



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร

สาขา

สายวิชา

เรื่อง ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ใช้ปลูกข้าวในการจัดการดินที่ต่างกัน

Carbon Stock in Rice Cultivated Soils with Different Soil Management

นามผู้วิจัย นายณัฐพล บัวจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์เกรือมาศ สัมกรการ, ประ.ด.)

รักษาราชการแทนหัวหน้าสายวิชา

(อาจารย์อานามย์ คำเนตร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสถิตี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ใช้ปลูกข้าวในการจัดการดินที่แตกต่างกัน

Carbon Stock in Rice Cultivated Soils with Different Soil Management

โดย

นายณัฐพล บัวจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฉัฐพล บัวจันทร์ 2557: ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ใช้ปลูกข้าวในการจัดการดินที่ต่างกัน ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สายวิชาวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: อาจารย์เครือมาศ สมัครการ, ประ.ค. 82 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวโน้มปริมาณคาร์บอนสะสม การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินที่มีการจัดการแตกต่างกัน โดยออกแบบการทดลองแบบ CRD เพาะปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในดินที่มีการจัดการดินแตกต่างกัน คือ 1) ชุดควบคุม 2) ดินใส่ฟางข้าวสับ 3) ดินใส่ฟางข้าวเผา และ 4) ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (คือ ดินที่มีการทำนาข้าวอินทรีย์มาแล้ว 2 ฤดูกาล) โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน เก็บข้อมูล วิเคราะห์ตัวอย่างดินเพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน รวมทั้งเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และมวลชีวภาพของพืชตลอดฤดูกาลเพาะปลูก

ผลการทดลองพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมในดินใส่ฟางข้าวสับ ดินใส่ฟางข้าวเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งมีค่า 30.66, 26.29 และ 37.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าในดำรับทดลองดินใส่ฟางข้าวเผา ข้าวมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดำรับทดลองอื่นๆ ส่วนผลผลิตข้าวพบว่าน้ำหนักเมล็ดของข้าวสูงที่สุด ตรวจวัดได้จากดินใส่ฟางข้าวเผาซึ่งพบว่าสูงกว่าชุดควบคุม 4.63 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามน้ำหนักผลผลิตตรวจวัดได้จากดำรับทดลองดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูงที่สุด ซึ่งสูงกว่าการเพาะปลูกข้าวในดำรับทดลองชุดควบคุม ดินใส่ฟางข้าวสับ และดินใส่ฟางข้าวเผา เท่ากับ 21.23, 10.22 และ 9.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าการเพาะปลูกข้าวในดินใส่ฟางข้าวสับ ดินใส่ฟางข้าวเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงกว่าดินชุดควบคุม จึงพบการสะสมคาร์บอนในดินและปริมาณผลผลิตสูงกว่าในดินชุดควบคุม

Nuttapon Buachan 2014: Carbon Stock in Rice Cultivated Soils with Different Soil Management. Master of Science (Environmental Science and Technology), Major Field: Environmental Science and Technology, Division of Science. Thesis Advisor: Ms. Kruamas Smakgahn, Ph.D. 82 pages.

This study aims to assess the carbon stock, rice growth and rice yield in different soil management. This experiment design by CRD. Suphanburi 1 rice variety was planted in pot experiments by with four treatments of soil preparation; 1) control (CL) (without rice straw or rice straw burning), 2) soil incorporated with dried rice straw (SDR), 3) soil incorporated with rice straw burning (SBR), and 4) soil with organic fertilizer (SOF). Air sampling was taken in order to analyze for soil carbon lost as methane and carbon dioxide emission. Soil properties were analyzed before and after growing period. The soil carbon stock was calculated based on net carbon content. Moreover, rice growth, rice yield and biomass were observed throughout the growing season.

The results of soil carbon stock from SDR, SBR, SOF treatments were higher than CL, with the percentages of 30.65, 26.29, and 37.12 percent, respectively. SBR treatment showed the highest growth rate of rice, when compared to other treatments. The highest rice grain weight per panicle observed from SBR treatment 4.58 percent, which was percent higher than CL. However, the SOF treatment showed highest weight of rice grain, which is 21.23, 10.22, and 9.67 percent higher than that rice cultivation in CL, SDR and SBR respectively. Based on this study, it can be concluded that rice cultivation in SDR, SBR and SOF showed the contents of soil organic matter, soil organic carbon, total carbon, C/N ratio, and total nitrogen were higher than CL, with carbon stock and rice yield also showed that those were higher than CL.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร. เครือมาศ สมักรการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ให้คำปรึกษาในด้านการเรียน การทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในภาคหน้า ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ในการวิเคราะห์ดิน

ท้ายที่สุดข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ อบรมสั่งสอนและให้โอกาสทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณนางสาววิไล เสาขงน้อย นางสาววิไลพร พรหมรักษา และนางสาวจิตรลดา โชคอำนวย ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ณัฐพล บัวจันทร์

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

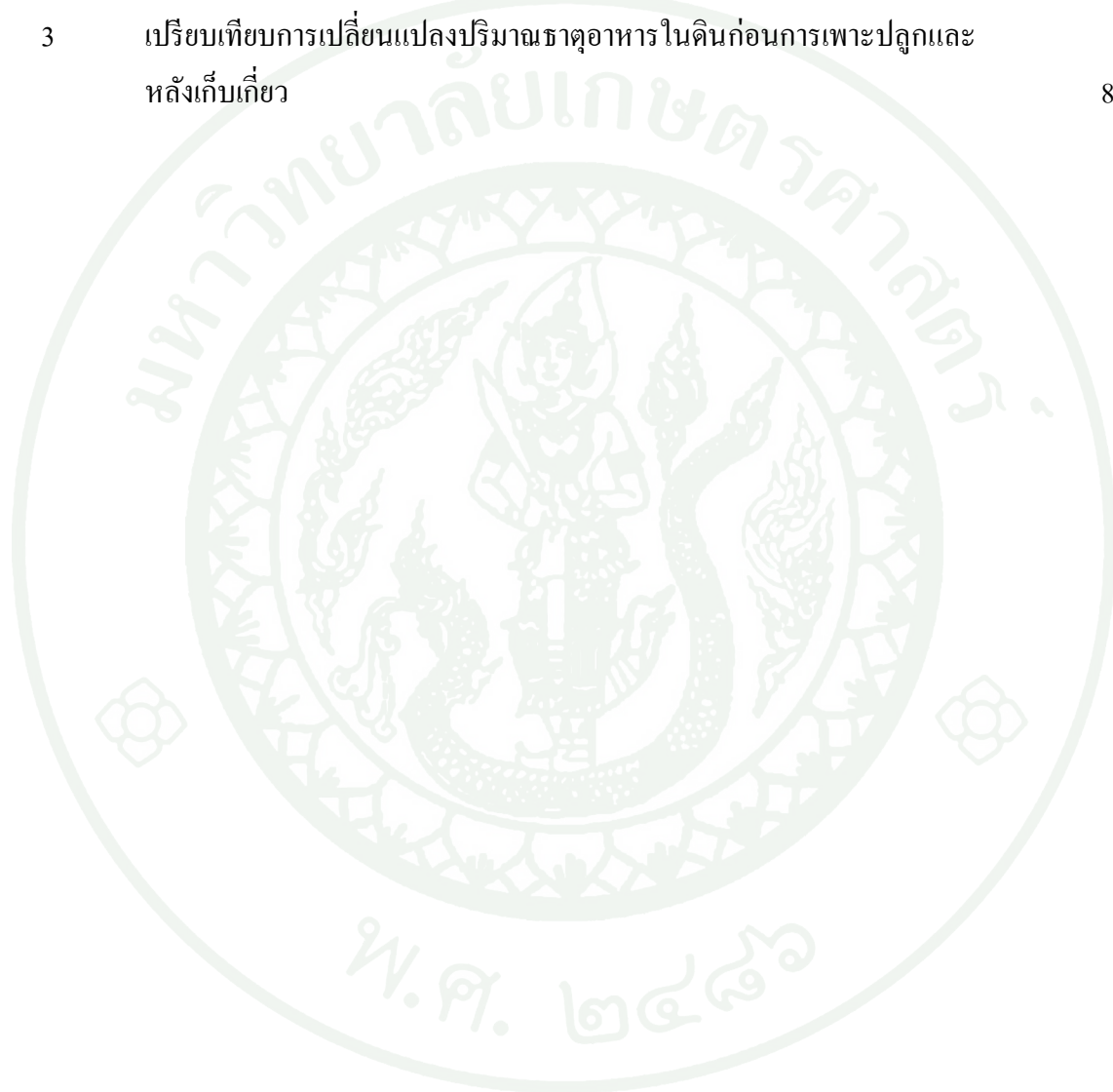
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	82

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1	14
2	ปริมาณตอซังและฟางข้าวในแต่ละภาคของประเทศไทย ปี 2553	17
3	คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าวจากสถานีทดลองข้าว 3 แห่งในประเทศไทย	19
4	คุณสมบัติดินและวิธีการวิเคราะห์	26
5	ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์	31
6	คุณสมบัติพืชและวิธีการวิเคราะห์	32
7	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว	43
8	ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดิน	52
9	การเจริญเติบโตของข้าว	57
10	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของต้นข้าว	59
11	ปริมาณผลผลิตของข้าว	62
12	ปริมาณธาตุอาหารในพืช	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการเพาะปลูก	79
2	ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการเพาะปลูก	80
3	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการเพาะปลูกและ หลังเก็บเกี่ยว	81



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปรากฏการณ์เรือนกระจก	4
2	ช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าว	13
3	การเตรียมขวดเก็บตัวอย่างอากาศ	35
4	การเก็บตัวอย่างอากาศ	35
5	แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดการเพาะปลูก	40
6	แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการเพาะปลูก	42
7	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดฤดูกาล เพาะปลูกจากดินต่างชนิดกัน	43
8	เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	45
9	เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน	46
10	เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน	47
11	เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน	48
12	เปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน	49
13	เปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูก	54
14	เปรียบเทียบจำนวนกอของข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูก	56

ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ใช้ปลูกข้าวในการจัดการดินที่ต่างกัน

Carbon Stock in Rice Cultivated Soils with Different Soil Management

คำนำ

การหมุนเวียนคาร์บอนเกิดขึ้นจากการที่พืชนำคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศไปใช้ในการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตจึงเก็บสะสมคาร์บอนไว้ในรูปชีวมวล เมื่อพืชเหล่านี้ตายลง เศษซากพืชจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินซึ่งบางส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น สารฮิวมัส จะสะสมอยู่ในรูปของอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) คาร์บอนบางส่วนถูกปล่อยกลับสู่ชั้นบรรยากาศโดยกระบวนการหายใจของพืชและจุลินทรีย์ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และบางส่วนถูกเก็บไว้ในดิน ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนในดินเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและยังสามารถลดการเกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากหากมีการกักเก็บคาร์บอนในดินปริมาณสูงก็จะมี การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบออกไปจากดินในปริมาณต่ำ การเพิ่มศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินด้วยวิธีการทางการเกษตรได้แก่ การปลูกพืชหมุนเวียน การไม่เผาตอซังข้าว การไถกลบตอซังข้าว การปลูกพืชคลุมดินและการทำเกษตรอินทรีย์ เป็นวิธีที่ถูกแนะนำให้เกษตรกรปฏิบัติในการทำเกษตรกรรมเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและลดมลพิษ (ทัศนีย์, 2552)

จากรายงานของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1 รายงานว่าพื้นที่ปลูกข้าว 1 ไร่ จะมีฟางและตอซังข้าวรวมกันเฉลี่ยไร่ละ 650 กิโลกรัม การเผาตอซังข้าวหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการปลูกข้าวในฤดูกาลต่อไปโดยไม่มีการควบคุมจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเผาทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อทรัพยากรดิน ทำให้จุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชถูกทำลาย โครงสร้างของดินเสื่อมโทรม ทำให้ดินจับตัวเป็นก้อนแข็งไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก ทำให้เกิดเขม่าควัน เถ้าและฝุ่นละอองซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและเป็นสาเหตุในการเกิดอุบัติเหตุจากหมอกควัน ซึ่งในทางตรงกันข้ามการไถกลบตอซังจะทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ง่ายต่อการเตรียมดิน การระบายอากาศของดินเพิ่มมากขึ้น เพิ่มการซึมผ่านของน้ำและการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น ทำให้ระบบรากพืชแข็งแรง เพิ่มกิจกรรมและปริมาณของจุลินทรีย์ส่งผลให้โรคพืชบางชนิดในดินลดลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552) และเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินอีกทางหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Luo *et al.*, 2010) ดังนั้นการไถกลบตอซังข้าวจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจที่สามารถปรับปรุงคุณภาพของดิน ลดมลพิษทางอากาศและลดการเกิดภาวะโลกร้อนได้อีกวิธีหนึ่ง

