ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม — วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา — **ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินบัญชีคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าวที่ปลูกตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ

Assessing Carbon Budget and Soil Carbon Sequestration in Paddy Rice Fields under Chemical and Organic Agricultures with Water Management

นามผู้วิจัย นางสาวธาริณี เผ่าสีหา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินบัญชีคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าว ที่ปลูกตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ

Assessing Carbon Budget and Soil Carbon Sequestration in Paddy Rice Fields under Chemical and Organic Agricultures with Water Management

โดย

นางสาวธาริณี เผ่าสีหา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธาริณี เผ่าสีหา 2555: การประเมินบัญชีคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าวที่ปลูกตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ, Ph.D. 72 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินบัญชีคาร์บอนของพื้นที่ปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ (การระบายน้ำกลางฤดู) ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา การทดลองในแปลงนาทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว ผลผลิตและมวลชีวภาพของข้าว คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากดิน และคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ผลการศึกษาพบว่าความสูงกอและผลผลิตข้าวของนาอินทรีย์สูงกว่านาเคมี และการจัดการน้ำมีผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของข้าว นาอินทรีย์มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่านาเคมี แต่ไม่พบผลของการจัดการน้ำ ทั้งนี้ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมตลอดฤดูปลูกข้าวไม่แตกต่างกันระหว่างรูปแบบนา คาร์บอนอินทรีย์ในดินของนาอินทรีย์สูงกว่านาเคมี ประมาณร้อยละ 25 ซึ่งชี้ให้เห็นว่านาอินทรีย์สามารถกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดี เพราะผลของการเติมอินทรียวัตถุในดินตามวิธีเกษตรอินทรีย์ที่ดำเนินการมากว่า 9 ปี อย่างไรก็ตาม การจัดการน้ำไม่มีผลที่ชัดเจนต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินในงานศึกษา 1 ปีนี้ การประเมินบัญชีคาร์บอนของพื้นที่ปลูกข้าวพบว่าการปลูกข้าวช่วยกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่และในดินได้ในทุกรูปแบบนา และนาอินทรีย์มีการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวและในดินสูงกว่านาเคมี (> 1.2 เท่า) ส่วนการจัดการน้ำลดการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวอย่างชัดเจนในนาเคมี (< ร้อยละ 23) ดังนั้น ผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ทั้งที่มีและไม่มีการจัดการน้ำส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวและในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับนาเคมี การจัดการน้ำมีผลทำให้ลดการกักเก็บคาร์บอนของนาเคมีอย่างมาก อย่างไรก็ตามควรดำเนินการศึกษาให้ยาวนานขึ้นเพื่อให้ทราบผลการจัดการน้ำที่ชัดเจนกว่านี้

_____ _____ ____/ ____ /__

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Tharini Phaosiha 2012: Assessing Carbon Budget and Soil Carbon Sequestration in Paddy Rice Fields under Chemical and Organic Agricultures with Water Management. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Associate Professor Patthra Pengthumkeerati, Ph.D. 72 pages.

This study aims to assess carbon (C) budget in paddy rice fields under chemical and organic agricultures with water management (mid-season drainage) in Chachoengsao. Field experiment was conducted to measure rice growth, rice yield and biomass, soil carbon dioxide (CO_2) emission and soil organic carbon. Results showed that plant height and rice yield were higher in organic rice plots (OP) than chemical rice plots (CP) and water management (WM) had a negative effect on rice growth. In addition, OP had a rapid rice growth than CP. OP had a greater soil CO_2 efflux than CP, but the WM effect was not observed. Total soil CO_2 emission throughout the growing season was not different between the two cultivation patterns. Soil organic carbon (SOC) in OP was higher than CP by 25%, indicating that adding organic fertilizer in the 9-year OP was a promise way to sequester soil C. However, WM did not have a clear effect on SOC in this one-year study. Assessing C budget in rice field showed that rice cultivation could sequester C in field and in soil for all the studied cultivation patterns, and OP could sequester C higher than CP (>1.2 times). WM considerably decreased C sequestration in CP (< 23%). Hence, this finding suggested that, regardless of water management, paddy rice fields under organic agriculture effectively enhanced C sequestration in field and in soil, comparing to chemical rice cultivation. Water management had a decreased effect on C sequestration, especially for chemical cultivation, but further investigation should be conducted for a better understanding

_____ _____ ____/ ____ /__

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำคำปรึกษาในเรื่องการเรียน การดำเนินชีวิต การศึกษาค้นคว้าวิจัย คำแนะนำ ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจเล่มนี้ให้สมบูรณ์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ (ฝ่าย 3) และทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอขอบคุณอุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์จากหน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบพระคุณคุณสอิ้ง สุริยา ที่สนับสนุนให้ใช้พื้นที่นาข้าวเป็นแปลงทดลองสำหรับงานศึกษาในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ธานี ศรีวงศ์ชัย ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับเครื่องมือในการเก็บและจัดการผลผลิตข้าวหลังการเก็บเกี่ยว และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน บุคลากรและเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่ได้เลี้ยงดู อบรมสั่งสอนให้กำลังใจและให้โอกาสทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้อง ที่ให้การช่วยเหลือและเป็นกำลังใจอย่างดีในการทำวิทยานิพนธ์โดยตลอด

ธาริณี เผ่าสีหา

เมษายน 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	57
สรุป	57
ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารและสิ่งอ้าง	59
ภาคผนวก	66
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	72

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณลักษณะปุ๋ยหมัก (ปุ๋ยอินทรีย์) ที่ใช้ในงานศึกษานี้	26
2	คุณลักษณะดินเริ่มต้นบางประการของของพื้นที่ศึกษา ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร	36
3	ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตต่างๆของต้นข้าวตลอดฤดูปลูกข้าว	39
4	ผลผลิตข้าวและองค์ประกอบข้าว	43
5	ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดฤดูปลูกข้าวและช่วงพักนา	46
6	ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดตลอดฤดูการปลูกข้าวและช่วงพักนา	50
7	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวของนาข้าวที่ปลูกตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์	53
8	บัญชีคาร์บอนสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวของงานศึกษา	55

ตารางผนวกที่

1	ข้อจำกัดของความเป็นกรดเป็นด่างในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	67
2	ข้อจำกัดของปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	67
3	ข้อจำกัดของปริมาณไนโตรเจนในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	68
4	ข้อจำกัดของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	68
5	ข้อจำกัดของปริมาณปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	69
6	อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา	70
7	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินก่อนและหลังการปลูกข้าว	71
8	ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนในผลผลิตของข้าวและวัชพืช	71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แบบจำลองพลวัตของคาร์บอนในดิน	11
2	ชุดทดลองเก็บตัวอย่าง	28
3	กล่องเก็บตัวอย่างในช่วงที่มีการปลูกข้าว	30
4	กล่องเก็บตัวอย่างในช่วงพักนา	30
5	แปลงนาที่ปลูกตามรูปแบบเกษตรอินทรีย์ จ.ฉะเชิงเทรา	33
6	แผนการทดลองแบบ split plot design	34
7	ปริมาณฝนรายวัน (แท่ง) และปริมาณน้ำฝนสะสมรายวัน (เส้น) ของสถานีตรวจวัดอากาศ จ. ฉะเชิงเทรา	37
8	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันของสถานีตรวจวัดอากาศ จ. ฉะเชิงเทรา	37
9	ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของข้าวในแปลงนารูปแบบต่างๆค่าเฉลี่ยความสูงของข้าว	40
10	ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของนาเคมีและนาอินทรีย์	45
11	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินของนาเคมีและนาอินทรีย์	48
12	ค่าเฉลี่ยอัตราปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินนาเคมีและนาอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำตามเวลาเก็บตัวอย่างที่ศึกษา	52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินบัญชีคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าว ที่ปลูกตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ

Assessing Carbon Budget and Soil Carbon Sequestration in Paddy Rice Fields under Chemical and Organic Agricultures with Water Management

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาภาวะโลกร้อน (global warming) และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) มีสาเหตุหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) อันเนื่องมาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นในบรรยากาศสูงสุดเมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกตัวอื่น โดยในช่วงปี 2503-2543 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 0.2-0.3 องศาเซลเซียส (สุขประโชค, 2549) มีการคาดการณ์ในอนาคตว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะสูงขึ้นถึง 750 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) ในปี 2563 และการคาดการณ์ว่าในช่วงปี 2533-2643 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบริเวณผิวโลกน่าจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1.1-6.4 องศาเซลเซียส (IPCC, 2007) หากไม่มีมาตรการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศ ภาคเกษตรกรรมมีบทบาทที่สำคัญต่อการเกิดภาวะโลกร้อน เป็นทั้งแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแหล่งเก็บสะสมคาร์บอน จึงได้รับความสนใจใน การใช้เป็นแหล่งลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรโดยเฉพาะการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration) (Matsumoto *et al*., 2002) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดี ต้นทุนต่ำ และสามารถดำเนินการได้ทันที (Lal, 2004)

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย โดยใน พ.ศ. 2553 มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 72.62 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 22.6 ของพื้นที่ทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ในประเด็นเกี่ยวกับภาวะโลกร้อน นาข้าวมักถูกกล่าวถึงการเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก (มีเทน) แต่มีงานศึกษาที่พบว่านาข้าวมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนที่น่าสนใจ เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกพืชไร่ชนิดอื่นๆ (Minamikawa and Sakai, 2007) เพราะการขังน้ำในนาข้าวช่วยลดการย่อยสลายอินทรียวัตถุผ่านกระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจน ทำให้อินทรียวัตถุเหล่านี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คงค้างอยู่นานขึ้นในพื้นที่นา และทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนในดินนา การส่งเสริมความ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยปรับปรุงผลผลิตและความอุดมสมบูรณ์ของดินและช่วยเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Singh *et al.,* 2009) และการกระจายตัวของอินทรีย์คาร์บอนในดินในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยมูลสัตว์พบว่ามีอินทรีย์คาร์บอนในดินในรูปที่เสถียรในปริมาณที่สูงอีกด้วย ซึ่งแสดงถึงการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดินที่ดี (Huang *et al.,* 2010) และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว (ชนิดที่ผ่านการหมักแล้ว) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีนั้นมีแนวโน้มลดก๊าซมีเทนได้ประมาณร้อยละ 19 ถึง 59 เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สดร่วมกับปุ๋ยเคมี (Zheng *et al.,* 2000) ในปัจจุบันมีการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางจัดการที่เหมาะสมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว เช่น การจัดการน้ำเป็นการลดก๊าซมีเทนที่มีประสิทธิภาพ โดยการระบายน้ำกลางฤดูปลูกเป็นการเติมอากาศให้กับดินนาเป็นเวลาสั้นๆ ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ดินนาสูงขึ้น และทำให้สภาวะไม่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน จึงทำให้ปล่อยก๊าซมีเทนลดลง (Towprayoon *et al.,* 2005)

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาบัญชีคาร์บอนในนาและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่นา จึงเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกด้วยพื้นที่การเกษตร และน่าจะบรรเทาผลที่เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของนาข้าวลงได้ หากแต่งานศึกษาในด้านนี้ยังค่อนข้างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าวที่มีรูปแบบเกษตรต่างกัน เพื่อใช้ประเมินถึงประสิทธิภาพของกิจกรรมการเกษตรที่มีต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าว และเพื่อเป็นข้อมูลในการส่งเสริมวิธีการปลูกข้าวที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการปลดปล่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ การกักเก็บคาร์บอนในดิน การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวของนาที่ปลูกข้าวแบบเกษตรนาเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ

2. เพื่อศึกษาบัญชีคาร์บอนในพื้นที่นาข้าวที่มีรูปแบบเกษตรนาเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas)

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟาเรดได้ดี ซึ่งก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ โดยทั่วไปแล้วในบรรยากาศโลกประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ ประมาณร้อยละ 78 รองลงมาคือ ออกซิเจน ประมาณร้อยละ 20 แต่ผลกระทบเรือนกระจกของก๊าซทั้ง 2 ชนิดนี้มีน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในบรรยากาศแล้ว ซึ่งยังมีก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญและดักความร้อนในชั้นบรรยากาศทำให้โลกร้อนขึ้นได้โดยก๊าซดังกล่าว ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) และโอโซน (O_3) (ธนพงศ์, 2541) แต่พบว่ามีก๊าซเรือนกระจกบางชนิดเกิดขึ้นภายหลังช่วงอุตสาหกรรม เช่น คลอโรฟลูออโรคาร์บอน เป็นต้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ในบรรยากาศในปี 2537 มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงก่อนอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นในปี 2537 หลังจากช่วงอุตสาหกรรม มีความเข้มข้นมากหากเทียบกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ดังนั้น จึงอาจถือได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซหลักในกลุ่มของก๊าซเรือนกระจก โดยนักวิทยาศาสตร์พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น อุณหภูมิของโลกจะสูงด้วย ซึ่งหากไม่มีมาตรการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศคาดว่าในอนาคตอาจทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงขึ้นถึง 750 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) ในปี 2563 และอาจทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย โดยในช่วงปี 2503-2543 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 0.2-0.3 องศาเซลเซียส (สุขประโชค, 2549) โดยมีการคาดการณ์ว่าในช่วงปี 2533-2643 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบริเวณผิวโลกน่าจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1.1-6.4 องศาเซลเซียส (IPCC, 2007)

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง มีการคำนวณก๊าซเรือนกระจกของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) โดยสำนักงานและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2553) ซึ่งรายงานแห่งชาติฉบับที่ 2 การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย โดยประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิในปี พ.ศ. 2543 เท่ากับ 229.08 ล้านตัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากภาคพลังงาน (ร้อยละ 69.6) ภาคเกษตรกรรม (ร้อยละ 22.6) การจัดการของเสีย (ร้อยละ 4.1) การใช้ที่ดิน (ร้อยละ -3.4) และภาคอุตสาหกรรม (ร้อยละ 7.2) ตามลำดับ

1.1 การเกิดก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เกษตรกรรม

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเกษตรกรรม คือ การปลดปล่อยก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกจากการเกษตรกรรมได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทนและไนตรัสออกไซด์ ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศของโลกจากกระบวนการทางธรรมชาติ ก๊าซเรือนกระจกจากการเกษตรเที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ได้แก่การใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสม เช่น การตัดไม้ทำลายป่าเพื่อใช้ทำการเกษตรหรือใช้เพาะปลูกพืช ซึ่งเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การทำนาและการเลี้ยงปศุสัตว์ซึ่งเป็นแหล่งปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเกษตรที่มากเกินไป มีผลโดยตรงต่อปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศ นอกจากนี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel burning) ยังปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์อีกด้วย ตลอดจนการย่อยสลายอินทรียวัตถุเมื่อพืชและสัตว์เน่าเปื่อย คาร์บอนที่สะสมในพืชและสัตว์จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศเพิ่มขึ้น

การปลูกข้าวที่มีสภาพน้ำขังพบว่าก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกหลายชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทนและไนตรัสออกไซด์ รายงานของ Tsuruta *et al.* (1998) แสดงว่าเมื่อพิจารณาศักยภาพในการทำให้โลกร้อนจากก๊าซเรือนกระจกสำคัญทั้งสามในนาข้าวพบว่ามีเทนก่อให้เกิดศักยภาพโลกร้อนคิดเป็นร้อยละ 78 ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในนาข้าว ดังนั้น การหาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวจึงเป็นการบรรเทาภาวะโลกร้อนที่น่าสนใจ

1.2 การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่การเกษตร

แนวทางลดก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรมที่เป็นที่รู้จักในกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism; CDM) คือ การปรับปรุงการจัดการพืชและทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (เช่น การปรับปรุงวิธีการทำเกษตร การใช้ปุ๋ย การไถพรวน และการจัดการเศษซากพืช) การฟื้นฟูดินอินทรีย์หรือดินพรุ (organic soil) การฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมสภาพ และอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ คือ การลดปริมาณของคาร์บอนในบรรยากาศ รวมทั้งการกักเก็บคาร์บอนไว้ในที่ปลอดภัยที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรียกว่าการกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสะสมไว้ดินในรูปอินทรียวัตถุ (เล็ก, 2550)

พื้นที่เพาะปลูกหลักของไทย คือ การใช้เพื่อการปลูกข้าว ดังนั้น มาตรการลดก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวจึงมีความสำคัญ โดยมีการเสนอแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวในหลายรูปแบบ เช่น การจัดการน้ำ ชนิดและการใส่ปุ๋ย และการจัดการตอซัง อย่างไรก็ตาม การเลือกวิธีการจัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

2. ข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า (annual grass) ถูกจัดอยู่ในสกุลออไรซา (Genus *Oryza*) ของวงศ์เกรมินี (Family Paoceae หรือ *Gramineae*) สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งเขตร้อนและเขตอบอุ่น

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว

สภาพแวดล้อมแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สภาพแวดล้อมทางกายภาพ ได้แก่ ดิน น้ำ และสภาพภูมิอากาศ (ลม ฝน อุณหภูมิ ความชื้น และแสงอาทิตย์) และสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ ได้แก่ โรค แมลง นก หนู ปู ปลา หอย และจุลินทรีย์ในดิน สภาพแวดล้อมทั้ง 2 ประเภทโดยปัจจัยที่ไม่เหมาะสมจะเป็นปัจจัยสำคัญในการจำกัดการเจริญเติบโตและพัฒนาของต้นข้าว โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อการผลิตข้าว คือ ภูมิอากาศซึ่งมีองค์ประกอบหลักของภูมิอากาศที่ควรพิจารณา ได้แก่ น้ำฝน พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ (บุญหงส์, 2549)

2.1.1 น้ำฝน ปริมาณและการกระจายน้ำฝนว่ามีอิทธิพลมากต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว ปริมาณน้ำฝนที่มากเพียงพอและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิตข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการปลูกข้าวในที่มีน้ำขัง (lowland) โดยปกติเกษตรกรไทยปลูกข้าวในช่วงต้นฤดูฝน ข้าวต้องการน้ำตลอดฤดูปลูกไม่น้อยกว่า 1,200 มิลลิเมตร แต่ถ้าพื้นที่นั้นมีฝนตกเกือบทุกๆ 3 – 4 วัน รวมวันที่ฝนตกมากกว่า 15 วันในหนึ่งเดือน แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำฝนรวมไม่ถึง 900 มิลลิเมตร จะไม่ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง ดังนั้นการพิจารณาความเหมาะสมของปริมาณน้ำฝนต่อการปลูกข้าวต้องคำนึงถึงการกระจายมากกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.2 พลังงานจากดวงอาทิตย์ พลังงานความร้อนที่ได้จากดวงอาทิตย์มีบทบาทสำคัญมากต่อการสังเคราะห์แสงของข้าว แสงที่มีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืชจะอยู่ในช่วงคลื่น 380-720 นาโนมิเตอร์ ความเข้มของแสงในช่วงเวลาการสุกแก่ของรวงข้าวในแถบมรสุมเขตร้อนมีค่าประมาณ 350 แคลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน มีรายงานว่าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในฤดูปลูกข้าวของประเทศเอเชียเขตอบอุ่นมีค่าประมาณ 400 แคลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน

2.1.3 ความยาวของวัน ความยาวของช่วงแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวของวัน ความยาวของแสงในแต่ละวันมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าว เพราะมีผลต่อปริมาณพลังงานแสงที่ข้าวได้รับต่อวัน ในกรณีที่ความยาวชองวันหรือความยาวของช่วงแสงมากเกินกว่า 12 ชั่วโมงก็จะมีผลทำให้พันธุ์ข้าวพื้นเมืองโดยทั่วไปซึ่งถือเป็นพืชวันสั้นนั้น (short-day plant) และมีความไวต่อช่วงแสง (photoperiod-sensitive varieties) ออกดอกช้าลงหรือไม่ออกดอกเลย

2.1.4 อุณหภูมิ อุณหภูมิของอากาศเป็นตัวชี้ถึงปริมาณความร้อนที่สามารถถ่ายเทไปสู่ต้นข้าว ในเขตอบอุ่น (temperate zone) จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียส ประเทศในเขตร้อนซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูเพาะปลูกมากกว่า 30 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิต่ำสามารถยืดเวลาการสุกแก่ของเมล็ดข้าวเปลือกออกไปได้ทำให้มีเวลาเพิ่มขึ้นในการสะสมแป้งของเมล็ด

