)
2. ระยะต้นกล้า (seedling)	5 ก.ค.-21 ก.ค. 53 (3-19 วัน)	18 ก.ค. 53 (16 วัน)
3. ระยะข้าวแตกกอ (tillering)	22 ก.ค.-20 ส.ค. 53 (20-49 วัน)	5 ส.ค. 53 (34 วัน)
4. ระยะข้าวตั้งท้อง (booting)	5 ก.ย.–11 ก.ย. 53 (65-71 วัน)	7 ก.ย. 53 (67 วัน)
5. ระยะเมล็ดข้าวน้ำนม (milk grain)	27 ก.ย.–6 ต.ค. 53 (87-96 วัน)	4 ต.ค. 53 (94 วัน)
6. ระยะเก็บเกี่ยว (harvest)	17 ต.ค.–29 ต.ค. 53 (107-119 วัน)	27 ต.ค. 53 (117 วัน)

3) วิธีการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนใช้ static closed chamber technique โดยใช้กล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (chamber) ทำด้วยอะคริลิกใส หนา 4 มิลลิเมตร มีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 30x30x40 เซนติเมตร (สำหรับการครอบกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซหนึ่งหรือสองชั้นขึ้นอยู่กับความสูงของข้าว) ปลายด้านล่างเปิด ส่วนปลายด้านบนปิดด้วยฝาขนาดพอดีกับกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ สำหรับฐานมี 2 ขนาด คือ ขนาด 32x32x10 และ 32x32x15 เซนติเมตร ซึ่งใช้สำหรับแปลงที่มีระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยกดฐานให้จมลงไปในดินประมาณ 5 เซนติเมตร ทิ้งไว้ตลอดงานวิจัย ขณะทำการเก็บตัวอย่างใช้กล่องเก็บตัวอย่างก๊าซครอบลงไปบนฐานที่วางเตรียมไว้ แล้วเปิดพัดลมให้อากาศหมุนเวียนและเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนตามเวลาที่ 0, 15 และ 30 นาที ตามลำดับ โดยทำการเก็บตัวอย่างระหว่างเวลา 8.00-12.00 น. (Xiao และคณะ, 2005)

จากนั้นนำกระบอกฉีดยาขนาด 20 มิลลิลิตร ดูดก๊าซจากสายยางที่ต่อไว้กับกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ แล้วจึงนำก๊าซที่ได้ไปฉีดเก็บไว้ในหลอดสูญญากาศขนาด 6 มิลลิลิตร และบันทึกข้อมูลอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึก 5 ซม. จากผิวดินและอุณหภูมิภายในกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ จากนั้นเก็บหลอดสูญญากาศที่บรรจุตัวอย่างก๊าซไว้ในกล่องโฟมที่แช่น้ำแข็งอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส (ภาพที่ ข6) เมื่อมาถึงห้องปฏิบัติการเก็บรักษาหลอดสูญญากาศที่บรรจุตัวอย่างก๊าซในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน (ส่วนในล้านส่วน) ในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง Gas Chromatography ระบบ Flame Ionization Detector (GC/FID) ต่อไป จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ได้มาคำนวณหาค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยใช้สมการดังนี้ (Mallick, 2009; Tyagi และคณะ, 2010)

$$F_i = \frac{BV_{stp} \times C_{CH4} \times MW \times 10^3 \times 60}{10^6 \times 22{,}400 \times A \times dt}$$

$$BV_{stp} = \frac{BV \times BP \times 273}{(273+T) \times 760}$$

โดยที่

F_i = ค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

i = ระยะการเจริญเติบโตของข้าว 6 ระยะ (i = 1, 2, 3, 4, 5 และ 6)

BV_{stp} = ปริมาตรภายในกล่องเก็บก๊าซ ส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำที่ท่วมขัง ณ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

BV = ปริมาตรภายในกล่องเก็บก๊าซ ส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำที่ท่วมขัง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

BP = ความดันบรรยากาศในขณะนั้น (มิลลิเมตรปรอท)

MW = มวลโมเลกุลของก๊าซมีเทน เท่ากับ 16

T = อุณหภูมิอากาศในกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (องศาเซลเซียส)

A = พื้นที่หน้าตัดของกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (ตารางเมตร)

C_{CH4} = ผลต่างของความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (ส่วนในล้านส่วน) ที่เวลา 0 และเวลา t

dt = ระยะเวลาที่ใช้ (นาที)

คำนวณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน และตลอดฤดูกาลเพาะปลูกจากสมการดังนี้

F_{1i} = $(F_i \times 24)$

F_2 = $\sum (F_{1i} \times$ จำนวนวันในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว)

โดยที่

F_{1i} = ค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวในรอบวัน (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)

F_2 = ค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก)

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลด้านสมบัติของดิน การปลดปล่อยก๊าซมีเทน และการเจริญเติบโตของข้าวด้วย analysis of covariance หาค่าเฉลี่ย และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติพรรณา (descriptive statistics) และหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดิน ระดับน้ำ และการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนด้วย regression analysis

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำต่อสมบัติของดิน

สำหรับการศึกษาสมบัติของดินได้ทำศึกษา 2 ส่วน คือ (1) สมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนาม โดยได้ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ศักย์รีดอกซ์ (oxidation-reduction potential; ORP หรือ Eh) และอุณหภูมิของดิน (soil temperature) ควบคู่ไปกับการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนทั้ง 6 ระยะการเจริญเติบโตของข้าว คือ ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว และส่วนที่สองศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ โดยได้เก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ 3 ครั้ง คือ ช่วงก่อนการปลูกข้าว (ภายหลังการไถพรวน 15 วัน) ช่วงระหว่างปลูกข้าว (ภายหลังการหว่าน 67 วัน ซึ่งตรงกับระยะข้าวตั้งท้อง) และช่วงหลังการเก็บเกี่ยวข้าว (วันเดียวกันกับการเก็บเกี่ยว ภายหลังการหว่าน 117 วัน) โดยได้ทำการวิเคราะห์เนื้อดิน (texture) ความชื้น (moisture) ความหนาแน่นรวม (bulk density) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity; CEC) อินทรียวัตถุ (organic matter) อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) โดยการศึกษาได้ทำในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ปลูกหญ้าแฝกในแปลงนา 500 วันแล้วไถกลบ) ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร และระดับน้ำ 10 เซนติเมตร และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ใช้ทำนา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก และภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้งใช้การไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด) ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร และระดับน้ำ 10 เซนติเมตร รวมทั้งสิ้น 4 แปลง

4.1.1 สมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนาม

สำหรับการตรวจวัดสมบัติของดินในภาคสนามได้ทำการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า ศักย์รีดอกซ์ และอุณหภูมิของดินพร้อมกับการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน โดยใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวัดในภาคสนามพร้อมกับบันทึกค่าที่ตรวจวัดได้จริงในขณะนั้น ซึ่งการตรวจวัดค่าเหล่านี้จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของการปลูกข้าวที่มีการขังน้ำซึ่งส่งผลให้ดินอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic condition) โดยการท่วมขังของน้ำจะทำให้สมบัติของดินมีการเปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH)

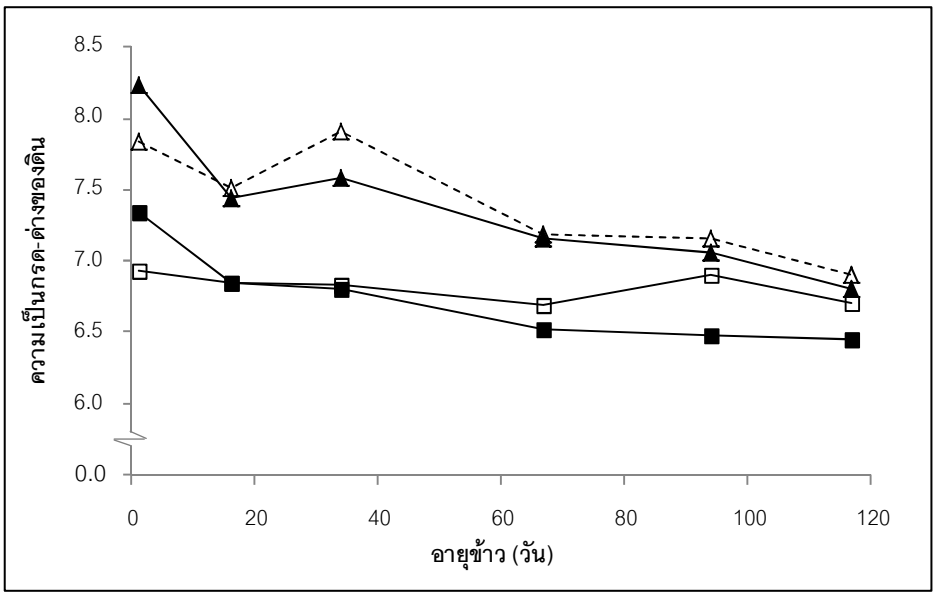
ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) เป็นสมบัติทางเคมีที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างของดินมีบทบาทในการควบคุมปฏิกิริยาและรักษาสมดุลของธาตุอาหารพืชในดิน โดยความเป็นกรด-ด่างของดินมีผลต่อการละลายของธาตุอาหารในดิน หรือทำให้ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ (unavailable) ได้ นอกจากนี้ ดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำ (ดินกรด) จะมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำลง เนื่องจากฟอสฟอรัสถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมินัม ส่วนดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูง (ดินด่าง) จะมีปริมาณโซเดียมไอออน (Na^+) ซึ่งเป็นประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้สูงขึ้น และปริมาณโซเดียมที่สูงเกินไปยังทำให้ดินมีความเป็นพิษสูงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547)

เมื่อเปรียบเทียบความเป็นกรด-ด่างของดินในแปลงนา ระหว่างดินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการปลูกและไถกลบหญ้าแฝกและดินที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยการปลูกและไถกลบหญ้าแฝก (ใช้ปอเทืองปรับปรุงดิน) พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินเท่ากับ 7.38 และ 7.42 ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินเท่ากับ 6.74 และ 6.82 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1) ทั้งนี้เพราะรากจำนวนมากของหญ้าแฝกที่หยั่งลึกลงไปในดินช่วยในการยึดเกาะดินไม่ให้เกิดการชะล้างพังทลาย ดังนั้นอนุภาคดินจึงสามารถตรึงธาตุอาหารที่มีประจุบวก เช่น โพแทสเซียมไอออน (K^+) ไว้ ทำให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไม่สามารถเข้ามาแทนที่ จึงทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินไม่ลดต่ำลง (สุมล โสภากร และดิเรก เทพาทิพย์, 2546) นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ทั้งนี้เพราะดินในแปลงนาที่ทำการวิจัยเป็นดินด่าง ซึ่งโดยทั่วไป ดินด่างจะมีการสะสมของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ในปริมาณสูงเป็นผลให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ดังนั้น เมื่อมีการขังน้ำในนาข้าว แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร สามารถทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตละลายได้ดีกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ทำให้ได้ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจึงสูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกัน ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ความเป็นกรด-ด่างของดิน						ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		เมล็ดข้าวงอก (1 วัน)	ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	8.24	7.44	7.59	7.16	7.06	6.81	7.38 ± 0.46^{a}
	10	7.84	7.52	7.90	7.18	7.16	6.90	7.42 ± 0.37^{a}
ไม่ปลูกแฝก	5	7.34	6.84	6.91	6.52	6.47	6.45	6.74 ± 0.31^{b}
	10	6.94	6.85	6.83	6.69	6.91	6.70	6.82 ± 0.09^{b}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 6 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.1 ความเป็นกรด-ด่างของดินในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (หรือตามระยะเวลาในการขังน้ำที่นานขึ้น) พบว่า ในระยะแรกของการเจริญเติบโต พบว่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าสูงแล้วค่อยๆ ลดต่ำลงตามระยะการเจริญเติบโต ทั้งดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 และต่ำกว่า 7 นอกจากนี้ยังพบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงด้วยหญ้าแฝกซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า มีค่าเข้าใกล้ 7 ในระยะเมล็ดน้ำนม ขณะที่ดินในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยหญ้าแฝกซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่ามีค่าเข้าใกล้ 7 ได้เร็วกว่า โดยพบในระยะข้าวแตกกอ สาเหตุที่ความเป็นกรด-ด่างของดินทั้งที่สูงกว่า 7 และต่ำกว่า 7 ถูกปรับให้เข้าใกล้ 7 เป็นเพราะในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 เมื่อมีการขังน้ำ ปริมาณออกซิเจนในดินลดลงทำให้เกิดสภาพที่ไม่มีออกซิเจน จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic microorganism) จะรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยารีดักชันดังกล่าวทำให้ไฮโดรเจนไอออนถูกใช้ไป เป็นผลให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ส่วนในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 นั้น การขังน้ำทำให้เกิดสภาพที่ไม่มีออกซิเจน และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมามาก เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำ (H_2O) ได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) จากนั้นกรดคาร์บอนิกแตกตัวได้ไบคาร์บอเนตและไฮโดรเจนไอออน ซึ่ง ไฮโดรเจนไอออนส่งผลให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำลง (ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

หากพิจารณาระดับความเป็นกรด-ด่างของดินตามเกณฑ์ของ Soil Survey Staff (1993) อ้างถึงในกรมพัฒนาที่ดิน (2547) พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง 7.38 และ 7.42 จัดเป็นดินด่างเล็กน้อย (slightly alkaline) และดินในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ย6.74 และ 6.82 จัดเป็นดินเป็นกลาง (neutral) (ตารางที่ ค1)

2) การนำไฟฟ้าของดิน (soil electrical conductivity)

การนำไฟฟ้าของดินเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณเกลือทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำและแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งมีทั้งไอออนที่มีประจุบวก (cations) ได้แก่ โซเดียม (Na^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และโพแทสเซียม (K^+) และไอออนที่มีประจุลบ (anions) ได้แก่ คาร์บอเนต (CO_3^-) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) คลอไรด์ (Cl^-) และไนเตรต (NO_3^-) และไอออนเหล่านี้สามารถนำไฟฟ้าได้ ดังนั้น จึงสามารถตรวจวัดปริมาณเกลือทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ด้วยการวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน โดยหน่วยของการนำไฟฟ้าที่นิยมใช้ คือ มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) หรือ เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (dS/m) แต่การวัดค่าการนำไฟฟ้าของดินไม่สามารถระบุได้ว่าในสารละลายดินมีเกลือชนิดใดละลายอยู่ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544; สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, 2555)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของดินในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินเท่ากับ 0.52 และ 0.45 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ

ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 ซม. มีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.27 และ 0.19 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2) ทั้งนี้เพราะใบของหญ้าแฝกมีองค์ประกอบของออกไซด์ของแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม (CaO, MgO, Na_2O และ K_2O) เท่ากับ 5.42, 1.24, 0.12 และ 15.46 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Nimityongskul และคณะ, 2003) เมื่อทำการไถกลบหญ้าแฝกและเกิดการย่อยสลายจึงทำให้องค์ประกอบเหล่านี้ละลายน้ำและแตกตัวเป็นไอออนที่อยู่ในสารละลายดินได้ เป็นผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินสูงขึ้น นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก มีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดินสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ทั้งนี้เพราะระดับน้ำที่ท่วมขังต่ำกว่าทำให้สารละลายเกลือที่ละลายออกมามีความเข้มข้นสูงกว่า จึงส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินสูงขึ้น

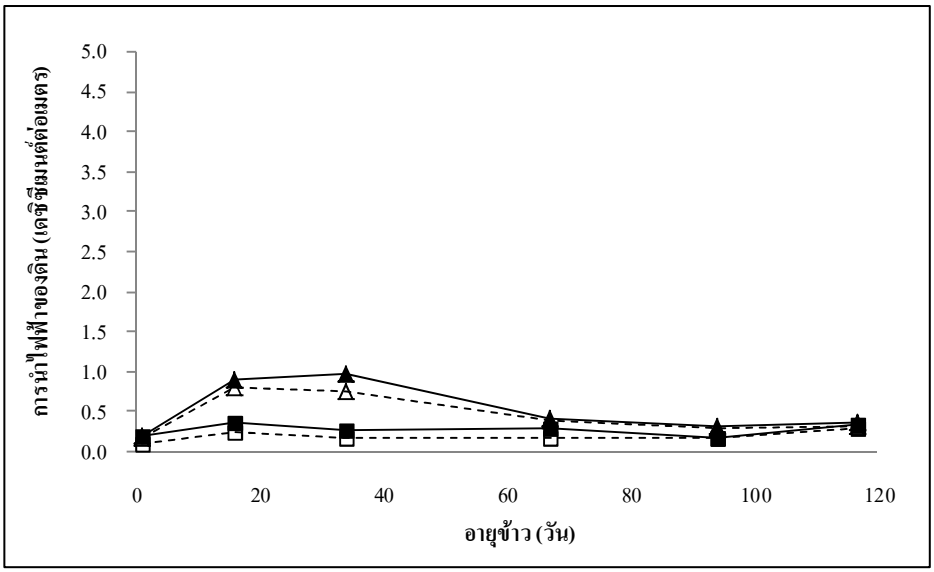
เมื่อพิจารณาค่าการนำไฟฟ้าของดินตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ในระยะเมล็ดข้าวงอก (ภายหลังการขังน้ำในนาข้าว 1 วัน) ค่าการนำไฟฟ้าของดินส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำที่สุด แต่เมื่อเข้าสู่ระยะต้นกล้า (ภายหลังการขังน้ำในนาข้าว 16 วัน) ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทัศนีย์ อัตตะนันทน์ (2550) ที่กล่าวว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินจะเพิ่มสูงขึ้นใน 2-3 สัปดาห์แรกของการขังน้ำในนาข้าว เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของเหล็กและแมงกานีส ซึ่งทำให้เกิดเฟอร์รัสและแมงกานัสซึ่งละลายน้ำได้ รวมทั้งการสะสมแอมโมเนียม (NH_4^+) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และกรดอินทรีย์บางชนิด ($RCOO^-$) จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินสูงขึ้น แต่เมื่อเข้าสู่ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง และระยะเมล็ดน้ำนม ค่าการนำไฟฟ้าของดินส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในระยะดังกล่าวมีฝนตกทำให้ปริมาณน้ำในแปลงนาสูงขึ้นซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเกลือต่ำลง ค่าการนำไฟฟ้าของดินจึงลดลง และในระยะเก็บเกี่ยวค่าการนำไฟฟ้าของดินกลับมีค่าสูงขึ้นอาจเป็นเพราะการขังน้ำที่นานขึ้นทำให้สารละลายเกลือสามารถละลายออกมาได้สูงขึ้น

หากพิจารณาระดับการนำไฟฟ้าของดินตามเกณฑ์คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.19-0.52 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร จัดเป็นดินไม่เค็ม และไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าว (ตารางที่ ค2)

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	การนำไฟฟ้าของดิน (เดซิซีเมนต์ต่อเมตร)						ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		เมล็ดข้าวงอก (1 วัน)	ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	0.18	0.89	0.97	0.41	0.32	0.37	0.52 ± 0.30^{a}
	10	0.17	0.80	0.76	0.39	0.30	0.31	0.45 ± 0.24^{ab}
ปลูกปอเทือง	5	0.19	0.35	0.27	0.28	0.18	0.33	0.27 ± 0.07^{bc}
	10	0.10	0.23	0.16	0.17	0.17	0.29	0.19 ± 0.06^{c}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 6 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.2 การนำไฟฟ้าของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

3) ศักย์รีดอกซ์ของดิน (oxidation-reduction potential; ORP หรือ Eh)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการให้และรับอิเล็กตรอน โดยสารที่ให้อิเล็กตรอนจะถูกออกซิไดซ์โดยการสูญเสียอิเล็กตรอน ส่วนสารที่รับอิเล็กตรอนจะถูกรีดิวซ์โดยการได้รับอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่เกิดขึ้นพร้อมกัน เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) สำหรับในกรณีของการทำนาซึ่งมีการขังน้ำในนาข้าวทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะมีกิจกรรมสูงขึ้น จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะใช้ทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนไปตามลำดับ คือ ไนเตรต (NO_3^-) แมงกานิก (Mn^{4+}) เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรเจน (H^+) จะถูกรีดิวซ์กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) แมงกานัส (Mn^{2+}) เฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซัลไฟด์ (S^{2-}) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ตามลำดับ โดยปฏิกิริยาเคมีใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจะมีความเกี่ยวข้องกับค่าศักย์รีดอกซ์ทั้งสิ้น ค่าศักย์รีดอกซ์เป็นบวกและมีค่าสูงเมื่ออยู่ในระบบออกซิเดชัน และค่าศักย์รีดอกซ์เป็นลบและมีค่าต่ำเมื่ออยู่ในระบบรีดักชันรุนแรง ไม่มีความเป็นกลางเหมือนค่าความเป็นกรด-ด่างแต่ที่เหมือนความเป็นกรด-ด่างคือสามารถบอกระดับความรุนแรงของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันได้ (intensity factor) หน่วยของค่าศักย์รีดอกซ์ของดินที่นิยมใช้ คือ มิลลิโวลต์ (mV) (ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