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ใช้ปลูกข้าวที่มีการจัดการดินแตกต่างกัน โดยเลือกปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ซึ่งเป็นข้าวที่ปลูกมากในพื้นที่ชลประทานภาคกลาง ใช้ชุดดินกำแพงแสนในการศึกษา โดยทำการศึกษาที่คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อเก็บข้อมูลเจริญเติบโต ผลผลิตมวลชีวภาพของข้าว และแนวโน้มปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่มีจัดการดินแตกต่างกัน กล่าวคือ ดินไถฟางเผา ดินไถฟางสับ และดินไถปุ๋ยอินทรีย์



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ใช้ปลูกข้าวที่มีการจัดการดินแตกต่างกัน
2. เพื่อประเมินปริมาณธาตุอาหารหลักที่สะสมในดินปลูกข้าวที่มีการจัดการดินแตกต่างกัน
3. เพื่อประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CH_4 และ CO_2) ในดินปลูกข้าวที่มีการจัดการดินแตกต่างกัน
4. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินที่มีการจัดการแตกต่างกัน

การตรวจเอกสาร

1. ปรากฏการณ์เรือนกระจก

โดยธรรมชาตินั้นดวงอาทิตย์ปล่อยรังสีความร้อนผ่านชั้นบรรยากาศลงมาสู่ผิวโลกแล้วรังสีส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับโดยพื้นผิวโลกทำให้บริเวณผิวโลกอบอุ่น ขณะที่รังสีความร้อนบางส่วนจะสะท้อนออกสู่อวกาศ ก๊าซที่สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จะดูดกลืนพลังงานความร้อนไม่ให้สะท้อนกลับไปในอวกาศ ซึ่งก๊าซดังกล่าวเรียกว่า ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) (วนิดา, 2551; กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547) และปรากฏการณ์ที่ชั้นบรรยากาศทำตัวเปรียบเสมือนกระจกห่อหุ้มโลกนี้เรียกว่าปรากฏการณ์เรือนกระจก (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ปรากฏการณ์เรือนกระจก

ที่มา: วีระศักดิ์ (2534)

ปรากฏการณ์เรือนกระจกที่มีอยู่โดยธรรมชาติมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก เนื่องจากจะทำให้อุณหภูมิของโลกเกิดความอบอุ่น เหมาะต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ พืช และสัตว์ แต่ภายหลังการปฏิวัติอุตสาหกรรมในปี ค.ศ. 1750-1850 กระบวนการผลิตสินค้า การคมนาคมขนส่ง และการขยายพื้นที่ทางการเกษตรของมนุษย์ ทำให้เกิดการสะสมของก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้นจนทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตของ มนุษย์ พืช และสัตว์ ทั้งโดยตรงและโดยทางอ้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

ก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซที่ทำให้ชั้นบรรยากาศของโลกมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547) ซึ่งชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วย ไอน้ำ และก๊าซต่างๆ หลายชนิด ก๊าซบางชนิดมีมากเกินไปจนสมดุลของชั้นบรรยากาศและสามารถสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานหลายร้อยปีแต่บางชนิดสะสมอยู่ได้ไม่นานก็สลายไป ดังนั้นจึงสามารถแบ่งก๊าซเรือนกระจกตามอายุการสะสมในชั้นบรรยากาศได้ 2 พวก คือ พวกที่มีอายุสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศไม่นาน เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับไอน้ำหรือก๊าซอื่นๆ จึงทำให้อายุสะสมเฉลี่ยสั้น ส่วนอีกพวกหนึ่ง คือ ก๊าซเรือนกระจกที่มีอายุสะสมเฉลี่ยนานหลายปี เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (วิฑูรย์, 2538; วนิดา, 2551)

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านเชื่อว่าเมื่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้นด้วย จากการศึกษาของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernment Panel on Climate Change: IPCC) พบว่าการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และรวมถึงกิจกรรมทางการเกษตรของมนุษย์ เป็นตัวเร่งให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญมากที่สุด ในสภาวะเรือนกระจก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลกระทบต่อทั้งในด้านสุขภาพ การเกษตรกรรม และความหลากหลายทางชีวภาพ เนื่องจากพื้นดินเป็นแหล่งสำคัญแหล่งใหญ่ที่ใช้ในการกักเก็บคาร์บอน (sink) การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในพื้นดินจึงเป็นวิธีการหนึ่งในการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ โดยการกักเก็บคาร์บอนของดินนั้นเป็นการกักเก็บไว้ในรูปของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การจัดการดิน เนื้อดิน อุณหภูมิ และพืชที่ปลูก เป็นต้น (Grant *et al.*, 2001) โดยคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นในดินส่วนใหญ่มาจากคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในพืช โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะถูกนำมาใช้ในการเจริญเติบโตผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เมื่อเศษซากพืชผ่านการย่อยสลายก็จะมีคาร์บอนส่วนหนึ่งตกค้างอยู่ในดินโดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นรูปที่สลายตัวได้ช้าลง อีกทั้งการเก็บกักคาร์บอนไว้ในดินยัง

เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินที่มีต้นทุนต่ำ (สุกกาญจน์, 2552) นำมาซึ่งประโยชน์มากมายทั้งในด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงทางด้านอาหาร

2. การหมุนเวียนคาร์บอนในดิน

คาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบหลักในสิ่งมีชีวิต โดยในธรรมชาติพืชและจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงวงจรคาร์บอน กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชจะเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาเก็บไว้ในรูปสารประกอบอินทรีย์ในส่วนต่างๆของพืช สิ่งมีชีวิตที่กินพืชเป็นอาหารจะได้รับคาร์บอนผ่านทางห่วงโซ่อาหารและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการหายใจ นอกจากนี้การย่อยสลายคาร์บอนในรูปสารประกอบอินทรีย์ในซากพืชซากสัตว์โดยจุลินทรีย์และการหายใจของดินทำให้คาร์บอนเข้าสู่วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) คาร์บอนบางส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะสะสมอยู่ในดิน ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ฮิวมัส สารประกอบคาร์บอนเนต และรวมถึงส่วนที่อยู่ในรูปของพลังงานฟอสซิล (สิริกันดา, 2551)

วัฏจักรคาร์บอนในนาข้าวเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศถูกพืชนำมาใช้ในการเจริญเติบโตผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง และเมื่อเศษซากพืชร่วงหล่นลงดินจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทำให้เกิดการหมุนเวียนคาร์บอนกลับลงไปในดิน บางส่วนจะถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนผ่านทางกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการหายใจของพืชและกระบวนการปลดปล่อยจากดินโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งนาข้าวนอกจากจะเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนแล้วยังเป็นแหล่งสะสมออกซิเจนที่สำคัญอีกด้วย เนื่องจากในนาข้าวจะมีแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายสีเขียวซึ่งจะเป็นตัวการสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลิตก๊าซออกซิเจน (ปัทมา, 2553)

พื้นที่ปลูกข้าวจะมีความแตกต่างจากการเพาะปลูกพืชชนิดอื่น เนื่องจากดินนาข้าวจะอยู่ในสภาพน้ำขัง ทำให้ปริมาณของก๊าซออกซิเจนในดินลดลงอย่างรวดเร็วและจะถูกใช้หมดไปภายใน 1 - 2 วัน โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่ใช้ก๊าซออกซิเจนในการเจริญเติบโต ส่วนการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ดินในสภาวะน้ำขังจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก เนื่องจากอัตราการแพร่ของก๊าซออกซิเจนผ่านชั้นของน้ำจะช้ากว่าอัตราการแพร่ในสภาวะที่ไม่มีน้ำขังถึงหมื่นเท่า (ธาริณี, 2555) ดังนั้นดินนาข้าวจึงถือว่าอยู่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ซึ่งจะทำให้กระบวนการทางเคมีและชีวเคมีแตกต่างอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีน้ำขัง (ไพบุลย์, 2546)

การกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration) เป็นกระบวนการในการถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากในบรรยากาศไปสะสมไว้ในดินซึ่งอยู่ในรูปของเศษซากพืช (crop residues) และอยู่ในรูปอื่นที่ไม่สามารถสลายตัวปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย การกักเก็บคาร์บอนไว้ในพื้นดินสามารถชะลอการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและกิจกรรมต่างๆ ที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้การกักเก็บคาร์บอนในดินยังช่วยส่งเสริมคุณภาพของดินให้ดีขึ้น อีกทั้งจะมีผลทำให้การเกษตรกรรมในระยะยาวได้รับผลผลิตดียิ่งขึ้น การกักเก็บคาร์บอนในดินสามารถดำเนินการได้โดยการจัดการดิน การเพิ่มเดิมชีวมวลจำนวนมากลงไปในดิน (นวรรณ์ และศิริช, 2550) คาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในดินจะสามารถเก็บไว้ได้นานและคงทนกว่าการกักเก็บไว้ในมวลชีวภาพของพืช เนื่องจากคาร์บอนในดินจะสลายตัวได้ช้ากว่า การประเมินโดยใช้ ^{14}C ซึ่งให้เห็นว่าคาร์บอนสามารถอยู่ในดินได้นานกว่า 6,000 ปี (พจน์ย์ และทวีศักดิ์, 2541) ดังนั้นการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ การกักเก็บคาร์บอนในดินยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีต้นทุนต่ำอีกด้วย (Lal, 2004)

3. การสูญเสียคาร์บอนในรูปก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

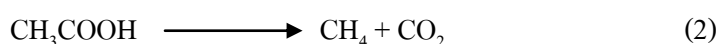
3.1 ก๊าซมีเทน

นาข้าวโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ มีน้ำท่วมขังอยู่ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกทำให้เกิดสภาวะขาดออกซิเจน ซึ่งจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนจากกิจกรรมการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ของ Methanogenic bacteria (Denier van der Gon, 1996) ซึ่งกระบวนการเกิดก๊าซมีเทนสามารถเกิดได้ 2 กระบวนการ คือ เกิดจากปฏิกิริยา Reduction ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระบวนการหมักของ Acetate (สุบัญญัติ, 2549) ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2

สมการที่ 1 การเกิด CH_4 จากปฏิกิริยา Reduction CO_2



สมการที่ 2 กระบวนการหมักของ Acetate



3.1.1 การเคลื่อนย้ายก๊าซมีเทนจากดินสู่บรรยากาศมี 3 ทาง (Denier van der Gon, 1996; สุบันจิต, 2549) คือ

ก) เคลื่อนที่ผ่านทางต้นข้าว

การหมุนเวียนอากาศผ่านทางเนื้อเยื่อพืชที่อยู่ในน้ำเริ่มจากรากไปตามเนื้อเยื่อพืชบริเวณลำต้นและใบ แล้วจึงแพร่กระจายออกสู่บรรยากาศ โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่ผ่านทางต้นข้าวคิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวทั้งหมด

ข) การผุดขึ้นมาจากดินใต้

ก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นในรูปฟองอากาศ (bubble) ลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำ ซึ่งเป็นกลไกที่ทำให้ก๊าซมีเทนแพร่กระจายไปสู่อากาศคิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวทั้งหมด

ค) การแพร่กระจาย

การเคลื่อนย้ายของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่ผิวน้ำหรือปริมาณก๊าซมีเทนที่ผ่านขึ้นไปถึงผิวน้ำและความเร็วลมในขณะนั้น ซึ่งการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนวิธีนี้จะคิดเป็น 2 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวทั้งหมด

3.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

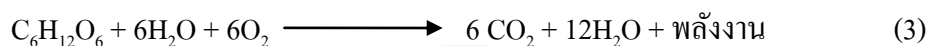
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปลดปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศได้หลายทาง ได้แก่ การปลดปล่อยออกมาจากพืช ปลดปล่อยออกมาจากดิน และปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการ CH_4 oxidation โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีกระบวนการ ดังนี้

3.2.1 การปลดปล่อยออกมาจากพืช

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากพืชเป็นปฏิกิริยาการปล่อยพลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเรียกว่า การหายใจ (respiration) ซึ่งการหายใจเป็นกระบวนการผันกลับของการสังเคราะห์แสง โดยมีการดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้มากกว่าที่คายออกมาจากการหายใจหลายเท่า

กระบวนการหายใจจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ดังสมการที่ 3 (สมบุญ, 2548)

สมการที่ 3 กระบวนการหายใจของพืช



การหายใจเป็นกระบวนการออกซิไดส์สารอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโต การหายใจเป็นปฏิกิริยาแคตาบอลิซึมซึ่งเป็นกระบวนการที่ย่อยสลายสารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก พร้อมทั้งได้พลังงานเพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ (สมบุญ, 2548) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้อัตราการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเท่ากับอัตราการคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากกระบวนการหายใจเรียกว่า Carbon dioxide compensation concentration การหายใจและการหมักของเฮเทโรโทรฟปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศก่อให้เกิดความสมบูรณ์ของวัฏจักรคาร์บอน (ดวงพร, 2545)