2.1.5 ลม ลมที่พัดผ่านต้นข้าวจะช่วยเติมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับต้นข้าวเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของข้าว นอกจากนั้นลมยังช่วยระบายความร้อนในบรรยากาศให้ลดลงอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่มากกว่า 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีผลต่อการแพร่กระจายของโรคและแมลงศัตรูข้าวบางชนิด ทั้งอาจทำให้ใบข้าวฉีกขาด ต้นข้าวหักล้ม การสร้างและสะสมอาหารหยุดชะงัก จึงควรปลูกไม้ยืนต้นบังลม เพื่อลดความแรงก่อนเข้าปะทะต้นข้าว

2.1.6 ความชื้นสัมพัทธ์ ไม่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของข้าวมาก ซึ่งปกติค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนการเก็บเกี่ยวจะเป็นปฏิกิริยาผกผันกับปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามทั้งปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในระดับที่สูงและอุณหภูมิตอนกลางคืนของอากาศต่างก็ก่อให้เกิดสภาพหยดน้ำค้างซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคไหม้ (blast disease) มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.7 ดิน ข้าวสามารถขึ้นได้ในดินตั้งแต่ดินทรายจนถึงดินเหนียวที่มีระดับความเป็นกรดด่างตั้งแต่ 3-10 อินทรียวัตถุ (organic matter) ตั้งแต่ร้อยละ 1-50 ข้าวมีความทนทานดินเค็มที่ประกอบด้วยเกลือสูงถึงร้อยละ 1 และสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในดินที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์จนถึงดินที่ขาดธาตุอาหาร ดังนั้นการปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตจึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ทั้งนี้เพราะข้าวเป็นพืชเพียงชนิดเดียวที่สามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีน้ำขัง โดยปกติสภาพดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวนั้นควรจะเป็นที่อยู่ในระดับต่ำกว่าผิวดิน ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่าผิวดินประมาณ 30-60 เซนติเมตร

2.2 สถานการณ์การปลูกข้าวในประเทศไทย

ในปี. 2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 72.62 ล้านไร่ ซึ่งพื้นที่นาปีมีจำนวน 57.04 ล้านไร่และนาปรังจำนวน 15.58 ล้านไร่โดยในจำนวนพื้นที่ดังกล่าวสามารถผลิตข้าวเปลือกได้ปีละประมาณ 31.7 ล้านตัน โดยข้าวนาปีและข้าวนาปรังให้ผลผลิตข้าวเปลือกต่อไร่ประมาณ 389 และ 611 กิโลกรัม ตามลำดับ และผลผลิตรวมเป็น 22.18 และ 9.52 ล้านตัน ตามลำดับ ประเทศไทยส่งออกข้าวไปจำหน่ายยังต่างประเทศทั้งในรูปข้าวสารเจ้า ปลายข้าวสารเจ้า ข้าวสารเหนียว ปลายข้าวสารเหนียว ข้าวกล้อง ข้าวนึ่งและปลายข้าวนึ่ง เป็นมูลค่าประมาณ 168,193 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

2.3 พันธุ์ข้าวปทุมธานี 1

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าที่ได้มาจากการผสมระหว่างสายพันธุ์ข้าว BKNA6-18-3-2 (พันธุ์แม่) กับสายพันธุ์ PTT8506-86-3-2-1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี เมื่อฤดูนาปรัง ปี 2533 โดยปี 2533-2536 ปลูกคัดเลือกพันธุ์ผสมชั่วที่ 1-2 และทำการคัดเลือกข้าวแบบสืบตระกูลชั่วที่ 3-6 จนได้สายพันธุ์ PTT90071-93-8-1-1 ในปี 2537-2540 ทำการเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานีและระหว่างสถานีอื่นในปี 2539-2540 วิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและเคมีทดสอบความต้านทานโรค และศัตรูข้าวปี 2540-2541 เปรียบเทียบผลผลิตในนาราษฎร์ทดสอบเสถียรภาพในการให้ผลผลิต และในปี 2541-2542 จึงทำการขยายพันธุ์เป็นพันธุ์หลัก และกรมวิชาการเกษตรจึงพิจารณาให้เป็นพันธุ์รับรองโดยใช้ชื่อพันธุ์ปทุมธานี 1 คุณสมบัติข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ตลอดปี (ทั้งนาปรังและนาปี) อายุการเก็บเกี่ยว นาดำ 113-126 วัน นาหว่าน 104-114 วัน ต้นมีความสูงประมาณ 104-133 เซนติเมตร ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวมีขน ใบแก่ช้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาว ตั้งตรงปานกลาง คอรวงสั้น รวงอยู่ใต้ใบธง เปลือกเมล็ดสีฟาง มีขน มีหาง กลีบรองดอกสีฟาง เปลือกข้าวเฉลี่ยยาว 10.52 มิลลิเมตร กว้าง 2.47 มิลลิเมตร และหนา 1.95 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้องเฉลี่ยยาว 7.6 มิลลิเมตร กว้าง 2.17 มิลลิเมตร และหนา 1.72 มิลลิเมตร ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 3-4 สัปดาห์ คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวสุกนุ่มเหนียว มีกลิ่นหอม ต้านทานโรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคใบไหม้ และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ค่อนข้างไม่ต้านทานเพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม ไม่ควรใช้ปุ๋ยในอัตราสูง โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ฟางอ่อน ต้นข้าวล้มและผลผลิตลดลง ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 650-774 กิโลกรัมต่อไร่ (สถาบันวิจัยข้าว, มปป.)

3. วัฏจักรคาร์บอน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนของบรรยากาศประมาณ 365 ส่วนต่อล้านส่วน การหมุนเวียนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ หรือเรียกว่า วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) โดยแหล่งคาร์บอนที่สำคัญที่พบบนโลก ได้แก่ แหล่งที่อยู่ในดิน (pedoshere) แหล่งในบรรยากาศ (atmosphere) แหล่งที่อยู่ในน้ำ (hydrosphere) แหล่งที่เป็นส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิตบนบก (biosphere) และแหล่งที่อยู่ในชั้นหิน (lithosphere) คาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโครงสร้างของเซลล์และร่างกาย เนื้อเยื่อพืชและเซลล์ของจุลินทรีย์มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 40-50 ของน้ำหนักแห้ง แหล่งของคาร์บอนจากธรรมชาติที่พบได้ทั่วไป คือ คาร์บอนไดออกไซด์ แต่จะมีอยู่เพียงร้อยละ 0.03 ของบรรยากาศของโลก คาร์บอนไดออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสง (photoautotrophic microorganisms) และพืชสีเขียวบนพื้นโลก ตลอดจนกิจกรรมสังเคราะห์แสงของแอลจีในน้ำ สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์อาหารโดยใช้พลังงานจากแสงจะกลายเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนให้แก่พวกเฮเทอโรโทรป ซึ่งรวมถึงสัตว์และจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถสร้างอาหารจากอนินทรีย์คาร์บอนได้ ปริมาณคาร์บอนในส่วนที่อยู่ในดินทั่วโลกมีอยู่จำนวนมาก Schlesinger (1991) ประมาณปริมาณคาร์บอนในส่วนที่อยู่ในดินเป็นสองเท่าของคาร์บอนในบรรยากาศ หรือเป็นสามเท่าของคาร์บอนที่สะสมในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยบนบก มีปริมาณเป็นเศษหนึ่งส่วนสามของคาร์บอนในแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่พบในส่วนที่เป็นชั้นหินใต้ดินลงไป และเป็นเศษหนึ่งส่วนยี่สิบห้าของคาร์บอนที่พบในส่วนที่เป็นน้ำ

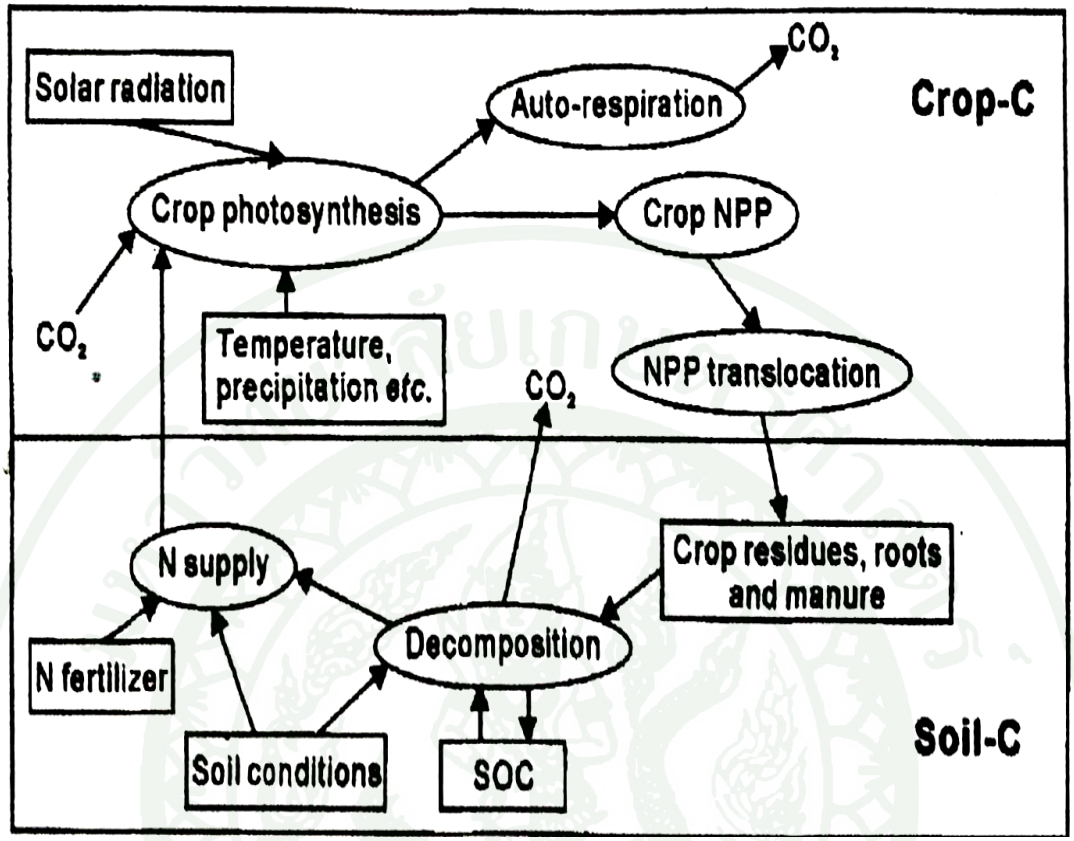
การหมุนเวียนคาร์บอนเริ่มจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นคาร์โบไฮเดรต โดยมีแสง คลอโรฟิลล์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และเอนไซม์เป็นตัวทำปฏิกิริยาและได้ผลผลิตคือคาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปของน้ำตาล ส่วนหนึ่งจะใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีวิต อีกส่วนหนึ่งสะสมไว้ในรูปของแป้งหรืออาจนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนหรือไขมันและเก็บสะสมไว้ตามส่วนต่างๆของพืช คาร์บอนจะถูกส่งผ่านไปยังสัตว์โดยการเป็นอาหารสัตว์ที่กินพืชนั้นๆ คาร์บอนในสัตว์กินพืชถ่ายทอดไปยังสัตว์กินเนื้อ ถูกนำมาใช้ในการหายใจและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศส่วนหนึ่งและส่วนที่เหลือถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตและตกเป็นซากพืชเมื่อตายลง ซากพืชและสัตว์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียและเชื้อรา ซึ่งเป็นการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศดังเดิม (อุทิศ, 2542) อินทรียสารในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเกิดจากกระบวนการทางจุลชีววิทยาและชีวเคมีด้วยภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตจนหมด ซึ่งผลสุดท้ายที่ได้คือคาร์บอนไดออกไซด์ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศสู่บรรยากาศ (ภาพที่ 1) เรียกขบวนการย่อยสลายอินทรียสารจนผลสุดท้ายได้คาร์บอนไดออกไซด์เรียกว่า การหายใจ (respiration) ในเซลล์สิ่งมีชีวิตในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic) สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลาย คือจะไม่เปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จนหมด ผลที่ได้จะเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆและอาจจะได้มีเทนหรือก๊าซไฮโดรเจนซึ่งผลผลิตที่ได้จะแล้วแต่ชนิดของเซลล์

พื้นที่ปลูกข้าวมีความแตกต่างจากการเพาะปลูกพืชชนิดอื่น เนื่องจากดินนาเมื่อมีการขังน้ำหรือเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง (submerged or flooded) ทำให้ปริมาณของก๊าซออกซิเจนในดินลดลงอย่างรวดเร็ว และถูกใช้หมดไปภายใน 1-2 วัน โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่ใช้ก๊าซออกซิเจนในการเจริญเติบโต ส่วนการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ดินในสภาวะน้ำขังเกิดขึ้นได้ช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการแพร่ (diffusion rate) ของก๊าซออกซิเจนโดยผ่านชั้นของน้ำ จะช้ากว่าอัตราการแพร่ในสภาวะที่ไม่มีน้ำขังถึงหมื่นเท่าตัว (อรวรรณ, 2550) ดังนั้นดินที่มีน้ำจึงถือว่าอยู่ในสภาวะที่ขาดก๊าซออกซิเจน ทำให้กระบวนการทางเคมีและชีวเคมีแตกต่างไปอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีน้ำขัง (ไพบูลย์, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 แบบจำลองพลวัตของคาร์บอนในดิน

ที่มา: Zhang *et al*. (2007)

4. การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในนาข้าว

4.1 การหายใจของดิน

การหายใจของดิน (soil respiration) เป็นกระบวนการที่คาร์บอนสะสมในดินถูกปล่อยไปยังบรรยากาศผ่านการย่อยสลาย และเปลี่ยนรูปของเศษซากพืชและสัตว์ที่ร่วงลงสู่ดินไปเป็นสารอินทรีย์ในดินหรือให้อยู่ในรูปที่เสถียรมากขึ้น โดยผ่านกระบวนการออกซิไดซ์สารประกอบคาร์บอนด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (microbial activity) รวมทั้งการหายใจของรากพืชและสิ่งมีชีวิตในดิน การหายใจของดินใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการสร้างพลังงานและมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สูงสุด ซึ่งมีน้ำตาลเฮกโซส (hexose) เป็นสารตั้งต้น สามารถเขียนสมการการหายใจได้ดังนี้ (Meyer and Anderson, 1952)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ kg-cal} \quad (1)$$

ระบบนิเวศในพื้นที่เกษตรมีอัตราการหายใจในช่วงฤดูเพาะปลูกพืชประมาณ 50-200 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง และช่วงที่มีการพักแปลงหรือระบบนิเวศในธรรมชาติมีอัตราการหายใจต่ำกว่า เป็นการสนับสนุนว่าการเพาะปลูกพืชจะช่วยเร่งการสูญเสียของอินทรียวัตถุจากดิน (Koizumi, 2001) ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจของดินผันแปรไปตามสมบัติของดินและพืชพรรณที่ปกคลุม (พงษ์ศักดิ์, 2538) โดยทั่วไปการปลดปล่อยคาร์บอนจากดินจะสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดินปริมาณมาก จำนวนจุลินทรีย์ในดินสูง อุณหภูมิดินและความชื้นเหมาะสม การถ่ายเทอากาศดี

ในพื้นที่ปลูกข้าวมีสภาวะที่ดินขังน้ำ (ช่วงการปลูกข้าว) และช่วงพักนาหรือการปลูกพืชไร่ชนิดอื่นที่ดินมีสภาพแห้งกว่า โดยสภาวะที่ดินเปียกหรือแห้งนี้มีผลต่ออัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั่นเอง ในช่วงพักนาหรือปลูกพืชไร่ชนิดอื่นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้ดีเพราะมีออกซิเจนในดินเพียงพอดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่ในสภาวะดินที่ขาดออกซิเจนมักเกิดในดินที่มีน้ำขัง ซึ่งปกติการทำนาปลูกข้าวนั้นมีการขังน้ำไว้ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เนื่องจากเป็นสภาพที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของข้าว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้จำกัด เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต้องแพร่ผ่านชั้นน้ำที่ขังอยู่เหนือผิวดิน การปล่อยก๊าซจึงเป็นไปได้ช้าและยากกว่าสภาวะที่ไม่มีน้ำขัง อีกทั้งการขังน้ำของนาข้าวทำให้ความชื้นในดินสูงขึ้นมากจนถึงจุดที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ ออกซิเจนในดินมีต่ำลดลง กิจกรรมการย่อยสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีอากาศจึงถูกจำกัด ทำให้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินต่ำลง (Bowden *et al.,* 1998)

4.2 การเกิดมีเทนในนาข้าว

นาข้าวเป็นแหล่งปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง Shangping *et al.* (2007) รายงานว่านาข้าวปล่อยมีเทนประมาณร้อยละ 15-20 ของปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ในสภาพที่ขาดก๊าซออกซิเจนนี้ ก๊าซมีเทนเกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารอินทรีย์ โดยการกระทำของแบคทีเรียบางชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) ที่เรียกว่า เมทาโนเจน (methanogens) ซึ่งจะย่อยสลายอินทรีย์สารเพื่อผลิตพลังงานในการดำรงชีวิตและกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์นี้จะเกิดมีเทนด้วย วิธีการหลักในการเกิดมีเทนจากนาข้าวที่น้ำท่วมขัง คือ เกิดปฏิกิริยารีดักชันระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน และกรดไขมันหรือแอลกฮอล์เป็นตัวให้ไฮโดรเจน กิจกรรมทั้งหมดเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนโดยค่าความต่างศักย์ในการนำไฟฟ้า (Eh) อยู่ระหว่าง 250-350 มิลลิโวลต์ ดังสมการคือ

ปฏิกิริยารีดักชันระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (3)$$

ปฏิกิริยาทรานเมทิเลชันของอะซีเตท หรือการดึงเอากลุ่มเมทิลออกจากกรดอะซิติกหรือเมธิลแอลกอฮอล์ในดินโดยเป็นผลที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในสภาวะไร้อากาศ (fermentation)

$$CH_3COO^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad (4)$$

เมื่อเกิดมีเทนขึ้นในดินที่มีสภาวะไร้อากาศ มีเทนเหล่านั้นจะถูกปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศด้วย 3 วิธีการ ได้แก่ 1) การแพร่ผ่านชั้นน้ำ (diffusion) 2) การเกิดฟองอากาศ (ebullition) และ 3) การลำเลียงผ่านทางต้นข้าว (Neue *et al.*, 1994) ซึ่งการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศโดยการเกิดฟองก๊าซลอยขึ้นสู่บรรยากาศโดยตรงและการปล่อยสู่บรรยากาศผ่านต้นข้าวนั้นเป็นเส้นทางสำคัญในการเพิ่มปริมาณมีเทนสู่บรรยากาศ และพบว่าการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศมากกว่าร้อยละ 80 ของการเกิดมีเทนทั้งหมดในฤดูกาลเพาะปลูกนั้นถูกส่งผ่านทางต้นและใบพืช (อนุรักษ์, 2543)

4.3. อินทรียวัตถุในดิน

อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) มีความหมายครอบคลุมตั้งแต่ส่วนของซากพืชหรือสัตว์ที่กำลังสลายตัวเซลล์จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลาย หรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ แต่ไม่รวมถึงรากพืชหรือเศษซากสัตว์ที่ยังไม่ย่อยสลาย ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่าอินทรียวัตถุในดินประกอบไปด้วยสารอินทรีย์แทบทุกชนิดที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ อินทรียวัตถุในดินอาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นสารฮิวมิก (humic substances) กับส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (non-humic substances)