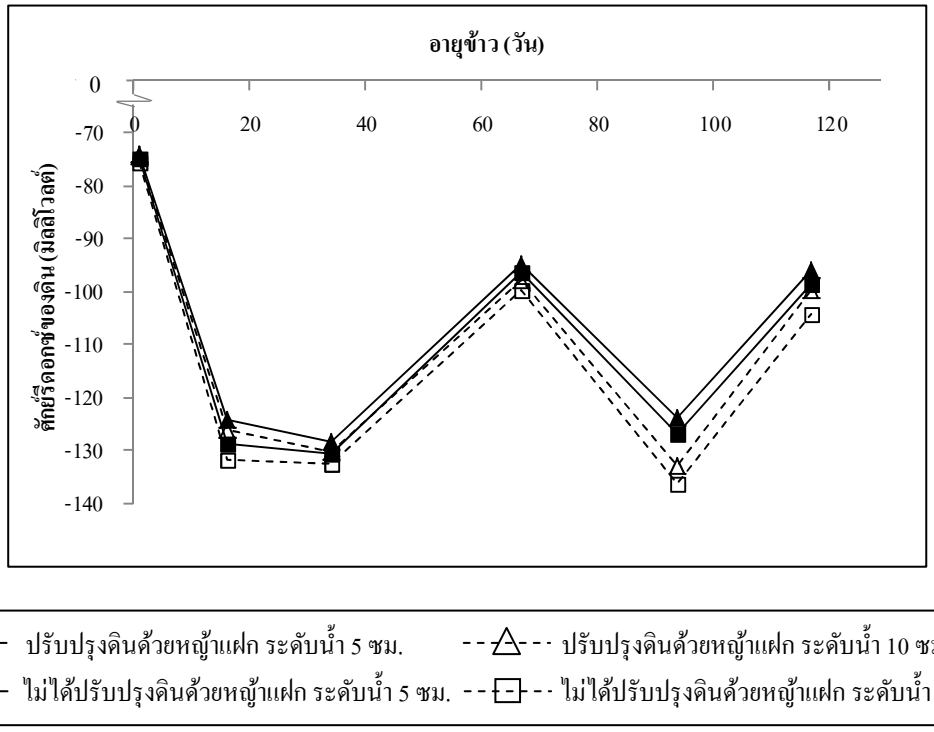
เมื่อเปรียบเทียบศักย์รีดอกซ์ของดินในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยศักย์รีดอกซ์ของดินเท่ากับ -106.93 และ -110.21 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยศักย์รีดอกซ์ของดินเท่ากับ -109.29 และ -113.38 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยศักย์รีดอกซ์ของดินสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหญ้าแฝกมีรากที่สามารถชอนไชและหยั่งลึกลงไปในดินได้ดีทำให้ดินมีความร่วนซุยเป็นผลให้ออกซิเจนสามารถแพร่ผ่านลงไปในดินได้ดีขึ้น สภาพรีดักชันมีความรุนแรงลดลง จึงทำให้ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินไม่ลดต่ำลงมาก

เมื่อเปรียบเทียบศักย์รีดอกซ์ของดินในแปลงนาที่มีระดับน้ำต่างกัน พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก) ค่าเฉลี่ยศักย์รีดอกซ์ของดินต่ำกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ทั้งนี้เพราะระดับน้ำที่ท่วมขังสูงกว่าจะขัดขวางการแพร่ผ่านของออกซิเจนลงสู่ชั้นดินทำให้เกิดสภาพรีดักชันได้รุนแรงเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินต่ำ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยศักย์รีดอกซ์ของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ศักย์รีดอกซ์ของดิน (มิลลิโวลต์)						ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		เมล็ดข้าวงอก (1 วัน)	ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	-74.2	-124.4	-128.4	-94.7	-124.0	-95.8	-106.93 ± 20.01[a]
	10	-74.3	-126.1	-130.4	-97.8	-133.0	-99.6	-110.21 ± 21.34[b]
ไม่ปลูกแฝก	5	-74.7	-128.7	-130.5	-96.5	-126.9	-98.5	-109.29 ± 20.88[ab]
	10	-75.7	-131.7	-132.4	-99.8	-136.5	-104.2	-113.38 ± 22.06[c]

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 6 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.3 ศักย์รีดอกซ์ของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

เมื่อพิจารณาค่าศักย์รีดอกซ์ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ในระยะเมล็ดข้าวงอก (ภายหลังการขังน้ำ 1 วัน) แปลงนาทุกแปลงมีค่าศักย์รีดอกซ์ของดินสูงที่สุด เนื่องจากดินเพิ่งเปลี่ยนจากสภาพดินไม่ขังน้ำเป็นดินที่มีการขังน้ำ ปริมาณออกซิเจนจึงเพิ่งเริ่มลดลงและยังอาจไม่หมดไปทำให้สภาพรีดักชันไม่รุนแรง แต่เมื่อเข้าสู่ระยะต้นกล้าและระยะข้าวแตกกอ ซึ่งการขังน้ำนานขึ้นเป็น 16 วัน และ 34 วัน ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินจึงลดต่ำลงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ (2550) ที่กล่าวว่าค่าศักย์รีดอกซ์ของดินจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงจุดต่ำสุดภายใน 2-3 สัปดาห์แรกของการขังน้ำ แต่เมื่อเข้าสู่ระยะข้าวตั้งท้อง ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินกลับมีค่าสูงขึ้นเพราะมีการระบายน้ำออกจากนาเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีฝนตกหนักทำให้ระดับน้ำในนาสูงเกินกว่าระดับที่กำหนด สภาพปัญหาดังกล่าวนี้ย่อมมีผลต่อการแพร่ของออกซิเจนผ่านชั้นดินได้ดีขึ้น ค่าศักย์รีดอกซ์จึงสูงขึ้น และเมื่อเข้าสู่ระยะเมล็ดน้ำนม ค่าที่ตรวจวัดจึงต่ำลง เนื่องจากการขังน้ำที่นานขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับระยะข้าวแตกกอ แต่เมื่อเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินกลับสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากผลของการระบายน้ำในนาข้าวออกเพื่อเตรียมเก็บเกี่ยวผลผลิต ระดับน้ำที่ลดลงนี้จึงทำให้การแพร่ของออกซิเจนผ่านชั้นดินเกิดขึ้นได้ดี ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินสูงขึ้นจนค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้ในระยะข้าวตั้งท้อง

4) อุณหภูมิของดิน (soil temperature)

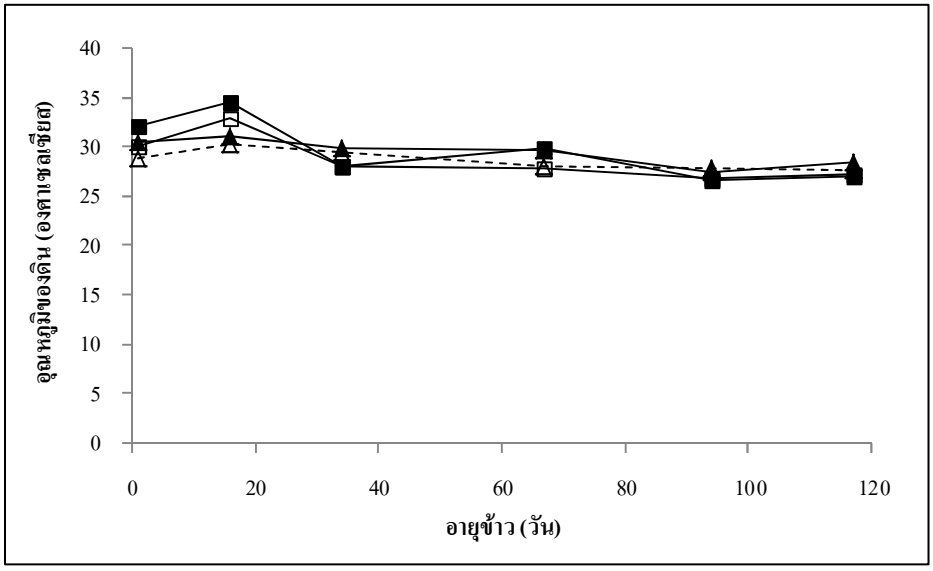
อุณหภูมิของดินมีความสำคัญในการกำหนดอัตราและทิศทางของกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในดิน โดยกระบวนการทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ การแลกเปลี่ยนมวลและพลังงานระหว่างชั้นหน้าตัดดินและบรรยากาศ กระบวนการทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ การแตกตัว (chemical speciation) และการรวมตัว (compound formation) ของสารเคมีในดิน ส่วนกระบวนการทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ การเปลี่ยนรูปของสารเคมีหรือธาตุอาหารโดยจุลินทรีย์ดิน นอกจากนี้อุณหภูมิของดินยังมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและรากพืชซึ่งจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมในช่วงหนึ่งๆ เท่านั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของดินในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 29.49 และ 28.69 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิใกล้เคียงกันมีค่าเท่ากับ 29.63 และ 28.78 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	อุณหภูมิของดิน (องศาเซลเซียส)						ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		เมล็ดข้าวงอก (1 วัน)	ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	30.4	31.2	29.9	29.7	27.3	28.4	29.49 ± 1.28
	10	28.8	30.3	29.6	28.1	27.8	27.7	28.69 ± 0.98
ไม่ปลูกแฝก	5	32.1	34.5	27.9	29.8	26.6	26.9	29.63 ± 2.86
	10	30.1	32.8	28.0	27.8	26.7	27.2	28.78 ± 2.10

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 6 จุดเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของดินในแปลงที่มีระดับน้ำต่างกัน พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก) ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ทั้งนี้เพราะเมื่อมีระดับน้ำท่วมขังสูงจะทำให้การถ่ายเท

พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ลงไปยังชั้นหน้าตัดดินเกิดขึ้นได้ช้ากว่า ดังนั้น แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร จึงมีอุณหภูมิของดินต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548) ที่กล่าวว่า ปริมาณน้ำที่ผิวดินจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในชั้นหน้าตัดดินอย่างมาก หากมีปริมาณน้ำที่ผิวดินสูงจะทำให้อุณหภูมิของดินบริเวณนั้นต่ำกว่าบริเวณที่มีปริมาณน้ำที่ผิวดินต่ำ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของดินตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า ในระยะเมล็ดข้าวงอกและระยะต้นกล้า อุณหภูมิของดินมีค่าค่อนข้างสูงอาจเป็นเพราะสภาพอากาศร้อน ปริมาณแสงแดดจัด และต้นข้าวยังเล็กมากจึงไม่สามารถช่วยบังแสงแดดที่ส่องผ่านชั้นน้ำลงไปยังหน้าดินได้จึงทำให้แสงแดดสามารถส่องผ่านชั้นน้ำไปยังดินได้ดี แต่เมื่อต้นข้าวมีการเจริญเติบโตมากขึ้น (ตั้งแต่ระยะข้าวแตกกอ จนถึงระยะเก็บเกี่ยว) อุณหภูมิของดินมีแนวโน้มลดลง อาจเป็นเพราะในระยะนี้ต้นข้าวเริ่มเจริญเติบโตมากขึ้นทำให้ใบข้าวปกคลุมผิวหน้าดิน แสงแดดส่องผ่านลงไปถึงชั้นหน้าตัดดินได้น้อยลง อย่างไรก็ตามความผันแปรของอุณหภูมิของดินยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน และแสงแดดอย่างมาก

4.1.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ

สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ช่วงก่อนการปลูกข้าว (ภายหลังการไถพรวน 15 วัน) ครั้งที่ 2 ช่วงระหว่างปลูกข้าว (ภายหลังการหว่าน 67 วัน ซึ่งตรงกับระยะข้าวตั้งท้อง) และครั้งที่ 3 ช่วงหลังการเก็บเกี่ยวข้าว (วันเดียวกันกับการเก็บเกี่ยว ภายหลังการหว่าน 117 วัน) ซึ่งจะเห็นว่าการเก็บตัวอย่างครั้งแรก เป็นการเก็บตัวอย่างในช่วงที่ดินแห้ง ขณะที่การเก็บตัวอย่างครั้งถัดมา เป็นการเก็บตัวอย่างในช่วงที่มีการขังน้ำ และการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้าย เป็นการเก็บตัวอย่างในช่วงที่มีการระบายน้ำออกเพื่อเตรียมเก็บเกี่ยว แต่เนื่องจากในช่วงนี้มีฝนตกชุกและตกหนักทำให้ยังมีน้ำท่วมขังนาข้าว ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินสามารถสรุปได้ดังนี้

1) เนื้อดิน (soil texture)

เนื้อดินเป็นสมบัติพื้นฐานที่สำคัญที่มีบทบาทในการกำหนดสมบัติทางกายภาพอื่นๆ หลายประการ ได้แก่ การระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศ และการดูดซับธาตุอาหาร เนื้อดินถูกกำหนดโดยสัดส่วนโดยมวลของอนุภาค 3 กลุ่มขนาด (soil separates) คือ ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ความผันแปรของสัดส่วนผสมของอนุภาคทำให้เกิดเนื้อดิน 12 ประเภท ซึ่งสามารถจัดเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 3 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มดินเนื้อละเอียด (fine-textured soils) ได้แก่ ดินเหนียว (clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ดินร่วนเหนียว (clay loam) และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) (2) กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (medium-textured soils) ได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy

clay loam) ดินร่วน (loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) และดินทรายแป้ง (silt) และ (3) กลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soils) ได้แก่ ดินทราย (sand) ดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) และดินร่วนปนทราย (sandy loam) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เนื้อดินของแปลงนาทั้ง 4 แปลง มีค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทราย (sand) , ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) เท่ากับ 76, 17 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) ส่วนเนื้อดินก่อนการปลูกข้าว ระหว่างปลูกข้าว และหลังปลูกข้าว มีองค์ประกอบทราย, ทรายแป้ง และดินเหนียว ใกล้เคียงกันมีค่า 75-77, 16-17 และ 6-8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเนื้อดินของทั้ง 4 แปลง เป็นดินเนื้อหยาบซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย และมีช่องว่างระหว่างอนุภาคดินขนาดใหญ่ทำให้มีการแทรกซึมน้ำและการถ่ายเทอากาศดี แต่มีการดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้น้อย เมื่อใส่ปุ๋ยลงบนผิวดินสามารถถูกชะละลายด้วยน้ำให้ไหลเลยเขตรากพืชได้ง่าย ดังนั้น จึงต้องใส่ปุ๋ยและน้ำครั้งละน้อยๆ แต่บ่อยๆ จึงจะช่วยลดการชะละลายของปุ๋ยได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เมื่อพิจารณาเนื้อดินตามครั้งที่เก็บตัวอย่างดินทั้ง 3 ครั้ง พบว่า ประเภทของเนื้อดินไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเนื้อดินเป็นสมบัติทางกายภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ช้า

2) ความชื้นในดิน (soil moisture)

ความชื้นในดิน หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในดินทั้งที่เป็นน้ำและอากาศ ถ้าช่องว่างในดินมีน้ำอยู่เต็ม เรียกว่า ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) แต่ถ้าช่องว่างในดินมีทั้งน้ำและอากาศ เรียกว่า ดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated soil) ซึ่งดินที่ใช้ในการเกษตรกรรมส่วนใหญ่เป็นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ความชื้นในดินสำคัญยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตในดิน ทั้งสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและจุลินทรีย์บางชนิด น้ำในดินยังเป็นตัวทำละลายที่ดี ทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดเปลี่ยนจากรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เป็นรูปที่ละลายน้ำซึ่งพืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ และน้ำในดินยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเคลื่อนย้ายไอออนจากดินเข้าสู่ภายในรากและลำต้นพืช หรือเข้าสู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้น้ำในดินยังมีความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงที่สูงซึ่งทำให้อุณหภูมิในดินเปลี่ยนแปลงได้ยาก จึงส่งผลให้น้ำในดินมีอุณหภูมิไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป ทำให้ดินมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (บุญแสน เตียวนุกูลธรรม, 2555)

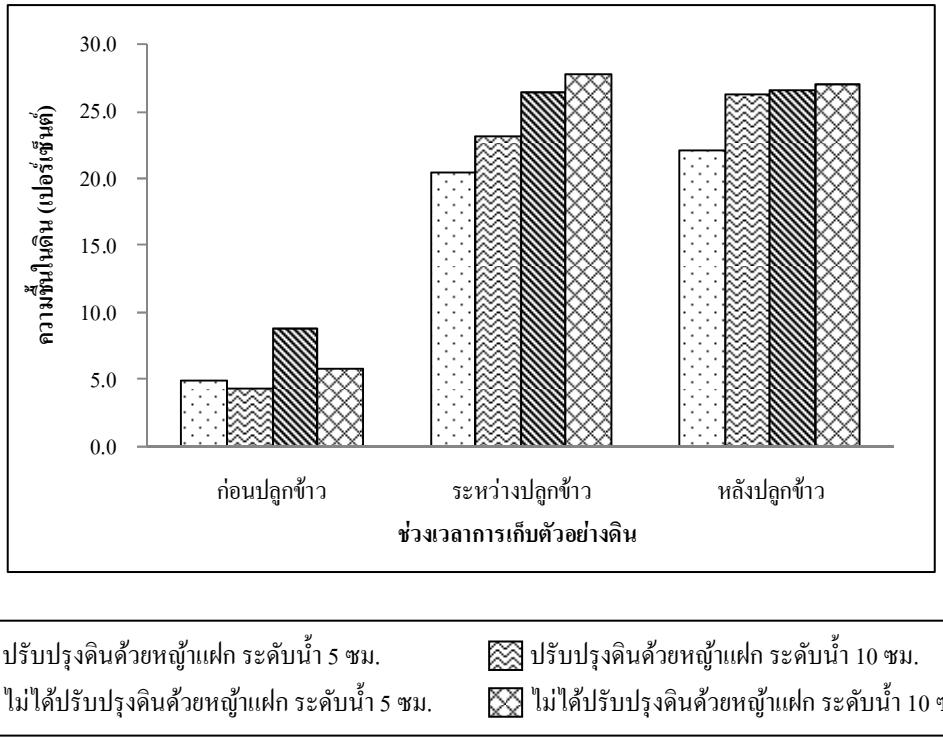
เมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นในดิน ภายหลังการไถพรวนหรือก่อนการหว่านข้าว ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.89 และ 4.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.78 และ 5.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5) นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ทั้งใน

แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก มีค่าเฉลี่ยความชื้นในดินสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความชื้นในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ความชื้นในดิน (เปอร์เซ็นต์)			ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน
		ก่อนปลูกข้าว	ระหว่างปลูกข้าว	หลังปลูกข้าว	
ปลูกแฝก	5	4.89	20.56	22.12	15.86 ± 7.78^{b}
	10	4.26	23.22	26.31	17.93 ± 9.75^{ab}
ไม่ปลูกแฝก	5	8.78	26.46	26.59	20.61 ± 8.37^{a}
	10	5.79	27.89	28.71	20.80 ± 10.62^{a}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 9 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.5 ความชื้นในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

เมื่อพิจารณาค่าความความชื้นในดินตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน พบว่า ตัวอย่างดินซึ่งเก็บในช่วงหลังการไถพรวน ซึ่งยังไม่ได้ตีเทือกทำดินให้เป็นตม และช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นช่วงฤดูแล้ง ทำให้ค่าความชื้นในดินมีค่าต่ำ แต่เมื่อเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการขังน้ำในนาข้าว ค่าความชื้นของดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำที่ท่วมขังอยู่บนผิวดินสามารถซึมผ่านลงไปยังดินชั้นล่างได้มากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

3) ความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density)

ความหนาแน่นรวมของดิน หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของดินขณะที่มวลดินแห้งสนิทต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรรวมของดิน (ปริมาตรของอนุภาคดินและช่องว่างในดิน) ค่าความหนาแน่นรวมของดินมีหน่วยที่ใช้เป็นน้ำหนักต่อปริมาตร โดยทั่วไป คือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นรวมของดินในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.36 และ 1.33 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.24 และ 1.21 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.6) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรากของหญ้าแฝกช่วยให้ดินยึดเกาะเป็นก้อนที่เหมาะสมยิ่งขึ้น เป็นผลให้ดินในแปลงนาที่ทำการวิจัยทั้ง 4 แปลง ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบมีค่าความหนาแน่นรวมสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลดีต่อสมบัติโดยรวมของดิน