3.2.2 การปลดปล่อยออกมาจากดิน

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินจะขึ้นอยู่กับความชื้น โครงสร้าง อุณหภูมิ แร่ธาตุในดิน กิจกรรมทางชีววิทยา เช่น ระบบรากพืช ไส้เดือน ซากพืชซากสัตว์ ซึ่งจะถูกย่อยสลายโดยการกระทำของแบคทีเรียและเชื้อรา (อุทิศ, 2542) ในบริเวณที่มีปริมาณธาตุอาหารมากจะพบแบคทีเรียและเชื้อรามากตามไปด้วย (วีรานูช, 2551) การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ Extracellular polysaccharides ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น นอกจากนี้การจัดการน้ำ ปริมาณน้ำฝน ระบบการใช้ที่ดิน จะมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดจากช่องว่างเล็กๆ จากดินแล้วจะปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ (Robert, 1995)

3.2.3 ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการ CH_4 oxidation

กระบวนการ CH_4 oxidation เป็นกระบวนการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogenic bacteria ซึ่งกระบวนการ CH_4 oxidation ที่สมบูรณ์จะ

ได้ผลผลิต คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงาน ดังแสดงในสมการที่ 4 (Kirk, 2004)
สมการที่ 4 กระบวนการ CH_4 oxidation



4. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียคาร์บอนในรูปก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

4.1 อุณหภูมิดิน

อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีความสำคัญต่อความสามารถในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ (สมศักดิ์, 2529) ซึ่งอุณหภูมิของดินจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดและการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยในสภาพดินที่มีน้ำท่วมขังและมีอุณหภูมิสูงจะมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูง ในขณะที่ดินที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีการเกิดก๊าซมีเทนน้อยกว่าดินที่มีน้ำท่วมขังอุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเกิดก๊าซมีเทน คือ 25 - 30 องศาเซลเซียส และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Dunfield *et al.*, 1993)

4.2 ค่าปฏิกิริยาดิน

จุลินทรีย์พวกที่ผลิตก๊าซมีเทนเป็นพวกที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่วนมากจะเจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6-8 แต่ค่าที่เหมาะสม คือ 7 (Alexander, 1977) ถึงแม้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่พบว่ายังมีการผลิตก๊าซมีเทนในสภาพแวดล้อมที่เป็นดินพรุที่เกิดจากการสะสมของพีช แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนสามารถปรับตัวให้เข้ากับพื้นที่ที่มีสภาพเป็นกรดได้ (Moor and Knowles, 1990)

4.3 สภาพขาดออกซิเจนในดิน

ค่า Redox potential (Eh) เป็นค่าที่ได้จากการวัดความสามารถในการให้อิเล็กตรอน (oxidation) หรือรับอิเล็กตรอน (reduction) ของดิน ซึ่งถ้ารีดอกซ์โพเทนเชียลมีค่าสูงแสดงว่ามีปฏิกิริยาออกซิเดชันในดินเกิดขึ้นมาก มีการให้และรับออกซิเจนได้สูงกว่าดินที่มีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลต่ำ เนื่องจากก๊าซมีเทนจะเกิดในสภาพที่ไม่มีอากาศอย่างรุนแรงเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขัง ดังนั้นดินนาจะมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลต่ำ โดยดินจะค่อยๆขาดออกซิเจนเนื่องจากออกซิเจนที่อยู่ในน้ำจะถูกใช้ในการรับอิเล็กตรอนหมดไปเป็นตัวแรกต่อจากนั้นจุลินทรีย์จะใช้ตัวอื่นๆ ไปตามลำดับ คือ NO_3^- , Mn^{+4} , Fe^{+3} ,

SO_4^{2-} และ CO_2 (Patrick *et al.*, 1977) ซึ่งตัวรับอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะถูกรีดิวซ์ที่ค่า Eh ต่างกัน ซึ่งค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเมทาโนจิโนแบคทีเรียจะเริ่มที่ -150 มิลลิโวลต์ โดยค่าการปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลของดินจะมีค่าลดลง (สายพิน, 2546; Lindau *et al.*, 1991)

4.4 อาหารของจุลินทรีย์

ชนิดของสารที่ให้พลังงานแก่จุลินทรีย์กลุ่มสร้างก๊าซมีเทนมีอยู่ค่อนข้างจำกัด ได้แก่ พวกรีดิวซ์อินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฟอรัมเมต เมทานอล แอซิเตต เอมีน (สมศักดิ์, 2529; Oremland, 1988) ดังนั้นชั้นดินที่มีการย่อยอินทรีย์วัตถุได้เร็วซึ่งได้แก่ดินชั้นบนจะเป็นดินที่เกิดปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน เนื่องจากในดินชั้นบนมีแหล่งคาร์บอนของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทนรวมทั้งในดินทั่วไปมักจะไม่มีตัวรับอิเล็กตรอนอื่นๆ มากนัก (William and Crawford, 1984) อีกทั้งอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะลดลงในชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปตามลำดับ (Bachoon and Jones, 1992) เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในดินจะลดลงเมื่อดินมีระดับความลึกเพิ่มขึ้น

5. ข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (Annual grass) ถูกจัดอยู่ในสกุลออไรซา (*Oryza*) ของวงศ์แกรมินี (Gramineae) สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น จำนวนชนิดทั้งหมดที่พบในสกุลออไรซามีทั้งหมด 20 ชนิด (บุญหงษ์, 2547) ข้าวเป็นอาหารให้คนเกือบ 4 พันล้านคนในโลก เป็นธัญพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ และเป็นแหล่งสำคัญของพลังงานอาหาร ทำหน้าที่สำคัญในการให้วิตามินและเกลือแร่หลายชนิด และมีปริมาณของโปรตีนในอาหารที่ดี (Chaudhary and Tran, 2001) ข้าว 2 ชนิดที่เป็นธัญพืชสำคัญของโภชนาการมนุษย์ คือ *Oryza sativa* มีปลูกทั่วโลกมีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนชื้นของเอเชียใต้และตะวันออกเฉียงใต้ และ *Oryza glaberrima* ปลูกเฉพาะในส่วนของแอฟริกาตะวันตก มีถิ่นกำเนิดอยู่ในลุ่มน้ำไนเจอร์ในแอฟริกา นอกจากนั้นแล้วยังมีอีกกลุ่มที่พบ คือ ข้าวป่า ซึ่งกำเนิดขึ้นเองในธรรมชาติในประเทศต่างๆ ของทุกทวีปที่มีการปลูกข้าว (บุญหงษ์, 2547; Chaudhary and Tran, 2001)

ข้าว *Oryza sativa* แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ 1) อินดิกา (Indica) ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดยาวเรียวยาวเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน พบใน อินโดนีเซีย และไทย เป็นต้น 2) จาโปนิกา (Japonica) เป็นข้าวเมล็ดสั้นป้อม มีเปอร์เซ็นต์อะไมโลสต่ำ พบใน ญี่ปุ่น และเกาหลี เป็นต้น และ 3) จาวานิกา (Javanica) เป็นข้าวต้นสูง

เมล็ดใหญ่ป้อม เป็นข้าวที่ส่วนใหญ่ปลูกในประเทศอินโดนีเซียเท่านั้น (ประภาส; 2531; บุญหงษ์, 2547)

5.1 ช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าวแบ่งออกเป็น 3 ระยะ (สถาบันวิจัยข้าว, 2529; อรรถวุฒิ, 2530; ชาญ, 2536) คือ ระยะการเติบโตทางลำต้น ระยะการเติบโตช่วงสืบพันธุ์และระยะการเติบโตช่วงเมล็ดแก่ (ภาพที่ 2) รายละเอียดของการเติบโตแต่ละช่วงมีดังนี้

5.1.1 ช่วงการเติบโตทางลำต้น (Vegetative phase) แบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะกล้า (Seedling stage) มีอายุประมาณ 20 - 30 วัน ข้าวจะมีใบ 5 - 6 ใบ และระยะแตกกอ (Tillering stage) เริ่มนับจากวันที่ข้าวเริ่มแตกกอจนข้าวแตกกอเต็มที่จนกระทั่งข้าวเริ่มสร้างดอกอ่อนเป็นอันสิ้นสุดในการเติบโต ในระยะนี้มีอายุประมาณ 45 - 60 วัน

5.1.2 ช่วงการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ (Reproductive phase) แบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะสร้างช่อดอก (Panicle initiation) เมื่อข้าวแตกกอเต็มที่แล้วข้าวก็จะเริ่มยืดต้นสูงขึ้น โดยเปลี่ยนลักษณะจากต้นแบนเป็นต้นกลมและข้าวจะสร้างจุดกำเนิดช่อดอก (Primordium of panicle) ต่อจากนั้นข้าวก็จะสร้างช่อดอก โดยมีก้านดอกประกอบด้วยดอกเล็กๆ และระยะออกรวง (Heading stage) เป็นระยะตั้งแต่ข้าวเริ่มตั้งท้อง (Booting stage) ไปจนถึงระยะที่ข้าวออกดอก และการผสมพันธุ์ (Flowering and fertilization stage) ระยะนี้เป็นระยะที่ข้าวเริ่มมีตาดอกเกิดขึ้นที่ยอดอ่อน (Ear primordia) และในขณะเดียวกันความสูงและน้ำหนักของต้น (Straw weight) ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใช้เวลาประมาณ 30 วัน

5.1.3 ช่วงการเจริญของเมล็ด (Ripening phase) ระยะนี้ไม่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นซึ่งความสูงของต้นข้าวจะหยุด น้ำหนักของต้นข้าวจะเริ่มลดลง ส่วนน้ำหนักของรวงข้าวจะสูงขึ้น น้ำหนักของต้นข้าวที่ลดลงส่วนใหญ่จะไปเสริมให้แก่การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของรวงข้าว การเติบโตในช่วงนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะน้ำนม (Milk stage) ใช้เวลาประมาณ 8 - 13 วัน หลังข้าวออกดอก ระยะเมล็ดข้าวเริ่มแข็ง (Drought stage) ใช้เวลาประมาณ 14 - 21 วัน หลังข้าวออกดอก และระยะเมล็ดแก่ (Mature grain stage) ใช้เวลาประมาณ 10 - 15 วัน หลังข้าวออกดอก



ภาพที่ 2 ช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าว

ที่มา: เอกสงวน (2544)

6. พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษา

ข้าวสุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ข้าวนาสวน ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 120 - 125 วัน ปลูกได้ทั้งนาปี และนาปรัง ต้นสูงประมาณ 125 เซนติเมตร ทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้ม ใบสีเขียวเข้มมีขน กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาวค่อนข้างตั้งตรง คอรวงยาวค่อนข้างแน่น ไร่แก่ค่อนข้างถี่ เปลือกเมล็ดและกลีบรองดอกสีฟาง เมล็ดข้าวเปลือกเฉลี่ย กว้าง x ยาว x หยา เท่ากับ 10.1 x 2.5 x 2 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้องสีขาวยาวเฉลี่ย กว้าง x ยาว x หยา เท่ากับ 7.3 x 2.2 x 1.8 มิลลิเมตร มีท้องไข่น้อยและระยะพักตัวของเมล็ด 22 วัน

ข้าวสุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ข้าวที่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคไหม้ เพลี้ยกระโดดหลังขาวดีกว่าข้าวเจ้าสุพรรณบุรี 90 ต้านทานโรคใบหงิก โรคใบสีส้ม และโรคขอบใบแห้ง ตอบสนองต่อปุ๋ยดี ข้อเสียคือ ไม่ต้านทานโรคใบขีดน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง ให้ผลผลิตสูง เฉลี่ย 806 กิโลกรัมต่อไร่ (สถาบันวิจัยข้าว, 2544)

ตารางที่ 1 ลักษณะของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

พันธุ์		สุพรรณบุรี 1
ชนิด		ข้าวเจ้าไม่ไวแสง
ข้อมูล เมล็ดข้าว	อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ (วัน)	120-125
	ระยะพักตัวของเมล็ด (สัปดาห์)	3-4
	สีเปลือก	สีฟาง
	ความยาว (ม.ม.)	7.3
	ข้าวกล้อง รุปร่าง	เรียวยาว
	ข้าวสุก	ร่วนแข็ง
	อมีโลส (เปอร์เซ็นต์)	29
	ความสูง (ซ.ม.)	125
	ผลผลิตโดยประมาณ (กก.ต่อไร่)	806
	ลักษณะสำคัญ	ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคไหม้ เพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคใบหงิก โรคใบสีส้ม และโรคขอบใบแห้ง
ปีที่ออกขายพันธุ์ (พ.ศ.)		2537

ที่มา: สถาบันวิจัยข้าว (2544)