การสลายตัวของอินทรียวัตถุเกิดจากการที่เศษซากสิ่งมีชีวิตตายทับถมลงบนผิวดิน หรือถูกผสมคลุกเคล้าลงไปพื้นดิน จะถูกสิ่งมีชีวิตอื่นๆกัดกินและย่อยสลายไปเป็นอาหาร สัตว์ขนาดใหญ่กัดกินและย่อยให้มีขนาดเล็กลง ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปก็เข้าทำการย่อยสลายแปรสภาพ สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในดินซึ่งเป็นพวกเฮเทอโรโทรป (heterotroph) ย่อยสารอินทรีย์เหล่านั้นให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถซึมซาบผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ และใช้สารเหล่านี้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์เอง บางส่วนที่ย่อยสลายได้ยากหรือคงทนจะแปรสภาพต่อไปเป็นสารฮิวมิก เนื่องจากการสลายตัวที่เกิดขึ้นในดิน มักเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ เพราะมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ โดยเฉพาะเมื่อดินมีความชื้นสูง หรือในสภาพน้ำขัง ทำให้สารประกอบส่วนหนึ่งคงเหลืออยู่ในดิน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

เศษซากสิ่งมีชีวิต (litter) $\longrightarrow$ $CO_2 + H_2O$ + แร่ธาตุ + เซลล์จุลินทรีย์ + intermediate + สารฮิวมิก (2)

ปัจจัยที่ควบคุมการย่อยสลายของเศษซากพืชมีหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ธรรมชาติของสารประกอบอินทรีย์ในพืช อัตราส่วนระหว่างอินทรียคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด (C:N ratio) ของเศษพืช ตลอดจนสภาพแวดล้อมของการสลายตัว เช่น การถ่ายเทอากาศ ระดับความชื้น อุณหภูมิและความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

4.4 มวลชีวภาพ

มวลชีวภาพ (biomass) หมายถึงน้ำหนักของพืชที่วัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้ง (dry weight) หรือน้ำหนักแห้งของพืชที่ปราศจากเถ้า (ash-free dry weight) อาจเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช เช่น ต่อต้น หรือต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งจะหมายถึงพืชทั้งกลุ่มหรือทั้งสังคมพืช โดยทั่วไปคิดในหน่วยพื้นที่ 1 ตารางเมตร หรือ 1 เฮกแตร์ แล้วแต่ชนิดของสังคมพืช (พงษ์ศักดิ์, 2538) โดยต้นไม้และพืชต่างๆในระบบนิเวศดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสงของใบ เพื่อสร้างสารอินทรีย์ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบนำมากักเก็บไว้ในส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่างๆของพืช หรือที่เรียกว่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ (carbon storage in biomass) ทั้งในส่วนที่อยู่เหนือดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ และส่วนที่อยู่ใต้ดิน คือ ราก

Brown (1997) ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า มวลชีวภาพ คือ ปริมาณของสารอินทรีย์ในส่วนที่มีชีวิตทั้งหมดในพืชสังเคราะห์ขึ้น โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานเคมีที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์โดยนำธาตุอาหารมาจากดินและอากาศมาใช้ ซึ่งสารอินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพซึ่งวัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ โดยปริมาณของสารอินทรีย์ในส่วนสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่พืชสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง ในช่วงเวลาหนึ่งของสถานการณ์ใดๆ ที่สามารถวัดออกมาได้ในรูปของน้ำหนักสด (fresh weight) น้ำหนักแห้ง (dry weight) น้ำหนักปราศจากขี้เถ้า (ash free dry weight) หรือน้ำหนักคาร์บอน (carbon weight) โดยหน่วยเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช เช่น น้ำหนักต่อต้น หรือน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่

Koizumi (2001) ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนสำหรับชีวมวลในใบ ลำต้นและรวงสำหรับแต่ละพืชไร่และข้าวแสดงค่าประมาณใกล้เคียงกัน คือในช่วงระหว่างร้อยละ 40-50 น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์บอนสำหรับชีวมวลในรากโดยทั่วไปต่ำกว่า (ประมาณร้อยละ 40 น้ำหนักแห้ง)

5. ปัจจัยที่มีอิทธิพลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

5.1 อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงระดับความร้อนมาจากดวงอาทิตย์ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ดินสะสมและเก็บพลังงานไว้ในรูปความร้อนในดิน อุณหภูมิดินมีความร้อนในดินเป็นปัจจัยหนึ่งเป็นตัวกำหนดการเกิดกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพในดิน กระบวนการทางฟิสิกส์ได้แก่ การเปลี่ยนมวลและพลังงานระหว่างชั้นหน้าตัดดินและบรรยากาศ มวลต่างๆที่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างดินและบรรยากาศเช่น ก๊าซต่างๆที่มีอยู่ในหน้าตัดดิน กระบวนการทางเคมีที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ได้แก่ กระบวนการแตกตัว และการรวมตัวของสารเคมีในดิน กระบวนการทางชีวภาพที่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดิน ได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมีโดยจุลินทรีย์ในดิน เป็นต้น อุณหภูมิดินยังมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และรากพืช กล่าวคือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุลินทรีย์ในดินจะมีช่วงอุณภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมในช่วงหนึ่งๆเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินอาจทำให้ความเหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินอาจแปรเปลี่ยนไปได้ (อมรรัตน์, 2552)

5.2 ความชื้นในอากาศและความชื้นในดิน

ปริมาณความชื้นในอากาศส่วนใหญ่ได้มาจากการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำและดิน และการคายน้ำของพืช ความชื้นในดินมีบทบาทต่อการเติบโตของพืชเป็นอย่างมากและยังช่วยจุลินทรีย์ในดินที่อยู่ในสภาพพักตัวเนื่องจากอยู่ในสภาพดินที่แห้ง สามารถทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินได้เพิ่มขึ้น (อมรรัตน์, 2552) เมื่อฝนตกลงมาความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ทำให้ช่องว่างในดินลดลง ขณะเดียวกันเมื่อช่องว่างในดินลดลง อากาศหรือก๊าซต่างๆจะมีความเข้มข้นและความดันสูงขึ้น ทำให้เกิดการแพร่กระจายของอากาศหรือก๊าซไปยังที่ที่ความเข้มข้นและความดันต่ำกว่า จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่บรรยากาศมากขึ้น (อุทิศ, 2542)

5.3 อินทรียวัตถุ

อินทรียวัตถุในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของดินที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่างๆของดินทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพที่จะส่งผลต่อเนื่องไปถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน พื้นที่มีอินทรียวัตถุในดินเป็นแหล่งอาหารและพลังงานสำคัญที่สุดของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในดิน พื้นที่มีอินทรียวัตถุมากจะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน จำนวนจุลินทรีย์ในดินและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินมากกว่าพื้นที่ที่มีอินทรียวัตถุน้อยกว่า (อมรรัตน์, 2552)

5.4 จุลินทรีย์ดิน

สิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทในการทำให้เกิดกระบวนการหรือกิจกรรมที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด ได้แก่ จุลินทรีย์ในดิน สิ่งมีชีวิตเหล่านี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม heterotroph กับกลุ่ม autotroph โดยกลุ่ม heterotroph เป็นกลุ่มที่มีปริมาณมากที่สุดในดินและมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินหรือกิจกรรมอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้อินทรียวัตถุเป็นอาหารและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ส่วนกลุ่ม autotroph เป็นพวกที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งอาหารเพื่อสังเคราะห์สารอินทรีย์มาสร้างเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องค์ประกอบของเซลล์ไม่สามารถใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารและจะได้พลังงานจากแสงหรือจากการออกซิเดชัน สารอนินทรีย์มาใช้ในการดำรงชีวิต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

5.5 ความพรุนของดิน

เป็นสมบัติดินซึ่งถูกควบคุมโดยปริมาตรและขนาดของช่องว่างในดิน โดยที่ดินเนื้อหยาบที่มีความพรุนรวมต่ำ จะระบายน้ำและอากาศได้ดีแต่จะอุ้มน้ำไว้ได้น้อย ส่วนดินเนื้อละเอียดที่มีความพรุนรวมสูงจะระบายน้ำและอากาศไม่ดี แต่จะอุ้มน้ำได้มาก อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินมีความสัมพันธ์ลักษณะเนื้อดินและรูพรุนของดิน (อมรรัตน์, 2552)

5.6 การหายใจของรากพืชและชนิดของพันธุ์พืช

การหายใจของรากพืชเป็นปัจจัยที่ถูกพิจารณาว่าเป็นแหล่งที่มาของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยจากดิน นอกจากนี้ชนิดของพันธุ์พืชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน เนื่องจากความแตกต่างของผลผลิต อัตราการหายใจ ปริมาณการร่วงหล่นของเศษพืชที่ตาย ปริมาณรากพืชและความหนาแน่นของรากพืช รวมทั้งปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ (อมรรัตน์, 2552)

6. การกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าว

การกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration) เป็นกระบวนการถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากในบรรยากาศไปสะสมไว้ในดินรูปของเศษซากพืช (crop residues) และของแข็งอินทรีย์ (organic solids) อื่นๆตลอดจนรูปอื่นที่ไม่สามารถสลายตัวปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย การถ่ายเทหรือการกักเก็บคาร์บอนสามารถชดเชยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและกิจกรรมต่างๆที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนได้ นอกจากนี้การกักเก็บคาร์บอนในดินยังช่วยส่งเสริมคุณภาพของดินให้ดีขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้การเกษตรกรรมในระยะยาวได้ผลผลิตดียิ่งขึ้น การกักเก็บคาร์บอนในดินสามารถดำเนินการได้โดยระบบการจัดการดิน การเพิ่มเติมชีวมวล ปริมาณมากลงไปในดิน (นวรัตน์และศิวัช, 2550) คาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในดินสามารถเก็บไว้ได้นานและคงทนกว่าการการกักเก็บไว้ในมวลชีวภาพของพืช เนื่องจากคาร์บอนในดินสลายตัวได้ช้ากว่า การประเมินโดยใช้ ^{14}C ชี้ให้เห็นว่าคาร์บอนสามารถอยู่ในดินได้นานกว่า 6,000 ปี (พจนีย์และทวีศักดิ์, 2541) การกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่เกษตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และป่าไม้เป็นแนวทางหนึ่งที่หลายประเทศนำไปใช้เพื่อประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดี ต้นทุนต่ำ และสามารถดำเนินการได้ทันที (Lal, 2004)

งานศึกษาที่ผ่านมาพบว่าพื้นที่ปลูกข้าวสามารถกักเก็บคาร์บอนในดินได้ เช่น Huang *et al*. (2010) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นหลังการปลูกข้าวนาน 27 ปี โดยสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าวได้อย่างมีศักยภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับการกักเก็บคาร์บอนของการเพาะปลูกพืชไร่ และการศึกษาของ Seiichai *et al.* (2008) พบว่าการปลูกข้าววามารถสะสมคาร์บอนเท่ากับ 137 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร แต่การปลูกพืชไร่ชนิดอื่นไม่พบสะสมในพื้นที่ แต่ Minamikawa and Sakai (2007) พบว่าการปลูกข้าว 1 รอบ ช่วยสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูก แต่ไม่พบการสะสมคาร์บอนในดิน ดังนั้น พื้นที่ปลูกข้าวอาจช่วยสะสมคาร์บอนในดินได้ เนื่องจากการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศของอินทรียวัตถุในดินช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะมีอากาศ (Minamikawa and Sakai, 2007 แต่ประสิทธิภาพในการกักเก็บขึ้นกับสภาพแวดล้อม เช่น คุณลักษณะดินและสภาพภูมิอากาศ

7. บัญชีคาร์บอนในดินของพื้นที่ปลูกข้าว

บัญชีคาร์บอน (carbon budget) เป็นการศึกษาบัญชีคาร์บอนในระบบนิเวศหนึ่งๆ หรือพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งเป็นการศึกษาศักยภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ มีการดูดซับหรือปลดปล่อยคาร์บอน เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนในระบบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น ลดลง หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบคิดจากผลรวมของปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของระบบนิเวศของระบบที่ศึกษา มวลชีวภาพของพืชในพื้นที่เพาะปลูกของเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของพืช ทั้งในส่วนที่อยู่เหนือดิน (above-ground biomass) ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ และส่วนที่อยู่ดิน (below-ground biomass) คือ ราก รวมทั้งเศษซากพืช (plant litter) ที่ร่วงหล่นลงดิน และสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (root exudation) รวมทั้งรากพืชที่ตายแล้ว และปริมาณคาร์บอนที่ออกจากระบบที่ศึกษา โดยเป็นการสูญเสียคาร์บอนกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน โดยการทำบัญชีคาร์บอนของระบบนิเวศมีสมการดังนี้ (อรรถชัย, 2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$NEE = NPP - R_h \quad (5)$$

เมื่อ NEE คือ ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศที่ศึกษา (net ecosystem exchange)

NPP คือ ผลผลิตสุทธิของปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ (net primary productivity)

R_h คือ อัตราการหายใจของจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ใช้อินทรียวัตถุ (heterotrophic respiration)

รายงานการวิเคราะห์บัญชีคาร์บอนตามวิธีของ Minamikawa *et al*. (2007) โดยการทำบัญชีคาร์บอนของพื้นที่ปลูกข้าว แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงปลูกข้าว (พื้นที่มีการขังน้ำ) และช่วงพักนา (ทิ้งพื้นที่ปลูกไว้และไม่ขังน้ำ) มีรายละเอียดดังนี้

ในข้าวช่วงการเพาะปลูกมีการขังน้ำ มีส่วนเพิ่มเติมจากบัญชีคาร์บอนในช่วงพื้นที่ปลูกพืชไร่โดยทั่วไป (upland crops) เพราะมีช่วงเวลาที่ขังน้ำในนาที่ทำให้คาร์บอนสูญเสียจากพื้นที่ปลูกในรูปของก๊าซมีเทน ($R_{methane}$) ดังนั้น การทำบัญชีคาร์บอนจึงเพิ่มค่า $R_{methane}$

$$NEE = NPP - R_{h\ (carbon\ dioxide)} - R_{methane} \quad (6)$$

ปริมาณคาร์บอนที่ได้เข้าสู่พื้นที่ปลูก คือ ปริมาณคาร์บอนในอินทรียวัตถุที่ใส่ในแปลงนา ได้แก่ คาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นข้าว (ส่วนเหนือดินและใต้ดิน) ส่วนที่เหลืออยู่ในพื้นที่ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตอซังและรากข้าว) เศษซากพืช (ข้าว) ที่ตายระหว่างการปลูกข้าว สารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากข้าว และปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูก ได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของจุลินทรีย์และปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน

บัญชีคาร์บอนของนาข้าวช่วงพักนาในช่วงพื้นที่ปลูกพืชไร่โดยทั่วไป (upland crops) ดังนี้

$$NEE = NPP - R_h \quad (7)$$

ปริมาณคาร์บอนที่ได้เข้าสู่พื้นที่ปลูก ได้แก่ มวลชีวภาพของต้นข้าวที่โตจากตอซังหรืองอกใหม่ (ratoon) และวัชพืช และปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูก ได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของจุลินทรีย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. การจัดการน้ำ

โดยทั่วไปการทำนาแบ่งประเภทตามการจัดการน้ำได้ 4 ประเภท ได้แก่ 1) การทำนาโดยอาศัยน้ำจากระบบชลประทาน 2) การทำนาโดยอาศัยน้ำจากน้ำฝน 3) การทำนาน้ำลึก และ 4) การทำนาโดยไม่ใช้น้ำหรือข้าวไร่ (วิไลลักษณ์, 2544) ซึ่งการทำนาข้าวแบบดั้งเดิมที่มีน้ำท่วมขังตลอดฤดูกาลปลูกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบเอเชียมีการใช้น้ำประมาณ 700 – 1500 มิลลิเมตรสำหรับการเพาะปลูกหนึ่งฤดูกาล (บุญหงส์, 2549) ทำให้การขังน้ำเป็นเวลานานเกิดสภาวะที่เอื้อต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกทั้งมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ต้องหามาตรการลดก๊าซเรือนกระจก งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การจัดการน้ำเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่การปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพ

Zucong *et al*. (2002) ศึกษาทางเลือกในการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง พบว่าในช่วงที่มีการระบายน้ำออกจากแปลงนาไม่เพียงแต่จะช่วยปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยตรงแต่ยังจะช่วยให้การปลดปล่อยค่อนข้างคงที่ในช่วงการเจริญของข้าวด้วย

Minamikawa and Sakai (2006) พบว่าการควบคุมค่ารีดอกซ์โพแทนเชียล (Eh) ในดินอยู่ภายใต้ขีดจำกัดค่ารีดอกซ์โพแทนเชียลไม่ต่ำกว่า -200 มิลลิโวลต์ โดยการระบายน้ำท่วมขังเป็นช่วงๆทำให้สามารถลดการเกิดมีเทนได้ร้อยละ 64 เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำท่วมขังตลอดเวลา โดยที่ผลผลิตข้าวไม่ลดลงสำหรับผลกระทบต่อผลผลิตข้าวจากการจัดการน้ำแบบต่างๆนั้น (Feng et al 1996) สรุปว่าผลผลิตข้าวสูงได้โดยไม่ต้องให้น้ำท่วมในนาตลอดเวลา และความชื้นที่ต้องการในเขตรากเพียงร้อยละ 70 - 80 ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เท่านั้น ส่วน (Minamikawa and Sakai 2005) พบว่าผลผลิตข้าวจากการทำนาโดยวิธีระบายน้ำกลางฤดูควบคู่กับการให้น้ำเป็นช่วงๆ ให้ผลผลิตมากกว่าการจัดการน้ำแบบระบายน้ำกลางฤดูเพียงอย่างเดียว และการให้น้ำท่วมขังตลอดเวลา

9. นาแบบเกษตรอินทรีย์

เกษตรอินทรีย์ คือ ระบบการเกษตรที่ผลิตอาหารด้วยความยั่งยืนทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจ โดยเน้นหลักการที่มีการปรับปรุงบำรุงดิน และเพาะปลูกตามศักยภาพทางธรรมชาติของพืช สัตว์และนิเวศการเกษตร ข้าวอินทรีย์เป็นข้าวที่ได้จากการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งเป็นวิธีการผลิตที่หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีหรือสารสังเคราะห์ต่างๆ เช่น ปุ๋ยเคมี สารควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุมและกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดโรคแมลงและสัตว์ศัตรูข้าว ในทุกขั้นตอนการผลิตและในระหว่างการเก็บรักษาผลผลิต การผลิตข้าวอินทรีย์เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่เน้นเรื่องของธรรมชาติ การรักษาสมดุลธรรมชาติและการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติเพื่อการผลิตอย่างยั่งยืน ดังนั้น นอกจากจะทำให้ได้ผลผลิตข้าวที่มีคุณภาพสูงและปลอดภัยจากสารพิษแล้ว การปลูกข้าวอินทรีย์ยังเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและเป็นการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืนอีกด้วย

ขั้นตอนการปลูกข้าวแบบเกษตรอินทรีย์ (รสสุคนธ์, 2549)

การเตรียมดินเป็นการสร้างสภาพที่เหมาะสมต่อการปลูกและการเจริญเติบโตของข้าว ช่วยควบคุมวัชพืช โรค แมลงและสัตว์ศัตรูข้าวบางชนิด การเตรียมดินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติดินและสภาพแวดล้อมในแปลงนาก่อนปลูก การไถดะ เป็นการไถครั้งแรกเพื่อทำลายวัชพืชในนาและพลิกกลับหน้าดิน การไถแปรอาจไถมากกว่าหนึ่งครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับน้ำในนาตลอดถึงชนิดและปริมาณของวัชพืช เมื่อไถแปรแล้วก็ทำการไถคราดได้ทันที การคราดเอาวัชพืชออกจากผืนนาและปรับพื้นที่ให้ได้ระดับเป็นที่ราบเสมอกัน นาที่มีระดับเป็นที่ราบ ต้นข้าวจะได้รับน้ำเท่าๆกันและสะดวกแก่การระบายน้ำออก

การปักดำเหมาะกับการทำนาในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำเพียงพอและมีการเตรียมดินอย่างดีโดยไถดะและตากดินไว้เพื่อกำจัดวัชพืชที่กำลังเติบโต ปล่อยน้ำท่วมแปลงเพื่อกำจัดวัชพืชที่กำลังจะงอก ไถแปรและคราดปรับระดับผิวดินให้สม่ำเสมอ เพื่อควบคุมระดับน้ำและควบคุมวัชพืช

การปักดำทำเมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 25-30 วัน โดยถอนกล้าที่ตกกล้าในดินเปียกหรือดินแห้ง แล้วเอาไปปักดำในพื้นที่นาที่ได้เตรียมไว้ พื้นที่นาที่ใช้ปักดำควรมีน้ำขังอยู่ประมาณ 5-10 เซนติเมตร การปักดำที่จะให้ได้ผลิตผลสูงจะต้องปักดำให้เป็นแถวเป็นแนว โดยปกติจะใช้เมล็ดพันธุ์ตกกล้าประมาณ 7 กิโลกรัมต่อพื้นที่ปักดำ 1 ไร่ ปักดำระยะ 20x20 เซนติเมตร จำนวน 3-5 ต้นต่อกอ

การควบคุมวัชพืชที่เกิดขึ้นในนาต้องทำทั้งก่อนและระหว่างการปลูกข้าว โดยวัชพืชในนาข้าวนั้นแตกต่างกันไปตามท้องที่และวิธีการทำนาปลูกข้าว ปกตินาหว่านมีวัชพืชมากกว่านาดำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพราะนาดำมีการเตรียมดินดีกว่าและมีการเก็บวัชพืชออกไปจากแปลงนาก่อนการปักดำด้วย การควบคุมวัชพืชทำได้หลายวิธี เช่น การหว่านเมล็ดถั่วเขียวร่วมกับการปลูกข้าวก่อนที่เมล็ดข้าวจะงอกโผล่เหนือพื้นดินในนาหว่าน ถั่วเขียวที่เจริญเติบโตได้เร็วจะช่วยควบคุมวัชพืช และหลังจากเมล็ดข้าวงอกโผล่จากพื้นดินในนาหว่านสามารถควบคุมวัชพืชได้โดยการถอน ส่วนการควบคุมวัชพืชของนาดำสามารถการจัดการก่อนการปลูกข้าว และหลังจากปักดำควบคุมโดยรักษาระดับน้ำขังในนาข้าวในระยะแรกประมาณ 1 เดือนหลังปักดำ

ปัญหาวิกฤตการณ์ทางด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้หน่วยงานต่างๆทั่วโลกรวมทั้งรัฐบาลไทยหันมาให้ความสนใจกับเกษตรอินทรีย์ในฐานะที่เป็นแนวทางการเกษตรที่ช่วยอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรมและมีประสิทธิภาพ รวมไปถึงโอกาสทางการตลาดที่ผู้บริโภคเริ่มมีความสนใจกับการเลือกบริโภคอาหารที่ปลอดภัยและมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น (รสสุคนธ์, 2549)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกข้าวอินทรีย์หรือการใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีต่อผลผลิตโดยเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี มีรายละเอียดดังนี้

การศึกษาของ Huang *et al.* (2010) พบว่านาที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ต่อเนื่องเป็นเวลานานมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่เพิ่มมากที่สุด คือ ร้อยละ 61.6 เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) หรือแปลงนาที่ใช้ปุ๋ยเคมีและการกระจายตัวของอินทรีย์คาร์บอนในดินในนาที่ใส่ปุ๋ยมูลสัตว์พบอินทรีย์คาร์บอนในดินในรูปเสถียรสูง ซึ่งแสดงถึงความเป็นไปได้ในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดินที่ดี

อนนท์ และคณะ (2537) ศึกษาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 23 โดยพบว่าปุ๋ยมูลไก่สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปุ๋ยมูลไก่อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวทัดเทียมกับปุ๋ยเคมี 8–4–0 ส่วนปุ๋ยมูลไก่อัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ให้ผลผลิตสูงที่สุด เมื่อพิจารณาปริมาณที่เพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 23 จากการใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 300 และ 600 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 37-41 และ 61–74 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จงรักษ์ และคณะ (2544) ศึกษาการใช้ตอซังร่วมกับปุ๋ยเคมีให้กับข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินลพบุรี พบว่าทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโต การให้เมล็ด และการดูดธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมขึ้นมาใช้สูงกว่าข้าวที่ได้รับแต่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว

พัชรี และคณะ (2551) ศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ ผลการทดลองพบว่า ตำรับที่ไถกลบตอซัง และทำนาน้ำขังตลอดฤดูปลูกให้ผลผลิตข้าวสูง 908 กิโลกรัมต่อไร่ ได้ปล่อยก๊าซมีเทน 479 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัมต่อฤดูกาลปลูก และปล่อยก๊าซมีเทนลดลงร้อยละ 64.4 เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไถกลบตอซังร่วมกับฟางข้าวอัตรา 800 กิโลกรัมต่อไร่ และวรรณวิสา (2548) ศึกษาการจัดการปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีเพื่อการผลิตข้าวโพดหวานพบว่าผลผลิตของข้าวโพดหวานไม่แตกต่างทางสถิติโดยการใช้มูลไก่อัตรา 1 ตันต่อไร่ มีแนวโน้มให้จำนวนฝักทั้งหมดสูงสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและพืชในภาคสนาม
   1.1 อุปกรณ์เก็บดิน (soil core)
   1.2 อุปกรณ์ขุดดิน ได้แก่ จอบ พลั่ว
   1.3 อุปกรณ์สำหรับผสมตัวอย่างดิน
   1.4 ถุงพลาสติกใส่ตัวอย่างดินและพืช

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
   2.1 กล่องอะคิลิกสีดำขนาด 20x20x35 เซนติเมตร สำหรับเก็บอากาศ
   2.2 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
   2.3 เทอร์โมมิเตอร์วัดดิน (soil thermometer probe)
   2.4 ขวดเก็บตัวอย่าง
   2.5 เครื่องวัดค่า pH

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
   3.1 เครื่อง CN Analyzer ของบริษัท Perkin Elmer 2400 series II CHNS/O Analyzer
   3.2 เครื่อง Gas chromatograph (thermal conductivity detector) ของบริษัท Shimadzu รุ่น 2014
   3.3 เครื่อง hot air oven รุ่น BINDER
   3.4 เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง
   3.5 ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ขนาด 2 มิลลิเมตร
   3.6 เครื่องบดตัวอย่างพืช
   3.7 ก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพา (carrier gas)
   3.8 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาตรฐาน (standard gas) ความเข้มข้น 500 และ 1000 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.9 สารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช ได้แก่ concentrated sulfuric acid (H_2SO_4), potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$), ferrous ammonium sulfate $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) และ ferroin

วิธีการ

1. พื้นที่ศึกษาและการวางแผนการทดลอง

พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ทำการเกษตรในรูปแบบนาเคมีหรือนาอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งตั้งอยู่ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ทำการเพาะปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แผนการทดลองเป็นแบบ split plot design จำนวน 3 ซ้ำ ในพื้นที่นาใกล้เคียงกัน รูปแบบการปลูกข้าวในงานวิจัยนี้มี 2 รูปแบบได้แก่ 1) นาเคมี (chemical agriculture, C) และ 2) นาอินทรีย์ (organic agriculture, O) โดยมีการจัดการน้ำช่วงกลางฤดูกาลปลูก (mid-season drainage)

2. การปฏิบัติงานในภาคสนาม

2.1 การเตรียมแปลง การปลูกและการดูแลรักษา

การเตรียมแปลงตกกล้าสูบน้ำเข้าแปลงประมาณ 5-10 เซนติเมตร ไถดะ ไถแปรและคราดปรับพื้นที่เตรียมเพาะกล้าแล้วทำการตกกล้าใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ที่มีร้อยละความงอกดีและเมล็ดสมบูรณ์หว่านลงในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่

การเตรียมแปลงปักดำ ทำการไถดะครั้งแรกเพื่อพลิกหน้าดินเป็นการกลบวัชพืชและตอซัง จากนั้นทำคันนาสำหรับกักเก็บน้ำและแบ่งแปลงนาข้าวตามจำนวนหน่วยทดลอง ทำการไถแปรภายในให้ดินร่วนซุยแล้วทำการคราดเอาวัชพืชออกและทำเทือกแล้วทำการปรับดินในแปลงนาให้เรียบสม่ำเสมอ จากนั้นทำการขังน้ำในแปลงนา

การปักดำ ปักดำเมื่อต้นกล้าข้าวมีอายุ 35 วัน จึงทำการถอนต้นกล้าแล้วมาปักดำลงในแปลงนาที่เตรียมไว้โดยใช้ระยะแถว 20-25 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 20-25 เซนติเมตร ใช้ต้นกล้า 2-3 ต้นต่อกอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใส่ปุ๋ยในนาเคมีมีจำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ การใส่ปุ๋ยครั้งแรก ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนการปักดำ 2-3 วัน การใส่ปุ๋ยครั้งที่สอง ใช้ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงระยะแตกกอของข้าว และการใส่ปุ๋ยครั้งที่สาม ใช้ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในช่วงระยะข้าวสร้างรวง และนาเคมีมีการกำจัดวัชพืชด้วยยาฆ่าเชื้อรา (ยี่ห้ออาร์มูเร่) อัตราการใช้ 10-15 มิลลิลิตรผสมกับน้ำ 20 ลิตร

การใส่ปุ๋ยของนาอินทรีย์ทำเพียง 2 ครั้ง ได้แก่ การใส่ปุ๋ยครั้งแรก ใช้ปุ๋ยหมักในอัตรา 454 กิโลกรัมต่อไร่ (น้ำหนักแห้ง) ในช่วงก่อนการปักดำ 2-3 วัน และใส่ครั้งที่สองในอัตราเดียวกัน ในช่วงระยะข้าวสร้างรวง คุณลักษณะบางประการของปุ๋ยหมักที่ใช้แสดงดังตารางที่ 1 ส่วนการกำจัดวัชพืชในนาอินทรีย์ทำโดยการถอน

ตารางที่ 1 คุณลักษณะปุ๋ยหมัก (ปุ๋ยอินทรีย์) ที่ใช้ในงานศึกษานี้

คุณลักษณะทางเคมี	ปริมาณ
pH	7
ไนโตรเจนทั้งหมด	ร้อยละ 1.84 โดยน้ำหนักแห้ง
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	ร้อยละ 0.76 โดยน้ำหนักแห้ง
โพแทสเซียมทั้งหมด	ร้อยละ 1.40 โดยน้ำหนักแห้ง
คาร์บอนอินทรีย์	ร้อยละ 16.8 โดยน้ำหนักแห้ง
C/N	9:1

2.2 การจัดการน้ำ

การจัดการน้ำในแปลงนาสำหรับนาไม่มีการจัดการน้ำ (control, C) ทำการขังน้ำตลอดฤดูการปลูก มีการระบายน้ำก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วันและนาที่มีการจัดการน้ำ (water management, W) ขังน้ำในช่วงฤดูการปลูกแต่มีการระบายน้ำกลางฤดู (mid-season drainage) ประมาณ 7 วันจำนวน 1 ครั้งในระหว่างระยะแตกกอสูงสุด (tillering) และระยะข้าวออกดอก (flowering) ระบายน้ำก่อนการเก็บเกี่ยวประมาณ 10 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

3.1 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวและปริมาณผลผลิตข้าว

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นข้าวในแปลงนาที่ทำการทดลองได้แก่ ความสูง กอและจำนวนต้นต่อกอ เก็บข้อมูลทุก 2 สัปดาห์ ถึง 1 เดือน จำนวน 5 กอตอซ้ำ เพื่อนำมาเปรียบเทียบรูปแบบนาต่างๆ

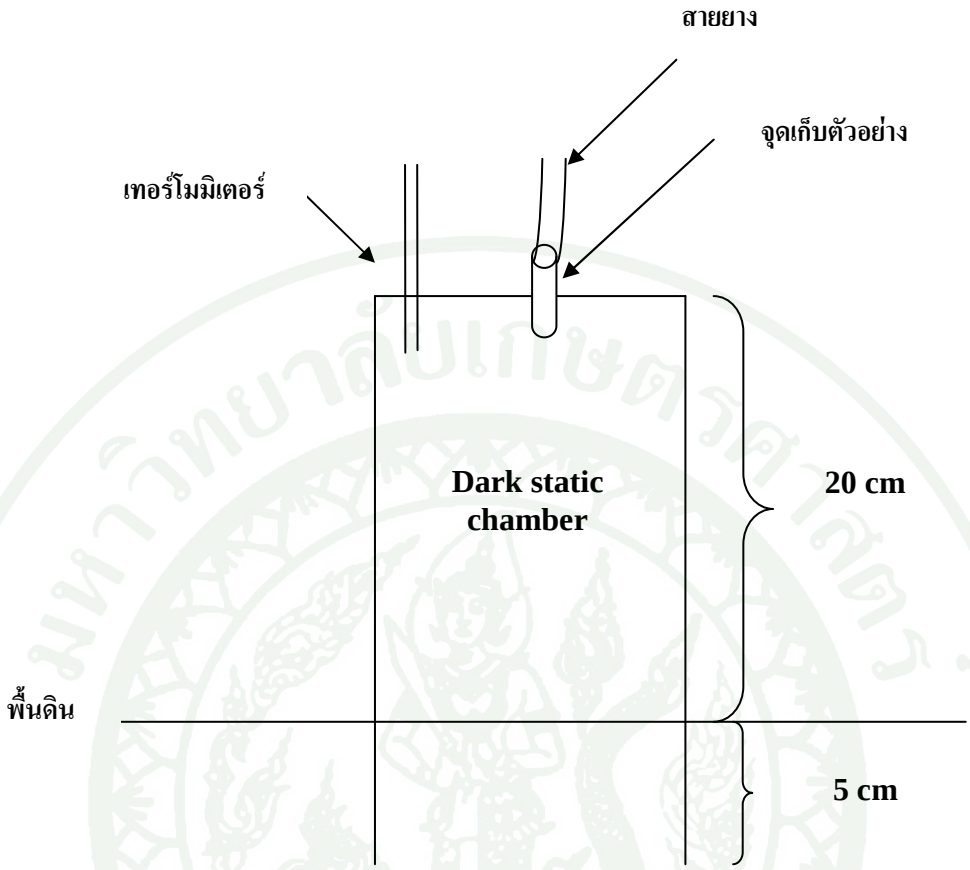
การเก็บข้อมูลผลผลิตข้าวและมวลชีวภาพของข้าวทำการชั่งน้ำหนักผลผลิต เช่น น้ำหนักข้าวเปลือกและต้นข้าวที่เก็บเกี่ยว เพื่อหาปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพ รายงานผลผลิตในหน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่ การหาปริมาณผลผลิตข้าวทำโดยการนับจำนวนกอต่อตารางเมตร จำนวนเมล็ดดีต่อรวงและจำนวนรวงต่อต้นซึ่งการเก็บรวงสมบูรณ์จำนวน 15 รวงต่อแปลง นำมาตากลมให้แห้ง คัดเมล็ดข้าวเต็มและข้าวลีบเพื่อนำมาหาน้ำหนักเมล็ดดี

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวแล้ว ทำการเก็บฟางข้าวทำโดยสุ่มพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร ทำการเก็บฟางข้าวทั้งหมดในพื้นที่กำหนด จำนวน 3 จุด ต่อ 1 แปลง (หรือ 3 ซ้ำ) นำฟางข้าวไปวิเคราะห์อบแห้งเพื่อหาน้ำหนักฟางแห้ง การเก็บตัวอย่างตอซังด้วยวิธีสุ่ม ทำโดยสุ่มพื้นที่ขนาด 1 x 1 ตารางเมตร แล้วเก็บตัวอย่างตอซังทั้งหมดด้วยการตัดเสมอผิวดินเพื่อหาน้ำหนักแห้ง การเก็บตัวอย่างรากทำโดยการสุ่มถอนตอซังพร้อมราก ล้างดินออก ผึ่งลมให้แห้ง แล้วแยกส่วนรากออกจากส่วนลำต้น นำส่วนรากไปอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง

3.2 การเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพารามิเตอร์ต่างๆ

การเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำการเก็บ 2 ช่วง คือ ช่วงที่ทิ้งแปลง (fallow period) และช่วงที่พืชเจริญเติบโต (growing period) จะเก็บระหว่างแถวที่มีการเพาะปลูกพืชด้วยวิธี closed chamber โดยจะติดตั้งกล่องอะคิลิกสีดำ ขนาด 20x20x35 เซนติเมตร ฝังลงในดินที่ความลึก 5 เซนติเมตร โดยให้เหลือความสูงของกล่องอยู่เหนือจากผิวดินขึ้นมาประมาณ 30 เซนติเมตร จำนวน 3 (ภาพที่ 2)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 ชุดทดลองเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างก๊าซทำโดยนำหลอดฉีดยา (syringe) เก็บก๊าซจากภายในกล่องเก็บตัวอย่างและบรรจุลงในขวดสุญญากาศที่ปิดด้วยจุกยางและยึดด้วยฝาอลูมิเนียมและปิดกับฝาขวดตัวอย่างด้วยพาราฟิล์ม ตัวอย่างอากาศในกล่องถูกเก็บทุก 30 นาทีในช่วงเวลาระหว่าง 12.00-14.00 นาฬิกา โดยเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้งในช่วงการระบายน้ำจะมีการเก็บตัวอย่างถี่ขึ้น คำนวณก๊าซที่ปลดปล่อยทั้ง 2 ช่วงในหน่วยมิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

3.3 การเก็บตัวอย่างดินและพืช

การเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาทำโดยการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 10-15 ตัวอย่างด้วยอุปกรณ์เก็บดิน (soil core) ที่ความลึกระดับ 0-20 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมาผสมรวมกันเป็นตัวอย่างแบบ composite ในช่วงก่อนและหลังการเพาะปลูกเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆตามวิธีวิเคราะห์ดินมาตรฐานของกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ตัวอย่างพืชถูกเก็บด้วยวิธีสุ่มใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร โดยเก็บ 2 ครั้ง คือก่อนและหลังการเพาะปลูก โดยช่วงก่อนการเพาะปลูกทำการเก็บวัชพืชและตอซังที่ขึ้นมาใหม่ ส่วนช่วงหลังการเพาะปลูกเก็บผลผลิตข้าว (เมล็ดข้าว) ฟางข้าว ตอซัง ราก และวัชพืช จากนั้นสุ่มตัวอย่างบางส่วนและนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 24-48 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งและคำนวณหาร้อยละของความชื้นแล้วเพื่อนำมาคำนวณปริมาณมวลชีวภาพส่วนต่างๆ

4. การวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การหาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (GC) แบบ thermal conductivity detector (TCD-GC) ใช้คอลัมน์ Porapak Q ที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ก๊าซฮีเลียม (He) เป็นตัวพา (carrier gas) ปริมาตรก๊าซที่ใช้วิเคราะห์ (inject volume) คือ 1 มิลลิลิตร ตัวอย่างก๊าซที่เก็บมานั้น จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง GC จากนั้นจึงนำค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาค่าฟลักซ์ (flux) หรือค่าอัตราการปลดปล่อยจากสมการที่ 8 และการคำนวณหาปริมาณการปล่อยรวมทั้งหมดตลอดฤดูการปลูกข้าว (total emission CO_2) จากสมการที่ 9 (Minamikawa and Sakai, 2007)

$$F = \rho(V/A)\,(dC/dt) \qquad (8)$$

F คือ ค่าฟลักซ์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

ρ คือ ความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

V คือ ปริมาตรของกล่องเก็บตัวอย่างซึ่งเป็นพื้นที่เก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จริง

A คือ พื้นที่หน้าตัดของกล่องเก็บตัวอย่าง (เซนติเมตร)

dC/dt คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเวลา

$$\text{Total emission } CO_2 = \frac{\sum(\text{F x จำนวนวันระหว่างการเก็บตัวอย่าง x 24})}{2} \qquad (9)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 3 กล่องเก็บตัวอย่างในช่วงที่มีการปลูกข้าว

ภาพที่ 4 กล่องเก็บตัวอย่างในช่วงพักนา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การวิเคราะห์คุณลักษณะดินและพืช

5.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นบางประการของดิน

ตัวอย่างดินเริ่มต้นก่อนการศึกษานี้ถูกผึ่งในที่ร่มและเลือกวัสดุที่ไม่ใช่ดินออก โดยเมื่อดินแห้งแล้ว ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของดิน ได้แก่ เนื้อดิน (soil texture) ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (soil organic carbon, SOC) ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