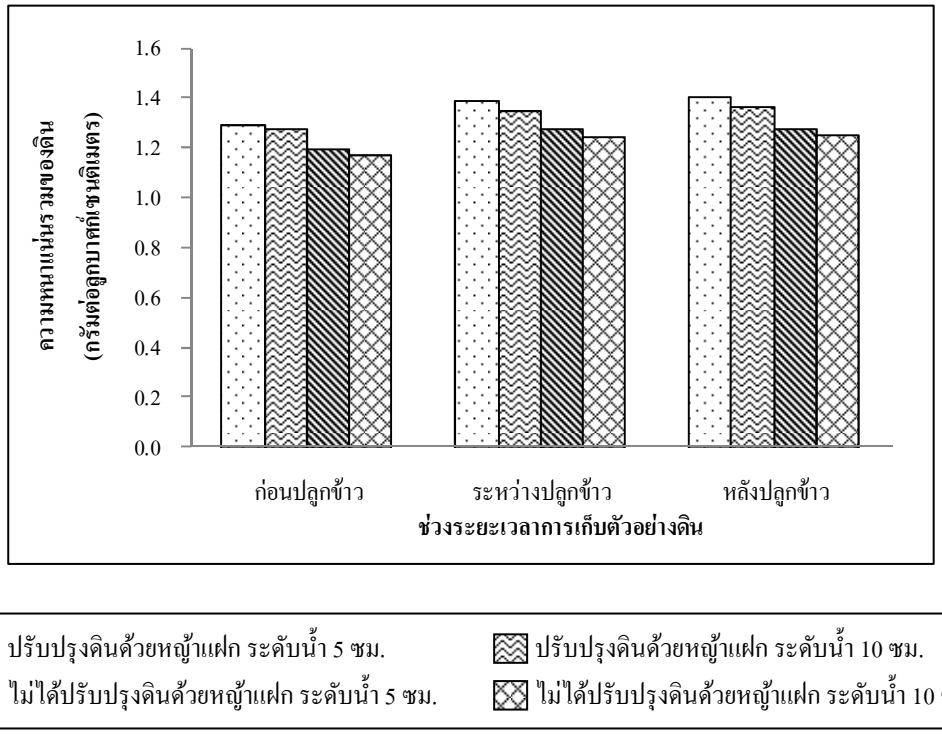
เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นรวมของดินในแปลงที่มีระดับน้ำต่างกัน แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก) พบว่ามีค่าต่ำกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระดับน้ำที่ท่วมขังต่ำกว่าทำให้สภาพให้ซึมได้ของดิน (permeability) ต่ำกว่าระดับน้ำที่ท่วมขังสูง ซึ่งสภาพให้ซึมได้ของดินถูกควบคุมโดยตรงจากขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน โดยดินที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคดินขนาดเล็ก (ความหนาแน่นรวมสูง) จะมีสภาพให้ซึมได้ของดินต่ำ ส่วนดินที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคดินขนาดใหญ่ (ความหนาแน่นรวมต่ำ) จะมีสภาพให้ซึมได้ของดินสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นรวมของดินตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน พบว่า ในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1 (ดินแห้ง ยังไม่ได้ขังน้ำในนาข้าว) ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าต่ำที่สุด แต่เมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2 และ 3 (ขังน้ำในนาข้าวแล้ว) ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำที่ท่วมขังอยู่บนผิวดินทำให้ดินอัดตัวแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรของช่องว่างในดินลดลง ความหนาแน่นรวมของดินจึงสูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน
		ก่อนปลูกข้าว	ระหว่างปลูกข้าว	หลังปลูกข้าว	
ปลูกแฝก	5	1.29	1.39	1.40	1.36 ± 0.05^{a}
	10	1.27	1.35	1.36	1.33 ± 0.04^{a}
ไม่ปลูกแฝก	5	1.19	1.27	1.27	1.24 ± 0.04^{b}
	10	1.17	1.24	1.25	1.21 ± 0.04^{b}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 9 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.6 ความหนาแน่นรวมของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

หากพิจารณาระดับความหนาแน่นรวมของดินตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (2547) พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง

1.33-1.36 และ 1.21-1.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ จัดเป็นดินที่ไม่มีผลต่อการชอนไชของรากพืช (ตารางที่ ค3)

4) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cation exchange capacity; CEC)

ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) หมายถึง ปริมาณแคตไอออนหรือประจุบวกทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินจะบ่งบอกถึงปริมาณธาตุอาหารพืชซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกแคตไอออนที่ถูกดูดยึดไว้ซึ่งพืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยดินที่สามารถดูดยึดแคตไอออนได้ดี คือ ดินที่มีองค์ประกอบของอนุภาคดินเหนียวและฮิวมัสสูง และการที่ดินจะดูดซับแคตไอออนชนิดไหนได้แน่นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและอำนาจในการเข้าแทนที่ (replacing power) ของแคตไอออนนั้น ซึ่งสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} = NH_4^{+} > Na^{+}$ นั่นคือ K^{+} หรือ NH_4^{+} สามารถแทนที่ Na^{+} ได้ง่ายกว่าที่ Na^{+} จะแทนที่ K^{+} หรือ NH_4^{+} หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า K^{+} หรือ NH_4^{+} จะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินได้แน่นกว่า Na^{+} แต่จะแน่นน้อยกว่า Mg^{2+}, Ca^{2+} และ Al^{3+} ตามลำดับ (Brady และ Weil, 2000) การวิเคราะห์ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินใช้หลักการแทนที่แคตไอออนเดิมที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินทั้งหมดด้วย NH_4^{+} แล้ววิเคราะห์หาปริมาณ NH_4^{+} ที่ใช้ โดยบอกเป็น milliequivalents ต่อดิน 100 กรัม ดังนั้น หน่วยของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินจึงเป็น meq/100 กรัมของดิน หรือในหน่วย SI unit คือ เซนติโมลต่อกิโลกรัม (cmol/kg) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

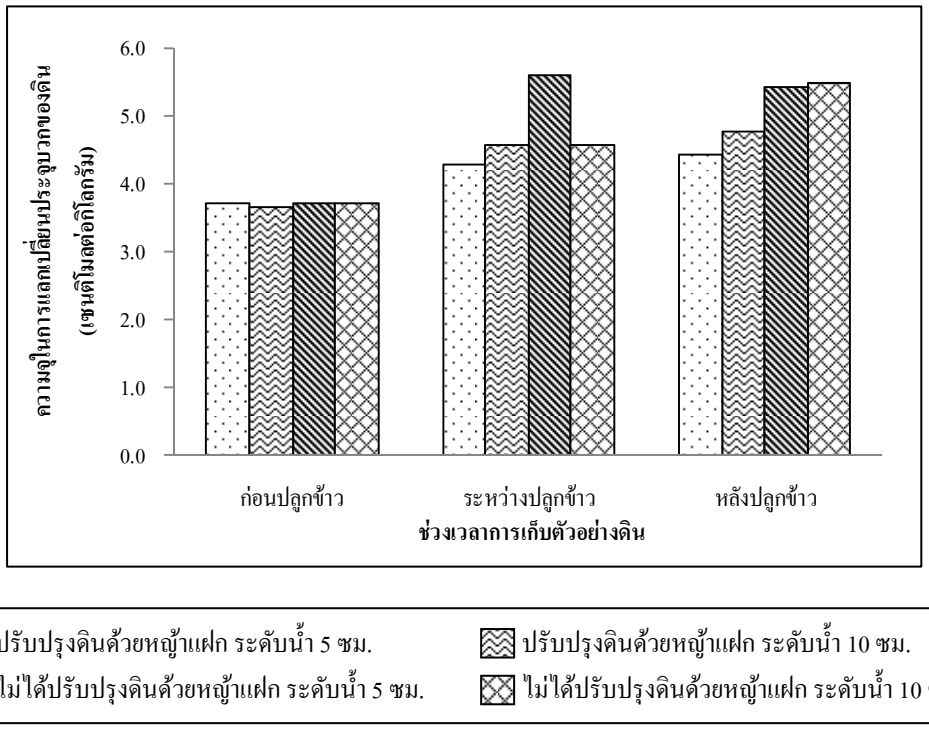
เมื่อเปรียบเทียบค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ในแปลงนาระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน เท่ากับ 4.15 และ 4.35 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน เท่ากับ 4.92 และ 4.61 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงที่แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกหยุดใช้ทำนาเพื่อปรับปรุงดินโดยการปลูกหญ้าแฝกในแปลงนาเป็นเวลาประมาณ 500 วัน ก่อนที่จะไถกลบ แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกได้ใช้ทำนา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก และภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวแต่ละครั้งได้ปรับปรุงดินด้วยการปลูกและไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด ปอเทืองเป็นพืชที่มีปริมาณลิกนิน (lignin) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน ย่อยสลายยาก และมีปริมาณสูงขึ้นตามอายุพืชเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ (Chaudhury และคณะ, 2012) ขณะที่หญ้าแฝกมีปริมาณลิกนินเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ (Methacanon และคณะ, 2003) ทำให้เมื่อทำการไถกลบ ปอเทืองจะถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าหญ้าแฝกเป็น

ผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกสูงกว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก โดยที่ผิวของอินทรียวัตถุมีประจุลบอยู่มากทำให้สามารถดูดซับแคตไอออนได้ดี ดังนั้น ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจึงมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงด้วย

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน
		ก่อนปลูกข้าว	ระหว่างปลูกข้าว	หลังปลูกข้าว	
ปลูกแฝก	5	3.72	4.31	4.43	4.15 ± 0.31^{c}
	10	3.68	4.58	4.79	4.35 ± 0.48^{bc}
ไม่ปลูกแฝก	5	3.73	5.61	5.43	4.92 ± 0.85^{a}
	10	3.74	4.59	5.49	4.61 ± 0.71^{ab}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 9 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.7 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

เมื่อพิจารณาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินตามตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน พบว่า ในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1 (ดินแห้ง ยังไม่ได้ขังน้ำในนาข้าว) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีค่าต่ำที่สุด แต่เมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2 และ 3 (ขังน้ำในนาข้าวแล้ว) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินในสภาพที่มีการขังน้ำทำให้มีการแตกตัวให้แคตไอออนเพิ่มขึ้น ซึ่งแคตไอออนเหล่านี้ถูกดูดซับที่ผิวของอนุภาคดินได้มาก ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินจึงสูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

หากพิจารณาระดับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (2547) พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.15-4.92 เซนติโมลต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ตารางที่ ค4)

5) อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter)

อินทรียวัตถุในดิน คือ องค์ประกอบสารอินทรีย์ในดิน ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ เซลล์จุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิต (living biomass) เศษซากของพืชและสัตว์ที่กำลังถูกย่อยสลาย และฮิวมัสซึ่งเป็นส่วนที่มีโครงสร้างซับซ้อนและคงทนต่อการย่อยสลาย อินทรียวัตถุในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลยิ่งต่อสมบัติต่างๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ซึ่งล้วนส่งผลต่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

เมื่อเปรียบเทียบค่าอินทรียวัตถุในดินในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุเท่ากับ 0.63 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุเท่ากับ 1.02 และ 1.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุต่ำกว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งปลูกปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด โดยปอเทืองมีลิกนินเป็นองค์ประกอบ 4 เปอร์เซ็นต์ (Chaudhury และคณะ, 2012) ขณะที่หญ้าแฝกมีลิกนินเป็นองค์ประกอบ 10 เปอร์เซ็นต์ นอกเหนือจากนั้นเป็นสารเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 40 เปอร์เซ็นต์ และเซลลูโลส (cellulose) 30-35 เปอร์เซ็นต์ (Methacanon และคณะ, 2003) ลิกนินเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน ย่อยสลายยาก และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุพืช ทำให้เมื่อไถกลบ ปอเทืองจะเกิดการย่อยสลายได้ง่ายกว่าหญ้าแฝกเป็นผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงกว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก

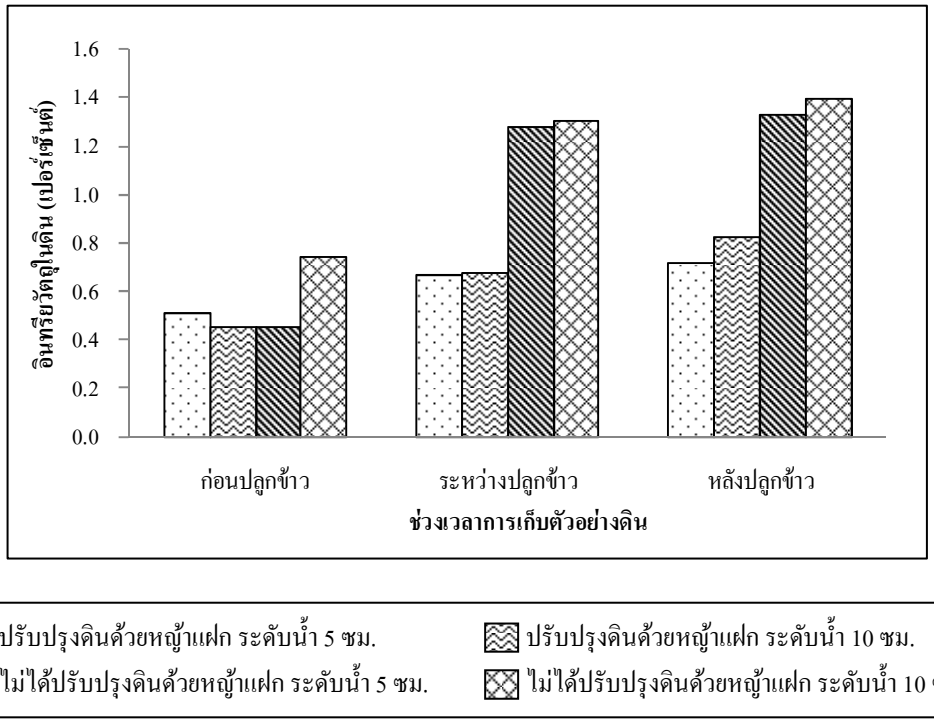
เมื่อเปรียบเทียบค่าอินทรียวัตถุในดิน ในแปลงที่มีระดับน้ำต่างกัน แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก) พบว่า มีค่าสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำที่ท่วมขังทำให้ออกซิเจนแพร่ผ่านได้ช้าลงถึง 10^4 เท่าของในบรรยากาศ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550) ดังนั้น แปลงที่มีระดับน้ำท่วมขังสูงจึงมีปริมาณ

ออกซิเจนลดลงอย่างรวดเร็ว การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้ช้าส่งผลให้สารอินทรีย์บางส่วนถูกย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ค่าอินทรียวัตถุในดินจึงสูงขึ้น

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	อินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์)			ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน
		ก่อนปลูกข้าว	ระหว่างปลูกข้าว	หลังปลูกข้าว	
ปลูกแฝก	5	0.51	0.67	0.72	0.63 ± 0.09^{c}
	10	0.45	0.68	0.83	0.65 ± 0.16^{c}
ไม่ปลูกแฝก	5	0.45	1.28	1.33	1.02 ± 0.40^{b}
	10	0.74	1.31	1.40	1.15 ± 0.29^{a}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 9 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.8 อินทรียวัตถุในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

เมื่อเปรียบเทียบค่าอินทรียวัตถุของดินตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน พบว่า ในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1 (ดินแห้ง ยังไม่ได้ขังน้ำในนาข้าว) ค่าอินทรียวัตถุของดินมีค่าต่ำที่สุด และมีค่าเพิ่มขึ้นในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2 และ 3 (ขังน้ำในนาข้าวแล้ว) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเศษซากต้นและใบของข้าวที่ตายหรือร่วงหล่นและทับถม สารอินทรีย์ที่ขับจากรากข้าว รวมถึงกิจกรรมในแปลงนา เช่น การใส่ปุ๋ย ล้วนเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ให้กับดิน ค่าอินทรียวัตถุในดินจึงสูงขึ้น

หากพิจารณาระดับอินทรียวัตถุในดินเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร (2553) พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.63 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก และดินในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 1.02 และ 1.15 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ตารางที่ ค5)

6) อินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon)

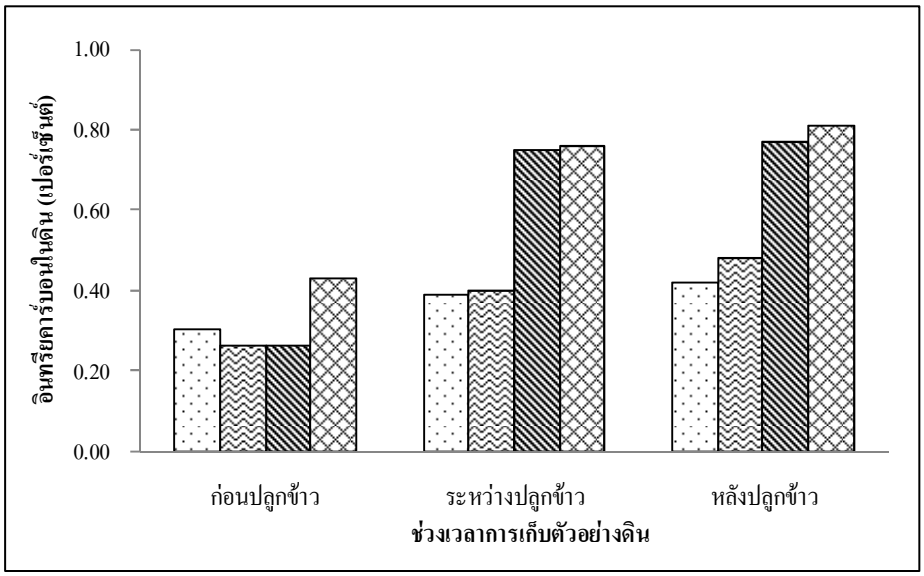
อินทรีย์คาร์บอนในดินมีความสำคัญกับจุลินทรีย์ดินอย่างมาก เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้อินทรีย์คาร์บอนในดินในการสร้างองค์ประกอบของเซลล์ และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ ถ้าดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงจะทำให้จำนวนประชากรของจุลินทรีย์สูงขึ้น เป็นผลให้อัตราการย่อยสลายของอินทรียวัถตุสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้อินทรีย์คาร์บอนยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรียวัถตุ โดยมีอยู่ถึงประมาณร้อยละ 58 ของปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Allison และ Moodie, 1965 อ้างถึงในกรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ซึ่งการวิจัยนี้จึงใช้การคำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินจากปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยใช้ค่า 0.58 คูณกับปริมาณอินทรียวัตถุ

ด้วยเหตุผลที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของการวิจัยนี้ใช้การคำนวณจากปริมาณอินทรียวัตถุดังกล่าว แนวโน้มของอินทรีย์คาร์บอนจึงเป็นไปในลักษณะเดียวกับอินทรียวัตถุทุกด้าน โดยค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.37 และ 0.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.59 และ 0.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	อินทรีย์คาร์บอนในดิน (เปอร์เซ็นต์)			ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน
		ก่อนปลูกข้าว	ระหว่างปลูกข้าว	หลังปลูกข้าว	
ปลูกแฝก	5	0.30	0.39	0.42	0.37 ± 0.05^{c}
	10	0.26	0.40	0.48	0.38 ± 0.09^{c}
ไม่ปลูกแฝก	5	0.26	0.75	0.77	0.59 ± 0.24^{b}
	10	0.43	0.76	0.81	0.67 ± 0.17^{a}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 9 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.9 อินทรีย์คาร์บอนในดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

7) ไนโตรเจนทั้งหมดของดิน (total nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณรวมของไนโตรเจนในรูปต่างๆ ทั้งที่เป็นอินทรีย์ไนโตรเจน และอนินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งโดยทั่วไปจะพบในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงถึงประมาณร้อยละ 97–98 ของไนโตรเจนทั้งหมดของดิน ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน และกรดนิวคลีอิก และพบในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนเพียงประมาณร้อยละ 2–3 ของไนโตรเจนทั้งหมดของดิน ได้แก่ NH_4^+, NO_3^-, NO_2^- และรูปของก๊าซต่างๆ เช่น ก๊าซ NO, N_2O และ N_2 ซึ่งรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ NH_4^+ และ NO_3^- ไนโตรเจนในรูปต่างๆ เหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับกระบวนการทางชีวธรณีเคมีของดิน ดังนั้น การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินจึงเพียงพอต่อการระบุว่าในดินมีไนโตรเจนอยู่เท่าใด หากต้องการทราบถึงไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชก็สามารถวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในรูป NH_4^+ หรือ NO_3^- ได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

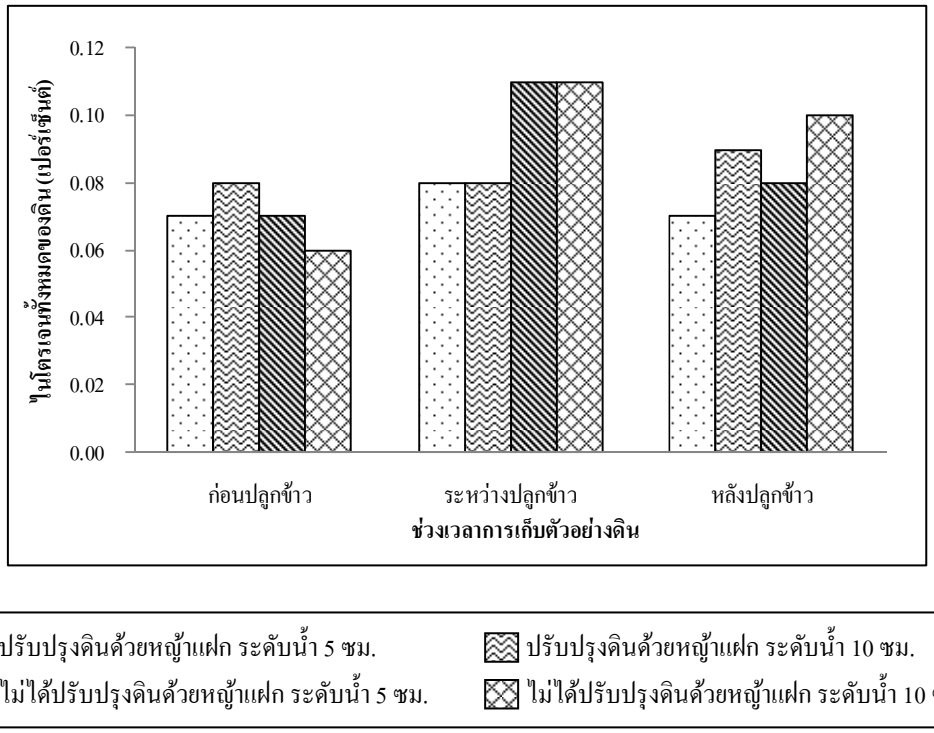
เมื่อเปรียบเทียบค่าไนโตรเจนทั้งหมดของดินในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.07 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากัน คือ 0.09 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.10) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะส่วนต้นและใบของหญ้าแฝกมีองค์ประกอบไนโตรเจน 0.81 เปอร์เซ็นต์ (ราเชนทร์ ถิรพร, 2537) ซึ่งต่ำกว่าปอเทืองที่มีองค์ประกอบไนโตรเจนสูงกว่ามีค่า 2.86 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) ดังนั้น แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก เมื่อไถกลบปอเทืองซึ่งมีองค์ประกอบไนโตรเจนสูงกว่า และถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่า จึงปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาได้สูงกว่า ทำให้ค่าไนโตรเจนทั้งหมดของดินสูงกว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก

เมื่อพิจารณาค่าไนโตรเจนทั้งหมดของดินตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน พบว่า ในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1 (ดินแห้ง ยังไม่ได้ขังน้ำในนาข้าว) ค่าไนโตรเจนทั้งหมดของดินมีค่าต่ำที่สุด เพราะการย่อยสลายยังเกิดขึ้นได้บางส่วน ดังนั้น จึงไม่สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนให้กับดินได้มาก แต่เมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินในครั้งที่ 2 และ 3 พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเป็นผลจากการย่อยสลายหญ้าแฝกและปอเทืองที่ไถกลบลงในดิน และเศษซากต้นและใบของข้าวที่ตายหรือร่วงหล่นทับถม รวมทั้งการเติมปุ๋ยน้ำชีวภาพ และปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นการเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินส่งผลให้ไนโตรเจนทั้งหมดของดินสูงขึ้น

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมดของดิน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ไนโตรเจนทั้งหมดของดิน (เปอร์เซ็นต์)			ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน
		ก่อนปลูกข้าว	ระหว่างปลูกข้าว	หลังปลูกข้าว	
ปลูกแฝก	5	0.07	0.08	0.07	0.07 ± 0.00^{b}
	10	0.07	0.11	0.08	0.08 ± 0.00^{ab}
ไม่ปลูกแฝก	5	0.08	0.08	0.09	0.09 ± 0.02^{ab}
	10	0.06	0.11	0.10	0.09 ± 0.02^{a}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 9 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.10 ไนโตรเจนทั้งหมดของดินในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

8) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

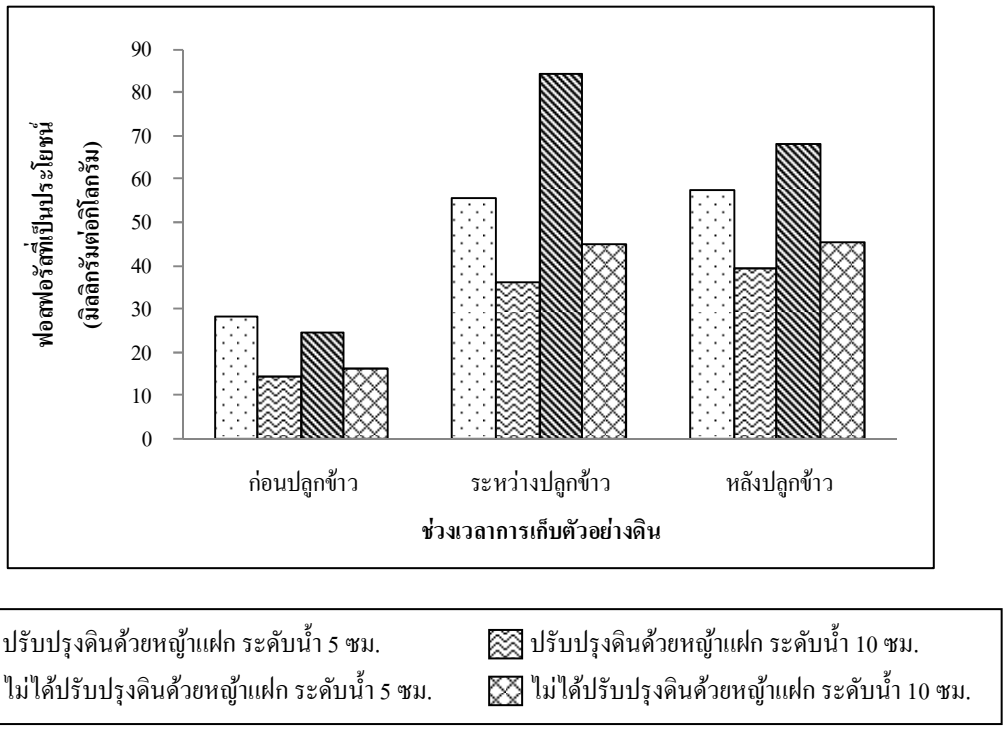
ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมากเพื่อช่วยในการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืช ฟอสฟอรัสในดินมีอยู่ 3 รูป คือ ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่กับดิน (fixed phosphorus) ซึ่งไม่เป็นประโยชน์สำหรับพืช และอีก 2 รูปซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับพืช คือ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในสารละลายดิน (soil solution phosphorus) และฟอสฟอรัสที่พร้อมจะอยู่ในรูปสารละลายดิน (active phosphorus) อย่างไรก็ตาม ฟอสฟอรัสที่อยู่ในสารละลายดินมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้น ฟอสฟอรัสที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่จึงเป็นฟอสฟอรัสที่พร้อมจะอยู่ในรูปสารละลายดิน โดยฟอสฟอรัสในรูปนี้ถูกควบคุมด้วยความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยในดินที่เป็นกลาง (ความเป็นกรด-ด่าง 6-7) ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด (Busman และคณะ, 2012) โดยจะอยู่ในรูปของไอออนฟอสเฟต คือ monobasic orthophosphate ($H_2PO_4^-$) และ dibasic orthophosphate (HPO_4^{2-}) ในดินกรด (ความเป็นกรด-ด่าง < 5.5) เหล็กหรืออลูมินัมจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตได้สารประกอบเป็นเหล็กฟอสเฟตหรืออลูมินัมฟอสเฟต ซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และในดินด่าง (ความเป็นกรด-ด่าง > 7.3) แมกนีเซียมหรือแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตได้สารประกอบเป็นแมกนีเซียมฟอสเฟตหรือแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณฟอสฟอรัสในดินยังขึ้นกับอำนาจในการตรึงฟอสฟอรัส (phosphorus fixing power) ถ้าดินมีอำนาจในการตรึงสูง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าดินมีอำนาจในการตรึงต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมีค่าสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เมื่อเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในแปลงทั้ง 4 แปลง พบว่า แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด (58.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ลำดับถัดมา คือ แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (46.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (35.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (29.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.11) นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน
		ก่อนปลูกข้าว	ระหว่างปลูกข้าว	หลังปลูกข้าว	
ปลูกแฝก	5	27.88	55.67	57.29	46.95 ± 13.50^{b}
	10	14.22	36.00	39.43	29.88 ± 11.16^{c}
ไม่ปลูกแฝก	5	24.33	84.00	68.00	58.78 ± 25.22^{a}
	10	15.89	44.88	45.33	35.37 ± 13.77^{c}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 9 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.11 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

เมื่อพิจารณาค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน พบว่า ในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1 (ดินแห้ง ยังไม่ได้ขังน้ำในนาข้าว) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินในครั้งที่ 2 และ 3 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มี

แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้หญ้าแฝกและปอเทืองไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด รวมทั้งเศษซากต้นและใบของข้าวที่ตายหรือร่วงหล่นทับถม การเติมปุ๋ยน้ำชีวภาพ และปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นการเพิ่มฟอสฟอรัสให้กับดิน กอปรกับการขังน้ำในนาข้าวทำให้ฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น โดยปกติแล้วดินที่ไม่มีการขังน้ำฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-}) จับอยู่กับเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ในรูปของเฟอร์ริกฟอสเฟต [$Fe(H_2PO_4)_3$] ซึ่งเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่เมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำ ปริมาณออกซิเจนในดินลดต่ำลง และความเป็นกรด-ด่างของดินปรับเข้าสู่ค่าที่เป็นกลาง ซึ่งการที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นกลางจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เฟอร์ริกถูกรีดิวซ์เป็นเฟอร์รัสได้เร็วขึ้นและทำให้ได้ H_2PO_4 เกิดขึ้น ซึ่งเป็นรูปที่ละลายน้ำ และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

หากพิจารณาระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (2547) พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 29.88-58.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดอยู่ในเกณฑ์สูงถึงสูงมาก (ตารางที่ ค6)

9) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมากและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในกิจกรรมการสร้างและเคลื่อนย้ายน้ำตาล การสังเคราะห์แสง และการหายใจ ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช โพแทสเซียมในดินมีอยู่ 3 รูป คือ โพแทสเซียมที่ถูกตรึงอยู่กับดิน (fixed potassium) โพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน (soil solution potassium) และโพแทสซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) รูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ โพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แต่โพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน มีปริมาณน้อยมากและพืชสามารถดูดไปใช้ได้ง่ายจึงไม่ค่อยพบโพแทสเซียมในรูปนี้ โพแทสเซียมในดินในทั้ง 3 รูปจะสมดุลกันเสมอ กล่าวคือเมื่อพืชดูดโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ไปใช้ประโยชน์จนมีระดับต่ำมาก โพแทสเซียมในรูปที่ถูกตรึงอยู่กับดินจะถูกปลดปล่อยออกมาให้อยู่ในรูปของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งการปลดปล่อยนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของคอลลอยด์ดิน และอุณหภูมิของดิน เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เมื่อเปรียบเทียบค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 72.96 และ 74.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 58.04 และ 46.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.12 และ

ภาพที่ 4.12) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปอเทืององค์ประกอบโพแทสเซียมเท่ากับ 2.40 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) ขณะที่หญ้าแฝกมีองค์ประกอบโพแทสเซียมในส่วนต้นและใบเท่ากับ 1.33-1.58 เปอร์เซ็นต์ (สุภาพร จันรุ่งเรือง และคณะ, 2537; ราเชนทร์ ถิรพร, 2537) อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวยังไม่ได้รวมถึงองค์ประกอบโพแทสเซียมในส่วนราก ซึ่งมีสัดส่วนของมวลชีวภาพของส่วนรากต่อส่วนต้นค่อนข้างสูง โดยคาดว่ารากของหญ้าแฝกสามารถสะสมโพแทสเซียมไว้ได้สูง ดังนั้น เมื่อไถกลบหญ้าแฝกและปอเทืองในนาข้าว แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกจึงมีค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก

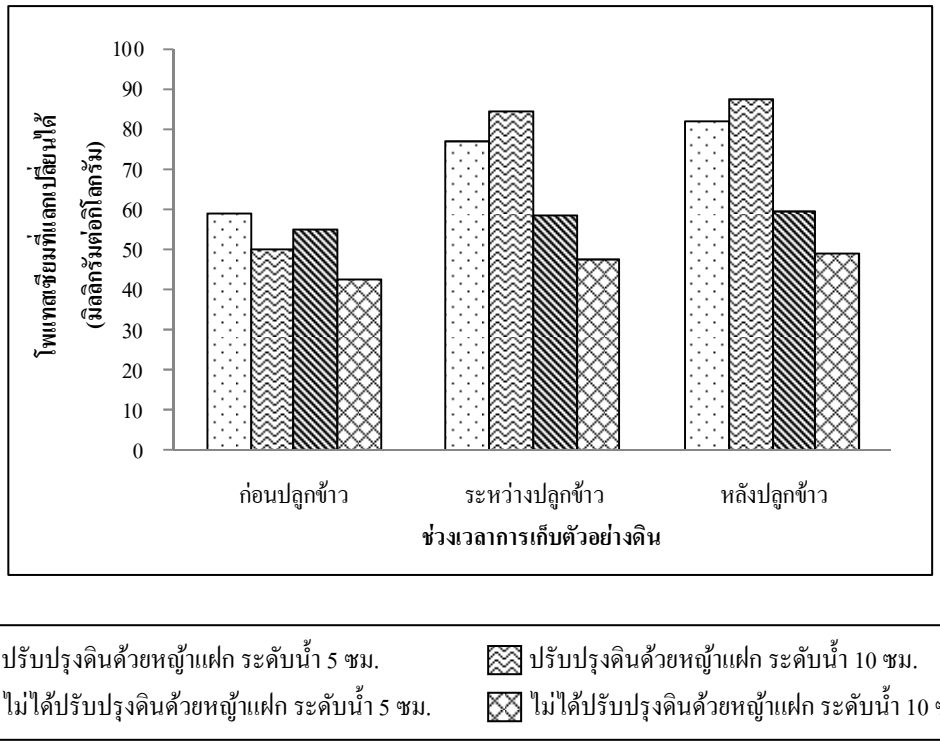
เมื่อพิจารณาค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน พบว่า ในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1 (ดินแห้ง ยังไม่ได้ขังน้ำในนาข้าว) ค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าต่ำที่สุด และเมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินในครั้งที่ 3 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการใช้หญ้าแฝกและปอเทืองไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด รวมทั้งเศษซากต้นและใบของข้าวที่ตายหรือร่วงหล่นทับถม การเติมปุ๋ยน้ำชีวภาพ และปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นการเพิ่มโพแทสเซียมให้กับดิน กอปรกับการขังน้ำในนาข้าว ทำให้โพแทสเซียมในดินสูงขึ้น เนื่องจากดินในสภาพที่มีการขังน้ำจะทำให้เฟอร์ริกและแมงกานิกถูกรีดิวซ์เป็นเฟอร์รัสและแมงกานัส ซึ่งเฟอร์รัสและแมงกานัสที่เกิดขึ้นจะไปแทนที่โพแทสเซียม (K^+) ให้หลุดออกไปจากผิวของอนุภาคดิน ทำให้โพแทสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น (Ponnamperuma, 1965 อ้างถึงใน อรัญญ์ ขันติยวิชย์, 2551)

หากพิจารณาระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (2547) พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 72.96 และ 74.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง และดินในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 58.04 และ 46.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ตารางที่ ค7)

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน
		ก่อนปลูกข้าว	ระหว่างปลูกข้าว	หลังปลูกข้าว	
ปลูกแฝก	5	59.25	77.14	82.50	72.96 ± 9.94^{a}
	10	50.33	85.00	87.83	74.39 ± 17.05^{a}
ไม่ปลูกแฝก	5	55.50	58.88	59.75	58.04 ± 1.83^{b}
	10	43.00	47.67	49.43	46.70 ± 2.71^{c}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 9 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.12 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน

4.2 ผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

ปัจจัยที่ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมีหลายปัจจัย ได้แก่ แหล่งคาร์บอนในดิน สมบัติของดิน การจัดการน้ำ ปุ๋ย พันธุ์ข้าว และสภาพภูมิอากาศ (พัชรี แสนจันทร์และสิริธร คมน์ทิพยรัตน์, 2548) แต่ปัจจัยที่มีผลอย่างมาก คือ สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน และระดับน้ำในนาข้าว ดังนั้น การวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ผ่านการปรับปรุงดิน 2 แบบ คือ แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ปลูกหญ้าแฝกในแปลงนา 500 วันแล้วไถกลบ) และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ใช้ทำนา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก และภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้งใช้การไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด) และทำการควบคุมระดับน้ำในแปลงนา 2 ระดับ คือ 5 และ 10 เซนติเมตร รวมทั้งยังศึกษาเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในบริเวณที่ปลูกข้าวกับบริเวณที่ไม่ปลูกข้าวควบคู่ไปด้วย ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว 6 ระยะ คือ ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว นำตัวอย่างก๊าซที่เก็บได้ไปวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนด้วย GC (gas chromatography) โดยใช้ detector แบบ flame ionization detector (FID) ปริมาณก๊าซมีเทนที่วิเคราะห์ได้จะเป็นปริมาณการปลดปล่อย ณ ช่วงเวลาหนึ่งๆ แต่สามารถนำมาคำนวณเป็นปริมาณการปลดปล่อยในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน เช่น ชั่วโมง วัน และตลอดฤดูกาลเพาะปลูก โดยหน่วยที่ใช้ในการ

วิจัยนี้มี 3 แบบ คือ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) การปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายวัน (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) และการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก)

4.2.1 ผลของการปรับปรุงดินต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การปรับปรุงดินในนาข้าวทำให้สมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไปซึ่งอาจทำให้ดินมีความเหมาะสมในการปลูกข้าวมากยิ่งขึ้น แต่สมบัติของดินที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ย่อมส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว ดังนั้น การวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงดินที่ต่างกันต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว โดยได้เปรียบเทียบในพื้นที่ 2 บริเวณ คือ บริเวณที่ปลูกข้าว และบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การปลดปล่อยก๊าซมีเทนบริเวณที่ปลูกข้าว

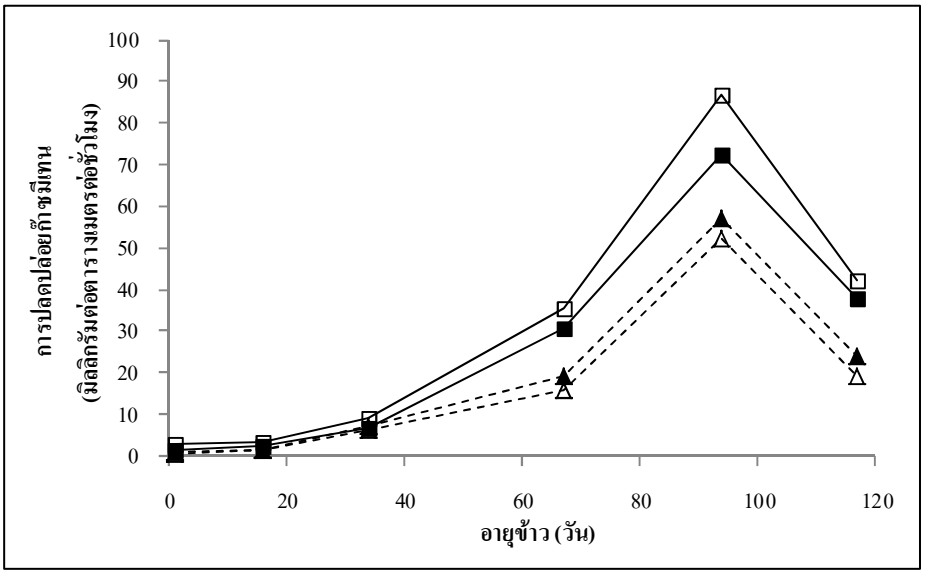
เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 15.79 และ 18.19 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 25.29 และ 29.96 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.13ก) ทั้งนี้เนื่องจากรากของหญ้าแฝกมีความสามารถในการชอนไชและหยั่งลึกลงไปในแนวดิ่งได้ดี ซึ่งหญ้าแฝกที่ปลูกไว้ในแปลงนาที่มีสภาพดินขาดความอุดมสมบูรณ์และเป็นการปลูกโดยไม่มีการใส่ปุ๋ย พบว่า หญ้าแฝกมีรากยาวประมาณ 50 เซนติเมตร จึงคาดว่าออกซิเจนสามารถซึมผ่านชั้นดินลงไปได้ดีขึ้นเป็นผลให้สภาพรีดักชันไม่รุนแรง การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจึงต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก นอกจากนี้ยังพบว่าดินในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงกว่าจึงทำให้ methanogenic bacteria สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ดี เป็นผลให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูง นอกจากนี้ยังพบว่า ความยาวรากของต้นข้าวในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ยาวมากกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งรากที่หยั่งลึกลงไปในดินที่มากกว่านี้มีผลให้การแพร่ของออกซิเจนผ่านชั้นดินลงไปได้ดีขึ้น รวมทั้งบริเวณผิวโดยรอบของรากข้าวมีชั้นออกซิเจนบางๆ เคลือบอยู่ ซึ่งออกซิเจนสามารถออกซิไดซ์ก๊าซมีเทนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจึงลดลง ซึ่งการวิจัยนี้ได้ผลตรงกันข้ามกับ สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ (2543) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของความยาว

รากข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเส้นตรง โดยการปลูกข้าวแบบนาหว่านทำให้รากของข้าวอยู่ในระดับที่ตื้นกว่า และสัมพันธ์กับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าการปลูกข้าวแบบนาดำ