7. ฟางข้าว

ข้าวเป็นพืชอาหารหลักที่สำคัญของประชากรโลก และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยใน พ.ศ. 2553 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 72.62 ล้านไร่ คิดเป็น 22.6 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งประเทศ (รัชนิ, 2554) การเพาะปลูกข้าวของเกษตรกรจะมีตอซังและฟางข้าวตกค้างอยู่ในนาข้าวเป็นผลพลอยได้หลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งฟางข้าวส่วนใหญ่จะเป็นส่วนของลำต้นและใบแห้งของข้าว ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินให้ดีขึ้น โดยในพื้นที่ปลูกข้าว 1 ไร่จะมีปริมาณตอซังและฟางข้าวเฉลี่ย 650 กิโลกรัม (Man and Ha 2006) พบว่าการไถกลบตอซังและฟางข้าวที่เหลืออยู่ในนาส่งผลให้ปริมาณของจุลินทรีย์ดินเพิ่มขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์เป็นตัวชี้วัดถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยเฉพาะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน (เครือมาศ, 2554) พบว่าดินที่ใส่ฟางข้าวมีแนวโน้มช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและมีประโยชน์ต่อการเพิ่มธาตุอาหารซึ่ง

เกิดจากการสลายตัวของฟางข้าว นอกจากนี้ฟางข้าวยังทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง

7.1 สถานการณ์ต่อซังและฟางข้าว

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1 คำนวณสัดส่วนต่อซังและฟางข้าว ในปี 2553 พบว่าพื้นที่นาข้าวในประเทศไทยมีพื้นที่ 72.62 ล้านไร่ จะมีฟางข้าวเฉลี่ยประมาณปีละ 28.32 ล้านตัน และมีต่อซังข้าวประมาณ 18.88 ล้านตัน จะมีต่อซังและฟางข้าวรวมเท่ากับ 47.62 ล้านตัน โดยพบว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณต่อซังและฟางข้าวมากที่สุด คือ 23.25 ล้านตันต่อปี รองลงมาคือภาคเหนือและภาคกลางมีจำนวนต่อซังและฟางข้าว 11.94 และ 10.34 ล้านตันต่อปี ตามลำดับ ส่วนภาคใต้จะมีต่อซังและฟางข้าวน้อยที่สุด คือ 2.09 ล้านตันต่อปี (ตารางที่ 2) การเผาต่อซังข้าวจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ผุนละออง และเขม่าควัน ส่งผลเสียต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ซึ่งหากต่อซังและฟางข้าวจำนวน 47.62 ล้านตัน ถูกเผาไหม้จะก่อให้เกิดฝุ่นละอองประมาณ 95,240 - 666,680 ตัน ออกสู่บรรยากาศ (รัชนี้, 2554)

7.2 การไถกลบต่อซังข้าว

การไถกลบต่อซังข้าวมีจุดประสงค์เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากต่อซังและฟางข้าว โดยวิธีนี้เกษตรกรจะทิ้งต่อซังและฟางข้าวไว้ในนาข้าวเพื่อเป็นการรักษาผิวหน้าดิน หลังจากนั้นเมื่อเข้าสู่การทำนารอบใหม่ เกษตรกรจะทำการเตรียมดินโดยการไถกลบต่อซังและฟางข้าวที่มีอยู่ในนาหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตและจะปล่อยทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการย่อยสลายกลายเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชให้กับดิน (อินแปง, 2553) นอกจากนี้การไถกลบต่อซังข้าวยังทำให้เกษตรกรลดต้นทุนในการผลิตได้อีกทางหนึ่ง

7.2.1 ประโยชน์จากการไถกลบต่อซังข้าว

ก) ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

การไถกลบต่อซังข้าวจะทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย เนื่องจากอินทรีย์วัตถุที่ได้จากการย่อยสลายของฟางข้าวจะเข้าไปแทรกอยู่ตามช่องว่างของดินไว้ ทำให้เกิดโครงสร้างของดินที่สามารถดูดซับน้ำได้ ซึ่งง่ายต่อการเตรียมดิน การปักดำ และทำให้รากพืชเจริญเติบโตแพร่กระจายในดินได้มากขึ้น ดินมีการระบายอากาศมากขึ้น การซึมผ่านของน้ำ และการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ข) ปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน

การไถกลบตอซังข้าวเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินโดยตรง ฟางข้าวจะมีธาตุอาหารครบถ้วนตามที่พืชต้องการทั้งธาตุอาหารหลัก (อินแปง, 2553) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน รวมทั้งจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน และคลอรีน ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาว นอกจากนี้ยังช่วยลดธาตุอาหารจากการใส่ปุ๋ยเคมีไม่ให้สูญเสียไปจากดิน ช่วยเพิ่มความต้านทานจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินทำให้การเปลี่ยนแปลงไม่รวดเร็วจนเกิดอันตรายต่อพืช ซึ่งเป็นวิธีที่เพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการผลิตพืช (รัชนิ, 2554)

ค) ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน

ฟางข้าวช่วยทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น อินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นจะเป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ในดินทำให้ปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อีกทั้งการเพิ่มปริมาณหรือจำนวนของจุลินทรีย์ดินยังมีผลต่อการช่วยลดปริมาณเชื้อโรคพืชบางชนิดในดินให้น้อยลง (รัชนิ, 2554)

ตารางที่ 2 ปริมาณต่อซังและฟางข้าวในแต่ละภาคของประเทศไทย ปี 2553

ภาค	พื้นที่ปลูกข้าว (ล้านไร่)	ข้าวนาปี		ข้าวนาปรัง		ต่อซัง (ล้านตัน)	ฟางข้าว (ล้านตัน)	รวม (ล้านตัน)
		ต่อซัง	ฟางข้าว	ต่อซัง	ฟางข้าว			
เหนือ	18.37	3.29	4.93	1.49	2.23	4.78	7.16	11.94
ตะวันออกเฉียงเหนือ	35.76	8.51	12.77	0.79	1.18	9.30	13.95	23.25
กลาง	15.92	2.54	3.81	1.60	2.39	4.14	6.20	10.34
ใต้	2.22	0.49	1.38	0.09	0.13	0.58	1.51	2.09
รวม	72.62	14.83	22.89	3.97	5.93	18.80	28.82	47.62

ที่มา: ราชันี (2554)

7.3 การเผาต่อซังข้าว

เนื่องจากต่อซังข้าวเป็นอุปสรรคต่อการไถพรวน ฟางข้าวจะทำให้รถไถติดขัดขณะที่ไถ กลบฟางข้าวที่มีเป็นจำนวนมากในพื้นที่ ด้วยเหตุนี้เกษตรกรบางส่วนจึงเลือกที่จะเผาฟางข้าวทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวเพราะเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วงที่ข้าวมีราคาสูงเกษตรกรจะเร่งรีบเพื่อที่จะเผาปลูกข้าวได้หลายรอบ นอกจากนี้เกษตรกรบางส่วนยังมีความเชื่อว่าการไถกลบต่อซังข้าวลงดินจะทำให้ข้าวมาต่อซัง และเกษตรกรบางส่วนยังเชื่อว่าการเผาฟางข้าวจะเป็นประโยชน์ต่อต้นข้าวเนื่องจากการเผาฟางข้าวจะเป็นการเปลี่ยนฟอสฟอรัสให้เป็นโพแทสเซียม (รัชนี, 2554)

7.3.1 ข้อเสียจากการเผาต่อซังข้าว

ก) ทรัพยากรดินเสื่อมโทรม

การเผาต่อซังข้าวส่งผลกระทบต่อการทำลายโครงสร้างของดิน ทำให้ดินจับตัวกันแน่น และเป็นก้อนแข็ง ทำให้เกิดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดินจากความร้อนที่เกิดจากการเผา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) นอกจากนี้การเผาต่อซังข้าวยังทำให้จุลินทรีย์และแมลงที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงอีกด้วย

ข) ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ

การเผาฟางข้าวทำให้เกิดฝุ่นละออง เถ้าเเขม่า และก๊าซหลายชนิดที่ก่อให้เกิดมลพิษและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจ และยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดอุบัติเหตุบนถนน เนื่องจากเกิดควันไฟบดบังทัศนวิสัยบริเวณส่วนพื้นที่การคมนาคมอย่างมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ค) เพิ่มต้นทุนในการผลิต

การเผาฟางข้าวทำให้สูญเสียธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองทั้ง ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ ทำให้เกษตรกรต้องเพิ่มต้นทุนในการซื้อปุ๋ยเคมี นอกจากนี้การเกิดโรคและแมลงซึ่งจะทำให้ผลผลิตเสียหายเกษตรกรจึงต้องใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น (รัชนี, 2554)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าวจากสถานีทดลองข้าว 3 แห่งในประเทศไทย

สถานีทดลอง	pH	C (percent)	N (percent)	C/N (percent)	P ₂ O ₅ (percent)	K ₂ O (percent)	Ca (percent)	Mg (percent)
รังสิต	6.4	23.1	1.8	14	0.8	1.0	0.1	0.5
สุรินทร์	8.5	23.5	2.1	13	0.9	1.3	0.3	2.7
พิษณุโลก	7.9	26.8	1.9	11	1.8	1.3	2.7	0.3

ที่มา: คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2541)

8. ผลงานวิจัยที่มีมาก่อน

8.1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

Towprayoon *et al.* (2005) ศึกษาการปลดปล่อยมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการระบายน้ำในนาข้าว โดยศึกษาระบบการระบายน้ำ 4 ระบบ คือ 1). สภาพน้ำท่วมขังตลอดฤดูกาลเพาะปลูก 2). การระบายน้ำช่วงกลางฤดูกาลเพาะปลูก 3). การระบายน้ำหลายๆครั้งในฤดูกาลเพาะปลูก และ 4). การระบายน้ำตามวิธีดั้งเดิมของเกษตรกร จากผลการทดลองพบว่า การระบายน้ำหลายๆครั้งในฤดูกาลเพาะปลูกทำให้มีการปลดปล่อยมีเทนออกมาน้อยที่สุดคือ 78.25 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และในสภาพน้ำท่วมขังตลอดฤดูกาลเพาะปลูกจะมีการปลดปล่อยมีเทนออกมามากที่สุดคือ 127.75 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ส่วนการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์พบว่าการระบายน้ำตามวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรทำให้มีการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ออกมาน้อยที่สุด คือ 0.18 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และการระบายน้ำช่วงกลางฤดูกาลเพาะปลูกจะมีการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ออกมามากที่สุด คือ 0.26 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ด้านผลผลิตพบว่า การระบายน้ำตามวิธีดั้งเดิมของเกษตรกรให้ผลผลิตมากกว่าสภาพน้ำท่วมขังตลอดฤดูกาลเพาะปลูก มากกว่าการระบายน้ำช่วงกลางฤดูกาลเพาะปลูก และมากกว่าการระบายน้ำหลายๆครั้งในฤดูกาลเพาะปลูก ตามลำดับ จากการศึกษาแนวโน้มการปลดปล่อยมีเทนพบว่าการระบายน้ำหลายๆครั้งในฤดูกาลเพาะปลูกจะลดการปลดปล่อยมีเทนออกมามากที่สุด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการระบายน้ำออกจากนาข้าวสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้แต่จะทำให้ผลผลิตข้าวลดลง

Zhang *at al.* (2010) ศึกษาผลกระทบจากการใช้ Biochar ต่อผลผลิตข้าว การปลดปล่อยมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากนาข้าว โดยศึกษาการใช้ Biochar ในปริมาณ 10 และ 40 ตันต่อเฮกแตร์ และศึกษาการปลดปล่อยมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากนาข้าวออกสู่บรรยากาศ โดยเปรียบเทียบทั้งในพื้นที่ที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจน โดยทำการเพาะปลูกข้าวในนาที่มีการให้น้ำปกติ ซึ่งจะทำให้การเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อตรวจวัดก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกโดยการใช้ Chamber เก็บตัวอย่างในทุกๆ 10 วัน ผลจากการปรับปรุงดินโดยใช้ Biochar 10 และ 40 ตันต่อเฮกแตร์ พบว่าผลผลิตข้าวในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้น 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตข้าวในดินที่ใส่ปุ๋ยในโตรเจนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น 8.8 และ 12.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การปลดปล่อยมีเทนจากดินที่ผสม Biochar 40 ตันต่อเฮกแตร์ พบว่ามีการปลดปล่อยมีเทนเพิ่มขึ้น 34 เปอร์เซ็นต์ แต่มีการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ลดลง 40 - 51 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ผสม Biochar ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงดินโดยใช้ Biochar ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นและทำให้การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์จากดินลดลงแต่จะมีการปลดปล่อยมีเทนเพิ่มมากขึ้น