5.2 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

ตัวอย่างดินที่เก็บเวลาต่างๆถูกวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (SOC) ด้วยวิธี Tube digestion (Nelson and Sommer, 1996)

$$\text{ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (ร้อยละ)} = \frac{(A)\,(M_{Fe2+})\,(0.003)\,(100}{\text{น้ำหนักดิน (กรัม)}} \qquad (10)$$

เมื่อ ค่า A คือ ค่าสัดส่วนปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน หรือ correction factor ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$A = \frac{(mL_{bb} - mL_{soil})[(mL_{ub} - mL_{bb}) + (mL_{bb} - mL_{soil})]}{mL_{ub}} \qquad (11)$$

ขณะที่ bb คือ blank ที่มีการให้ความร้อน (boiled) และ ub คือ blank ที่ไม่มีการให้ความร้อน (unboiled) M_{Fe2+} คือ ปริมาณโมลาร์ลิตีของสารเฟอรัสซัลเฟต, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6\,H_2O$ คำนวณหาได้จากสมการ

$$M_{Fe2+} = \frac{5*(1\,N\,K_2Cr_2O_7)}{\text{ปริมาตรของ } Fe\,(NH_4)_2(SO_4)_2} \qquad (12)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในพืช

ตัวอย่างมวลชีวภาพที่อบแห้งถูกนำมาบดให้ละเอียด และอบตัวอย่างอีกครั้งที่อุณหภูมิ 80°C ประมาณ 30 นาที เพื่อไล่ความชื้น แล้ววิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่อง CHNS

6. การวิเคราะห์บัญชีคาร์บอนในนาข้าว

การวิเคราะห์บัญชีคาร์บอนในนาข้าว ศึกษาจากรายงานการวิเคราะห์บัญชีคาร์บอนตามวิธีของ Minamikawa *et al*. (2007) โดยการคำนวณจากผลของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การกักเก็บคาร์บอนในต้นพืชและประเมินการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในพื้นที่นาข้าว การทำบัญชีคาร์บอนของพื้นที่ปลูกข้าวคือ ช่วงปลูกข้าว (พื้นที่มีการขังน้ำ) โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$NEE = NPP - R_{h(carbon\ dioxide)} \quad (13)$$

NEE คือ ผลผลิตสุทธิของระบบนิเวศที่ศึกษา

NPP คือ ผลผลิตสุทธิของปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ

R_h คือ อัตราการหายใจของจุลินทรีย์ดินกลุ่มที่ใช้อินทรียวัตถุ

ปริมาณคาร์บอนที่ได้เข้าสู่พื้นที่ปลูก คือ ปริมาณคาร์บอนในอินทรียวัตถุที่ใส่ในแปลงนา ได้แก่ คาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นข้าว (ส่วนเหนือดินและใต้ดิน) ส่วนที่เหลืออยู่ในพื้นที่ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตอซังและรากข้าว) เศษซากพืช (ข้าว)ที่ตายระหว่างการปลูกข้าว สารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากข้าว โดยคำนวณปริมาณคาร์บอนของเศษซากพืชที่ร้อยละ 5 และสารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากข้าวที่ร้อยละ 3 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดของต้นข้าว (ส่วนเหนือดินและใต้ดิน) และช่วงปลูกข้าวปริมาณคาร์บอนในดินที่ได้เข้าสู่พื้นที่ปลูก คือ คาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นข้าว (ส่วนใต้ดิน) ได้แก่ ตอซัง รากข้าว เศษซากพืช (ข้าว) ที่ตายระหว่างการปลูกข้าวและสารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากข้าว ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูก คือปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของจุลินทรีย์ ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงผลของการสังเคราะห์แสง เนื่องจากการเก็บตัวอย่างในพื้นที่นี้ไม่ได้ครอบต้นข้าว ฟลักซ์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จึงเกิดจากกิจกรรมในดินเพียงอย่างเดียว ในช่วงปลูกข้าวปริมาณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

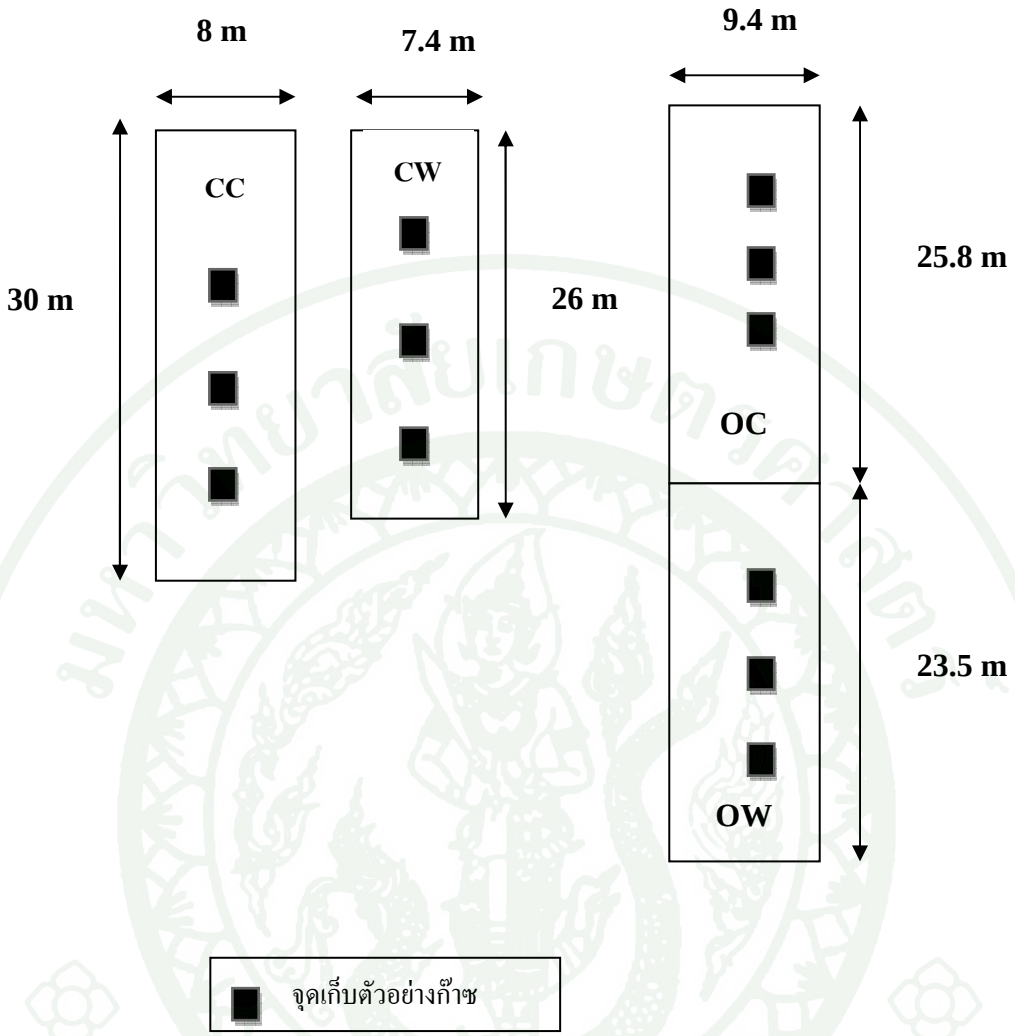
คาร์บอนไดออกไซด์หาได้จากการวัดที่ได้จากการหายใจของจุลินทรีย์ดิน (R_h) โดยกำหนดให้อยู่ร้อยละ 80 ของการหายใจดินทั้งหมดที่เก็บได้ในช่วงปลูกข้าว

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทดสอบความแตกต่างของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินและปริมาณการกักเก็บของคาร์บอนรูปต่างๆในดิน โดยวิธีวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อประเมินความแตกต่างของรูปแบบนาร่วมกับการจัดการน้ำ

ภาพที่ 5 แปลงนาที่ปลูกตามรูปแบบเกษตรอินทรีย์ จ.ฉะเชิงเทรา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 แผนการทดลองแบบ split plot design

CC : นาเคมี (C) และไม่มีการจัดการน้ำ (control, C)

CW: นาเคมีทั่วไป (C) และมีการจัดการน้ำ (water management, W)

OC : นาอินทรีย์ (O) และไม่มีการจัดการน้ำ (control, C)

OW : นาอินทรีย์ (O) และมีการจัดการน้ำ (water management, W)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

งานศึกษานี้ทำการประเมินบัญชีคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าวที่ปลูกตามแนวทางการเกษตรเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2553 ถึงมีนาคม 2554 และศึกษาผลของรูปแบบนาและการจัดการน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวและผลผลิต การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยผลการศึกษาแสดงดังนี้

1. คุณลักษณะเบื้องต้นบางประการของดิน

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะดินเริ่มต้นของพื้นที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 2 โดยพบว่าแปลงนาอินทรีย์และนาเคมีที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นดินร่วนและดินร่วนปนทรายตามลำดับ เนื้อดินมีทรายเป็นองค์ประกอบหลัก (มากกว่าร้อยละ 50) โดยมีค่าปฏิกิริยาของดินเป็นกรดจัด คือ ความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 4.5-5 (ตารางภาคผนวกที่ 1) ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่นี้อยู่ในระดับปานกลางดังเห็นได้จากปริมาณอินทรียวัตถุระหว่างร้อยละ 1.37 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่ามากกว่าร้อยละ 0.06 แต่ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้แปลงนาอินทรีย์มีปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารต่างๆที่สูงกว่าดินในแปลงนาเคมีเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นเพราะแปลงนาอินทรีย์มีการเติมอินทรียวัตถุโดยเฉพาะปุ๋ยอินทรีย์ให้กับดินอย่างต่อเนื่อง และอาจเป็นเพราะมีเนื้อดินที่ละเอียดกว่าเล็กน้อยดังที่มีปริมาณอนุภาคทรายแป้งและแร่ดินเหนียวที่สูงกว่าแปลงนาเคมี จึงทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารในดินได้ดีกว่า ทั้งนี้ ผลการเติมปุ๋ยอินทรีย์ในนาอินทรีย์ที่พบในงานศึกษานี้สอดคล้องกับงานศึกษาของ Kogram (2002) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉพาะปุ๋ยมูลไก่ ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินให้สูงขึ้น และยังช่วยปรับค่าความเป็นกรดด่างของดินด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 คุณลักษณะเนื้อดินบางประการของดินเริ่มต้นที่ความลึก 0-20 เซนติเมตรของพื้นที่ศึกษา

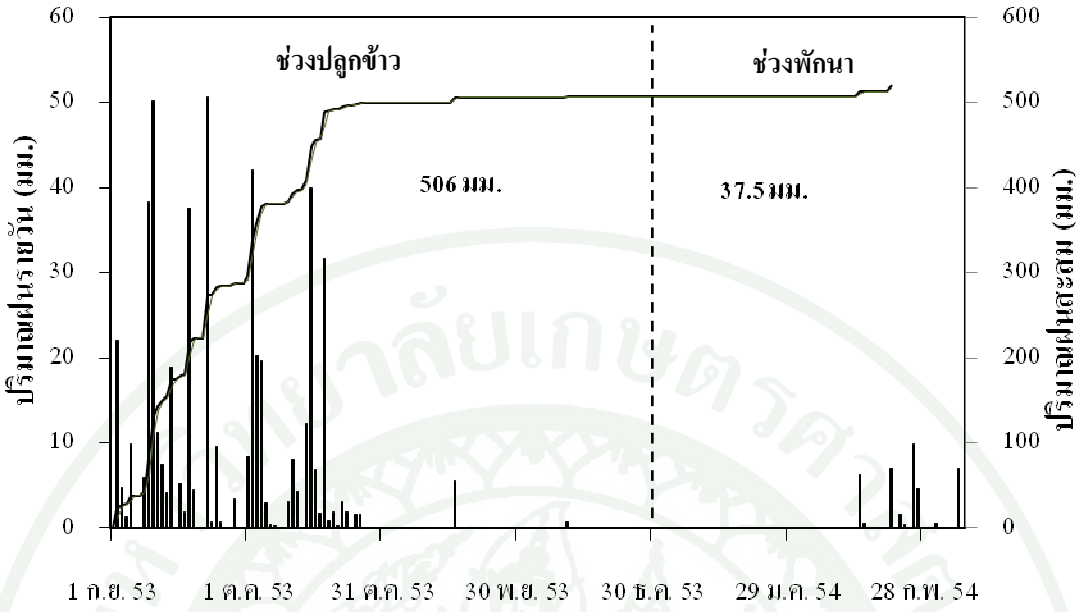
คุณลักษณะดิน	รูปแบบนา	
	นาเคมี	นาอินทรีย์
เนื้อดิน	ร่วนปนทราย	ร่วน
อนุภาคทราย (sand) (ร้อยละ)	57.6	51.6
อนุภาคทรายแป้ง (silt) (ร้อยละ)	30.2	34.4
แร่ดินเหนียว (clay) (ร้อยละ)	12.2	14.0
ความเป็นกรดด่าง (pH)	4.6	4.5
อินทรียวัตถุในดิน (ร้อยละ)	1.37	1.66
ไนโตรเจน (ร้อยละ)	0.068	0.083
ฟอสฟอรัส (ppm)	2	3
โพแทสเซียม (ppm)	10	17

2. ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา

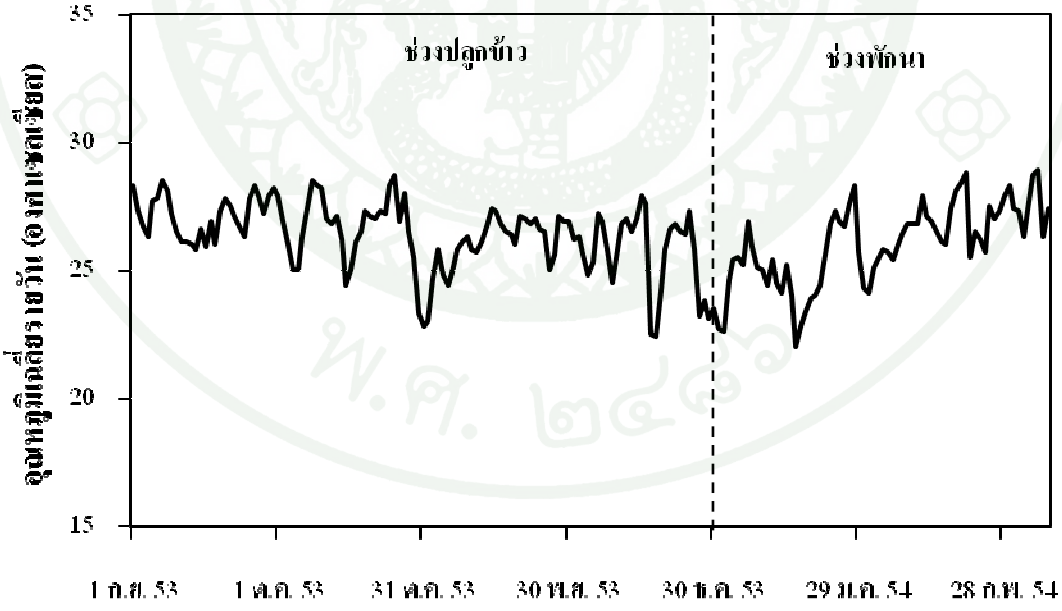
ปริมาณฝนรายวันและปริมาณฝนสะสมอ้างอิงจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ จ. ฉะเชิงเทรา (ภาพที่ 7) โดยปริมาณฝนสะสมในช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนามีค่าเท่ากับ 506 และ 37.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ (รวม 188 วัน) และปริมาณฝนรายวันในช่วงปลูกข้าวนาปีจัดอยู่ในช่วงฤดูฝนถึงฤดูหนาว (กันยายนถึงธันวาคม) มีฝนตกถี่ในช่วง 1-2 เดือนแรก จากนั้นฝนทิ้งช่วงจนถึงช่วงพักนา (ธันวาคมถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์) และต้นเดือนมีนาคมมีฝนตกเล็กน้อย

อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันในช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนามีค่าโดยประมาณเท่ากับ 29 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยอุณหภูมิอากาศช่วงปลูกข้าวสูงกว่าช่วงพักนาเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับฤดูของการปลูกข้าว (ภาพที่ 8)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 ปริมาณฝนรายวัน (แท่ง) และปริมาณฝนสะสมรายวัน (เส้น) ของสถานีตรวจวัดอากาศ จ. ฉะเชิงเทรา



ภาพที่ 8 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันของสถานีตรวจวัดอากาศ จ. ฉะเชิงเทรา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของต้นข้าว

3.1 การเจริญเติบโตของต้นข้าว

การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นข้าวของนาเคมีและนาอินทรีย์ ได้แก่ ความสูงกอและจำนวนต้นต่อกอ พบว่าความสูงกอเฉลี่ยของนาอินทรีย์เท่ากับ 73.55 เซนติเมตร โดยสูงกว่านาเคมี (64.01 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 3) นาอินทรีย์มีความสูงกอสูงสุดในช่วง 70-80 วันหลังปักดำ ในขณะที่นาเคมีพบอยู่ในช่วง 90-100 วันหลังปักดำ (ภาพที่ 9) นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดการน้ำมีผลต่อความสูงกอเฉลี่ยมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนผลการศึกษาจำนวนต้นต่อกอพบว่ารูปแบบนา (นาเคมีและนาอินทรีย์) และการจัดการน้ำไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ต่อจำนวนต้นต่อกอ แม้ว่านาเคมีมีแนวโน้มที่จำนวนต้นต่อกอสูงกว่านาอินทรีย์ก็ตาม

การพบความสูงกอสูงสุดของนาอินทรีย์ที่มากกว่าและเร็วกว่านาเคมีในงานศึกษานี้อาจเกิดจากดินในแปลงนาอินทรีย์มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่านาเคมี ดังเห็นได้จากปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารดินของนาอินทรีย์ (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นเพราะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างต่อเนื่องกว่า 9 ปี ในแปลงนาอินทรีย์ ทำให้ต้นข้าวสามารถนำไปใช้และส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ยังอาจเป็นเพราะปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเริ่มการปลูกที่มีฝนตกหนักและมีความถี่สูง ทำให้มีน้ำขังในแปลงนามากเกินไปและจำเป็นต้องระบายน้ำออกจากแปลง ซึ่งเป็นการสูญเสียธาตุอาหาร โดยเฉพาะจากปุ๋ยเคมีที่เพิ่งใส่ในช่วงแรกของการปักดำกล้าในนาเคมี ทั้งนี้ Mikkelson *et al*. (1978) รายงานว่าการสูญเสียไนโตรเจนมีสูงถึงร้อยละ 20 ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่บนผิวดินของนาน้ำขังในประเทศฟิลิปปินส์ ดังนั้น การระบายน้ำออกจากแปลงนาจึงเสี่ยงต่อการสูญเสียปุ๋ยเคมีไปกับน้ำที่ระบายออกอย่างมาก และอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวดังที่พบในงานศึกษานี้ ส่วนการจัดการน้ำ (การระบายน้ำกลางฤดูปลูก) มีผลทำให้ความสูงกอเฉลี่ยลดลงอาจเป็นเพราะการระบายน้ำเป็นการรบกวนการเจริญเติบโตของข้าวนั่นเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