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ปลูกข้าว

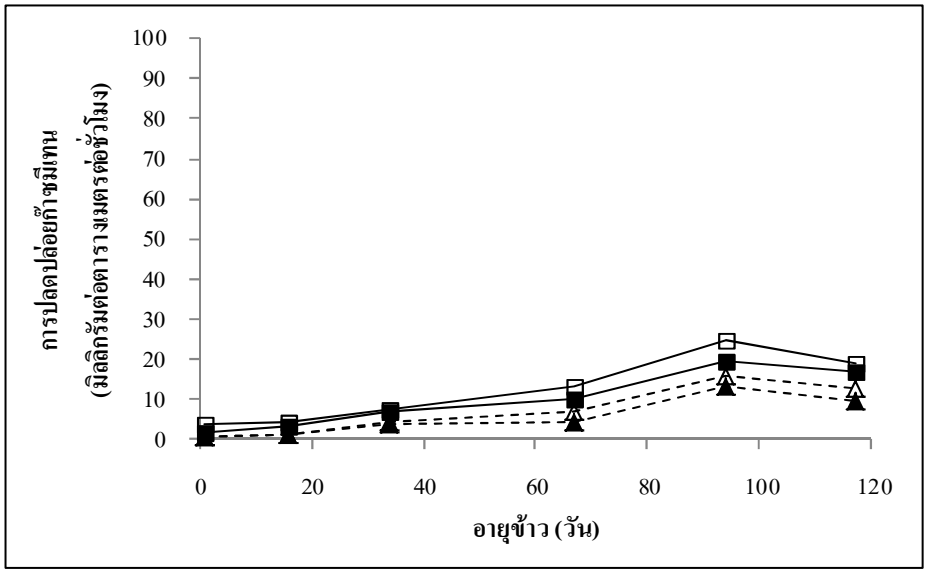
การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)						ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		เมล็ดข้าวงอก (1 วัน)	ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	0.60	1.12	5.91	15.96	52.22	18.99	15.79±17.71^{c}
	10	0.71	1.32	7.15	19.07	56.95	23.94	18.19±19.36^{c}
ไม่ปลูกแฝก	5	1.34	2.44	6.69	30.75	72.55	37.97	25.29±25.38^{b}
	10	2.83	3.20	9.14	35.54	86.86	42.20	29.96±29.73^{a}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซจาก 3 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

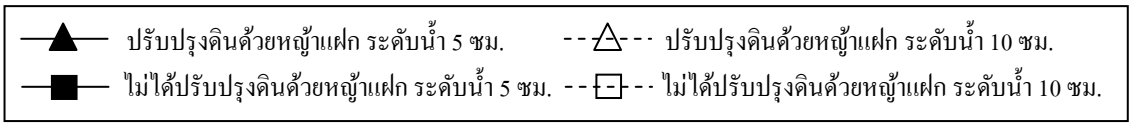


(ก) บริเวณที่ปลูกข้าว

ภาพที่ 4.13 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ปลูกข้าวและไม่ปลูกข้าว



(ข) บริเวณที่ไม่ปลูกข้าว



ภาพที่ 4.13 (ต่อ)

เมื่อพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว (หรือตามระยะเวลาในการขังน้ำที่นานขึ้น) พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนของแปลงนาทั้ง 4 แปลง มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของข้าวและลดลงในระยะเก็บเกี่ยว กล่าวคือ มีค่าต่ำสุดในระยะเมล็ดข้าวงอก (0.60-2.83 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) แล้วเพิ่มสูงขึ้นในระยะต้นกล้า (1.12-3.20 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) ระยะข้าวแตกกอ (5.91-9.14 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) ระยะข้าวตั้งท้อง (15.96-35.54 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) และมีค่าสูงที่สุดในระยะเมล็ดน้ำนม (52.22-86.86 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) แต่ในระยะเก็บเกี่ยวมีค่าลดลง มีค่าใกล้เคียงกับระยะข้าวตั้งท้อง (18.99-42.20 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) (ตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.13ก) การที่การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าสูงที่สุดในระยะเมล็ดน้ำนม ซึ่งมีการขังน้ำมานานถึง 94 วัน ภายหลังการหว่าน ทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเป็นเวลานาน กอปรกับขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนมีฝนตกหนักและน้ำท่วมขังในแปลงนาสูงเกินกว่าระดับน้ำที่กำหนด ทำให้ปริมาณออกซิเจนในดินลดต่ำลงอีก ค่าศักย์รีดอกซ์ลดลง อีกทั้งการที่เม็ดฝนตกกระทบผิวน้ำและต้นข้าวเป็นการรบกวนดินอย่างหนึ่งที่ทำให้ก๊าซมีเทนที่อยู่ในรูปของฟองก๊าซ (ebullition) แทรกตัวผ่านเม็ดดินออกมาสู่ชั้นบรรยากาศได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศุภสุข ประดับสุข (2542) ที่ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีปักดำ พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุดในระยะเมล็ดน้ำนมมีค่า 26.36 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากต้นข้าวใน

ระยะเมล็ดน้ำนมมีการพัฒนาขนาดของ aerenchyma ภายในลำต้นดี โดย aerenchyma ภายในต้นข้าวที่อายุมากกว่าสามารถเป็นทางผ่านของก๊าซมีเทนได้ดีกว่าต้นข้าวที่อายุน้อย รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ที่หลั่งออกมาจากรากข้าว (root exudate) ซึ่ง methanogenic bacteria สามารถนำไปใช้ เป็นผลให้การเกิดก๊าซมีเทนสูงขึ้น นอกจากนี้การวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับ สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ (2543) ที่ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีหว่านน้ำตม ใช้ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าสูงสุดในระยะเมล็ดน้ำนมมีค่า 201.5 และ 266.1 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากข้าวในระยะนี้มีการขังน้ำในนาเป็นระยะเวลานานทำให้ดินเกิดสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ค่าศักย์รีดอกซ์ลดต่ำลง เป็นผลให้ methanogenic bacteria สร้างก๊าซมีเทนได้เพิ่มขึ้น แต่การวิจัยของ Towprayoon และคณะ (2005) ที่ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยมีการระบายน้ำในแปลงนาที่ต่างกัน 4 แบบ คือ การระบายน้ำตามวิธีการของเกษตรกร (local method) การขังน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (continuously flooded) การระบายน้ำช่วงกลางฤดูเพาะปลูก (midseason drainage) และการระบายน้ำ 2 ครั้ง คือ 30 และ 73 วันภายหลังการปลูกข้าว (multi drainage) พบว่า การระบายน้ำทั้ง 4 แบบ มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดในระยะข้าวตั้งท้อง เนื่องจากระยะข้าวตั้งท้องเป็นการเจริญเติบโตสูงสุด และเป็นช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะสืบพันธุ์ ซึ่งข้าวต้องการธาตุอาหารในปริมาณสูงเพื่อสร้างเมล็ด โดยข้าวต้องมีกลไกในการดูดธาตุอาหาร และรากข้าวสามารถหลั่ง root exudate ลงสู่ดิน ซึ่งสารอินทรีย์ที่หลั่งออกมาจากรากข้าว นอกจากจะเป็นธาตุอาหารให้กับข้าวแล้ว ยังเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญให้กับ methanogenic bacteria จึงทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้เพิ่มขึ้น

สำหรับการลดลงของการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในระยะเก็บเกี่ยวคาดว่าเป็นผลจากการระบายน้ำออกจากนาข้าวเพื่อเตรียมการเก็บเกี่ยวข้าว สภาพการระบายน้ำดังกล่าวทำให้ออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศสามารถแพร่ผ่านชั้นน้ำไปยังดินได้ดีขึ้น สภาพรีดักชันเกิดขึ้นไม่รุนแรงเท่ากับขณะที่มีการขังน้ำ ซึ่งจะเห็นได้จากการศึกษาด้านสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินว่า ศักย์รีดอกซ์ของดินในระยะเก็บเกี่ยวมีค่าสูงขึ้นกว่าระยะข้าวตั้งท้อง การเกิดก๊าซมีเทนจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะและคณะ (2544) ที่ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีปักดำ ใช้ระดับน้ำ 0, 10 และ 20 เซนติเมตร พบว่า การระบายน้ำในระยะเมล็ดสุกแก่ (ก่อนการเก็บเกี่ยวข้าว) จากแปลงที่มีระดับน้ำต่างกันทั้ง 3 ระดับทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในระยะเก็บเกี่ยวลดลงจากระยะเมล็ดน้ำนม ซึ่งมีค่าสูงสุด คือ ลดลงจาก 11.49, 25.54 และ 26.36 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เป็น 0.25, 1.32 และ 2.17 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

2) การปลดปล่อยก๊าซมีเทนบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว

เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงนา ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 5.38 และ 6.97 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 9.63 และ 12.10 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.13ข) ทั้งนี้เนื่องจากรากของหญ้าแฝกที่สามารถหยั่งลึกลงไปในแนวดิ่งได้ดีทำให้ออกซิเจนสามารถแพร่ผ่านลงไปในชั้นดินได้ดีขึ้น เป็นผลให้สภาพรีดักชันไม่รุนแรง รวมทั้งแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก จึงทำให้แหล่งอาหารและพลังงานของ metahnogenic bacteria ลดลง การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจึงลดลง

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)						ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		เมล็ดข้าวงอก (1 วัน)	ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	0.56	0.92	3.67	4.50	13.25	9.40	5.38 ± 4.56^{c}
	10	0.71	1.37	4.36	6.97	15.99	12.40	6.97 ± 5.60^{bc}
ไม่ปลูกแฝก	5	1.53	3.10	6.83	10.29	19.26	16.79	9.63 ± 6.59^{ab}
	10	3.66	4.24	7.66	13.03	24.85	19.15	12.10 ± 7.81^{a}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซจาก 3 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.2.2 ผลของระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

น้ำในนาข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวเนื่องจากต้นข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูงเมื่อมีการขังน้ำในนาข้าว แต่การท่วมขังของระดับน้ำในนาข้าวก็มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยระดับน้ำที่ท่วมขังสูงเกินไปจะทำให้สภาพรีดักชันเกิดได้รุนแรงมากขึ้น ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้น ดังนั้น การวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของระดับน้ำที่ต่างกันต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว โดยได้เปรียบเทียบในพื้นที่ 2 บริเวณ คือ บริเวณที่ปลูกข้าว และบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การปลดปล่อยก๊าซมีเทนบริเวณที่ปลูกข้าว

เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงที่มีระดับน้ำต่างกัน พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 1.34-42.20 และ 0.60-23.94 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.13ก) ทั้งนี้เพราะการขังน้ำในระดับน้ำที่สูงขึ้นทำให้ออกซิเจนแพร่ลงไปยังชั้นดินได้ลดลง เป็นผลให้ออกซิเจนและค่าศักย์รีดอกซ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็ว สภาพรีดักชันเกิดได้รุนแรงมากขึ้น ทำให้ methanogenic bacteria สร้างก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น รวมทั้งการขังน้ำในระดับน้ำที่สูงกว่ายังมีผลต่อ aerenchyma ของข้าว กล่าวคือ aerenchyma จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีการขังน้ำในระดับที่สูงขึ้น (วิไลวรรณ เชาวนโยธิน, 2526 อ้างถึงใน อนุรักษ์ วิไล, 2543) เป็นผลให้ก๊าซมีเทนสามารถเคลื่อนที่ผ่านต้นข้าวออกสู่ชั้นบรรยากาศได้มากขึ้น ดังนั้น การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจึงสูงขึ้น ซึ่งการวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับ สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ (2543) ที่ได้ศึกษาผลของระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาหว่านน้ำตม พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 114.06 และ 112.36 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาผลของระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ด้วยวิธีปักดำ พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 20 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 13.12 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง รองลงมา คือ แปลงที่มีระดับน้ำ 10 และ 0 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.56 และ 6.35 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

2) การปลดปล่อยก๊าซมีเทนบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว

เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงที่มีระดับน้ำต่างกัน พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก) มีค่าสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 1.53-19.15 และ 0.56-12.40 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.13ข) ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น

เมื่อพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเปรียบเทียบบริเวณที่ปลูกข้าวกับบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว พบว่า บริเวณที่ปลูกข้าวมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว ทั้งนี้เพราะข้าวมี aerenchyma ซึ่งเป็นช่องทางในการส่งผ่านก๊าซมีเทนจากดินออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยร้อยละ 90 ของการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวถูกปลดปล่อยผ่าน aerenchyma ออกทางกาบใบ (Le Mer และ Roger, 2001) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า บริเวณที่ไม่ปลูกข้าวก็มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพของการขังน้ำในนาข้าวและวัชพืชบางชนิดที่ขึ้นอยู่ในบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว เช่น หญ้าดอกขาว (หญ้าไม้กวาดหรือหญ้าลิเก) ผักแว่น และโสน เป็นต้น ซึ่งใบของวัชพืชได้ขึ้นปกคลุมฐานของ chamber ที่วางเอาไว้สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซ ทำให้ก่อนทำการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนต้องถอนวัชพืชออกก่อน นับเป็นการรบกวนดินอย่างหนึ่งที่ทำให้ก๊าซมีเทนที่อยู่ในรูปของฟองก๊าซ (ebullition) สามารถปลดปล่อยจากดินออกสู่ชั้นบรรยากาศได้

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาแปลงนาทดลองทั้ง 4 แปลง พบว่า แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าแปลงอื่นทั้ง 3 แปลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ใช้ปอเทืองปรับปรุงดิน) มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงที่สุด โดยอินทรีย์คาร์บอนจะเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์กลุ่ม facultative anaerobes และ strictly anaerobes ซึ่งจะใช้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนไปตามลำดับ คือ NO_3^-, Mn^{4+}, Fe^{3+}, SO_4^{2-}, CO_2 และ H^+ จะถูกรีดิวซ์กลายเป็น N_2, Mn^{2+}, Fe^{2+}, S^{2-}, CH_4 และ H_2 ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะสอดคล้องกับค่าศักย์รีดอกซ์ของดิน ถ้าดินที่มีการขังน้ำในระยะเวลานานค่าศักย์รีดอกซ์จะลดลงอย่างมาก จน methanogenic bacteria สามารถรีดิวซ์ CO_2 เป็น CH_4 ได้ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550)

4.2.3 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวันและตลอดฤดูกาลเพาะปลูก

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวันสามารถคำนวณได้จากการนำค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมงในแต่ระยะการเจริญเติบโตของข้าวคูณกับ 24 (ชั่วโมง) ส่วนการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูกคำนวณจากการนำค่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวคูณกับจำนวนวันในระยะการเจริญเติบโตนั้นๆ แล้วจึงนำค่าของทุกระยะการเจริญเติบโตมารวมกัน

สำหรับการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน (24 ชั่วโมง) บริเวณที่ปลูกข้าว พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 379.00 และ 436.96 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 606.96 และ 719.08 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.14ก) สำหรับบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 129.20 และ 167.20 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 231.20 และ 290.36 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.14ข) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของสุชีวรรณ ยอยรู้รอบ (2543) ที่ได้ศึกษาผลของระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวันสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,810 และ 2,780 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าดังกล่าวสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิจัยนี้ครั้งมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสมบัติของดินที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ดินในการวิจัยนี้เป็นดินเนื้อหยาบ องค์ประกอบอนุภาคดินทรายสูง อินทรียวัตถุต่ำ ขณะที่ดินในการวิจัยดังกล่าวเป็นดินเหนียวและมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและพลังงานของ methanogenic bacteria ทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้สูง

เมื่อคำนวณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูก บริเวณที่ปลูกข้าว พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.34 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.50 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.23 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก และแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.21 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก (ตารางที่ 4.17) สำหรับบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.86 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.95 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.11 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก และแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกระดับน้ำ 10 เซนติมเตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.93 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก (ตารางที่ 4.17) เมื่อ

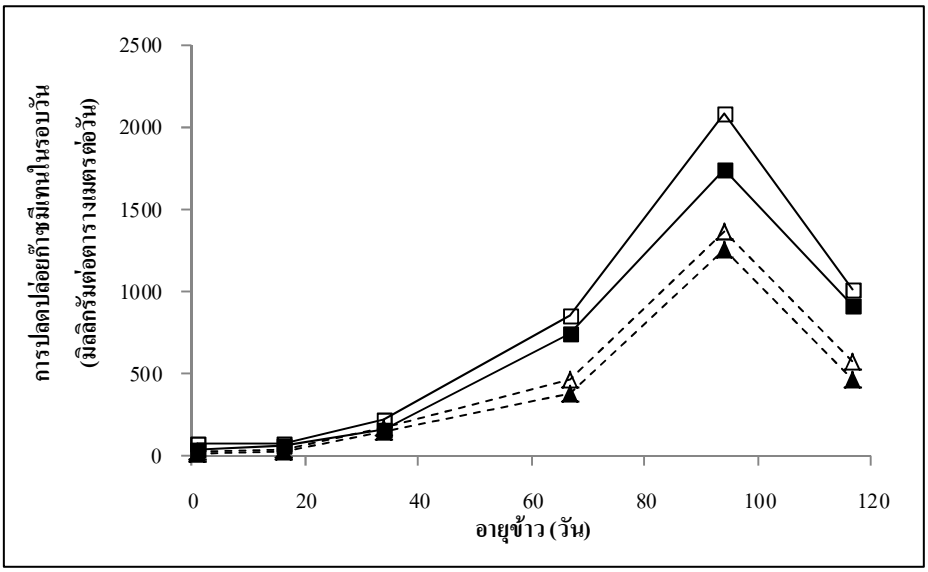
เปรียบเทียบกับการวิจัยของ อรัญญ์ ขันติยวิชช์ (2551) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยปลูกถั่วเขียวในแปลงนาในอัตราที่ต่างกัน 3 แบบ คือ หว่านเมล็ดถั่วเขียวในอัตรา 0, 12 และ 24 กิโลกรัมต่อไร่ และมีการจัดการน้ำ 2 แบบ คือ ให้ดินมีความชื้นพอเพียง (ให้ความชื้นในดินอยู่ในช่วงความจุความชื้นสนามจนถึงจุดอิ่มตัว) และให้ดินอยู่ในสภาพที่มีการขังน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า ดินที่มีการขังน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูกมีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าดินที่มีความชื้นพอเพียง ในทุกอัตราการหว่านเมล็ดถั่วเขียว โดยแปลงที่มีการหว่านถั่วเขียวในอัตรา 12 กิโลกรัมต่อไร่ มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด (136.43 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก) รองลงมา คือ แปลงที่มีการหว่านถั่วเขียวในอัตรา 24 กิโลกรัมต่อไร่ (48.67 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก) และแปลงที่มีการหว่านถั่วเขียวในอัตรา 0 กิโลกรัมต่อไร่ (43.00 กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก) ซึ่งจะเห็นว่าค่าดังกล่าวสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิจัยนี้ครั้งมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงมาก (3.65-4.07 กรัมต่อกิโลกรัม) ทำให้ methanogenic bacteria มีกิจกรรมสูงขึ้น การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจึงสูงขึ้น

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำที่สุด ส่วนแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด

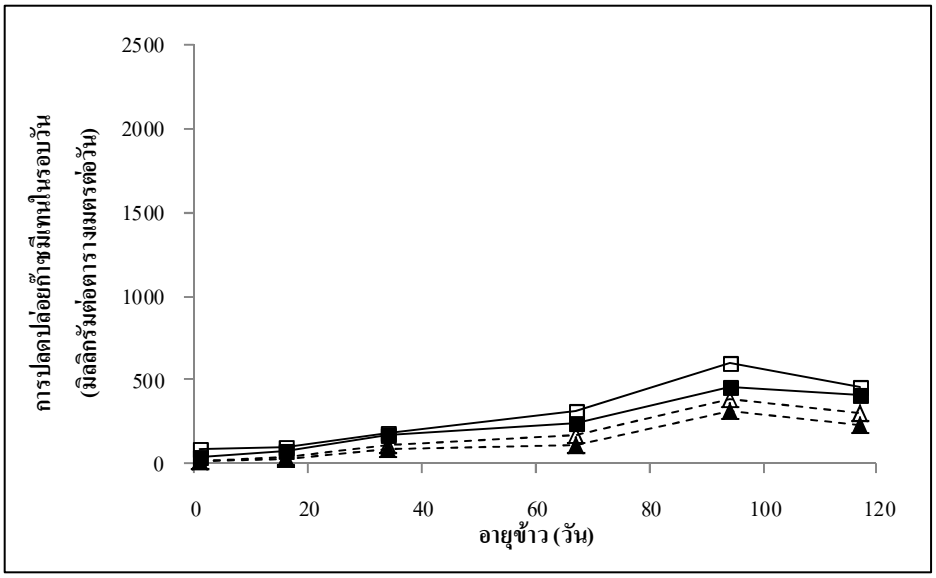
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ปลูกข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)						ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		เมล็ดข้าวงอก (1 วัน)	ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	14.40	26.88	141.84	381.84	1,253.28	455.76	379.00±424.94^{c}
	10	17.04	31.68	171.60	457.68	1,366.80	574.56	436.96±464.57^{c}
ไม่ปลูกแฝก	5	32.16	58.56	160.56	738.00	1,741.20	911.28	606.96±609.19^{b}
	10	67.92	76.80	219.36	852.96	2,084.64	1,012.80	719.08±713.58^{a}