Sainju *at al.* (2006) ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ได้รับอิทธิพลจากการชลประทาน การไถพรวน ระบบการเพาะปลูกพืช และการให้ปุ๋ยในโตรเจน โดยมีการศึกษาระบบการชลประทาน (พื้นที่ที่มีระบบการชลประทานเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีระบบชลประทาน) และมีการปลูกพืช 6 ชนิด เพื่อทำการศึกษเปรียบเทียบ ดังนี้ 1). ปลูกข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare* L.) โดยไม่มีการไถ มีการใส่ปุ๋ยในโตรเจนในปริมาณ 67 หรือ 134 กิโลกรัมในโตรเจนต่อเฮกแตร์ (NTBFN), 2). ปลูกข้าวบาร์เลย์ โดยไม่มีการไถและไม่ใช้ปุ๋ยในโตรเจน (NTBON), 3). ปลูกข้าวบาร์เลย์ โดยมีการไถแบบธรรมดาและมีการใช้ปุ๋ยในโตรเจนในปริมาณ 67 หรือ 134 กิโลกรัมในโตรเจนต่อเฮกแตร์ (CTBFN), 4). ปลูกข้าวบาร์เลย์ โดยมีการไถแบบธรรมดาแต่ไม่ใช้ปุ๋ยในโตรเจน (CTBON), 5). ปลูกถั่ว (*Pisum sativum* L.) โดยไม่มีการไถ ไม่มีการใช้ปุ๋ยในโตรเจน (NTPON), และ 6). บริเวณที่เพาะปลูก Alfalfa (*Medicago sativum* L.) และบริเวณที่มีหญ้าโดยทั่วไปและไม่ใช้ปุ๋ยในโตรเจน (UAGON) ซึ่งจุดประสงค์ในการศึกษาเพื่อศึกษาการหมุนเวียนของคาร์บอนบริเวณผิวดิน อุณหภูมิดิน และศึกษาปริมาณน้ำที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช ผลจากการศึกษาพบว่า การชลประทานทำให้การหมุนเวียนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการชลประทานโดยปริมาณน้ำในดินจะเพิ่มขึ้นในช่วงที่แห้งแล้ง การไถพรวนทำให้การหมุนเวียนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการไถพรวน เนื่องจากอุณหภูมิของดินเพิ่มขึ้น และการไถพรวนหลังจากฝนตกหรือในพื้นที่นั้นมีการให้น้ำ ปุ๋ยในโตรเจนจะส่งผลให้การหมุนเวียนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น 1.5 - 2.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจน การหมุนเวียนคาร์บอนในบริเวณที่มีการเพาะปลูก Alfalfa และบริเวณที่มีหญ้าจะคล้ายกับในบริเวณที่มีการปลูกพืชโดยไม่มีการไถพรวน ขณะที่ระบบการ

เพาะปลูกพืชไม่มีอิทธิพลต่อการหมุนเวียนคาร์บอน จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการหมุนเวียนคาร์บอนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดินและอุณหภูมิอากาศ

8.2 การเก็บกักคาร์บอนในดิน

Follett (2001) ศึกษาแนวคิดในการจัดการดินและการเก็บกักคาร์บอนในดินที่เพาะปลูกพืช โดยวิธีการในการศึกษามีดังนี้ 1). การจัดการการไถและระบบการเพาะปลูก 2). การเพิ่มพืชคลุมดิน และ 3). การเพิ่มประสิทธิภาพโดยเพิ่มปัจจัยการผลิต เช่น สารอาหารและน้ำ สิ่งที่สำคัญมากที่สุดของการไถแบบดั้งเดิม คือ การคลุมดินด้วยเศษซากพืชแล้วจึงไถกลบ ซึ่งจะเป็นการบำรุงดินที่สำคัญมากกว่าการไถแบบธรรมดา การไถแบบดั้งเดิมทำให้เกิดการอนุรักษ์ดินและน้ำ และเพิ่มศักยภาพการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน การส่งเสริมการใช้เศษซากพืช การจัดการมวลชีวภาพและลดพื้นที่รกร้าง จากการศึกษาทดลองในสหรัฐอเมริกาพบว่า การจัดการวิธีการไถพรวนและระบบการเพาะปลูกพืชมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้ประมาณ 30 - 105 ล้านตันคาร์บอนต่อปี แนวทางการปลูกพืชคลุมดินเป็นอีกวิธีการในการเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดินได้อีกทางหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มปริมาณและระยะเวลาซึ่งดินถูกปกคลุมโดยพืช การปลูกพืชหมุนเวียน การปลูกพืชคลุมดิน และการนำกระบวนการอนุรักษ์มาประยุกต์ใช้ด้วยกันทำให้มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนประมาณ 14 - 29 ล้านตันคาร์บอนต่อปี การใช้ปุ๋ยและน้ำในปริมาณที่เหมาะสมส่งผลโดยตรงต่อการหมุนเวียนปริมาณเศษซากพืชและการเก็บกักอินทรีย์คาร์บอนในดิน ซึ่งการเพิ่มปัจจัยด้านอาหารและน้ำมีผลต่อศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้ประมาณ 11 - 30 ล้านตันคาร์บอนต่อปี การประเมินอัตราการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินและเทคโนโลยีสำหรับการเพิ่มพลังงานจะเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาเพื่อให้เกิดความเข้าใจในการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินในอนาคต

Nishimura *et al.* (2008) ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การเพาะปลูกจากนาข้าวเป็นการเพาะปลูกพืชในพื้นที่สูงต่อสมดุลคาร์บอนในดินของพื้นที่เพาะปลูกในประเทศญี่ปุ่น โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการปลูกพืช 3 ชนิด คือ 1). ปลูกข้าวเพียงชนิดเดียว (PR) 2). ปลูกข้าวไร่เพียงชนิดเดียว (UR) และ 3). ปลูกพืช 2 ชนิด คือ ถั่วเหลืองและข้าวสาลี (SW) ซึ่งทำการปลูกในบริเวณที่เคยมีการเพาะปลูกข้าวมาอย่างต่อเนื่อง ในบริเวณพื้นที่ทำการทดลองมีการวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนด้วยระบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องมากกว่า 2.5 ปี พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะถูกดูดซึมในระหว่างการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงฤดูร้อนเกิดขึ้นสูงสุดในแปลง PR และต่ำสุดในแปลง UR การปลดปล่อยมีเทนออกสู่บรรยากาศพบเฉพาะในแปลง PR เท่านั้น เนื่องจากแปลง PR ถูกน้ำท่วมขังช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากการศึกษาพบว่าสมดุลคาร์บอนในดินของแปลง PR เพิ่มขึ้น (79 - 137 กรัมคาร์บอน

ต่อตารางเมตรต่อปี) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการสะสมของคาร์บอนในดิน แต่ตรงข้ามกับแปลง UR และแปลง SW ซึ่งมีปริมาณสมมูลคาร์บอนในดินลดลง (-343 ถึง -275 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อปี และ -541.5 ถึง -384 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อปี ตามลำดับ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียคาร์บอนจากดิน จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวเป็นการเพาะปลูกพืชพื้นที่สูงทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนจากพื้นที่เพาะปลูก

ทัศนีย์ เกียรติพสุถันต์ (2552) ศึกษาการทำนาชลประทานที่ยั่งยืนภายใต้ความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำการศึกษาโดยการทำนาแบบหว่านน้ำตามในพื้นที่ชลประทาน โดยใช้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 สลับกับข้าวเบอร์ 17 (ยังไม่รับรองพันธุ์) ในพื้นที่ตำบลคลองมะเดื่อ อำเภอกะทู้มูแบน จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งเป็นแปลงนาที่มีการทำนาต่อเนื่องมานานกว่า 20 ปี โดยแยกการทดลองออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแปลงนาที่มีการจัดการฟางข้าวก่อนปลูก ได้แก่ แปลงนาเผาตอซังและแปลงนาไถกลบตอซังและฟางข้าว และแบ่งชุดแปลงนาตามการจัดการน้ำ ได้แก่ แปลงนาที่มีการปล่อยน้ำออกจากนาตามปกติ คือระหว่างการใส่ปุ๋ยและฉีดยาฆ่าวัชพืชและแปลงนาที่มีการปล่อยน้ำออกจากนาในช่วงก่อนข้าวออกรวง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาสมมูลคาร์บอน (soil carbon budget) โดยคำนวณทั้งระบบของคาร์บอนที่ใส่เข้าไปและคาร์บอนที่ปล่อยออกมา เริ่มตั้งแต่การเตรียมดินจนถึงการเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่านาข้าวที่มีการจัดการน้ำตามปกติและมีการจัดการฟางข้าวโดยการเผาตอซังก่อนการปลูก มีปริมาณก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกมาจากนาข้าวน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดการฟางข้าวแบบไถกลบตอซังและฟางข้าว เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ประกอบกับสภาพแวดล้อมที่มีน้ำขังเหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนส่งผลให้มีการปลดปล่อยมีเทนสูงกว่าการจัดการฟางข้าวแบบเผาตอซัง การปล่อยน้ำในช่วงก่อนข้าวออกดอก (mid-season drainage) ช่วยลดการปลดปล่อยมีเทนจากแปลงนาไถกลบตอซังและฟางข้าวได้ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ในแปลงนาที่มีการเผาตอซังนั้นการจัดการน้ำไม่มีอิทธิพลต่อการลดการปลดปล่อยมีเทน และการจัดการน้ำแบบปล่อยน้ำในช่วงก่อนข้าวออกดอกส่งผลให้การปล่อยไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการจัดการฟางข้าวแบบไถกลบตอซังเป็นการหลีกเลี่ยงการปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผา และสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนในดินได้อีกด้วย สำหรับการศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินที่มีการเผาตอซังพบว่าการสูญเสียคาร์บอนออกจากระบบในรูปของการเผาตอซังข้าวและไม่มีการนำเข้าฟางข้าวก่อนการปลูก ปริมาณตอซังที่ถูกไถกลบในช่วงเตรียมดินจึงมีน้อยทำให้สมมูลคาร์บอนมีค่าติดลบมากที่สุด (- 62 กรัมต่อตารางเมตร) ส่วนแปลงไถกลบตอซังและฟางข้าวมีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในดิน แม้จะมีการปล่อยมีเทนมากกว่าแปลงอื่นแต่ปริมาณมีเทนที่ปล่อยออกมามีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับคาร์บอนในส่วนที่นำเข้า ซึ่งหากมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องจะเห็นแนวโน้มการสะสมคาร์บอนในดินจากการไถกลบตอซังและฟางข้าวได้ ดังนั้นในการปลูกข้าวควรปล่อยน้ำออกจากนาข้าวก่อนข้าวออกดอกจะช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทน การไถกลบตอซังและฟางข้าวจะช่วยเพิ่มปุ๋ยให้ดินและลดโลกร้อนไปพร้อมๆกัน

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี (2552) ศึกษาการสะสมคาร์บอนในดินจากการไถกลบเศษซากพืช และวัสดุอินทรีย์อย่างต่อเนื่องยาวนานในการผลิตข้าวโพด โดยดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนา เกษตรลพบุรี ตั้งแต่ปี 2549 - 2552 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block โดยทำการ ทดลอง 12 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า การไถกลบเศษซากข้าวโพดทำให้มีคาร์บอนในดินกลับ ลงไปในดินเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยมูลไก่ 2,465 กิโลกรัมต่อไร่ และให้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม เทียบเท่ากับปุ๋ยยูเรียทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและโพแทสเซียมคลอไรด์ 15.2, 4.0 และ 13.5 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ โดยมูลค่าของคาร์บอนและธาตุอาหารหลักที่ได้จากการไถกลบซากข้าวโพด เมื่อคิดเป็นมูลค่าของคาร์บอนที่ได้จากปุ๋ยมูลไก่และมูลค่าธาตุอาหารหลักที่ได้จากปุ๋ยเคมีเท่ากับ 2,465 และ 752.72 บาทต่อไร่ การปลูกพืชหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้วไถกลบเศษซากพืชดังกล่าวจะยิ่ง เพิ่มการสะสมคาร์บอนในดินได้มากยิ่งขึ้น ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปสนับสนุนการใช้ปุ๋ยเคมี ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ การจัดการวัสดุอินทรีย์และเศษซากพืชในการผลิตพืชอื่นเพื่อกระตุ้นให้เกษตรกร เห็นถึงความสำคัญของเศษซากพืชเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและธาตุอาหารพืช ซึ่งการไถกลบเศษซาก พืชลงไปในดินเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน เพิ่มศักยภาพของดินในการผลิตพืชอย่างยั่งยืน และยังเป็นทางเลือกภาวะโลกร้อนได้อีกวิธีหนึ่ง