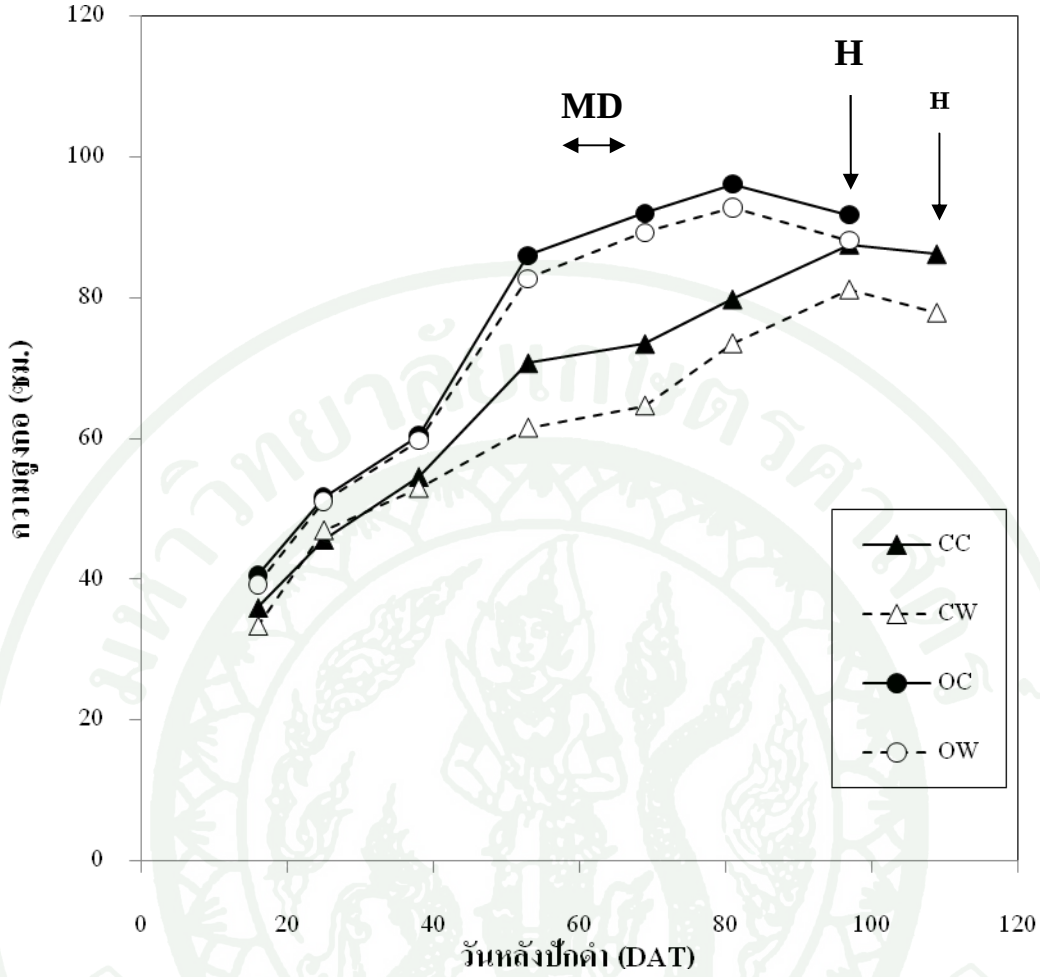
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตต่างๆของต้นข้าวตลอดฤดูปลูกข้าว

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด (ไม่จัดการน้ำ; C)	การระบายน้ำระหว่างการปลูก (จัดการน้ำ; W)	ค่าเฉลี่ย
	ความสูงกอ (ซม.)		
นาเคมี (C)	66.59 b[1]	61.46 c	**64.01 b**[2]
นาอินทรีย์ (O)	74.72 a	72.38 a	**73.55 a**
ค่าเฉลี่ย	**70.65 a**	**66.92 b**	
	จำนวนต้นต่อกอ		
นาเคมี	13.95 a	12.92 a	**13.43 a**
นาอินทรีย์	12.94 a	13.05 a	**13.00 a**
ค่าเฉลี่ย	**13.44 a**	**12.98 a**	

หมายเหตุ [1]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างรูปแบบนาและการจัดการน้ำ (ตัวธรรมดา) ได้แก่ CC CW OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของ Duncan's multiple range test

[2]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างรูปแบบนาและการจัดการน้ำ (ตัวเข้ม)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของข้าวในแปลงนารูปแบบต่างๆค่าเฉลี่ยความสูงของข้าว (CC = นาเคมีและไม่มีการจัดการน้ำ; CW = นาเคมีและมีการจัดการน้ำ; OC = นาอินทรีย์และไม่มีการจัดการน้ำ; OW = นาอินทรีย์และมีการจัดการน้ำ; MD = การระบายน้ำกลางฤดู; H = การเก็บเกี่ยวผลผลิต)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 ผลผลิตข้าวและมวลชีวภาพรวมของข้าว

ผลของรูปแบบนาและการจัดการน้ำที่มีต่อผลผลิตข้าว น้ำหนักเมล็ดดี และมวลชีวภาพรวมของข้าวแสดงดังตารางที่ 4 โดยผลผลิตข้าวในงานศึกษานี้เป็นผลการคำนวณของน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง จำนวนรวงต่อกอ และจำนวนกอต่อตารางเมตร และรายงานเป็นผลผลิตข้าวเปลือกที่ความชื้นร้อยละ 14 ผลที่ได้พบว่านาอินทรีย์ให้ผลผลิตข้าวและน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงสูงกว่านาเคมี ส่วนการจัดการน้ำไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวและน้ำหนักเมล็ดดีทั้งในนาอินทรีย์และนาเคมี ส่วนมวลชีวภาพรวมของข้าวเป็นผลรวมของผลผลิตข้าว ฟางข้าว ตอซัง และราก โดยพบว่านาอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพรวมของข้าวสูงกว่านาเคมี ส่วนการจัดการน้ำมีผลต่อมวลชีวภาพของนาเคมี แต่ไม่มีผลต่อมวลชีวภาพของนาอินทรีย์

การที่นาอินทรีย์มีผลผลิตข้าวที่สูงกว่านาเคมีและสูงกว่าผลผลิตเฉลี่ยของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อยู่ในช่วง 650-774 กิโลกรัมต่อไร่ (สถาบันวิจัยข้าวปทุมธานี, 2547) อาจเป็นเพราะเหตุผลที่ให้ในการเจริญเติบโตของต้นข้าว คือ ความอุดมสมบูรณ์ดินที่สูงกว่าและผลจากปริมาณและความถี่ของฝนที่สูงในฤดูปลูกข้าวที่ศึกษา ทั้งนี้ ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับหลายศึกษาที่เกี่ยวข้อง เช่น การใช้วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวอินทรีย์ของ พัชรี และคณะ (2551) ที่พบว่าทุกแปลงนาอินทรีย์ให้ผลผลิตข้าวค่อนข้างสูงคือ 790-1,033 กิโลกรัมต่อไร่ และสูงกว่าผลผลิตข้าวในพื้นที่ใกล้เคียง (พื้นที่จังหวัดขอนแก่นและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) คือ 466-472 กิโลกรัมต่อไร่ อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่าผลผลิตข้าวเฉลี่ยของโลกในปี 2548 ที่มีค่า 644 กิโลกรัมต่อไร่ อนนท์ (2547) ศึกษาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 23 โดยพบว่าปุ๋ยมูลไก่สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปุ๋ยมูลไก่ในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี 8–4–0 และการใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตรา 600 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวสูงที่สุด ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณที่เพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 23 จากการใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตรา 300 และ 600 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตได้ร้อยละ 37-41 และ 61–74 ตามลำดับ โดยทำให้ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพรวมของนาอินทรีย์สูงตามไปด้วย และ Rinaudo *et al.* (1983) แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 60 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกแตร์ จะเพิ่มผลผลิตข้าว 1.69 ตันต่อเฮกแตร์ ในขณะที่การใส่โสนอัฟริกัน (*Sesbania rostrata*) ร่วมกับปุ๋ยพืชสดทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวมากขึ้นเป็น 3.72 ตันต่อเฮกแตร์ นอกจากนี้การที่นาอินทรีย์ให้ผลผลิตสูงกว่านาเคมียังเกิดจากการเจริญเติบโตที่ดีกว่า กล่าวคือจำนวนต้นต่อกอของนาอินทรีย์ไม่ต่างจากนาเคมี ในขณะที่น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงของนาอินทรีย์มีค่าสูงกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจัดการน้ำหรือการระบายน้ำกลางฤดูปลูกไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวทั้งนาเคมีและนาอินทรีย์ในงานศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2005) ที่พบว่าผลผลิตข้าวจากการทำนาน้ำขังตลอดฤดูกาลปลูกให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการระบายน้ำกลางฤดู คือ 12.9 และ 11.9 กรัมน้ำหนักแห้งต่อกระถาง ตามลำดับ และเช่นเดียวกับการศึกษาของ ศุภสุข และ อรวรรณ (ม.ป.ป.) ที่พบว่าผลผลิตข้าวและมวลชีวภาพของข้าวที่ได้จากการปลูกข้าวนาสวนทั้งที่มีการขังน้ำตลอดฤดูกาลปลูกและการระบายน้ำในระหว่างการเจริญเติบโต (30 และ 60 วันหลังย้ายปลูก) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ผลของการจัดการน้ำทำให้ลดปริมาณมวลชีวภาพของต้นข้าวเฉพาะในนาเคมีของงานศึกษานี้ ซึ่งอาจเป็นเพราะการสูญเสียปุ๋ยเคมีในช่วงแรกของการปักดำที่ทำให้การเจริญเติบโตของต้นข้าวในนาเคมีที่จัดการน้ำลดลง (ตารางที่ 3)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ผลผลิตข้าวและองค์ประกอบข้าว

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด (ไม่จัดการน้ำ; C)	การระบายน้ำระหว่างการปลูก (จัดการน้ำ; W)	ค่าเฉลี่ย
	ผลผลิตข้าว[1] (กิโลกรัมต่อไร่)		
นาเคมี (C)	764 b	734 b	**749 b**
นาอินทรีย์ (O)	1,111 a	1,219 a	**1,154 a**
ค่าเฉลี่ย	**937.5 a**	**976.5 a**	
	น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง (กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)		
นาเคมี	1.653 c[2]	1.552 c	**1.604 b[3]**
นาอินทรีย์	2.629 b	2.946 a	**2.756 a**
ค่าเฉลี่ย	**2.141 a**	**2.249 a**	
	มวลชีวภาพรวมของข้าว (กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่)		
นาเคมี	2,141 a	1,933 b	**2,037 b**
นาอินทรีย์	2,151 a	2,155 a	**2,153 a**
ค่าเฉลี่ย	**2,146 a**	**2,044 b**	

หมายเหตุ [1]ผลผลิตข้าว = ผลคำนวณจากน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง จำนวนรวงต่อกอ และจำนวนกอต่อตารางเมตร และเป็นผลผลิตข้าวเปลือกที่ความชื้นร้อยละ 14

[2]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง (ตัวธรรมดา) ได้แก่ CC CW OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของ Duncan's multiple range test

[3]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างรูปแบบนาและการจัดการน้ำ (ตัวเข้ม)

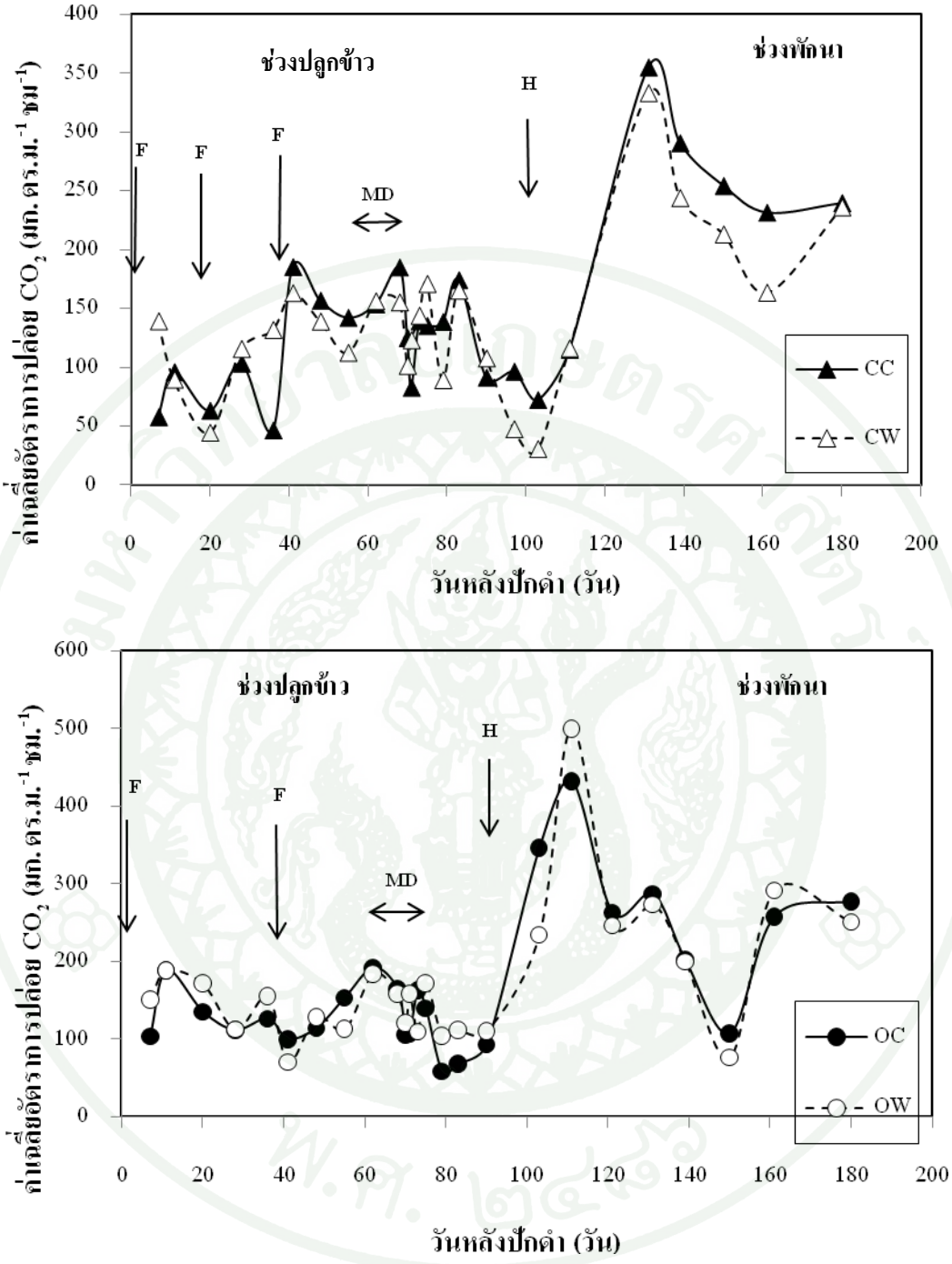
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในพื้นที่ศึกษา

อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในนาข้าว 2 รูปแบบ คือ นาเคมีและนาอินทรีย์ โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงปลูกข้าวนาปีและช่วงพักนา งานศึกษานี้ต้องการศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดิน (R_h) ที่มีสัดส่วนร้อยละ 80 ของการหายใจดินทั้งหมดที่เก็บในช่วงปลูกข้าว (Zoe *et al.,* 2004)

อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แสดงดังภาพที่ 10 และตารางที่ 5 โดยนาอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงปลูกข้าว เท่ากับ 131.19 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่านาเคมีที่มีค่าเท่ากับ 118.41 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อ (P<0.05) และในช่วงพักนาพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของนาอินทรีย์มีแนวโน้มการปล่อยที่สูงกว่านาเคมี แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ทั้งนี้ยังพบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงพักนาสูงกว่าในช่วงปลูกข้าว (ภาพที่ 10) โดยผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Singh *et al.* (2009) ที่ทำการปลูกข้าวในประเทศอินเดีย โดยพบว่าแปลงนาที่มีการใส่ฟางข้าวสาลีมีค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซคาร์บอนออกไซด์ในช่วงปลูกข้าวสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ยอดโสนร่วมกับฟางข้าวสาลีและปุ๋ยเคมี คือ 116.4 98.5 และ 37.6 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และการศึกษาของ Miyata *et al*. (2000) พบว่าพื้นที่นาข้าวมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 6.6 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ 275 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในงานศึกษานี้ โดยอาจเป็นเพราะความแตกต่างของคุณลักษณะดินและสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นาเคมี (บน) และนาอินทรีย์ (ล่าง) ร่วมกับการจัดการน้ำตามเวลาปลูกข้าวและช่วงพักนา (F = การใส่ปุ๋ย; MD = การระบายน้ำกลางฤดู; H = การเก็บเกี่ยว)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดฤดูปลูกข้าวและช่วงพักนา

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด (ไม่จัดการน้ำ;C)	การระบายน้ำระหว่างการปลูก (จัดการน้ำ;W)	ค่าเฉลี่ย
อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย (มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)			
ช่วงปลูกข้าว[1]			
นาเคมี (C)	118.11 a[2]	118.71 a	**118.41 b[3]**
นาอินทรีย์ (O)	126.05 a	136.22 a	**131.19 a**
ค่าเฉลี่ย	**122.08 a**	**127.47 a**	
ช่วงพักนา			
นาเคมี	270.85 a	237.77 a	**253.70 a**
นาอินทรีย์	272.59 a	259.03 a	**265.64 a**
ค่าเฉลี่ย	**271.72 a**	**248.40 a**	
อัตราการปล่อยเฉลี่ยระหว่างช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนา			
นาเคมี	146.76 a	143.22 a	**145.02 a**
นาอินทรีย์	168.24 a	172.34 a	**170.32 a**
ค่าเฉลี่ย	**157.5 a**	**155.63 a**	

หมายเหตุ [1]ช่วงการปลูกข้าวคิดเฉพาะปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของจุลินทรีย์ดิน โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ (0.8xปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดช่วงการปลูกข้าว)

[2]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง (ตัวธรรมดา) ได้แก่ CC CW OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของ Duncan's multiple range test

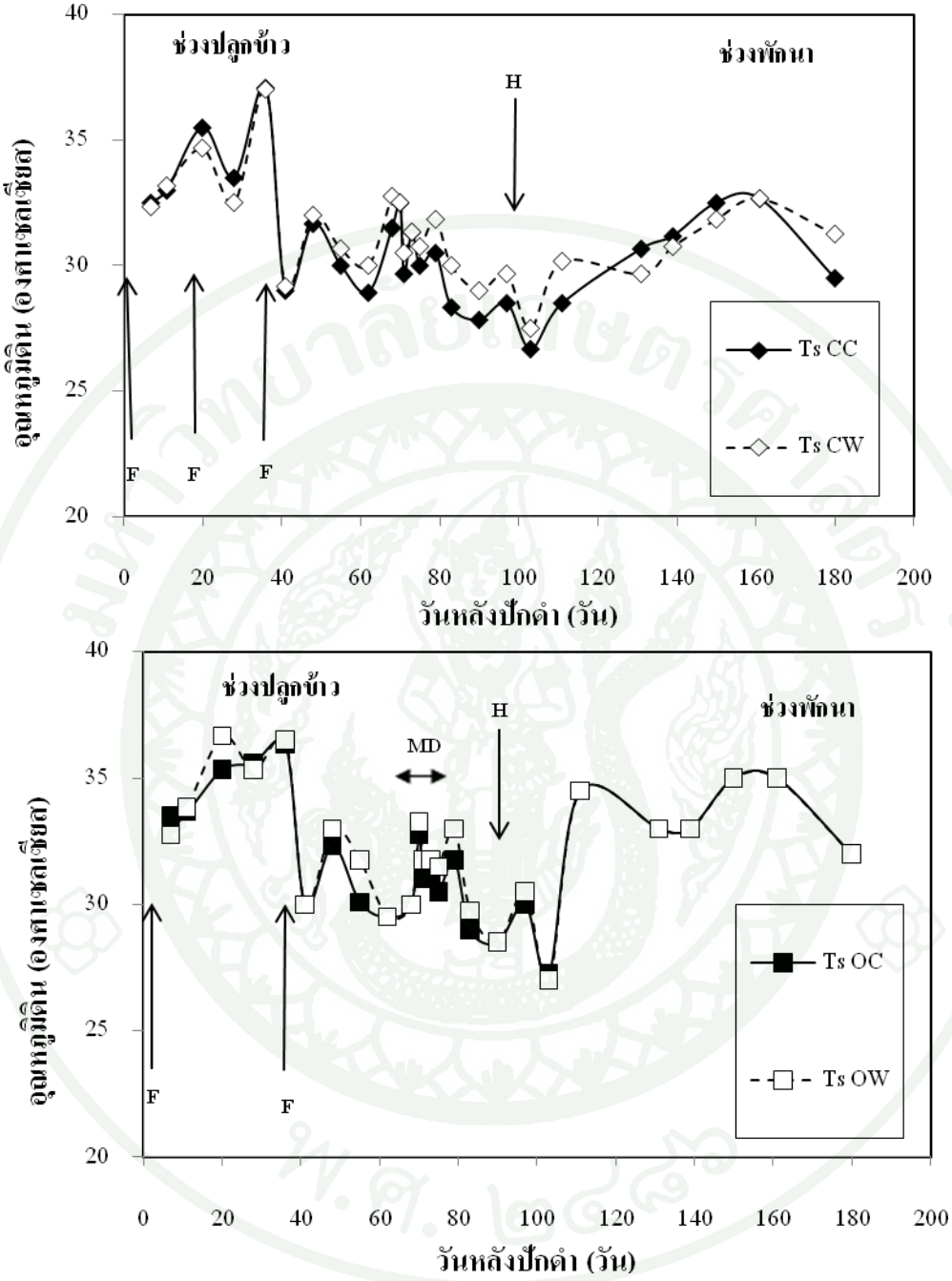
[3]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างรูปแบบนาและการจัดการน้ำ (ตัวเข้ม)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การที่อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินรูปแบบนาข้าวของนาอินทรีย์สูงกว่านาเคมี เป็นเพราะผลของการใส่ปุ๋ยหมักในนาอินทรีย์ ซึ่งเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินและเร่งกิจกรรมจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ และในที่สุดทำให้เพิ่มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั่นเอง ทั้งนี้ ผลที่พบนี้สนับสนุนด้วย สำเริง (2550) และ Bazzaz and Williams (1991) ที่พบว่าพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินมาก ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินมากตามไปด้วย ส่วนอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงพักนาสูงกว่าในช่วงปลูกข้าว เป็นเพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงปลูกข้าวต้องแพร่ผ่านชั้นน้ำที่ขังอยู่เหนือผิวดิน การปล่อยก๊าซจึงเป็นไปได้ช้าและยากกว่าสภาวะที่ไม่มีน้ำขังถึง 10,000 เท่า (อรวรรณ, 2550) อีกทั้งการขังน้ำของนาข้าวทำให้ความชื้นในดินสูงขึ้นมากจนถึงจุดที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ ออกซิเจนในดินมีต่ำลดลง กิจกรรมการย่อยสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีอากาศจึงถูกจำกัด ทำให้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินต่ำลง (Bowden *et al.,* 1998) ช่วงพักนามีการระบายน้ำ ทำให้ดินค่อนข้างแห้ง ออกซิเจนจากอากาศแพร่เข้าไปในดินได้ดี ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้อากาศทำงานได้ดีขึ้น จึงเร่งการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน และทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงในช่วงขังน้ำ แต่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามปริมาณอินทรียวัตถุในดินและความชื้นในดินที่ลดลงในระยะต่อมา โดยข้อสังเกตนี้สนับสนุนโดยงานศึกษาของพิมลรัตน์ (2544) ที่พบว่าในช่วงฤดูแล้งความชื้นในดินมีค่าลดลงเนื่องจากการระเหยหรือพืชดูดน้ำในดินไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ช่องว่างในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังนั้น การย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินจึงถูกจำกัดด้วยความชื้นดินที่ต่ำลงนั่นเอง