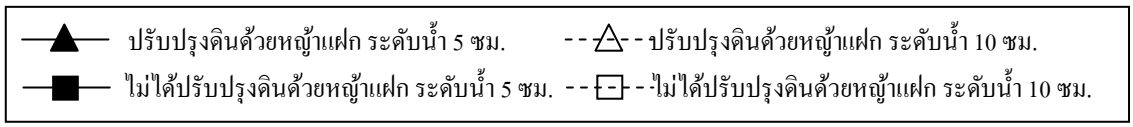
หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซจาก 3 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



(ก) บริเวณที่ปลูกข้าว



(ข) บริเวณที่ไม่ปลูกข้าว



ภาพที่ 4.14 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ปลูกข้าวและไม่ปลูกข้าว

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)						ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		เมล็ดข้าวงอก (1 วัน)	ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	13.44	22.08	88.08	108.00	318.00	225.60	129.20±109.51^{c}
	10	17.04	32.88	104.64	167.28	383.76	297.60	167.20±134.42^{bc}
ไม่ปลูกแฝก	5	36.72	74.40	163.92	246.96	462.24	402.96	231.20±158.15^{ab}
	10	87.84	101.76	183.84	312.72	596.40	459.60	290.36±187.41^{a}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซจาก 3 จุดเก็บตัวอย่าง อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกัน ในบริเวณที่ปลูกข้าวและไม่ปลูกข้าว

บริเวณ	การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	การปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (กรัมต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลเพาะปลูก)
ปลูกข้าว	ปลูกหญ้าแฝก	5	21.34
		10	24.50
	ไม่ปลูกหญ้าแฝก	5	34.23
		10	40.21
ไม่ปลูกข้าว	ปลูกหญ้าแฝก	5	6.86
		10	8.95
	ไม่ปลูกหญ้าแฝก	5	12.11
		10	14.93

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินและระดับน้ำกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว โดยเฉพาะปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดิน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ หากดินมีปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนสูงจะทำให้ methanogenic bacteria มีกิจกรรมสูงขึ้น เป็นผลให้สร้างก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น สำหรับการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน 2 ส่วน คือ สมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนาม และสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ ดังนั้น จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินด้านต่างๆ กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนามกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การศึกษาสมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนามได้ทำการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า ศักย์รีดอกซ์ และอุณหภูมิของดิน โดยตรวจวัดค่าดังกล่าวพร้อมกับการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนทั้ง 6 ระยะการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งพบความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ดังนี้

1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH)

จากผลการวิจัย พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.18) ทั้งนี้เนื่องจาก methanogenic bacteria สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างช่วงแคบๆ ประมาณ 6-8 โดยความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนมากที่สุด คือ ค่าเข้าใกล้ 7 (สมศักดิ์ วังใน, 2528; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550; Wang และคณะ, 1993; Le Mer และ Roger, 2001) หากความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำหรือสูงกว่า 7 เกินไปจะทำให้การเกิดก๊าซมีเทนลดลง แต่หากค่าความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำกว่า 5.8 หรือสูงกว่า 8.8 จะไม่พบการเกิดก๊าซมีเทน (Wang และคณะ, 1993) ซึ่งจะเห็นว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเข้าใกล้ 7 มากกว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกจึงเป็นผลให้เกิดก๊าซมีเทนได้สูงกว่า

ตารางที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินในที่ตรวจวัดในภาคสนามกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

parameter	df	parameter estimate	standard error	t-value	p-value	R^2
soil pH	1	-23.7528	5.4529	-4.36	< 0.0001	0.2260
soil electrical conductivity	1	-33.8951	11.5025	-2.95	0.0044	0.1132
soil Eh	1	-0.28210	0.1391	-2.03	0.0472	0.0662
soil temperature	1	-7.9086	1.0682	-7.40	< 0.0001	0.4427

หมายเหตุ: n = 24

2) การนำไฟฟ้าของดิน (soil electrical conductivity)

จากผลการวิจัย พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดิน ในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.18) ทั้งนี้เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าของดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินบางประการ กล่าวคือ ดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงจะทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินลดลง (Zhang และคณะ, 2011) เป็นผลให้แหล่งอาหารและพลังงานของ methanogenic bacteria ลดลง การสร้างก๊าซมีเทนจึงลดลง

3) ศักย์รีดอกซ์ของดิน (oxidation-reduction potential; ORP หรือ Eh)

จากผลการวิจัย พบว่า ค่าศักย์รีดอกซ์ของดิน (Eh) ในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า (ค่าติดลบต่ำ) แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์รีดอกซ์ของดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.18) ทั้งนี้เนื่องจากรากหญ้าแฝกที่สามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้ดีทำให้ออกซิเจนสามารถแพร่ผ่านลงไปในดินได้ดีขึ้น สภาพรีดักชันเกิดขึ้นไม่รุนแรง ซึ่งสอดคล้องกับค่าศักย์รีดอกซ์ของดินที่แสดงถึงระดับความรุนแรงของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของดิน (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2550) โดยในสภาพออกซิเดชัน ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินมีค่าสูง แต่เมื่ออยู่ในสภาพรีดักชัน ค่าศักย์รีดอกซ์ของดินมีค่าต่ำ ซึ่งการทำนาข้าวแบบน้ำขังจะส่งเสริมสภาพรีดักชันของดิน ซึ่งหากค่าศักย์รีดอกซ์ของดินลดต่ำลงจนทำให้

methanogenic bacteria เจริญได้ดี จะเป็นผลให้สร้างก๊าซมีเทนได้สูงขึ้น (Le Mer และ Roger, 2001; Minamikawa และ Sakai, 2005)

4) อุณหภูมิของดิน (soil temperature)

จากผลการวิจัย พบว่า อุณหภูมิของดิน ในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าส่วนใหญ่ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.18) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสร้างก๊าซมีเทนของ methanogenic bacteria มีค่าอยู่ระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส (Le Mer และ Roger, 2001) การวิจัยของ Parashar และคณะ (1993) ที่ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิของดินต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่า 34.5±0.5 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะลดลง นอกจากนี้ Hosono และ Nouchi (1997) พบว่า อุณหภูมิของดินยังมีผลต่อสรีรวิทยาของข้าวซึ่งทำให้กระบวนการเคลื่อนย้ายก๊าซมีเทนเปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าที่อุณหภูมิของดิน 30 องศาเซลเซียส ทำให้กระบวนการเคลื่อนย้ายก๊าซมีเทนเกิดขึ้นได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิของดินผันแปรได้ง่ายตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ เช่น ปริมาณแสงแดด ปริมาณน้ำฝน และการบดบังแสงของใบข้าว เป็นต้น เป็นผลให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนผันแปรตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออุณหภูมิด้วย

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน 3 ครั้ง คือ ช่วงก่อนการปลูกข้าว (ภายหลังการไถพรวน 15 วัน) ช่วงระหว่างปลูกข้าว (ภายหลังการหว่าน 67 วัน ซึ่งตรงกับระยะข้าวตั้งท้อง) และช่วงหลังการเก็บเกี่ยวข้าว (วันเดียวกันกับการเก็บเกี่ยว ภายหลังการหว่าน 117 วัน) ได้พิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เนื่องจากอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญของ methanogenic bacteria ซึ่งพบความสัมพันธ์ ดังนี้

1) อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter)

จากผลการวิจัย พบว่า อินทรียวัตถุในดิน ในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.8) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรียวัตถุในดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.19) ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของปอเทืองซึ่งเป็นปุ๋ยพืชสดที่ใช้ในการปรับปรุงดินในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณลิกนินต่ำกว่าหญ้าแฝก ทำให้ปอเทืองถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่า เป็นผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงกว่า โดย methanogenic bacteria จะปล่อยเอนไซม์ประเภท (extra cellular enzyme) มาย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้คาร์บอนและนำคาร์บอนที่ได้ไปใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานต่อไป (สมศักดิ์ วังใน, 2528) เป็นผลให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้น

ตารางที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

parameter	df	parameter estimate	standard error	t-value	p-value	R^2
organic matter	1	22.7013	3.7952	5.98	< 0.0001	0.5684
organic carbon	1	39.0008	6.5338	5.97	< 0.0001	0.5711

หมายเหตุ: n = 24

2) อินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon)

จากผลการวิจัย พบว่า อินทรีย์คาร์บอนในดิน ในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.9) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินทรีย์คาร์บอนในดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.19) ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของปอเทืองซึ่งเป็นปุ๋ยพืชสดที่ใช้ในการปรับปรุงดินในแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก มีปริมาณลิกนินต่ำกว่าหญ้าแฝก ทำให้ปอเทืองถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเป็นผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงกว่า ซึ่งปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สูงกว่าจะเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญของ methanogenic bacteria ทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้น ซึ่งการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Minamikawa และคณะ (2005) ได้ที่ศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนในดินนาของประเทศ

ญี่ปุ่นต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า ปริมาณคาร์บอนในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน กล่าวคือ ดินที่มีองค์ประกอบคาร์บอนในดินสูงจะทำให้ปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้สูง และเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ ปิยะบุตร วานิชพงศ์พันธุ์ (2536) และ วัชรีย์ ผลเดชสถาพร (2544) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า ปริมาณคาร์บอนในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

จากผลการวิจัย พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าต่ำกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ตารางที่ 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 และภาพที่ 4.13, 4.14) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.20) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระดับน้ำในการวิจัยนี้แตกต่างกันเพียง 5 ซม. กอปรกับการวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการในฤดูฝน (เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2553) ซึ่งสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยเฉพาะปริมาณน้ำฝน ซึ่งในช่วงท้ายของการวิจัยเป็นช่วงที่ฝนตกอย่างหนักจนทำให้ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำในนาได้ ส่งผลให้สภาพรีดักชันไม่แตกต่างกันมากนัก เป็นผลให้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระดับน้ำกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุรักษ์ วิไล (2543) ที่ได้ทำการศึกษาผลของระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยได้ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีหว่านน้ำตม ควบคุมระดับน้ำ 2 ระดับ คือ ระดับน้ำ 0 และ 20 เซนติเมตร พบว่า ระดับน้ำที่ท่วมขังในแปลงนากับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

parameter	df	parameter estimate	standard error	t-value	p-value	R^2
water level	1	0.8028	1.1775	0.68	0.4977	0.0067

หมายเหตุ: n = 24

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การเจริญเติบโตของข้าว โดยการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าว 4 ด้าน คือ ความสูง ความยาวราก จำนวนต้นต่อพื้นที่ และมวลชีวภาพรวม (ส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน) กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยเก็บตัวอย่างตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว 5 ระยะ คือ ระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

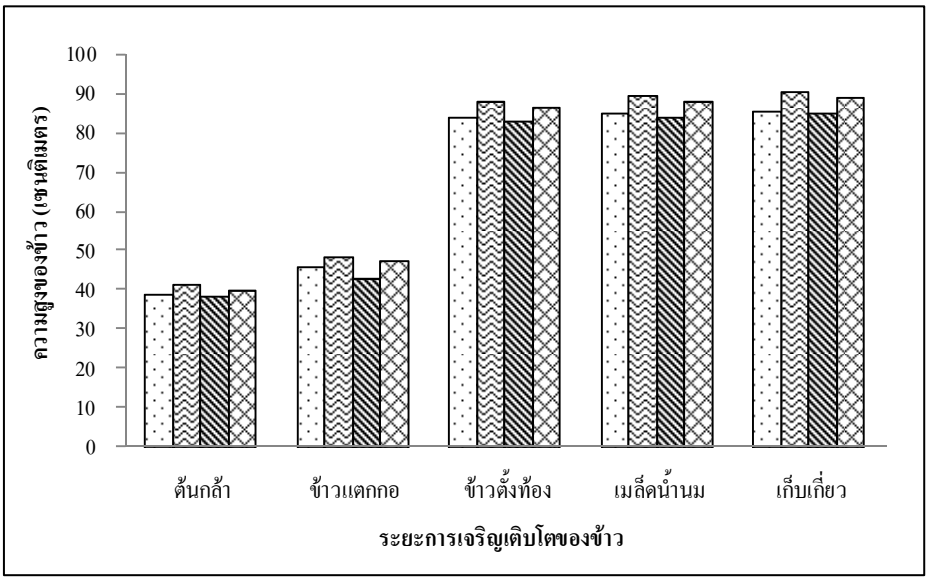
1) ความสูงของข้าว

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงของข้าว ในแปลงนาทั้ง 4 แปลง พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความสูงของข้าวสูงที่สุด (71.25 เซนติเมตร) รองลงมา คือ แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (69.79 เซนติเมตร) แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (67.60 เซนติเมตร) และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (66.38 เซนติเมตร) และค่าเฉลี่ยความสูงดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.15) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.22) ซึ่งจะเห็นว่าในแปลงนาทั้ง 4 แปลง ความสูงของข้าวและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ความสูงของข้าวและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยมีค่าต่ำที่สุดในระยะเมล็ดข้าวงอก แล้วเพิ่มสูงขึ้นในระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง และระยะเก็บเกี่ยว ตามลำดับ ยกเว้นในระยะเมล็ดน้ำนมซึ่งการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าสูงที่สุด แต่ความสูงของข้าวมีค่าสูงที่สุดในระยะเก็บเกี่ยวทั้งนี้เนื่องจากการขังน้ำในนาที่นานถึง 94 วันภายหลังการหว่าน และมีฝนตกหนักจนน้ำท่วมขังในแปลงนาสูงเกินกว่าระดับน้ำที่กำหนดทำให้ดินขาดออกซิเจนสภาพรีดักชันเกิดขึ้นได้รุนแรง การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจึงมีค่าสูงที่สุด เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของอภิญญา วงศ์กำภู (2542) ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และมีการจัดการน้ำในแปลงนาที่ต่างกัน 4 แบบ คือ มีการให้น้ำทุก 7 วัน ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีการให้น้ำทุก 7 วัน ระดับน้ำ 2.5 เซนติเมตร ระดับน้ำคงที่ 5 เซนติเมตร และไม่ขังน้ำ พบว่า ความสูงของข้าวในแปลงนาที่มีการจัดการน้ำที่ต่างกัน 4 แบบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยความสูงของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ความสูงของข้าว (เซนติเมตร)					ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	38.63	45.58	83.73	84.91	85.16	67.60 ± 23.41[c]
	10	40.98	48.17	87.68	88.98	90.43	71.25 ± 23.96[a]
ไม่ปลูกแฝก	5	37.86	42.56	82.92	83.62	84.93	66.38 ± 24.50[d]
	10	39.29	47.12	85.95	87.66	88.92	69.79 ± 24.45[b]

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการศึกษาในตัวอย่างพืชจาก 3 quadrat อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.15 ความสูงของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ตารางที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

parameter	df	parameter estimate	standard error	t-value	p-value	R^2
shoot height	1	0.8316	0.1803	4.61	0.0002	0.5417
root length	1	1.4083	2.6162	0.54	0.5970	0.0158
no of shoot /area	1	-0.1867	0.1090	-1.70	0.1038	0.1402
total biomass (above & belowground)	1	0.0318	0.0080	3.99	0.0009	0.4695

หมายเหตุ: n = 24

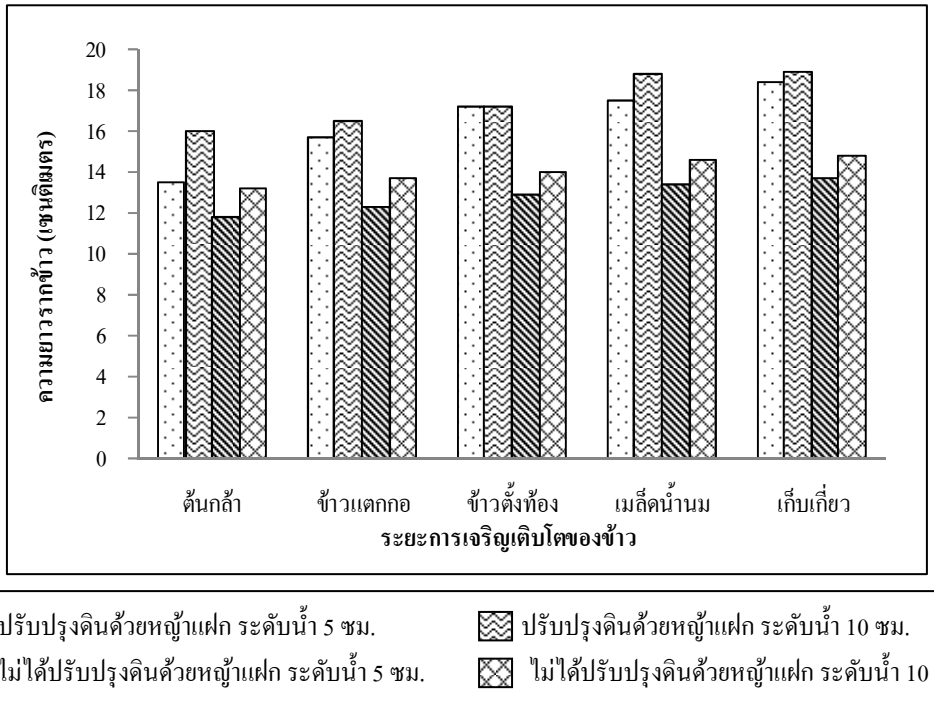
2) ความยาวรากข้าว

เมื่อเปรียบเทียบความยาวรากข้าว ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 และ 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความยาวรากข้าวเท่ากับ 17.52 และ 16.50 เซนติมเตร ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 และ 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความยาวรากข้าวเท่ากับ 14.09 และ 12.83 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยความยาวรากข้าวสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.23 และภาพที่ 4.16) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.22) แต่งานวิจัยของ Wassmann และ Aulakh (2000) ที่ได้ศึกษากระบวนการต่างๆ ของต้นข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า หากต้นข้าวมีความยาวรากสูงทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนลดลง ทั้งนี้เพราะออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศสามารถแพร่ผ่านทางกาบใบไปสู่รากข้าวทำให้บริเวณชั้นบางๆ รอบรากข้าวมีออกซิเจน (rhizosphere) ทำให้เกิดการออกซิไดซ์ก๊าซมีเทนในดินบริเวณดังกล่าว เป็นผลให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนลดลง

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยความยาวรากข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ความยาวรากข้าว (เซนติเมตร)					ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	13.54	15.73	17.29	17.52	18.42	16.50 ± 1.92^{b}
	10	16.02	16.58	17.24	18.84	18.92	17.52 ± 1.31^{a}
ไม่ปลูกแฝก	5	11.83	12.33	12.81	13.41	13.77	12.83 ± 0.79^{d}
	10	13.25	13.72	14.03	14.60	14.84	14.09 ± 0.65^{c}

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการศึกษาในตัวอย่างพืชจาก 3 quadrat อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.16 ความยาวรากข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

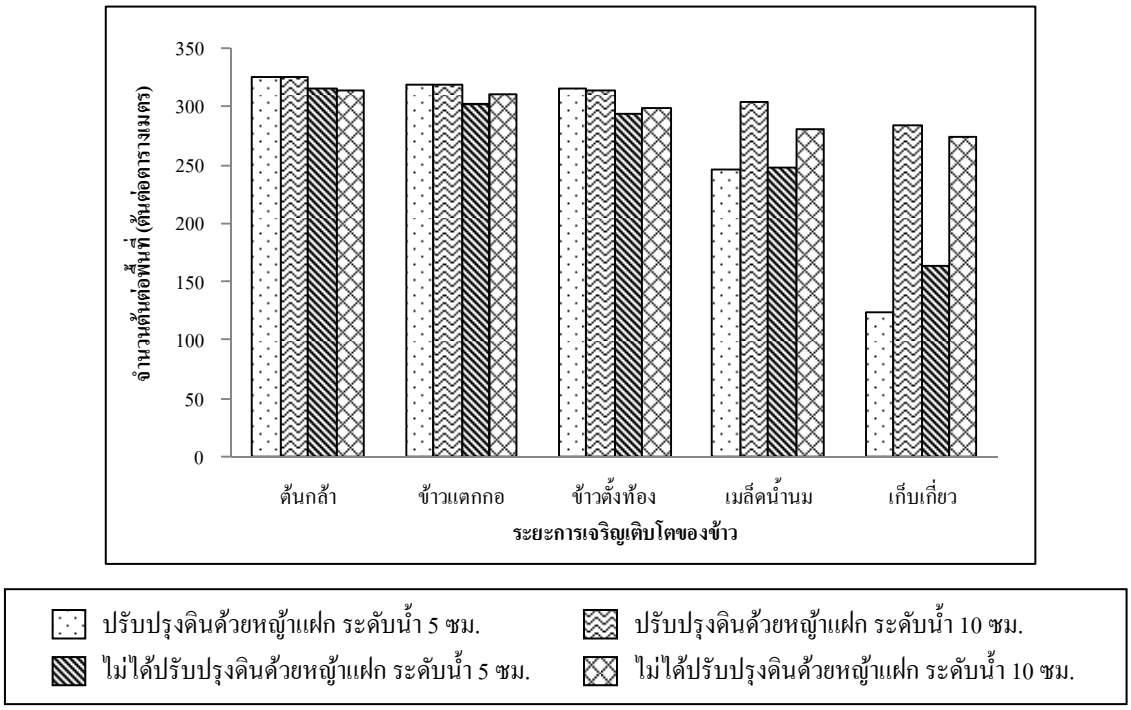
3) จำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าว