ชาดิชาย มณีสุวรรณ (2545) การศึกษาอิทธิพลของวิธีการปลูกข้าวแบบปักดำ และหว่าน น้ำตม และการเพิ่มอินทรีย์วัตถุโดยการเผาดองซังข้าว ไถกลบตอซังข้าว และการใช้ปุ๋ยพืชสด (ถั่วเขียว) ต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวของข้าวพันธุ์สุวรรณบุรี 1 ในชุดดินอุรยา ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอินทรีย์วัตถุ โดยการไถกลบตอซังข้าวทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินสูงที่สุด ส่วนการใช้ปุ๋ยพืชสดทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด สำหรับวิธีการปลูกไม่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า การปลูกข้าวแบบปักดำรวมกับการเพิ่มอินทรีย์วัตถุแบบไถพรวนกลบ ตอซังข้าว ทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากที่สุด อย่างไรก็ตามการเพิ่มอินทรีย์วัตถุแบบไถกลบตอซัง ข้าวยังทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าการเพิ่มอินทรีย์วัตถุแบบเผาดองซังข้าวและปุ๋ยพืชสด โดย การเพิ่มอินทรีย์วัตถุแบบไถกลบตอซังข้าวมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าการใช้ปุ๋ยพืชสด 1.4 เท่า ส่วนวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตมให้ผลไม่สอดคล้องกับการปลูกแบบปักดำ โดยพบว่าการปลูกข้าวแบบ หว่านน้ำตมรวมกับการเพิ่มอินทรีย์วัตถุแบบเผาดองซังข้าวทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากกว่าการ เพิ่มอินทรีย์วัตถุแบบไถกลบตอซังข้าวและปุ๋ยพืชสด และการปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตมมีผลทำให้การ ปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าการปลูกแบบปักดำ 2 เท่า และยังพบอีกด้วยว่าความสูงส่วนยอด ความลึก ของรากข้าวที่ปลูกแบบปักดำเพิ่มขึ้น การปลดปล่อยก๊าซมีเทนลดลง อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์นี้ เมื่อปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตม แต่พบว่าน้ำหนักแห้งของรากเพิ่มขึ้นการปลดปล่อยก๊าซมีเทนแวนโน้มเพิ่มขึ้น

เครื่องมือ สัมครการ (2554) ศึกษาความสัมพันธ์การหมุนเวียนคาร์บอนในดินจากผลของการใส่ฟางข้าวและฟางข้าวเผาโดยใช้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ปลูกในกระถางและใช้ดินกำแพงแสนในการทดลอง โดยออกแบบการทดลองแบบ RCBD ประกอบด้วย 3 ตำรับทดลองคือ 1) ดินผสมฟางข้าวแห้ง 2) ดินผสมฟางข้าวเผา และ 3) ดินธรรมดา (ซึ่งไม่ใส่ฟางข้าวและฟางเผา) หลังจากการปลูกข้าวหนึ่งฤดูกาลได้วิเคราะห์คุณสมบัติของดินเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของดินก่อนการเพาะปลูกซึ่งประกอบด้วย ค่าปฏิกริยาดิน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ความหนาแน่นรวมในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจากดินที่ใช้ในการเพาะปลูก ผลการศึกษาพบว่าหลังจากการเพาะปลูกข้าวในดินผสมฟางข้าวแห้งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุด มีค่าฟอสฟอรัส ค่าโพแทสเซียมในดินสูงกว่าดินธรรมดา และมีค่าความหนาแน่นรวมในดินน้อยที่สุด ส่วนการปลูกข้าวในดินธรรมดาทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณโพแทสเซียมสะสมในดินน้อยที่สุด ส่วนในดินผสมฟางเผาพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุด ซึ่งช่วยให้ข้าวมีการเจริญเติบโตทางลำต้นและการพัฒนาของเมล็ดข้าวสูงที่สุด แต่ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตข้าว ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าดินใส่ฟางข้าวแห้งมีแนวโน้มที่จะใช้ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ลดการไถพรวนและมีแนวโน้มในการเก็บกักธาตุคาร์บอนไว้ในดินในพื้นที่ปลูกข้าวได้มากที่สุด

วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ปลูกข้าว

1.1 กระจกพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 32 เซนติเมตร

1.2 จอบและเสียม

1.3 ดินที่ใช้ปลูกข้าว คือ ชุดดินกำแพงแสน ซึ่งแบ่งเป็น 4 ดำรับการทดลอง

1.3.1 ชุดควบคุม ซึ่งใช้ดินที่ไม่ใส่ฟางข้าวเผาและฟางข้าวสับ (Control = CL)

1.3.2 ดินผสมฟางข้าวเผา โดยนำฟางข้าวสับ 0.5 กิโลกรัม ไปผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ่าน ผสมกับดินในอัตราส่วน ดิน:ฟางเผา 14: 0.5 กิโลกรัมต่อกระถาง (Soil incorporated with rice straw burning = SBR)

1.3.3 ดินผสมฟางข้าวสับ ใส่ฟางสับขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร ผสมกับดินในอัตราส่วน ดิน:ฟางข้าวสับ 14: 0.5 กิโลกรัมต่อกระถาง (Soil incorporated with dried rice straw = SDR)

1.3.4 ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ใช้ดินที่มีการปลูกข้าวอินทรีย์มาแล้ว 2 ฤดูกาล โดยไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี ไม่มีการใส่ฟางข้าวเผาหรือฟางข้าวสับ และไม่ใช้ยากำจัดศัตรูพืช ซึ่งใช้ดินในปริมาณ 14 กิโลกรัมต่อกระถาง (Soil with organic fertilizer = SOF)

1.4 เมล็ดข้าวพันธุ์สุวรรณบุรี 1

2. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ

2.1 กระจกน็อคติดยาขนาด 25 มิลลิเมตร

2.2 เข็มน็อคติดยาขนาด 0.55 x 40 มิลลิเมตร

2.3 ขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร จุกยางและฝาอลูมิเนียม

2.4 Thermometer 0 - 100 องศาเซลเซียส

2.5 ตลับเมตร

2.6 กล่องเก็บตัวอย่างอากาศทำจาก Acrylic หนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 35 x 35 x 100 เซนติเมตร (ก x ย x ส) ด้านบนกล่องเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร นำสายยางขนาดเล็ก ยาว 20 เซนติเมตร เสียบต่อเข้ากับรูที่เจาะและใช้ซิลิโคนทาบริเวณรอยต่อเพื่อปิดช่องว่างระหว่างรอยต่อ ภายในกล่องติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิภายในกล่อง

2.7 ถังรองกระถางขนาด 50 x 72 x 45 เซนติเมตร (ก x ย x ส) สำหรับใส่กระถางข้าวและน้ำ เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ ทำให้เกิดระบบปิดเมื่อนำกล่อง Acrylic ครอบ

วิธีการศึกษา

1. การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน โดยเก็บตัวอย่างดินทั้งก่อนการเพาะปลูกและหลังเก็บเกี่ยว เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติและพิจารณาความเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติดินและวิธีการวิเคราะห์

คุณสมบัติดิน	วิธีการวิเคราะห์
ค่าปฏิกิริยาดิน	pH meter (Thomas, 1996)
ปริมาณฟอสฟอรัส	Spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)
ปริมาณโพแทสเซียม	Atomic absorption spectroscopy (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)
อินทรีย์วัตถุ	Walkley and Black (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)
ความหนาแน่นรวมของดิน	Clod method (สุนทรี, 2549)
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและคาร์บอนทั้งหมด	CNS Analyzer (Leco, 1996)

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างดิน มีดังนี้

1.1 ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) (Thomas, 1996)

ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่าง 20 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนดิน: น้ำ เท่ากับ 1: 1) ใน Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ดินและน้ำเข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ในระหว่างที่วางทิ้งไว้ 30 นาทีนั้น ควรจะคนดินเป็นครั้งคราว ก่อนวัด pH จำเป็นต้อง Standardize pH meter ด้วย Buffer solution pH 7.0 และ 4.0 ก่อนใช้ pH meter วัดค่า

1.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (P) (ทศนีย์ และจรงักษ์, 2542)

การทำกราฟมาตรฐาน

เตรียมน้ำยามาตรฐานฟอสฟอรัสให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยใช้ Standard P 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร มาทำให้เจือจาง 10 เท่า จากนั้นนำ Standard P ที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร มาจำนวน 0, 1, 2, 3, 4, 5 มิลลิลิตร บรรจุลงใน Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่นพอประมาณแล้วเติม Ascorbic acid solution 4 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร นำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร พล็อตกราฟระหว่างค่าจากการอ่านค่า Spectrophotometer กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำยา Standard ซึ่งจะได้กราฟมาตรฐานที่ต้องการและใช้สำหรับ Unknown sample ได้

การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสในตัวอย่างดิน

ชั่งดินที่บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรหนัก 2.5 กรัม ใส่น้ำใน Erlenmeyer flask เติมน้ำยาสกัด Bray II ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่านาน 60 วินาที แล้วกรองทันทีด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายดินที่กรองได้ประมาณ 1 - 10 มิลลิลิตร ใส่น้ำใน Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่นพอประมาณ แล้วเติม Ascorbic acid solution 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที จะได้สารละลายสีน้ำเงิน (สีคงทนนาน 24 ชม.) ถ้าความเข้มของสีของสารละลายดินเกินค่ามาตรฐานให้ลดปริมาณสารละลายดินลง แต่ถ้าความเข้มของสีของสารละลายดินเจือจางมากให้เพิ่มปริมาณสารละลายดินและถ้าใช้ปริมาณสารละลายดินมากกว่า 10 มิลลิลิตร ให้ใส่ Saturated boric acid solution 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน

วิธีคำนวณหาปริมาณของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส)

$$P \text{ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{Z \times Y \times \text{Final vol. (มิลลิลิตร)}}{\text{aliquot used (มิลลิลิตร)}}$$

โดย

Y = อัตราส่วนของสารละลายต่อดิน (2.5 กรัม: 25 มิลลิลิตร)

Z = P (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน

1.3 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (K) (ทศนิยม และจรงค์, 2542)

ชั่งดินบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตรหนัก 5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำยาสกัด Ammonium acetate (NH_4OAc) 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยาง เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที แล้วนำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้ Ammonium acetate นำไปวิเคราะห์หาโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยใช้ Atomic absorption spectroscopy

1.4 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินโดยใช้วิธี Walkley and Black (ทศนิยม และจรงค์, 2542)

ชั่งตัวอย่างดิน 0.5 - 2.0 กรัม ใส่ในขวดชมพู ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยา Dichromate 5 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบาๆเป็นเวลา 1 - 2 นาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นประมาณ 15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นหยดอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยดไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล จนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ บันทึกปริมาณไดโครเมต และเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้และทำหาคำนวณเช่นเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์ดิน

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน (\%)} = \frac{(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{FeSO}_4) \times 0.003 \times 100 \times 1.33}{\text{น้ำหนักตัวอย่างดิน (กรัม)}}$$

เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน x 1.724

1.5 ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) (สุนทรี, 2549)

ใช้กระบอกลอยเก็บตัวอย่างดินที่มีผนังบางและคม กดลงไปดินในแนวตั้งจากขณะที่ดินมีความชื้นเหมาะสม (ดินแห้งเกินไปก่อนดินอาจแตกและหลุดออกจากกัน หรือดินที่แน่นแข็งจะทำให้กดกระบอกลงไปในดินยาก และเมื่อใช้ค้อนตอกแรงเกินไป อาจทำให้ก้อนดินแตกออกได้ และถ้าดินเปียกและมากเกินไป อนุภาคดินอาจไหลรวมกันได้) การเก็บตัวอย่างดินแบบนี้เรียกว่า การเก็บแบบไม่รบกวนดิน

วิธีคำนวณ

$$P_b = \frac{m_s}{V_b}$$

P_b = ปริมาตรรวม (Bulk density, P_b) หมายถึงผลรวมระหว่างปริมาตรของแข็ง (V_s) และปริมาตรช่อง (V_p) กล่าวคือ $V_b = V_s + V_p$

m_s = มวลของดินแห้ง

V_b = ปริมาตรรวมของดินทั้งก้อนโดยจะแสดงให้เห็นว่า ปริมาตรรวม V_b จะมีค่ามากกว่าปริมาตรของแข็ง V_s ของดินเดียวกันเสมอ ทั้งนี้เพราะปริมาตรช่อง V_p เป็นเทอมที่มีค่ามากกว่าศูนย์ (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2541)

1.6 Total N และ Total C CNS Analyzer (Leco, 1996)

ส่งตัวอย่างดินวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CNS Analyzer ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

2. การปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

2.1 การเตรียมเมล็ดพันธุ์และต้นกล้า

คัดเลือกเมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่มีความสมบูรณ์ปราศจากสิ่งเจือปน นำไปแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาขึ้นมาหุ้ม 48 ชั่วโมง ข้าวจะงอกออกมามีลักษณะเป็น

ตุ่มตาขนาด 1-2 มิลลิเมตร นำไปหว่านในกระถางทดลอง หลังจากหว่านเมล็ดข้าวประมาณ 20 วัน จากนั้นถอนต้นข้าวในกระถางออกให้เหลือกระถางละ 10 ต้น และหลังจากหว่านเมล็ดข้าว 25 วัน ถอนต้นข้าวออกให้เหลือกระถางละ 5 ต้น โดยคัดต้นที่มีความสมบูรณ์และมีขนาดเท่าๆ กัน

2.2 การเตรียมดินปลูกข้าว

ใช้ชุดดินกำแพงแสนในการทดลอง โดยกำหนดค่ารับทดลองของดินที่ใช้ในการปลูกข้าว 4 ค่ารับทดลอง คือ ชุดควบคุม (CL), ดินใส่ฟางเผา (SBR), ดินใส่ฟางข้าวสับ (SDR) และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (SOF) ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ โดยตากดินให้แห้งก่อนทำการทดลองและเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปวิเคราะห์ตัวอย่างดินก่อนทำการทดลอง