ทั้งนี้ หากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิดินขณะที่ทดลองการเก็บตัวอย่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินของงานศึกษานี้ (ภาพที่ 11) พบว่าอุณหภูมิดินในช่วงการปลูกข้าวไม่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่หลังจากช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วอุณหภูมิดินและความชื้นในดินมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินอุณหภูมิดินที่สูงขึ้นทำให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นจนกระทั้งความชื้นในดินลดลง แต่ในช่วงท้ายของการเก็บตัวอย่างมีฝนตกทำให้มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากความชื้นในดินเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินของนาเคมี (บน) และนาอินทรีย์ (ล่าง) (TsCC = ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินนาเคมีที่ไม่จัดการน้ำ; TsCW = ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินนาเคมีที่มีการจัดการน้ำ; TsOC = ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินนาอินทรีย์ที่ไม่จัดการน้ำ; TsOW = ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินนาอินทรีย์ที่มีการจัดการน้ำ; F = การใส่ปุ๋ย; MD = การระบายน้ำกลางฤดู; H = การเก็บเกี่ยว)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างไรก็ตาม งานศึกษานี้ไม่พบผลของการจัดการน้ำที่มีต่ออัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งในนาเคมีและนาอินทรีย์ในช่วงปลูกข้าว โดยอาจเป็นเพราะในช่วงที่ระบายน้ำกลางฤดูปลูกข้าว ดินยังคงชื้นอยู่มากและมีฝนตกในระหว่างการระบายน้ำ ทำให้ยังมีข้อจำกัดของการเติมอากาศในดินและ ไม่สามารถเห็นผลที่ชัดเจนต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่ใช้อากาศ ซึ่งแตกต่างจากผลที่พบในช่วงระบายน้ำก่อนเก็บเกี่ยวและช่วงพักนาที่อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว ซึ่งเป็นเพราะการหยุดการขังน้ำในนาทำให้มีการเติมออกซิเจนให้กับดิน จากนั้นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงตามเวลาและความชื้นดินต่ำลงในช่วงพักนา (ภาพที่ 10)

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดตลอดฤดูการปลูกข้าวและช่วงพักนาของนาเคมีและนาอินทรีย์แสดงดังตารางที่ 6 โดยพบว่านาเคมีมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดตลอดฤดูการปลูกข้าวสูงกว่านาอินทรีย์ แต่ในช่วงพักนาพบว่านาอินทรีย์มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดสูงกว่านาเคมี แต่ค่าทั้งสองช่วงที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งหมดตลอดฤดูการปลูกข้าวและช่วงพักนา พบว่านาอินทรีย์มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมเท่ากับ 815.5 กรัมต่อตารางเมตร สูงกว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมของนาเคมีที่มีค่า 681.72 กรัมต่อตารางเมตร แต่ค่าทั้งสองช่วงที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน (P>0.05)

ช่วงการปลูกข้าวและช่วงพักนาของนาอินทรีย์มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมไม่แตกต่างกับนาเคมีในงานศึกษานี้ เป็นเพราะระยะเวลาการปลูกข้าวของนาอินทรีย์สั้นกว่านาเคมีประมาณ 2 สัปดาห์ ทำให้แม้นาอินทรีย์มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่านาเคมี แต่ระยะเวลาการปลูกที่สั้นกว่า จึงทำให้ผลรวมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่แตกต่างทางสถิติกับนาเคมี นอกจากนี้การที่นาอินทรีย์มีระยะการปลูกข้าวที่สั้นกว่านี้ น่าจะเป็นเพราะการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้ว จะเป็นอัตราที่ช้าและสม่ำเสมอกว่ามาก จึงทำให้ปุ๋ยอินทรีย์มีประสิทธิภาพสูง พืชตอบสนองดี และไม่ค่อยเกิดการเป็นพิษต่อพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดังนั้นจึงทำให้ได้ผลผลิตในเวลาที่สั้นกว่าดังที่พบในงานศึกษานี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดตลอดฤดูการปลูกข้าวและช่วงพักนา

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด (ไม่จัดการน้ำ;C)	การระบายน้ำระหว่างการปลูก (จัดการน้ำ;W)	ค่าเฉลี่ย
ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด (กรัมต่อตารางเมตร)			
ช่วงปลูกข้าว[1]			
นาเคมี (C)	236.60 a[2]	228.22 a	**232.41 a**[3]
นาอินทรีย์ (O)	210.25 a	226.09 a	**218.17 a**
ค่าเฉลี่ย	**223.42 a**	**227.15 a**	
ช่วงพักนา			
นาเคมี	418.58 ab	363.83 b	**391.21 a**
นาอินทรีย์	553.71 a	531.96 ab	**542.83 a**
ค่าเฉลี่ย	**486.15 a**	**447.90 a**	
ปริมาณการปล่อยรวม			
นาเคมี	714.33 a	649.11 a	**681.72 a**
นาอินทรีย์	816.52 a	814.58 a	**815.55 a**
ค่าเฉลี่ย	**765.42 a**	**731.85 a**	

หมายเหตุ [1]ช่วงการปลูกข้าวคิดเฉพาะปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของจุลินทรีย์ดิน โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ (0.8xปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดช่วงการปลูกข้าว)

[2]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง (ตัวธรรมดา) ได้แก่ CC CW OC และ OW โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของ Duncan's multiple range test

[3]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างรูปแบบนาและการจัดการน้ำ (ตัวเข้ม)

ช่วงการปลูกข้าวของงานศึกษานี้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใกล้เคียงกับ Iqbal *et al.* (2009) ที่ทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินนา ซึ่งใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับปรับปรุงดินโดยใช้พืชตระกูลกะหล่ำ (*Brassica napus* L.) โดยพบว่าดินนาในระหว่างแถวของของต้นข้าวมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 289-403 กรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

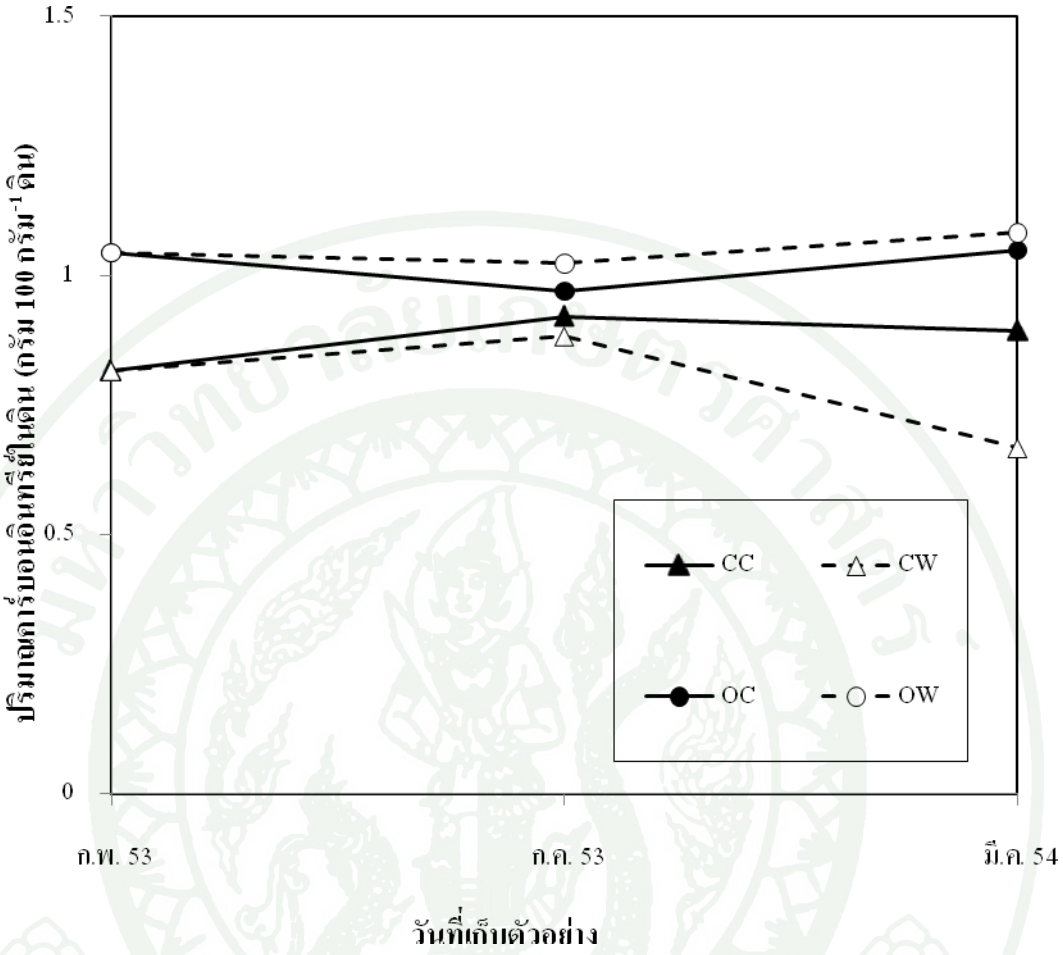
คาร์บอนต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลปลูก และ Singh *et al.* (2009) ทำการปลูกข้าวในประเทศอินเดีย พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแปลงนาที่ใส่ฟางข้าวสาลีสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ยอดโสนร่วมกับฟางข้าวสาลีและปุ๋ยเคมี คือ 438 403 และ 242 กรัมต่อตารางเมตรต่อปี ตามลำดับ

5. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่ปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์ (ตารางที่ 8 และภาพที่ 12) พบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของนาอินทรีย์มีค่าสูงกว่านาเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าร้อยละ 1.04 และ 0.83 โดยน้ำหนักตามลำดับ แต่ไม่พบผลของการจัดการน้ำที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนอินทรีย์ ซึ่งอาจเป็นเพราะการศึกษาเป็นระยะเวลาสั้นๆ (1 ปี) จึงทำให้ยังไม่พบผลที่ชัดเจนต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

ผลที่ได้จากการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินแสดงว่าการปลูกข้าวตามวิธีเกษตรอินทรีย์ส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดีกว่าการเกษตรเคมี เนื่องจากนาอินทรีย์มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุ และพื้นที่นาข้าวศึกษาได้ดำเนินการตามแนวทางเกษตรอินทรีย์มากว่า 9 ปีแล้ว ทำให้ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของนามีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเห็นได้อย่างชัดเจน โดยผลที่พบนี้สอดคล้องกับการศึกษา Huang *et al.* (2010) ที่พบว่านาที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่เพิ่มมากที่สุด คือ ร้อยละ 61.6 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) นอกจากนี้ Singh *et al.* (2009) ศึกษาการปลูกข้าวและข้าวบาร์เลย์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกัน พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดในแปลงทดลองมีการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินนาเคมีและนาอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำตามเวลาเก็บตัวอย่างที่ศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินที่ปลูกข้าวของนาข้าวที่ปลูกตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์

รูปแบบนา	การขังน้ำตลอด (ไม่จัดการน้ำ; C)	การระบายน้ำระหว่างการปลูก (มีการจัดการน้ำ; W)	ค่าเฉลี่ย
นาเคมี (C)	0.87 b[1]	0.79 b	**0.83 b**[2]
นาอินทรีย์ (O)	1.02 a	1.05 a	**1.04 a**
ค่าเฉลี่ย	**0.95 a**	**0.92 a**	

หมายเหตุ [1]การเปรียบเทียบทางสถิติที่ระหว่างตำรับทดลอง โดยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของ Duncan's multiple range test

[2]การเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างรูปแบบนาและการจัดการน้ำ (ตัวเข้ม)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินก่อนและหลังการปลูกข้าว พบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์หลังการปลูกข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เริ่มต้นที่ศึกษาสำหรับทั้งนาเคมีและนาอินทรีย์ และไม่พบผลการจัดการน้ำต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เช่นกัน (ตารางภาคผนวกที่ 7) โดยผลที่ได้ชี้ว่าการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ตามรูปแบบนาและการจัดการน้ำในระยะเวลาเพียง 1 ปี ยังไม่สามารถสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนได้ เนื่องจากการปลูกข้าวแบบน้ำขังทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินช้ากว่าในดินที่ไม่มีน้ำขัง ทำให้การศึกษาจึงต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อประเมินความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าวให้ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Huang *et al.* (2010) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นหลังการปลูกข้าวนาน 27 ปี ดังนั้นคาดการณ์ว่าหากมีการปลูกข้าวใช้นานขึ้นจะสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนในดินได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. บัญชีคาร์บอนในนาข้าว

ผลการศึกษาบัญชีคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวตลอดฤดูปลูกข้าวหนึ่งรอบการปลูก (นาปี) แสดงดังตารางที่ 9 โดยใช้ข้อมูลปริมาณคาร์บอนที่เข้าและออกจากนาข้าว ทั้งนี้ งานศึกษานี้พิจารณาคาร์บอนที่สูญเสียเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการทำบัญชีคาร์บอนทั้งหมดใช้ปริมาณคาร์บอนของมวลชีวภาพทั้งหมด ได้แก่ ผลผลิตข้าว (ข้าวเปลือกและข้าวลีบ) ฟางข้าว ตอซัง ราก เศษซากพืช วัชพืชและปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนการทำบัญชีคาร์บอนในดินใช้ปริมาณคาร์บอนของมวลชีวภาพที่ใส่ในดิน ได้แก่ ตอซัง ราก เศษซากพืช วัชพืชและปุ๋ยอินทรีย์ การหาปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนต่างๆของข้าวพบว่าข้าวเปลือกและข้าวลีบมีค่าร้อยละ 42 และ 40 ตามลำดับ ส่วนอื่นๆ ได้แก่ ฟางข้าว ตอซัง ราก และเศษซากพืช อยู่ที่ร้อยละ 39 และวัชพืชมีค่าร้อยละ 35 (ตารางผนวกที่ 8) ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับร้อยละ 16.8 โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพข้าวของงานศึกษานี้มีความสอดคล้องกับงานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนของเมล็ดข้าว ฟางข้าว และราก อยู่ที่ร้อยละ 41.9 39.6 และ 39.4 ตามลำดับ

ผลที่ได้จากบัญชีคาร์บอนในงานศึกษานี้พบว่าการปลูกข้าวทุกรูปแบบมีการสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูกและในดิน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 458.8-622.7 และ 169.2-273.2 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ตามลำดับ นาอินทรีย์ทั้งที่มีและไม่มีการจัดการน้ำมีการสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวและในดินสูงกว่านาเคมี (มากกว่า 1.2 เท่า) ผลของการจัดการน้ำทำให้การสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูกและในดินลดลง โดยการจัดการน้ำลดการสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูกและในดินไม่เกินร้อยละ 10 สำหรับนาอินทรีย์ ในขณะที่การจัดการน้ำมีผลกระทบที่ชัดเจนต่อบัญชีคาร์บอนในนาเคมี โดยพบว่านาเคมีที่มีการจัดการน้ำทำให้การสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูกและในดินลดลงกว่าร้อยละ 10.3 และ 22.6 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับนาเคมีที่ไม่จัดการน้ำ

การที่นาอินทรีย์มีบัญชีคาร์บอนที่สูงกว่านาเคมีในงานศึกษา เป็นเพราะนาอินทรีย์มีการเติมวัสดุอินทรีย์ (ปุ๋ยอินทรีย์) ในระหว่างปลูกข้าวเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้นาอินทรีย์มีคาร์บอนที่เพิ่มเข้าพื้นที่ปลูกสูงกว่านาเคมี ในขณะที่ผลรวมมวลชีวภาพของข้าวมีค่าใกล้เคียงกันในทุกแปลงนา ยกเว้นนาเคมีที่มีการจัดการน้ำ ส่วนการจัดการน้ำมีผลทำให้ปริมาณคาร์บอนจากมวลชีวภาพของข้าวลดลง ซึ่งอาจเป็นเพราะมีผลในการชะลอหรือลดการเจริญเติบโตของต้นข้าวและส่งผลต่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลผลิตข้าวในที่สุด ด้วยเหตุนี้ นาที่มีการจัดการน้ำจึงทำให้มีการสะสมคาร์บอนได้น้อยกว่านาข้าวที่ไม่จัดการน้ำนั่นเอง

ตารางที่ 8 บัญชีคาร์บอนสำหรับพื้นที่ปลูกข้าวของงานศึกษา

ส่วนประกอบ	**รูปแบบนา (กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร)**			
	CC	**CW**	**OC**	**OW**
ช่วงปลูกข้าว				
ข้าวเปลือก	172.4	165.6	250.8	275.2
ข้าวลีบ	25.3	31.8	28.2	25
ฟาง	97.3	92.1	70.8	62.9
ตอซัง	112.8	83.4	87.2	85.8
ราก	125.5	109.4	104.4	95.3
ต้นข้าวที่ตายระหว่างปลูก	26.7	24.1	27.1	27.2
สารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากพืช	16.0	14.5	16.2	16.3
ปุ๋ยอินทรีย์	0.0	0.0	95.1	95.1
ผลรวมมวลชีวภาพ	576	521	680	683
การหายใจของจุลินทรีย์ดิน	64.5	62.2	57.3	61.7
บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	511.5	458.8	622.7	579.3
บัญชีคาร์บอนในดิน	218.5	169.2	273.2	258.3