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าว ในแปลงทั้ง 4 แปลง พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนต้นต่อพื้นที่สูงที่สุด (309.85 ต้นต่อตารางเมตร) รองลงมา คือ แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (296.45 ต้นต่อตารางเมตร) แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (270.63 ต้นต่อตารางเมตร) และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (265.50 ต้นต่อตารางเมตร) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.24 และภาพที่ 4.17) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนต้นต่อพื้นที่กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.22) แต่งานวิจัยของ Gogoi และคณะ (2005) ที่ได้ศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าวต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า จำนวนต้นต่อพื้นที่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน หากมีจำนวนต้นข้าวสูงขึ้น จะทำให้ก๊าซมีเทนสามารถปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศผ่านทาง aerenchyma ของข้าวได้สูงขึ้น

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยจำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	จำนวนต้นต่อพื้นที่ของข้าว (ต้นต่อตารางเมตร)					ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต
		ต้นกล้า (16 วัน)	ข้าวแตกกอ (34 วัน)	ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)	เมล็ดน้ำนม (94 วัน)	เก็บเกี่ยว (117 วัน)	
ปลูกแฝก	5	325.75	320.19	315.52	246.00	145.70	270.63 ± 77.01
	10	325.25	319.75	315.25	305.00	284.00	309.85 ± 16.25
ไม่ปลูกแฝก	5	316.50	302.75	295.00	248.75	164.50	265.50 ± 61.93
	10	314.75	310.75	300.25	281.50	275.00	296.45 ± 17.59

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการศึกษาในตัวอย่างพืชจาก 3 quadrat อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.17 จำนวนต้นต่อพื้นของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

4) มวลชีวภาพรวมของข้าว

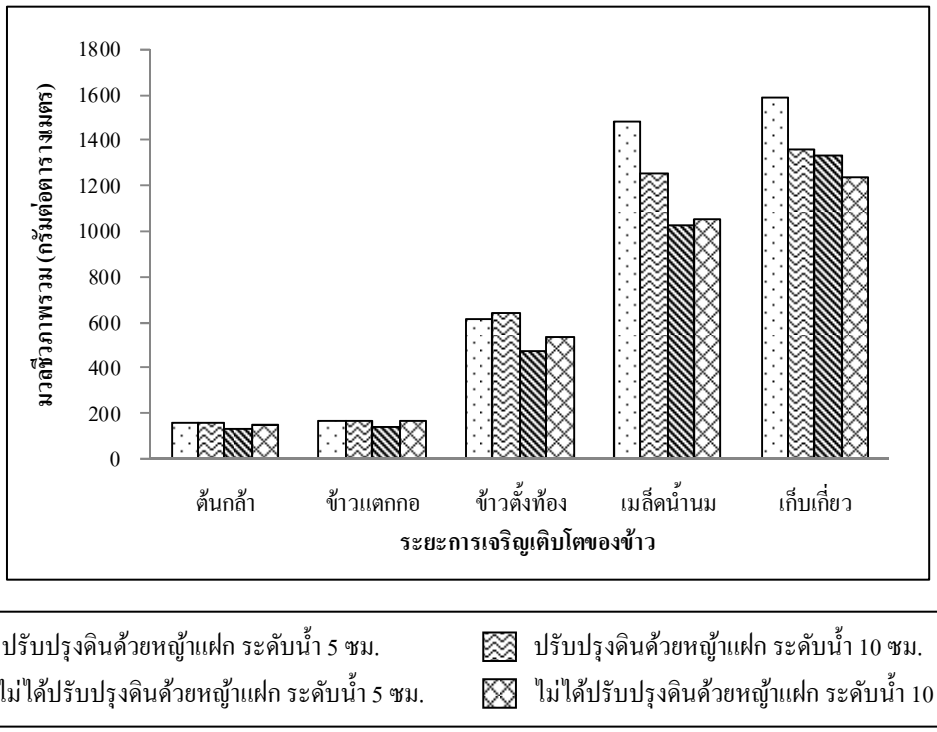
เมื่อเปรียบเทียบมวลชีวภาพรวมของข้าว (ส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน) ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 796.47 และ 714.63 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 616.86 และ 625.53 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.18) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพรวมกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.22) ซึ่งจะเห็นว่าในแปลงนาทั้ง 4 แปลง มวลชีวภาพรวมของข้าวและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มวลชีวภาพรวมของข้าวและการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของข้าว โดยมีค่าต่ำที่สุดในระยะเมล็ดข้าวงอก แล้วเพิ่มสูงขึ้นในระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง และระยะเก็บเกี่ยว ตามลำดับ ยกเว้นในระยะเมล็ดน้ำนม การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าสูงที่สุดเนื่องจากการขังน้ำในนาที่นานถึง 94 วันภายหลังการหว่าน และมีฝนตกหนักจนน้ำท่วมขังในแปลงนาสูงเกินกว่าระดับน้ำที่กำหนดทำให้ดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน สภาพรีดิวซ์เกิดขึ้นได้

รุนแรง แต่มวลชีวภาพรวมของข้าวมีค่าสูงที่สุดในระยะเก็บเกี่ยว โดย Mariko และคณะ (1991) อ้างถึงใน Gogoi และคณะ (2005) กล่าวว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจะมีค่าสูงขึ้นตามมวลชีวภาพรวมของข้าวที่สูงขึ้น เนื่องจาก aerenchyma ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุของข้าวทำให้ก๊าซมีเทนสามารถแพร่ผ่านต้นข้าวออกสู่ชั้นบรรยากาศได้สูงขึ้น

ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การปรับปรุงดิน	**ระดับน้ำ (เซนติเมตร)**	**มวลชีวภาพรวมของข้าว (กรัมต่อตารางเมตร)**					**ค่าเฉลี่ยตลอดระยะการเจริญเติบโต**
		ต้นกล้า (16 วัน)	**ข้าวแตกกอ (34 วัน)**	**ข้าวตั้งท้อง (67 วัน)**	**เมล็ดน้ำนม (94 วัน)**	**เก็บเกี่ยว (117 วัน)**	
ปลูกแฝก	5	154.00	159.42	605.96	1,481.72	1,581.24	796.47 ± 696.48[a]
	10	157.48	166.00	637.74	1,252.78	1,359.17	714.63 ± 574.97[ab]
ไม่ปลูกแฝก	5	125.73	137.13	465.93	1,022.40	1,333.10	616.86 ± 541.20[b]
	10	147.97	165.20	534.14	1,050.24	1,230.10	625.53 ± 498.55[b]

หมายเหตุ ค่าของแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าวเป็นค่าเฉลี่ยจากการศึกษาในตัวอย่างพืชจาก 3 quadrat
อักษรอังกฤษมุมบนขวามือที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมของข้าว ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินและระดับน้ำท่วมขังต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว

4.5 ผลผลิตข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตข้าว ระหว่างแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีผลผลิตข้าวเท่ากับ 421.47 และ 401.35 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีผลผลิตข้าวเท่ากับ 374.72 และ 366.79 กิโลกรัมไร่ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ตารางที่ 4.26) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ซึ่งระบบรากของหญ้าแฝกที่มีปริมาณมากและหยั่งลึกในแนวดิ่งจะมีความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์สูง ทำให้ธาตุอาหารในดินเป็นประโยชน์มากขึ้น เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโดยเฉพาะอย่างยิ่งโพแทสเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทด้านการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล (ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และคณะ, 2555) จึงทำให้ข้าวในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกสามารถเก็บสะสมแป้งไว้ในรวงข้าวได้ดีขึ้น (พิสิฐ พรหมนารท, 2544) เป็นผลให้มีผลผลิตสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก นอกจากนี้ Dobermann และ Fairhurst (2000) พบว่า หากมีการเติมโพแทสเซียมในดินนาข้าวตั้งแต่ช่วงระยะข้าวตั้งท้องจนถึงระยะข้าวออกรวงจะทำให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการเติมโพแทสเซียมใน

ระยะอื่นๆ ของการเจริญเติบโตของข้าว และหากพิจารณาปริมาณโพแทสเซียมในการวิจัยนี้ พบว่า ในแปลงที่มีการปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้นในการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2 (ตรงกับระยะข้าวตั้งท้อง) และการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 3 (ตรงกับระยะเก็บเกี่ยว) ดังนั้น จึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตข้าว ในแปลงที่มีระดับน้ำต่างกัน พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (ทั้งในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก) มีผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.26) ทั้งนี้เนื่องจากระดับน้ำที่สูงเกินไปจะยับยั้งการแตกกอของต้นข้าว ทำให้การพัฒนาของรวงข้าวลดลง ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงด้วย (De Datta, 1981; ดิเรก ทองอร่าม, 2524 อ้างถึงใน ศุภศุข ประดับสุข, 2542) ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ (2543) ที่ได้ทำการศึกษาผลของระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าว โดยปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีหว่านน้ำตม พบว่า แปลงที่ใช้ระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงที่ใช้ระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยมีค่าเท่ากับ 966.40 และ 921.60 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.26 ผลผลิตข้าว และสัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าว

การปรับปรุงดิน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)	ผลผลิตข้าว (กิโลกรัมต่อไร่)	การปลดปล่อยก๊าซมีเทน (กิโลกรัมต่อไร่ ต่อฤดูกาลเพาะปลูก)	สัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าว (กิโลกรัมมีเทนต่อผลผลิตข้าว 1 กิโลกรัม)
ปลูกแฝก	5	421.47	34.15	0.081
	10	401.35	54.77	0.136
ไม่ปลูกแฝก	5	374.72	39.20	0.105
	10	366.79	64.33	0.175

เมื่อคำนวณสัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าว พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.081 และ 0.136 กิโลกรัมมีเทนต่อผลผลิตข้าว 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก 5 และ 10 ซม. มีค่าเท่ากับ 0.105 และ 0.175 กิโลกรัมมีเทนต่อผลผลิตข้าว 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีสัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าวต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ตารางที่ 4.26) ทั้งนี้เนื่องจากแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณผลผลิตข้าวที่สูงแต่การปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำ เมื่อคำนวณสัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าวจึงมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ (2543) ที่ได้คำนวณสัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าว โดยปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีหว่านน้ำตม พบว่า

แปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าสัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าวต่ำกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.484 และ 0.513 กิโลกรัมมีเทนต่อผลผลิตข้าว 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าสูงกว่าการวิจัยนี้มาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเนื้อดินเป็นดินเหนียว และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่างานวิจัยนี้ซึ่งเนื้อดินเป็นดินทรายและมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำ

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการปลูกและไถกลบหญ้าแฝกและระดับน้ำในนาข้าวต่อสมบัติของดินและการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยวิธีหว่านน้ำตม ในเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2553 ในแปลงนาที่มีการปรับปรุงดินต่างกัน 2 แบบ คือ แปลงที่ผ่านการปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ปลูกหญ้าแฝกในแปลงนา 500 วันแล้วไถกลบ) และแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก (ใช้ทำนา 3 ฤดูกาลเพาะปลูก และภายหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตแต่ละครั้งใช้การไถกลบปอเทืองเป็นปุ๋ยพืชสด) รวมทั้งมีการควบคุมระดับน้ำที่ท่วมขังต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร ทำการตรวจวัดสมบัติของดินในภาคสนามควบคู่กับการเก็บตัวอย่างก๊าซ 6 ครั้ง คือ ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นกล้า ระยะข้าวแตกกอ ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะเมล็ดน้ำนม และระยะเก็บเกี่ยว และเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในห้องปฏิบัติการรวม 3 ครั้ง คือ ช่วงก่อนการปลูกข้าว ระหว่างการปลูกข้าว และหลังการปลูกข้าว นอกจากนี้ยังศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บตัวอย่างก๊าซ (ยกเว้นระยะเมล็ดข้าวงอกซึ่งเพิ่งหว่านข้าวเพียง 1 วัน) ได้แก่ ความสูง ความยาวราก จำนวนต้นต่อพื้นที่ และมวลชีวภาพรวม รวมถึงผลผลิตข้าว (ระยะเก็บเกี่ยว) ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำต่อสมบัติของดิน

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในแปลงที่มีการปรับปรุงดินต่างกัน พบว่า ดินในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (7.38-7.42) การนำไฟฟ้า (0.45-0.52 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร) ศักย์รีดอกซ์ (-106.93 ถึง -110.21 มิลลิโวลต์) ความหนาแน่นรวม (1.33-1.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (72.96-74.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (6.74-6.82) การนำไฟฟ้า (0.19-0.27 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร) ศักย์รีดอกซ์ (-109.29 ถึง -113.38 มิลลิโวลต์) ความหนาแน่นรวม (1.21-1.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (46.70-58.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าความชื้น (20.61-20.86 เปอร์เซ็นต์) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (4.61-4.92 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) อินทรียวัตถุ (1.02-1.05 เปอร์เซ็นต์) อินทรีย์คาร์บอน (0.59-0.67 เปอร์เซ็นต์) ไนโตรเจนทั้งหมด (0.09 เปอร์เซ็นต์) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (35.37-58.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สูงกว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกซึ่งมีค่าความชื้น (15.86-17.39 เปอร์เซ็นต์) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (4.15-4.35 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) อินทรียวัตถุ

(0.63-0.65 เปอร์เซ็นต์) อินทรีย์คาร์บอน (0.37-0.38 เปอร์เซ็นต์) ไนโตรเจน (0.07-0.08 เปอร์เซ็นต์) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (29.80-46.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอุณหภูมิของดิน (28.69-29.63 องศาเซลเซียส) ทั้งในแปลงที่มีการปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกและแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินในแปลงที่มีระดับน้ำท่วมขังต่างกัน พบว่า ดินในแปลงที่มีระดับน้ำ 5 ซม. มีค่าการนำไฟฟ้า (0.27-0.52 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร) ค่าศักย์รีดอกซ์ (-106.93 ถึง - 109.29 มิลลิโวลต์) ความหนาแน่นรวม (1.24-1.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (46.95-58.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้า (0.19-0.45 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร) ศักย์รีดอกซ์ (-110.21 ถึง -113.38 มิลลิโวลต์) ความหนาแน่นรวม (1.21-1.33 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (29.88-35.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีค่าความเป็น กรด-ด่าง (6.82-7.42) ความชื้น (17.93-20.80 เปอร์เซ็นต์) อินทรียวัตถุ (0.65-1.15 เปอร์เซ็นต์) อินทรีย์คาร์บอน (0.38-0.67 เปอร์เซ็นต์) และไนโตรเจนทั้งหมด (0.08-0.09 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (6.74-7.38) ความชื้น (15.86-20.61 เปอร์เซ็นต์) อินทรียวัตถุ (0.63-1.02 เปอร์เซ็นต์) อินทรีย์คาร์บอน (0.37-0.59 เปอร์เซ็นต์) และไนโตรเจน (0.07-0.09 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (4.15-4.92 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (46.70-74.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่า ในแปลงที่มีระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าผันแปรไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้

5.1.2 ผลของการปรับปรุงดินและระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในแปลงที่มีการปรับปรุงดินต่างกัน พบว่า ในบริเวณที่ปลูกข้าว ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมงในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 15.79, 18.19, 25.29 และ 29.96 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากรากหญ้าแฝกสามารถชอนไชและหยั่งลึกลงในแนวดิ่งได้ดีจึงทำให้ออกซิเจนสามารถแพร่ผ่านชั้นดินลงไปได้ดีขึ้นเป็นผลให้สภาพรีดิวซ์ไม่รุนแรง กอปรกับข้าวในแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีความยาวรากมากกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ซึ่งรากที่หยั่งลึกลงไปในดินที่มากกว่านี้มีผลให้การแพร่ของออกซิเจนผ่านชั้นดินลงไปได้ดีขึ้น รวมทั้งบริเวณผิวโดยรอบของรากข้าวมีชั้นออกซิเจนบางๆ เคลือบอยู่ ซึ่งออกซิเจนสามารถออกซิไดซ์ก๊าซมีเทนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ อีกทั้งแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงกว่าซึ่งเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญของ methanogenic bacteria ดังนั้น การปลดปล่อยมีเทนจึงสูงกว่า เมื่อพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะการ

เจริญเติบโตของข้าว พบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนของแปลงนาทั้ง 4 แปลงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของข้าวและลดลงในระยะเก็บเกี่ยว โดยมีค่าต่ำที่สุดในระยะเมล็ดข้าวงอก (0.60-2.83 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) และมีค่าสูงที่สุดในระยะเมล็ดน้ำนม (52.22-86.86 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) ส่วนในบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว พบว่า ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมงมีแนวโน้มเช่นเดียวกับบริเวณที่ปลูกข้าว กล่าวคือ แปลงที่มีการปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 5.38, 6.97, 9.63 และ 12.10 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตามระยะเวลาในการขังน้ำ พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับบริเวณที่ปลูกข้าว และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนระหว่างบริเวณที่ปลูกข้าวและบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว พบว่า บริเวณที่ปลูกข้าวมีค่าสูงกว่าบริเวณที่ไม่ปลูกข้าวมีค่าอยู่ในช่วง 15.79-29.96 และ 5.38-12.10 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะร้อยละ 90 ของการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวปลดปล่อยผ่านต้นข้าว โดยก๊าซมีเทนจากดินจะเคลื่อนย้ายผ่าน aerenchyma ออกสู่บรรยากาศ (Le Mer และ Roger, 2001) สำหรับค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในรอบวัน และตลอดฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนรายชั่วโมง ทั้งในบริเวณที่ปลูกข้าวและบริเวณที่ไม่ปลูกข้าว

การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนแปลงที่มีระดับน้ำท่วมขังต่างกัน พบว่า แปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 2.83-86.86 และ 0.60-72.55 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการขังน้ำในระดับน้ำที่สูงกว่าทำให้ออกซิเจนแพร่ลงไปยังชั้นดินได้น้อยเป็นผลให้ออกซิเจนและค่าศักย์รีดอกซ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็ว สภาพรีดักชันเกิดได้รุนแรงมากขึ้น อีกทั้งการขังน้ำในระดับน้ำที่สูงกว่ายังทำให้ aerenchyma ของข้าวมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นผลให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงขึ้น

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินและระดับน้ำกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า สมบัติของดินที่ตรวจวัดในภาคสนาม ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า ศักย์รีดอกซ์ และอุณหภูมิของดิน มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินด้านอื่นๆ พบว่า อินทรียวัตถุ และอินทรีย์คาร์บอนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ระดับน้ำในนาข้าวไม่มีความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบแนวโน้มว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินด้านต่างๆ และระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สมการความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินด้านต่างๆ ระดับน้ำ และการเจริญเติบโตของข้าว กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

ด้าน	พารามิเตอร์	สมการความสัมพันธ์	R^2
สมบัติของดิน	soil pH	CH_4 = -23.7528*soil pH + 192.0926	0.2260
	soil electrical conductivity	CH_4 = -33.8951*soil electrical conductivity + 35.1857	0.1132
	soil Eh	CH_4 = -0.2821*soil Eh - 9.3830	0.0662
	soil temperature	CH_4 = -7.9086*soil temperature + 252.8401	0.4427
	organic matter	CH_4 = 22.7019*organic matter + 4.0916	0.5684
	organic carbon	CH_4 = 39.0008*organic carbon + 4.0873	0.5711
ระดับน้ำ	water level	CH_4 = 0.8028*water level + 16.5325	0.0067
การเจริญเติบโตของข้าว	shoot height	CH_4 = 0.8316*shoot height – 30.6266	0.5417
	root length	CH_4 = 1.4083*root length + 5.0937	0.0158
	no. of shoot /area	CH_4 = -0.1867*no. shoot/area + 79.8649	0.1402
	total biomass (above and belowground)	CH_4 = 0.0318*total biomass + 4.6437	0.4695

หมายเหตุ: n = 24

5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน พบว่า ความสูงของข้าว และมวลชีวภาพรวม (ส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน) มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้ดังตารางที่ 5.1

5.1.5 ผลผลิตข้าวกับการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

การศึกษาผลผลิตข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูก พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 421.47, 401.35, 374.72 และ 366.79 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และเมื่อคำนวณสัดส่วนระหว่างการปลดปล่อยก๊าซมีเทนกับผลผลิตข้าว พบว่า แปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีค่าต่ำกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วย

หญ้าแฝก ทั้งระดับน้ำ 5 และ 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 0.081, 0.136, 0.105 และ 0.175 กิโลกรัมมีเทนต่อผลผลิตข้าว 1 กิโลกรัม ตามลำดับ

จากผลการวิจัยทั้งหมดกล่าวโดยสรุปได้ว่า แปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกทั้งนี้เพราะปอเทืองที่ปลูกและไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดในแปลงนาที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกย่อยสลายได้ง่ายและปลดปล่อยธาตุอาหารได้เร็วกว่าหญ้าแฝก แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าและมีผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝก ส่วนระดับน้ำในแปลงนาไม่มีความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบแนวโน้มว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 5 เซนติเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่าและมีผลผลิตข้าวสูงกว่าแปลงที่มีระดับน้ำ 10 เซนติเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากการทำวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาในพื้นที่นาข้าวของเกษตรกรซึ่งมีประวัติการใช้ประโยชน์ในแปลงนาทดลองที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของดินมีค่าผันแปรตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาในฤดูเพาะปลูกถัดไปเพื่อเปรียบเทียบผลกับการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งอาจทำให้ได้ข้อสรุปด้านสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่เปลี่ยนแปลงไปชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเฉพาะแปลงที่ปรับปรุงดินด้วยหญ้าแฝกซึ่งย่อยสลายยากและปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้ากว่า รวมทั้งศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวควบคู่ไปด้วย

5.2.2 ควรมีการศึกษาก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการด้านการประเมินรอยเท้าคาร์บอน (carbon footprint) ในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลาภา วัฒนประพัฒน์. 2549. ผลของปุ๋ยพืชสดตระกูลถั่วต่อสมบัติทางเคมีและชีวภาพของดินและผลผลิตข้าวโพดหวานในชุดดินปากช่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การข้าว, กรม. 2555. พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง ชัยนาท 1 (chinat 1). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.brrd.in.th/rkb/data_002/a2/rice_xx2-03_ricebreed_Chai_Nat_1.html. [21 มีนาคม 2555].