2.3 การใส่ปุ๋ยข้าว

ค่ารับทดลองชุดควบคุม ดินใส่ฟางข้าวเผา และดินใส่ฟางข้าวสับ ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในปริมาณ 30 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากหว่านเมล็ดข้าว 20 วัน จากนั้นใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ในปริมาณ 10 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากหว่านเมล็ดข้าว 40 วัน และ 60 วัน ตามลำดับ ส่วนค่ารับทดลองดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 70 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากหว่านเมล็ดข้าว 20 วัน จากนั้นใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ 65 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากหว่านเมล็ดข้าว 40 วัน และ 60 วัน ตามลำดับ โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีปริมาณธาตุอาหารดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์

ธาตุอาหาร	ค่าวิเคราะห์
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	31.47
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	15.74
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	7.22
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	2.18
ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	4.00
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	1.61

หมายเหตุ

วิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (2554)

3. การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

3.1 การวัดการเจริญเติบโตของข้าว

ทำการสุ่มตัวอย่างต้นข้าวเพื่อวัดการเจริญเติบโตระหว่างฤดูการเพาะปลูก โดยตรวจวัดการเจริญเติบโตของข้าวทุกสัปดาห์ โดยเริ่มตั้งแต่ข้าวมีอายุ 1 เดือนจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ได้แก่ วัดปริมาณความสูงของต้นข้าวโดยวัดความสูงตั้งแต่โคนจนถึงยอดที่สูงที่สุดของต้นข้าว นับจำนวนกอต่อต้น นับจำนวนกอต่อกระถาง จำนวนรวงต่อกระถาง จำนวนใบต่อต้น น้ำหนักฟางข้าวสด น้ำหนักฟางข้าวแห้ง น้ำหนักรากข้าวสด และน้ำหนักรากข้าวแห้ง

3.2 การเก็บข้อมูลผลผลิตข้าว

เมื่อถึงฤดูการเก็บเกี่ยวได้ทำการวัดผลผลิตข้าว ได้แก่ นับจำนวนรวงต่อกระถาง น้ำหนักรวงต่อกระถาง จำนวนเมล็ดต่อรวง โดยแยกเป็นจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบ และชั่งน้ำหนักเมล็ด

3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช ทำการวิเคราะห์หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 6 คุณสมบัติพืชและวิธีการวิเคราะห์

คุณสมบัติพืช	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	Auto analysis (ทักษิณีย์ และจรงค์, 2542)
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด	Auto analysis (ทักษิณีย์ และจรงค์, 2542)
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและคาร์บอนทั้งหมด	CNS Analyzer (Leco, 1996)

วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช มีดังนี้

1) การย่อยตัวอย่างพืช

ชั่งตัวอย่างพืชจำนวน 0.200 – 0.400 กรัม ใส่ใน Test tube ขนาด 75 มิลลิลิตร เติม H_2SO_4 - Na_2SO_4 - Se mixture digestion ลงไปในหลอดจำนวน 5 มิลลิลิตร นำหลอดไปใส่ในเครื่อง Block digestion ภายใต้ Flume hood ควบคุมอุณหภูมิเครื่องให้อยู่ในช่วง 360 – 400 องศาเซลเซียส ย่อยสลายตัวอย่างพืชจนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งให้ตกตะกอนเพื่อสารละลายส่วนบนเก็บไว้ในขวดพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณโพแทสเซียม

2) ปริมาณฟอสฟอรัส (P) (ทักษิณีย์ และ จรงค์, 2542)

นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายตัวอย่างพืชจำนวน 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบขนาด 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจำนวน 3 มิลลิลิตร เติม Ammonium molybdate solution และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ Ammonium metavanadate solution อย่างละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกันแล้วทิ้งไว้ 20 นาที นำไปวัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร

ทำ Standard set โดยใช้ Standard 40 ฟิฟตีเอ็ม P solution มาจำนวน 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบขนาด 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจำนวน 3 มิลลิลิตร เติม

เปอร์เซ็นต์ Ammonium molybdate solution และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ Ammonium metavanadate solution อย่างละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน แล้วทิ้งไว้ 20 นาทีนำไปวัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ค่าที่ได้จากสารละลายมาตรฐานนำไปทำ Standard curve ของ 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 พีพีเอ็มฟอสฟอรัส

กรณีที่ความเข้มข้นสีเหลืองของตัวอย่างพืชมากกว่าสีของสารละลายมาตรฐานจะต้องลดจำนวนของสารละลายตัวอย่างลง แล้วเติม 2 นอร์มอล ซัลฟิวริกลงไปจนสารละลายมีปริมาตร 3 มิลลิลิตร จึงเติมน้ำกลั่นตามด้วย 5 เปอร์เซ็นต์ Ammonium molybdate solution และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ Ammonium metavanadate solution อย่างละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกันแล้วทิ้งไว้ 20 นาที ตามวิธีการดังกล่าวข้างต้น

การคำนวณ

ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (%)

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของ P (พีพีเอ็ม) จาก Standard curve} \times 8 \times 50 \times 10^{-6} \times 100}{A \times B}$$

โดยที่

A = น้ำหนักตัวอย่างพืช

B = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการเทียบสี

3) ปริมาณโพแทสเซียม (K) (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายตัวอย่างพืชจำนวน 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบขนาด 15 มิลลิลิตร ทำ Standard set จาก สารละลายโพแทสเซียมเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม โดยใช้จำนวน 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้ Standard set ที่ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 พีพีเอ็ม นำสารละลายมาตรฐานไปวัดค่าความเข้มข้นของ K ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectoscopy เพื่อทำกราฟมาตรฐานแล้วจึงนำสารละลายตัวอย่างพืชไปวัดปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียม

การคำนวณ

ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมดในพืช (%)

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของ K (พีพีเอ็ม) ที่อ่านจากเครื่อง} \times 50 \times 10^{-6} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช}}$$

4) ปริมาณ Total N และ Total C CNS Analyzer (Leco, 1996)

ส่งตัวอย่างพืชวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CNS analyzer ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

4. การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ

เก็บตัวอย่างอากาศจากการเพาะปลูกหลังจากที่ข้าวมีอายุ 1 เดือน ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยทำการเก็บตัวอย่าง 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ในเวลา 10:00 - 12:20 น. ซึ่งการเก็บตัวอย่างอากาศมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ

1) การเตรียมขวดเก็บตัวอย่าง โดยนำขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางและปิดทับด้วยฟอลูมิเนียม แล้วทำให้เป็นสุญญากาศโดยใช้เข็มฉีดยาคูดอากาศในขวดออกให้หมด



ภาพที่ 3 การเตรียมขวดเก็บตัวอย่างอากาศ

2) ยกกระถางข้าวตั้งในถังน้ำ จากนั้นจึงเติมน้ำลงในถังจนระดับน้ำสูงเท่าระดับน้ำในกระถางข้าว ใช้กล่องเก็บตัวอย่างอากาศครอบกระถางข้าวซึ่งตั้งอยู่ในถังน้ำ พร้อมทั้งปิดจุกยางด้านบนบนกล่องเก็บตัวอย่างออกเพื่อไล่อากาศ เมื่อระดับน้ำสูงเท่ากันทั้งด้านนอกและด้านในกล่องเก็บตัวอย่าง จึงปิดจุกยางพร้อมทั้งจับเวลาเพื่อเริ่มเก็บตัวอย่างอากาศ



ภาพที่ 4 การเก็บตัวอย่างอากาศ

3) เก็บตัวอย่างอากาศในกล่องเก็บตัวอย่างในนาที่ที่ 0, 10 และ 20 หลังจากครอบกล่องเก็บตัวอย่าง โดยใช้เข็มฉีดยาขนาด 25 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างอากาศออกจากกล่องเก็บตัวอย่าง แล้วบรรจุตัวอย่างอากาศลงในขวดเก็บตัวอย่างที่มีสภาพเป็นสุญญากาศ โดยมีการวัดอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิภายในกล่องเก็บตัวอย่างในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วย

4.2 การวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

นำตัวอย่างอากาศที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography รุ่น SHIMADZU 2010 Detector ชนิด Flame ionization detection (FID) ที่ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

4.3 วิธีคำนวณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Cai *et al.*, 2000)

1) วิธีการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$F = k(V/A)dC/dt(273/(273+T))$$

เมื่อ

F = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

k = ค่าคงที่ของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1.250

V = ปริมาตรของ Chamber หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

A = พื้นที่หน้าตัดของ Chamber หน่วยเป็น ตารางเมตร

T = อุณหภูมิอากาศภายใน Chamber

dC/dt = อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลคาร์บอนไดออกไซด์ใน Chamber ต่อหน่วยเวลา หน่วยเป็น มิลลิกรัม

2) วิธีการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน

$$F = 0.714 \text{ Sh}(273/(273+T))$$

เมื่อ

F = การปลดปล่อยก๊าซมีเทน (มิลลิกรัมมีเทนต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)

S = ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนที่เปลี่ยนไปต่อเวลา

h = พื้นที่หน้าตัดของ Chamber หน่วยเป็น ตารางเมตร

T = อุณหภูมิภายในกล่องเก็บตัวอย่าง (องศาเซลเซียส)

5. การหาปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน (Milne, 2008)

$$\text{SOC stock} = \text{SOC content} \times \text{BD} \times \text{depth} \times \text{area}$$

โดย

SOC stock = ปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน (มิลลิกรัมต่อเฮกแตร์)

SOC content = คาร์บอนในดิน (กรัมคาร์บอน)

BD = ความหนาแน่นของดิน (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

depth = ระดับความลึกของดิน (เมตร)

area = ขนาดพื้นที่ (ตารางเซนติเมตร)

6. การหาปริมาณคาร์บอนสุทธิ (สิริกานดา, 2551)

$$\text{Net Carbon} = \text{Carbon Input} - \text{Carbon Output}$$

โดย

Net Carbon = ปริมาณคาร์บอนสุทธิ (ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาล)

Carbon Input = คาร์บอนขาเข้า (ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาล)

Carbon Output = คาร์บอนขาออก (ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาล)

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ออกแบบการทดลองเป็นแบบ CRD โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ เพื่อหาค่า F-test พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองตามวิธีของ DMRT (Duncan's New Multiple Test)



ผลและวิจารณ์

1. การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

1.1 ก๊าซมีเทน

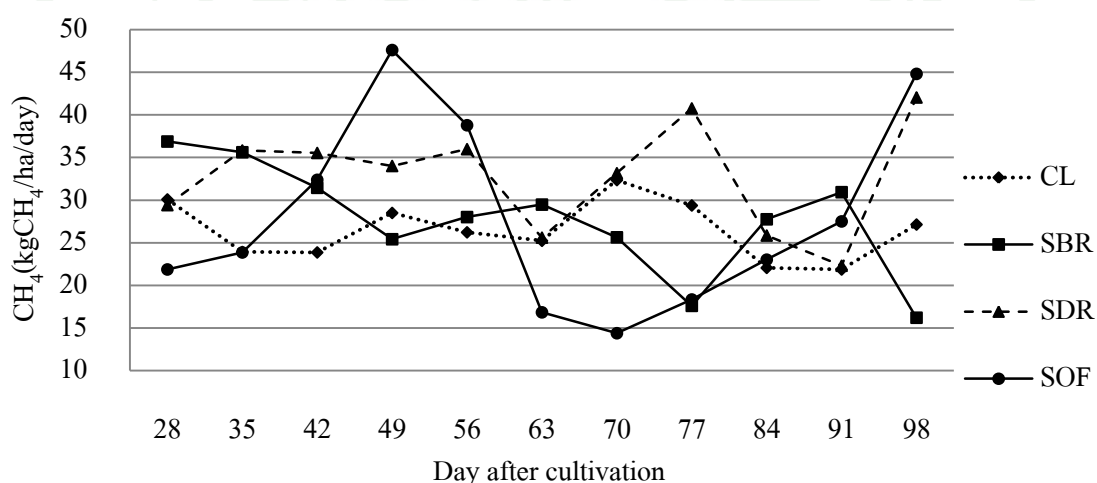
ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจาก 4 ดำรับทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยดินที่ใส่ฟางสับมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 360.53 กิโลกรัมมีเทนต่อแฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก รองลงมาคือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินใส่ฟางเผา และชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 309.46, 305.03 และ 290.64 กิโลกรัมมีเทนต่อแฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ตามลำดับ