การปลูกข้าวช่วยเพิ่มการสะสมคาร์บอนในงานศึกษานี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาบัญชีคาร์บอนในนาข้าวของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่ทำการศึกษาบัญชีคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศญี่ปุ่น โดยพบว่าการปลูกข้าว 1 รอบ ช่วยสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูกในช่วง 278-538 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร แต่พบว่าไม่มีการสะสมคาร์บอนหรือมีการสูญเสียคาร์บอนในดิน คือ (-118)-7 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร ส่วน Iqbal *et al.* (2009) ทำการศึกษาบัญชีคาร์บอนของพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศจีน โดยมีลักษณะดินที่ใกล้เคียงกันกับงานศึกษานี้ (ดินร่วนปนทรายและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินเท่ากับร้อยละ 1.69) พบว่าการปลูกข้าว 1 รอบ ช่วยสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูกในช่วง 16-140 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร โดยค่าที่ได้จากงานศึกษาทั้งสองข้างต้นต่ำกว่างานศึกษานี้ ซึ่งอาจเป็นเพราะความแตกต่างของสายพันธุ์ข้าวที่ปลูกและสภาพภูมิอากาศที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แตกต่างกัน ทำให้การเจริญเติบโตของต้นข้าวและให้ผลผลิตต่างกัน ทั้งนี้ สาเหตุที่การปลูกข้าวสามารถกักเก็บคาร์บอนได้เป็นเพราะรูปแบบการปลูกข้าวที่ศึกษาเป็นนาน้ำขัง โดยการขังน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในดินถูกจำกัดและทำให้อินทรียวัตถุในดินถูกย่อยสลายในอัตราที่ช้ากว่าพืชไร่ชนิดอื่น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อินทรียวัตถุคงเหลืออยู่ในนาข้าวได้ดี โดยการศึกษาของ Huang *et al.* (2010) สนับสนุนว่านาข้าวมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกพืชไร่ชนิดอื่นๆ เช่นเดียวกับการศึกษาบัญชีคาร์บอนในดินของ Seiichai *et al.* (2008) พบว่าการปลูกข้าววามารถสะสมคาร์บอนเท่ากับ 137 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร แต่การปลูกพืชไร่ชนิดอื่นไม่พบสะสมในพื้นที่

การที่นาอินทรีย์มีการสะสมคาร์บอนได้ดีกว่านาเคมีในงานศึกษานี้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่ทำการศึกษาผลของการใส่ฟางข้าวและการจัดการน้ำที่มีต่อบัญชีคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าว โดยพบว่าการใส่ฟางข้าวช่วยเพิ่มการสะสมคาร์บอนในพื้นที่ปลูกและลดการสูญเสียคาร์บอนในดิน อย่างไรก็ตามไม่พบผลที่ชัดเจนต่อบัญชีคาร์บอนสำหรับการจัดการน้ำ นอกจากนี้การเปรียบเทียบรูปแบบนาและการจัดการน้ำในการสะสมคาร์บอนในบัญชีคาร์บอนทั้งหมดและบัญชีคาร์บอนในดินในงานศึกษานี้ พบว่ารูปแบบนามีผลที่ชัดเจนกว่าผลของการจัดการน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) ที่พบว่าการใส่ฟางข้าวในแปลงนามีผลต่อการสะสมคาร์บอนมากกว่าผลของการจัดการน้ำ

ดังนั้น งานศึกษานี้พบว่าการปลูกข้าวแบบนาเคมีและนาอินทรีย์ทั้งที่มีและไม่มีการจัดการน้ำส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยนาอินทรีย์สามารถกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ปลูกและในดินได้ดี ในขณะที่นาเคมีที่มีการจัดการน้ำสามารถกักเก็บคาร์บอนได้น้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าว ผลผลิตข้าว การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน และการประเมินบัญชีคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ ที่อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. พื้นที่ศึกษาดินในพื้นที่ศึกษามีเนื้อดินค่อนข้างหยาบโดยมีอนุภาคขนาดทรายเป็นหลัก โดยว่านาอินทรีย์มีความอุดมสมบูรณ์ของดินดีกว่านาเคมี เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีการดำเนินการปลูกข้าวตามรูปแบบนาเคมีและนาอินทรีย์ต่อเนื่อง 20 และ 9 ปี ตามลำดับ

2. การเจริญเติบโต (ความสูงกอ) และผลผลิตของข้าวของนาอินทรีย์สูงกว่านาเคมี และการจัดการน้ำมีผลกับความสูงกอ แต่ไม่มีผลทางสถิติต่อผลผลิตข้าว ส่วนมวลชีวภาพรวมของข้าวในนาอินทรีย์มีแนวโน้มค่าสูงกว่านาเคมี และการจัดการน้ำไม่มีผลต่อมวลชีวภาพรวมของนาอินทรีย์ แต่ทำให้ค่าต่ำลงในนาเคมีที่มีการจัดการน้ำ

3. นาอินทรีย์มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่านาเคมีในช่วงปลูกข้าว แต่ช่วงพักนามีอัตราการปลดปล่อยที่ใกล้เคียงกัน โดยเป็นเพราะผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในนาอินทรีย์ที่ส่งเสริมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงแรกหลังการใส่ปุ๋ย ทั้งนี้ ช่วงพักนามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าช่วงปลูกข้าว เป็นเพราะการหยุดการขังน้ำในนาทำให้มีการเติมออกซิเจนให้กับดิน แต่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงตามเวลาและความชื้นดินต่ำลงในช่วงพักนา ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับนาเคมีและนาอินทรีย์ โดยเฉพาะช่วงปลูกข้าว ซึ่งเป็นเพราะจำนวนวันปลูกข้าวที่สั้นกว่าในนาอินทรีย์

4. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินของนาอินทรีย์มีค่าสูงกว่านาเคมี ซึ่งเกิดจากการสะสมของอินทรียวัตถุจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ในนาอินทรีย์อย่างต่อเนื่องกว่า 9 ปี โดยผลที่ได้พบว่านาอินทรีย์มีการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดีกว่านาเคมี ส่วนการจัดการน้ำไม่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินทั้งนาเคมีและนาอินทรีย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การประเมินบัญชีคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่ปลูกข้าว พบว่าทุกรูปแบบนามีการสะสมคาร์บอนพื้นที่ปลูกโดยที่นาอินทรีย์มีการสะสมคาร์บอนได้ดีกว่านาเคมี เนื่องจากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนจาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ แต่การจัดการน้ำมีผลต่อการสะสมคาร์บอนลดลงเฉพาะในนาเคมี

ข้อเสนอแนะ

1. การประเมินบัญชีคาร์บอนมีการเก็บตัวอย่างเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากระบบ ควรเพิ่มการศึกษาของปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มเติมเพื่อทำให้บัญชีคาร์บอนสมบูรณ์ขึ้น

2. งานศึกษานี้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงการปลูกข้าวนาปี จึงควรมีการศึกษาในช่วงนาปรังเกี่ยวกับการประเมินบัญชีคาร์บอนทั้งหมดและบัญชีคาร์บอนในดินของนาข้าวเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น** ครั้งที่พิมพ์ 10. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ และ สุเทพ ทองแพ. 2544. การใช้ตอซังข้าวปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินนา. **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี 2542-2543 โครงการวิจัยรหัส ด-ป3. 42**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลธิดา เชิญขุนทด. 2550. **การเก็บกักคาร์บอนเหนือดินในสวนป่ายูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า บริเวณสถานีวนวัฒนวิจัยสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนพงศ์ โพธิแท่น. 2541. การควบคุมก๊าซเรือนกระจกเพื่อสิ่งแวดล้อม, น. 1-21. *ใน* เอกสาประกอบการสัมมนา **การควบคุมก๊าซเรือนกระจกเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก.** (โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาการศาสตร์สิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

บุญหงษ์ จงคิด. 2549. **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พจนีย์ มอญเจริญ และ ทวีศักดิ์ เวียรศิลป์. 2541. **คาร์บอนในดินของประเทศไทย**. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ. 2538. **ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้.** คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัชรี แสนจันทร์, กัลป์ยกร โปร่งจันทึกและดวงสมร ตุลาพิทักษ์. 2551. การใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีการลดก๊าซมีเทน. **วารสารวิจัย มข.** 13 (1): ม.ค.-ก.พ. 2551.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. **เคมีดิน.** เชียงใหม่พิมพ์สวย, เชียงใหม่.

สำนักงานและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. **รายงานแห่งชาติฉบับที่ 2 การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย.** กรุงเทพฯ . 143น.

รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์. 2549. **ปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์.** สำนักพิมพ์ประสานมิตร, กรุงเทพฯ

เล็ก มอญเจริญ. 2550. มาตรการ 3.4 (Additional Human Induce) ในพิธีสารเกียวโตกับการกักเก็บคาร์บอนในดินเพื่อบรรเทาปัญหาโลกร้อน. **วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ** 22 (2): 44-51

วรรณวิสา ปานสมทรง. 2548. **การจัดการปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีเพื่อการผลิตข้าวโพดหวาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิไลลักษณ์ สมมุติ. 2544. **การปรับปรุงพันธุ์ข้าวขึ้นน้ำ.** ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สิริกานดา วัชราไทย. 2551. **การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุขประโชค เอื้อกฤษดาธิการ. 2549. ภัยธรรมชาติกับภาวะโลกร้อน. **วารสารสิ่งแวดล้อม** 10 (2): 32-40.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำเริง ปานอุทัย. 2550. **การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่ : กรณีศึกษา สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. **ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2553**

สถาบันวิจัยข้าว. 2547. **ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1**. ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร.

ศุภสุข ประดับสุข และ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. (ม.ป.ป.). ผลของการระบายน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากการปลูกข้าวนาสวน, น. 343-349. *ใน* **การประชุมวิชาการของมหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40 (สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม).** มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อนนท์ สุขสวัสดิ์. 2547. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินนา. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ

อนุรักษ์ วิไล. **ผลของระดับน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่มีการปลูกข้าวโดยวิธีหว่านน้ำตมและปักดำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรถชัย จินตะเวช. 2547. **การสะสมคาร์บอน**. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อัจฉรา ชุมวงศ์. 2551. **การจัดการน้ำเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทนและคุณภาพน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุทิศ กุฏอินทร์. 2542. **นิเวศวิยาพื้นฐานเพื่อการป่าไม้.** ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อำนาจ ชิดไธสง และ ณัฐพล ลิไชยกุล. 2548. การกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในดินป่าดิบแล้ง ดินป่าปลูก และดินทำการเกษตร, น. 95-105. *ใน* **รายงานการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต.** 4 -5 สิงหาคม 2548, โรงแรมมารวยการ์เด้น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

Bowden, R.D., K.M. Newkrik and G.M. Rullo. 1998. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. **Soil Biology Biochemistry** 30: 1591-1597.

Brown, S. 1997. **Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests**. FAO Forest Report. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nation.

Fang, X.J., Y.H. Li and M.Z. Zhang. 1996. Study on growing features of rice roots under water deficit irrigation conditions. **China Rural Water and Hydropower.** 8: 11-14.

Huang, S., W. Rui, X. Peng, Q. Huang and W. Zhang. 2010. Organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 86: 153-160.

Hutsch, B.W., 2001. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production – invited paper, European Journal of Agronom.14: 237-260.

IPCC. 2007. **Climate change 2007: The physical science basis; summary for policy makers**. report of working group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Available Source: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1- spm.pdf, March 17, 2011.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Iqbal, J., R. Hu, S. Lin, R. Hatano, M. Feng and L. Lu. 2009. CO2 emission in a subtropical red paddy soil (Ultisol) as affected by straw and N-fertilizer application: A case study in Southern China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 131: 292-302

Kogram, C. 2002. **Influence of Chicken manure on cassava yield and soil properties**, 723: 1-7. World Congress of soil science, 17th Thailand.

Koizumi, H. 2001. Carbon cycling in croplands, pp 207-226. *In* **M. Shiyomi and H. Koizumi,** eds. **Structure and function in agroecosystem design and management**. CRC Press, Boca Raton.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma** 123:1-22.

Ma, Z., C.W. Wood and D.I. Bransby. 2000. Carbon dynamics Subsequent to establishment of switchgrass. **Biomass and Bioenergy.** 18: 93-104.

Matsumoto, N., P. Kobkiet and H. Tomoyuki. 2002. Carbon sequestration in maize field with cow dung application and no-tillage cultivation in Northeast Thailand, pp. 1212-1-1212-8. *In* **17th World Congress of Soil Science 14-21 August 2002, Bangkok, Thailand.**

_____. 2008. Carbon balance in maize fields under cattle manure application and no-tillage cultivation in Northeast Thailand. **Soil Science Plant Nutrition** 54: 277-288.

Meyer, M.S. and D.B. Anderson. 1952. **Plant Physiology** D. Van Norstrand Company, inc., New York, U.S.A.

Mikkelsen, D.S., S.K. De Delta and W.N. Obcemea. 1978. Ammonia volatilization losses from flooded rice soils**. Soil Science Society of America** 42: 725-730**.**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

Minamikawa, K, N. Sakai and K. Yaki. 2006. Methane emission from paddy fields and its mitigation options on a field scale. **Microbes Environment** 21: 135-147.

Minamikawa, K and N. Sakai. 2007. Soil carbon budget in a single-cropping paddy field with rice straw application and water management based on soil redox potential. **Soil Science and Plant Nutrition** 53: 657-667.

Miyatya, A., R. Leuning, O.T.Denmead, J. Kim, and Y. Harazono. 2000. Carbon dioxide and methane fluxes from an intermittently flooded paddy field. **Agricultural and Forest Meteorology** 102: 287-303.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter, pp. 961-1010. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner**, eds. Method of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods**. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Schlesinger, W.H. 1991. **Biogeochemisty: an analysis of global change.** Academic Press. New York.

Seiichi N., S.Yonemura, S. Takuji and Y. Shirato. 2008. Effect of land use change from paddy rice cultivation to upland crop cultivation on soil ccarbon budget of a cropland in japan. **Agriculture Ecosystems & Environment** 125: 9-20.

Singh K.P., N. Ghohoal and S. Singh. 2009. Soil carbon dioxide flux, carbon sequestration and crop productivity in a tropical dryland agroecosytem: influence of organic inputs of varying resource quality. **Applied Soil Ecology** 42: 243-253.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Shangping, x., P.R. Jaffe and D.L. Mauzerall. 2007. A process- based model methane emission for from rice paddy system. **Ecomodel** 5: 475-491

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

Tsurata, K., Y. Ozaki, Y. Nakajima and H. Akiyama. 1998. Development of LCA method in agricultural systems: Impact assessment of rice paddy fields on atmosphere and aquatic environments, pp.209-212. **Proceedings on the third international conference on EcoBalance**. Tsukuba, Japan.

Zhang, W, Yu, Y-Q, Sun, W-J, Huang, Y. 2007. Simulation of soil organic carbon dynamics in Chinese rice paddies from 1980 to 2000. **Pedosphere** 17: 1-10.

Zheng, X., Mingxing, W., Yuesi, W., Renxing, S., Jing, L., Heyer, J., Koegge, M., Papen, H., Jisheng, J., and Laotu, L., (2000). Mitigation options for methane, nitrous oxide and nitric oxide emissions from agricultural ecosystems, **Advance in Atmospheric Sciences** 17(1): 84-92.

Zou, J., H. Yao, Z. Xunhua, W. Yuesi and C. Yuquan. 2004**.** Static opaque chamber-based technique for determination of net exchange of CO_2 between terrestrial ecosystem and atmosphere. **Chinese Science Bulletin** 49: 381-388.

Zucong, C. 2003. Options for mitigating methane mission from a permanently flooded rice field. **Global Change Biology** 9: 37-48.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ข้อจำกัดของความเป็นกรดเป็นด่างในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil reaction) (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

ระดับ		พิสัยความเป็นกรดเป็นด่าง (ดินต่อน้ำ = 1:1)
กรดจัดมาก	Extremely acid	<4.5
กรดจัด	Very strong acid	4.5-5.0
กรดแก่	Strongly acid	5.1-5.5
กรดปานกลาง	Moderately acid	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	Slightly acid	6.1-6.5
กลาง	Neutral	6.6-7.3
ด่างอ่อน	Mildly alkaline	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	Moderately alkaline	7.9-8.4
ด่างแก่	Strong alkaline	8.5-9.0
ด่างจัด	Extremely alkaline	>9.0

ตารางผนวกที่ 2 ข้อจำกัดของปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (organic matter) (% organic carbon x1.724) (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

ระดับ		พิสัย (กรัม กิโลกรัม$^{-1}$)
ต่ำมาก	(VL)	<5
ต่ำ	(L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	10-15
ปานกลาง	(M)	15-25
ค่อนข้างสูง	(MH)	25-35
สูง	(H)	35-45
สูงมาก	(VH)	>45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 ข้อจำกัดของปริมาณไนโตรเจนในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (total nitrogen) (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

ระดับ		พิสัย (กรัม กิโลกรัม$^{-1}$)
ต่ำมาก	(VL)	<0.25
ต่ำ	(L)	0.50-0.75
ปานกลาง	(M)	0.75-1.25
สูง	(H)	1.25-1.75
สูงมาก	(VH)	>2.25

ตารางผนวกที่ 4 ข้อจำกัดของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (available phosphorus) (BrayII) (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

ระดับ		พิสัย (กรัม กิโลกรัม$^{-1}$)
ต่ำมาก	(VL)	<3
ต่ำ	(L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	6-10
ปานกลาง	(M)	10-15
ค่อนข้างสูง	(MH)	15-25
สูง	(H)	25-45
สูงมาก	(VH)	>45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 ข้อจำกัดของปริมาณปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (available potassium) (NH_4OAc) (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

ระดับ (rating)		พิสัย (กรัม กิโลกรัม$^{-1}$)
ต่ำมาก	(VL)	<30
ต่ำ	(L)	30-60
ปานกลาง	(M)	60-90
สูง	(H)	90-120
สูงมาก	(VH)	>120

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 6 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย (มก.คาร์บอน ตร.ม.$^{-1}$ ชม$^{-1}$)

วันหลังปักดำ	รูปแบบนา			
	CC*	CW	OC	OW
7	58.01	138.84	103.57	150.78
11	96.21	89.137	188.64	188.48
20	63.47	43.917	135.34	171.82
28	103.45	115.27	111.79	112.63
36	46.69	131.44	126.47	155.39
41	185.48	162.75	100.3	70.71
48	156.95	138.53	114.16	128.8
55	142.45	111.96	153.44	113.1
62	153.86	155.81	191.9	184.17
70	125.20	100.93	106.02	120.75
71	82.95	122.69	107.44	158.43
73	139.38	143.53	162.65	109.34
75	135.48	170.55	139.93	172.24
79	138.92	88.782	58.388	104.79
83	174.40	164.9	68.491	111.73
90	91.60	107.2	93.089	110.58
97	96.69	46.921	346.12	234.64
103	72.51	30.017	432.48	500.08
111	115.16	115.75	262.84	246.13
131	355.23	333.04	286.97	273.3
139	290.72	243.64	201.73	200.01
150	254.48	212.68	107.45	76.708
161	231.74	163.15	257.78	291.74
180	239.88	235.63	277.5	250.74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินก่อนและหลังการปลูกข้าว (กรัม 100 กรัม$^{-1}$ ดิน)

รูปแบบนา	เดือนที่เก็บตัวอย่างดิน		
	ก.พ.-53	**ก.ค.-53**	**มี.ค.-54**
CC*	0.82	0.92	0.89
CW	0.82	0.88	0.67
OC	1.04	0.97	1.05
OW	1.04	1.02	1.08

หมายเหตุ *CC คือ นาเคมี (C) และไม่มีการจัดการน้ำ (control, C)
CW คือ นาเคมีทั่วไป (C) และมีการจัดการน้ำ (water management, W)
OC คือ นาอินทรีย์ (O) และไม่มีการจัดการน้ำ (control, C)
OW คือ นาอินทรีย์ (O) และมีการจัดการน้ำ (water management, W)

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนในผลผลิตของข้าวและวัชพืช

ส่วนต่างๆของข้าว	ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละ)
ราก	39
ตอซัง	39
ฟาง	39
ข้าวเต็ม	42
ข้าวลีบ	40
วัชพืช	35

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวธาริณี เผ่าสีหา
วัน เดือน ปี	23 มีนาคม 2530
สถานที่เกิด	ขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	วท.บ.วิทยาศาสตร์การเกษตร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์