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามเนตร เอกตาแสง. 2546. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาหว่านข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีการจัดการน้ำร่วมกับปุ๋ยเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จิติมาพร สุขพินิจ. 2538. การประเมินสถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชาติชาย มณีสุวรรณ. 2545. อิทธิพลของวิธีการปลูกข้าวและการเพิ่มอินทรียวัตถุต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชุติมา สุรีพิทักษ์. 2550. การใช้พืชตระกูลถั่วเป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อปรับปรุงผลผลิตข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, พิทยากร ลิ่มทอง และเสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์. 2547. ผลของปุ๋ยดินทรีย์ต่อการเกิดก๊าซมีเทนจากดินนาที่มีต่อระบบรากและผลผลิตของข้าวในดินชุดรังสิต. วารสารพัฒนาที่ดิน 45 (408): 36-47.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, พิทยากร ลิ่มทอง และเสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์. 2555. ศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ดินบริเวณรากหญ้าแฝกในสภาพดินที่มีปัญหา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://irv101.ldd.go.th/research-detail-19.html. [21 พฤษภาคม 2555].

ไตรมิตร ใจบรรจง. 2545. ความสัมพันธ์ของสารหลั่งรากข้าวที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2550. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนียา เจติยานุกรกุล. 2539. ความเป็นไปได้ของการใช้หญ้าแฝกจากแหล่งพันธุ์ต่างๆ ในการบำบัดน้ำทิ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

บุญแสน เตียวนุกูลธรรม. 2555. ความชื้นของดิน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.nsru.ac.th/e-learning/soil/lesson_4.php. [14 กุมภาพันธ์ 2555].

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2536. การปลดปล่อยและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พัชรี แสนจันทร์, กัลยกร โปร่งจันทึก และดวงสมร ตุลาพิทักษ์. 2551. การใช้วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวอินทรีย์ที่มีการลดก๊าซมีเทน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น 13 (1): 114-125.

พัชรี แสนจันทร์ และสิริธร คมน์ทิพยรัตน์. 2548. การจัดการนาข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดการปล่อยก๊าซมีเทน. วารสารแก่นเกษตร 33 (2): 83-94.

พิสิฐ พรหมนารท. 2544. มุมมองที่แตกต่างของการใช้ปุ๋ยเพื่อการผลิตข้าว. วารสารวิชาการเกษตร 19 (3): 236-245.

พัฒนาที่ดิน, กรม. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงกระเกษตรและสหากรณ์.

พัฒนาที่ดิน, กรม. 2548. คู่มือเรื่องการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกเพื่อการพัฒนาที่ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกในการจัดการดิน สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พัฒนาที่ดิน, กรม. 2555ก. การใช้ปุ๋ยพืชสดบำรุงดินเพื่อเกษตรยั่งยืน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical11002.pdf. [14 มีนาคม 2555].

พัฒนาที่ดิน, กรม. 2555ข. แผนที่ชุดดินรายอำเภอ จังหวัดเพชรบุรี. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://oss101.ldd.go.th/ web_th_soilseries/01_central/76_Phetchaburi/76_prov.htm. [31 มีนาคม 2555].

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. เคมีดิน (soil chemistry). พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เพ็ญศรี ศรีภักดิ์ชัยกุล. 2552. ประสิทธิภาพของตัวกลางเปลือกหอยนางรมในการกำจัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วยถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

มั่นสิน ตัลทุณเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษย์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ราเชนทร์ ถิรพร. 2537. ประโยชน์ของหญ้าแฝกในด้านอื่นๆ. รายงานผลการสัมมนาเรื่อง การพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝก วันที่ 24-26 สิงหาคม 2537 ณ โรงแรมรีเจ้นท์ชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี: 39-59.

วัชรีย์ ผลเดชสถาพร. 2544. ผลของการใช้โสนอัฟริกันเป็นปุ๋ยพืชสดต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในจังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วิชาการเกษตร, กรม. 2553. คู่มือวิธีวิเคราะห์ดินทางเคมีและฟิสิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ. 2543. ความสัมพันธ์ของวิธีการปลูกข้าวและการจัดการน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุมล โสภากร และดิเรก เทพาทิพย์. 2546. รายงานผลการวิจัยเรื่องศึกษาพันธุ์หญ้าแฝกที่เหมาะสมในดินเสื่อมโทรม. สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภาพร จันรุ่งเรือง, ปรัชญา ธัญญาดี และพิรัชฌา วาสนานุกูล. 2537. การศึกษาการแปรสภาพใบหญ้าแฝกเป็นปุ๋ยหมัก. [ออนไลน์].แหล่งที่มา: http://irv101.ldd.go.th/research-detail-47.html. [15 เมษายน 2555].

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2555. มาทำความเข้าใจให้ถูกกับคำว่า “ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของสารละลาย”. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.cab.ku.ac.th/suntaree/ccount/click.php?id=155. [14 กุมภาพันธ์ 2555].

สมศักดิ์ วังใน. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภสุข ประดับสุข. 2542. ผลของการระบายน้ำที่มีต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวชนิดนาสวน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2555. ประวัติความเป็นมา. [ออนไลน์]: แหล่งที่มา: http://www.huaysai- center.org. [12 เมษายน 2555].

อนุรักษ์ วิไล. 2542. ผลของระดับน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่มีการปลูกข้าวโดยวิธีหว่านน้ำตมและปักดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

อนนท์ สุขสวัสดิ์. 2547. การประเมินความสมบูรณ์ของดินนา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

อภิญญา วงศ์กำภู. 2542. อิทธิพลของปุ๋ยและการจัดการน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อรัญญ์ ขันติยวิชช์. 2551. การเพิ่มผลผลิตข้าวอินทรีย์และการปล่อยมีเทนในนาชลประทานที่ใช้ถั่วเขียวเป็นปุ๋ยพืชสด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อรรถ สมร่าง. 2537. การใช้หญ้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่เกษตรและอื่นๆ. รายงานผลการสัมมนาเรื่อง การพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝก วันที่ 24-26 สิงหาคม 2537 ณ โรงแรมรีเจ้นท์ ชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี: 17-24.

อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น. 2526. เรื่องของข้าว (rice story). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2541. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมโลกจากก๊าซเรือนกระจกต่อการทำนาข้าว. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์, ทวี คุปต์กาญจนากุล, ศิริพร ซึงสนธิพร, บุญมี เณรยอด, สมโภชน์ เอี่ยมสุภาษิต และสถาพร กาญจนพันธุ์. 2544. ผลกระทบจากการกำจัดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวต่อการปลูกข้าวและผลผลิตข้าวของประเทศไทย. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

อุดม ก๊กผล, โสภณ เริงสำราญ และอมร เพชรสม. 2547. เคมีอินทรีย์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อิสริยา มีสิงห์, อรุณ พงษ์กาญจนะ และกมลาภา วัฒนประพัฒน์. 2554. รายงานผลการวิจัยเรื่องการใช้ประโยชน์หญ้าแฝกฟื้นฟูดินในนาข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ภาษาอังกฤษ

Ashworth, J., Key, D., Kirk, R. and Lessard, R. 2001. Standard procedure in the hydrometer method for particle size analysis. Communication in Soil Science and Plant Analysis 32: 633-642.

Boeckx, P., Cleemput Van, O. and Villavalvo, I. 1997. Methane oxidation in soils with different textures and land use. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49: 91-95.

Brady, N. C. and Weil, R. R. 2000. Elements of the nature and properties of soils. Upper Saddle Rer. N. J. : Prentice Hall.

Busman, L., Lamp, J., Randall, G., Rehm, G. and Schmitt, M. 2012. The nature of phosphorus in soils. [Online]. Available from: http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6795. html. [2012, April 1].

Chaudhury, J., Singh, D. P. and Hazra, S. K. 2012. Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) [Online]. Available from: assamagribusiness.nic.in/Sunnhemp.pdf. [2012, March 26].

Dobermann, A. and Fairhurst, T. 2000. Rice: Nutrient Disorder & Nutrient Management. Oxford: Graphic Printers.

Gogoi, N., Baruah, K. K., Gogoi, B. and Gupta, P. K. 2005. Methane emission characteristics and its relations with plant and soil parameters under irrigated rice ecosystem of Northeast India. Chemosphere 59: 1677-1684.

Hosono, T. and Nouchi, I. 1997. The dependence of methane transport in rice plants on the root zone temperature. Plant and Soil 191: 233-240.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policymakers. In: Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kanno, T., Miura, Y., Tsurata, H. and Minami, K. 1997. Methane emission from rice paddy fields in all of Japanese prefecture. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49: 147-151.

Le Mer, J. and Roger, P. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soil: A Review. European Journal of Soil Biology 37: 25-50.

Lindau, C. W. 1994. Methane emissions from Louisiana rice fields amended with nitrogen fertilizers. Soil Biology and Biochemistry 26: 353-359.

Mallick, S. 2009. Estimation of Methane Emission from a North-Indian Subtropical Wetland. Journal of Sustainable Development 2 (2): 125-132.

Methacanon, P., Chaikumpollert, O., Thavorniti, P and Suchiva, K. 2003. Hemicellulosic polymer from vetiver grass and its physiochemical properties. Carbohydrate Polymer 54: 335-342.

Minamikawa, K. and Sakai, N. 2005. The effects of water management based on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soil in Japan. Agriculture, Ecosystems and Environment 107: 397-407.

Minamikawa, K., Sakai, N. and Hayashi, H. 2005. The effects of ammonium sulfate application on methane emission and soil carbon content of a paddy field in Japan. Agriculture, Ecosystems and Environment 107: 371-379.

Mitsch, W. and Gosselink, J. 2000. Wetlands. Third edition. New York: John Wiley & Sons.

Neue, H. U., Wassmann, R., Kludze, H. K., Bujun, W. and Lantin, R. S. 1997. Factors and process controlling methane emissions from rice fields. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49: 111-117.

Neue, H. U., Wassmann, R., Lantin, R. S., Alberto, Ma. C. R., Aduna, J. B. and Javellana, A. M. 1996. Factors affecting methane emission from rice fields. Atmospheric Environment 30: 1751-1754.

Nimityongskul, P., Hendsadeekul, T and S, Panichnava. 2003. Use of vetiver grass ash as cement replacement materials. Proceedings of the Third International Conference on Vetiver, 6-9 October 2003, Guangzhou, China: 148-159.

Parashar, D. C., Gupta, P. K., Rai, J., Shama, R. C. and Singh, N. 1993. Effect of soil temperature on methane emission from paddy fields. Chemosphere 26: 247-250.

Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy Vol. 24. Academic Press, Inc. Phillippines.

Reddy, K. R. 1982. Nitrogen cycling in flooded-soil ecosystem planted to rice (*Oryza sativa* L.). Plant and Soil 67: 209-220.

Soil Survey Staff. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations. Report No. 42. U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C. 716 pp.

Tyagi, L., Kumari, B. and Singh, S. N. 2010. Water management-A tool for methane mitigation from irrigated paddy fields. Science of the Total Environment 408: 1085-1090.

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

Wang, Z. P., Delaune, R. D., Lindau, C. W. and Patrick, W. H. 1992. Methane production from anaerobic soil amended with rice straw and nitrogen fertilizers. Fertilizer Research 33: 115-121.

Wang, Z. P., Delaune, R. D., Masscheleyn, P. H. and Patrick, W. H. 1993. Methane emission and flooded rice soils as affected by soil properties. Biology and Fertility of Soils 16: 163-168.

Wassmann, R. and Aulakh, M. S. 2000. The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. Biological Fertilizer Soils 31: 20-29.

World Meteorological Organization (WMO). 2010. WMO WDCGG data summary. WDCGG No.34, GAW data Vol. IV-Greenhouse gases and other atmospheric gases, JMA-WMO.

Xiao, Y., Xie, G., Lu, C., Ding, X and Lu, Y. 2005. The value of gas exchange as a service by rice paddies in Suburban Shanghai, PR China. Agriculture, Ecosystems and Environment 109: 273-283.

Zhang, J., Li, Z., Ning, T. and Gu, S. 2011. Methane uptake in salt-affected soils shows low sensitivity to salt addition. Soil Biology & Biochemistry 43: 1434-1439.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ตารางที่ ก1 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2553

เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
กรกฎาคม	29.36
สิงหาคม	28.57
กันยายน	28.90
ตุลาคม	27.50

ที่มา: ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา รหัสสถานีที่ 465201 อำเภอเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ ก2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2553

เดือน	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
กรกฎาคม	4.82
สิงหาคม	8.55
กันยายน	2.62
ตุลาคม	29.22

ที่มา: ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา รหัสสถานีที่ 465201 อำเภอเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ ก3 จำนวนวันฝนตกสูงสุดระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2553

เดือน	จำนวนวันฝนตกสูงสุด (วัน)
กรกฎาคม	9
สิงหาคม	20
กันยายน	13
ตุลาคม	19

ที่มา: ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา รหัสสถานีที่ 465201 อำเภอเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี

ภาคผนวก ข

ภาพประกอบงานวิทยานิพนธ์บางส่วน

การไถกลบหญ้าแฝกในแปลงนาข้าว

การไถพรวนดินก่อนทำการปลูกข้าว

รากหญ้าแฝกที่ยึดติดอยู่กับก้อนดิน

สภาพชั้นดินในแปลงที่ปลูกหญ้าแฝก

ภาพที่ ข1 สภาพพื้นที่แปลงนาก่อนทำนา

สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวด้วย quadrat 1x1 ตารางเมตร

ล้างดินออกจากรากข้าว

ตัดส่วนต้น ส่วนราก และส่วนรวงข้าวออกจากกัน

นำแต่ละส่วนไปชั่งน้ำหนัก

วัดความสูงและความยาวรากข้าว

ภาพที่ ข2 การเก็บตัวอย่างและวัดการเจริญเติบโตของข้าว

ภาพที่ ข3 การเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวด้วยรถเกี่ยวข้าว

การเตรียมสะพานสำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน

หว่านเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ภาพที่ ข4 การเตรียมสะพานในการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนและการหว่านเมล็ดข้าว

ระยะเมล็ดข้าวงอก

ระยะต้นกล้า

ระยะข้าวแตกกอ

ระยะข้าวตั้งท้อง

ระยะเมล็ดน้ำนม

ระยะเก็บเกี่ยว

ภาพที่ ข5 ระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ

กล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (chamber)

วาง cahmber ลงบนฐานที่เตรียมไว้

ดูดตัวอย่างก๊าซจาก chamber

เก็บตัวอย่างก๊าซไว้ในหลอดสูญญากาศ

เตรียม chamber ไปเก็บตัวอย่างจุดต่อไป

ภาพที่ ข6 การเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทน

ภาคผนวก ค

เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

ตารางที่ ค1 ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน

สภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน	ระดับ
< 3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)
3.5-4.5	กรดรุนแรงมาก (extremely acid)
4.6-5.0	กรดจัดมาก (very strongly acid)
5.1-5.5	กรดจัด (strongly acid)
5.6-6.0	กรดปานกลาง (moderately acid)
6.1-6.5	กรดเล็กน้อย (slightly acid)
6.6-7.3	เป็นกลาง (neutral)
7.4-7.8	ด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)
7.9-8.4	ด่างปานกลาง (moderately alkaline)
8.5-9.0	ด่างจัด (strongly alkaline)
> 9.0	ด่างจัดมาก (very strongly alkaline)

ที่มา: Soil survey staff (1993) อ้างถึงใน กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางที่ ค2 ระดับการนำไฟฟ้าของดิน

ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (เดซิซีเมนต์ต่อเมตร)	ระดับความเค็ม	อิทธิพลต่อพืช
0-2	ไม่เค็ม	ไม่อิทธิพลต่อพืช
2-4	เค็มเล็กน้อย	พืชที่ไวต่อความเค็มมีการเจริญเติบโตลดลง
4-8	เค็มปานกลาง	จำกัดการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด
8-16	เค็มมาก	พืชทนเค็มเท่านั้นที่เจริญเติบโตได้
> 16	เค็มมากที่สุด	พืชทนเค็มบางชนิดเท่านั้นที่สามารถเจริญเติบโตได้

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2548)

ตารางที่ ค3 ระดับความหนาแน่นรวมของดิน

เนื้อดิน	**ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)**	**ระดับ**
ดินทรายและดินร่วน	มากกว่า 1.6-1.8	มีผลต่อการชอนไชของรากพืช
ดินทรายแป้ง	มากกว่า 1.4-1.6	มีผลต่อการชอนไชของรากพืช
ดินเหนียว	มากกว่าหรือเท่ากับ 1.3	มีผลต่อการชอนไชของรากพืช

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางที่ ค4 ระดับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

การแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)	**ระดับ**
< 3.0	ต่ำมาก (very low)
3.0-5.0	ต่ำ (low)
5.0-10.0	ค่อนข้างต่ำ (rather low)
10.0-15.0	ปานกลาง (moderate)
15.0-20.0	ค่อนข้างสูง (rather high)
20.0-30.0	สูง (high)
> 30.0	สูงมาก (very high)

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางที่ ค5 ระดับอินทรียวัตถุในดิน

อินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับ
0.5-1.0	ต่ำมาก (very low)
1.0-2.0	ต่ำ (low)
2.0-3.0	ปานกลาง (moderate)
3.0-5.0	สูง (high)
> 5.0	สูงมาก (very high)

ที่มา: Department of Environment, Climate Change and Water (2008) อ้างถึงใน กรมวิชาการเกษตร (2553)

ตารางที่ ค6 ระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ระดับ
< 3	ต่ำมาก (very low)
3-10	ต่ำ (low)
11-15	ปานกลาง (moderate)
16-45	สูง (high)
> 45	สูงมาก (very high)

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางที่ ค7 ระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ระดับ
< 30	ต่ำมาก (very low)
30-60	ต่ำ (low)
60-90	ปานกลาง (moderate)
90-120	สูง (high)
> 120	สูงมาก (very high)

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอรรถพล โสภาพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2528 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสาธิตเทศบาลวัดเพชรจริก จังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อปี 2547 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี 2552 และเข้าศึกษาต่อปริญญาโทที่หลักสูตรสหาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี 2552

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอผลงานทางวิชาการและได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ ดังนี้

1) นำเสนอผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีวิจัย ครั้งที่ 5: การบูรณาการงานวิจัยสู่ประชาคม อาเซียน ณ โรงแรมสุนีย์แกรนด์แอนด์คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ จังหวัดอุบลราชธานี วันที่ 4-5 สิงหาคม 2554

อรรถพล โสภาพงศ์, สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล และกนกพร บุญส่ง. 2554. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวอินทรีย์ที่มีระดับน้ำท่วมขังต่างกัน. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีวิจัย ครั้งที่ 5: การบูรณาการงานวิจัยสู่ประชาคมอาเซียน ณ โรงแรมสุนีย์แกรนด์แอนด์คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ จังหวัดอุบลราชธานี วันที่ 4-5 สิงหาคม 2554. หน้า 264-272.

2) ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2554

อรรถพล โสภาพงศ์, สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล และกนกพร บุญส่ง. 2554. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวอินทรีย์ที่มีระดับน้ำท่วมขังต่างกัน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 13 (3): 71-78.

3) ผู้วิจัยร่วมในบทความ การประชุมวิชาการเรื่อง “การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การพัฒนาคุณภาพชีวิตของ ประชาชนตามแนวพระราชดำริ” ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 26 สิงหาคม 2554

กนกพร บุญส่ง, สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, ปัญจพล พิชญ์จรัล, **อรรถพล โสภาพงศ์** และพรติกาญจน์ ชัยกุล. 2554. การประยุกต์ใช้การไถกลบหญ้าแฝกในดินนาเสื่อมโทรม: ผลต่อสมบัติของดิน ผลผลิตข้าว และการกักเก็บคาร์บอน. การประชุมวิชาการเรื่อง “การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การพัฒนาคุณภาพชีวิตของ ประชาชนตามแนวพระราชดำริ” ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี 26 สิงหาคม 2554. หน้า 1-11.