ฟางข้าวมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 23 – 27 เปอร์เซ็นต์ การใส่ฟางข้าวลงในดิน จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการใส่ฟางสับและฟางเผาเป็นการเติมอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ซึ่งทั้งฟางสับและฟางเผาเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์จึงเป็นการส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น (Kludze *et al.*, 1993) และการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศจะทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ จากการทดลองของ Maninder *et al.*, (2009) พบว่าดินนาที่มีการใส่ฟางข้าวสาลีมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 229.6 กิโลกรัมต่อแฮกแตร์ และดินที่ไม่มีการใส่ฟางมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนน้อยที่สุดเท่ากับ 21.5 กิโลกรัมต่อแฮกแตร์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาค้างนี้ที่พบว่า ดินที่ใส่ฟางสับมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงที่สุด เท่ากับ 360.53 กิโลกรัมมีเทนต่อแฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก (ตารางที่ 7) และสูงกว่าชุดควบคุม 19.39 เปอร์เซ็นต์

นาข้าวอยู่ในสภาพน้ำขังตลอดฤดูกาลเพาะปลูกซึ่งเป็นสภาพที่เอื้อให้เกิดก๊าซมีเทน โดยปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน คืออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน เนื่องจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อความต้องการของจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วง 20: 1 ถึง 30: 1 (นิวัติ, 2557) หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดต่ำลงจะส่งผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์และจะส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (วรรณวิภา, 2556) ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่าดินที่ใส่ฟางสับและฟางเผามีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุด คือ 14.50 และ 15.29 ตามลำดับ จึงทำให้ดินใส่ฟางสับมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าดำรับทดลองอื่น

การเจริญเติบโตของข้าวมีส่วนสำคัญในการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว เนื่องจาก

ในขณะที่ข้าวมีการเจริญเติบโตจะกระตุ้นให้ต้นข้าวมีการหลั่งสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาลในรูปกรดอินทรีย์ ที่ละลายได้ สารประกอบในกลุ่มฟีนอล และกรดอะมิโนออกมามาก ซึ่งสารเหล่านี้หลั่งออกมาจาก บริเวณรากข้าวเรียกว่า Root exudates เป็นสารตั้งต้นในการเกิดก๊าซมีเทน (Wang *et al.*, 1995; Murakami *et al.*, 1999) อีกทั้งต้นข้าวยังเป็นตัวกลางสำคัญที่ทำให้ก๊าซมีเทนผ่านจากดินสู่บรรยากาศ โดยผ่านทางเนื้อเยื่อแบบแอเอร์ไกมา (aerenchyma) โดยพบว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของก๊าซมีเทนที่ถูกปล่อย จากนาข้าวออกสู่บรรยากาศเป็นการปลดปล่อยผ่านทางต้นข้าว ดังนั้นจากผลการทดลองที่พบว่าข้าวที่ เพาะปลูกในดินใส่ฟางสับและดินใส่ฟางเผาที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดจึงทำให้การปลดปล่อยก๊าซมีเทน ในดินใส่ฟางสับและดินใส่ฟางเผาสูงกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ข้าว ชนิดของดิน และปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำในนาข้าว อุณหภูมิ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในดิน เป็นต้น (Wang *et al.*, 1997)



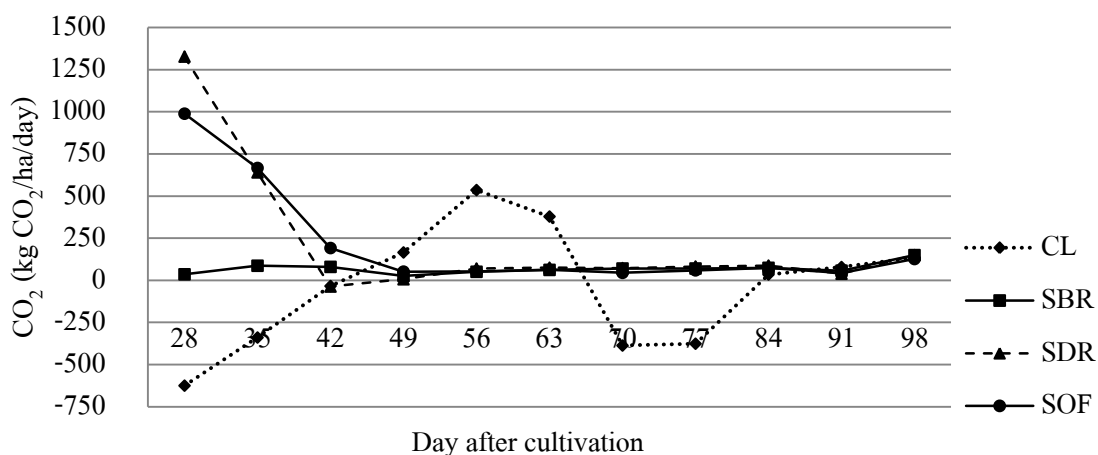
ภาพที่ 5 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนตลอดการเพาะปลูก โดย CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

1.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก 4 ดำรับทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าดินที่ใส่ฟางสับมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สูงที่สุด เท่ากับ 2,513.63 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก รองลงมาคือดิน ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินใส่ฟางเผา และชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 2,363.50, 762.08 และ 432.70 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์อย่างเห็นได้ชัดกับปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน โดยปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินใส่ฟางสับมีค่าสูงที่สุด (ภาพที่ 10) เนื่องจากในฟางข้าวมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 23-27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถูกย่อยสลายก็จะถูกย่อยสลายลงสู่ดินส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มมากขึ้นด้วย (เครือมาศ, 2554) การใส่ฟางสับเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ส่งผลให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น (Kludze *et al.*, 1993) เนื่องจากกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์นอกจากจะมีการผลิตก๊าซมีเทนแล้ว จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนยังมีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย (สุบัณฑิต, 2549) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางสับมีการเจริญเติบโตได้ดีซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนหนึ่งจะถูกปลดปล่อยมาจากกระบวนการหายใจของพืช ดังนั้นจึงทำให้ดินที่ใส่ฟางสับมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสูงกว่าค่ารับทดลองอื่น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าดินที่ใส่ฟางสับมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด เท่ากับ 2,513.63 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก (ตารางที่ 7) ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม และดินใส่ฟางเผา 82.79 และ 69.28 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์คือ แตกต่างกันเพียง 5.97 เปอร์เซ็นต์

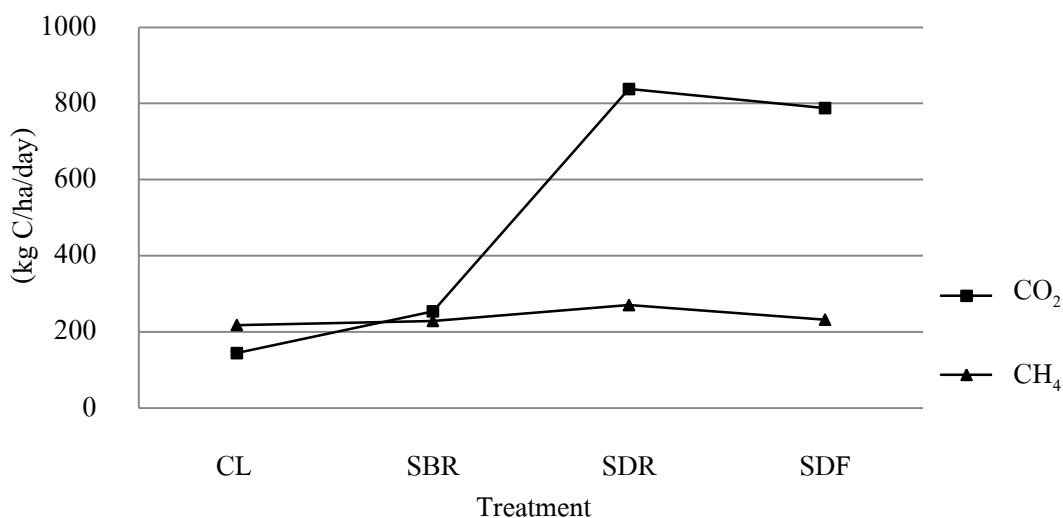
อุณหภูมิดินมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และรากพืช ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของดินใส่ฟางสับในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 29.50 องศาเซลเซียส จึงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ จึงส่งเสริมให้เกิดการผลิตและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาจากดินที่ปลูกข้าวในรูปฟองอากาศ (Bubble) มากขึ้น (Cheng *et al.*, 2005)



ภาพที่ 6 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการเพาะปลูก โดย CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

จากการเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่า ดินใส่ฟางข้าวสับ และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด คือ 990.74-1,327.40 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ต่อวัน ในช่วง 28 วันหลังการหว่านเมล็ดข้าว จากนั้นพบว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินใส่ฟางสับ ดินใส่ฟางเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีค่าใกล้เคียงกันตั้งแต่ระยะ 42 วันหลังการหว่านเมล็ดข้าว จนถึงระยะเก็บเกี่ยวข้าว โดยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะอยู่ระหว่าง 60-190 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ต่อวัน

ส่วนการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชุดควบคุมพบว่า การเจริญเติบโตของข้าวหลังจากหว่านเมล็ดข้าวประมาณ 10 – 15 วัน ข้าวที่เพาะปลูกในชุดควบคุมมีสภาพแคระแกร็น ไม่มีการแตกกอ แต่หลังจากใส่ปุ๋ยในวันที่ 20 หลังการหว่านเมล็ด จึงเริ่มมีการเจริญเติบโตและมีการแตกกอ จึงทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่วนการทดลองดินใส่ฟางสับ ดินใส่ฟางเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตได้ดี และหลังจากหว่านเมล็ดข้าว 63 วัน พบว่าข้าวในชุดควบคุมมีลักษณะใบเหลือง เหี่ยวโทรม และตายลง เหลือกระถางละ 2-3 กอ ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการหายใจของพืช และอาจส่งผลกระทบต่อ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชด้วย



ภาพที่ 7 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกจากดินต่างชนิดกัน โดย CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการไถพรวนและพางเผา SDR คือ ดินไถพรวน SBR คือ ดินไถพรวนแล้วพางเผา SOF คือ ดินไถพรวนแล้วไถพรวน

ตารางที่ 7 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

Treatment	Carbon dioxide (kg CO ₂ /ha/crop)	Methane (kg CH ₄ /ha/crop)
CL	432.70b	290.64a
SDR	2,513.63a	360.53a
SBR	762.08b	305.03a
SOF	2,363.50a	309.46a
F-test	*	ns
% CV	34.01	28.52

หมายเหตุ

* คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตัวอักษร a และ b ที่อยู่ใ้นคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ

CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการไถพรวนและพางเผา

SDR คือ ดินไส้ฟางสับ

SBR คือ ดินไส้ฟางข้าวเผา

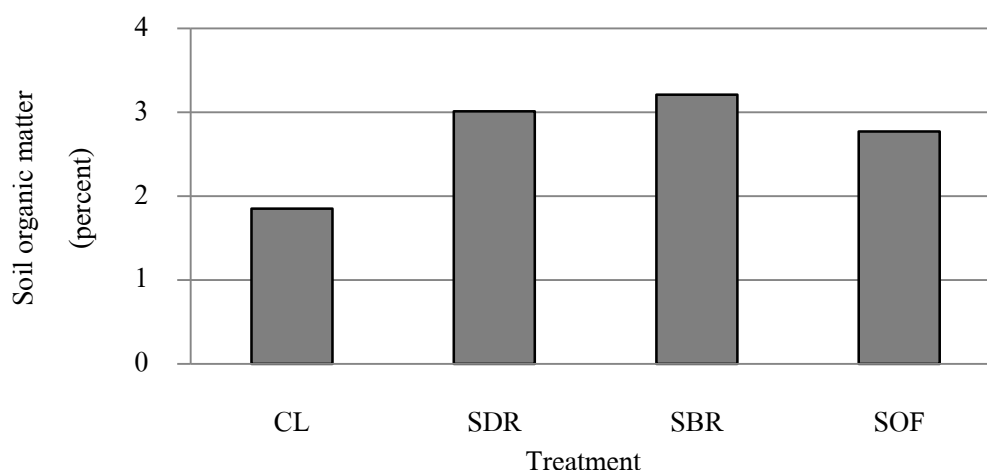
SOF คือ ดินอินทรีย์

2. ปริมาณธาตุอาหารในดิน

ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนและหลังการเพาะปลูกแสดงดังรายละเอียด ตารางผนวกที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณธาตุอาหารในดินหลังจากปลูกข้าว 1 ฤดูกาลเพาะปลูก มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันในแต่ละตำรับทดลอง ซึ่งการจัดการดินโดยใช้ฟางสับ ฟางเผา และ ปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุม การไส้ฟางสับลงในดินทำให้ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้น 25.00 และ 32.02 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 3) โดยในดินไส้ฟางเผามีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด เนื่องจากไนโตรเจนส่วนหนึ่งถูกข้าวนำมาใช้ในการเจริญเติบโตจึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินลดลง

2.1 อินทรีย์วัตถุในดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่แตกต่างกัน 4 ตำรับทดลอง คือ ชุดควบคุม ดินไส้ฟางสับ ดินไส้ฟางเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในดินไส้ฟางเผามีค่าอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเท่ากับ 3.21 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินไส้ฟางสับ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์และชุดควบคุม มีค่าเท่ากับ 3.01, 2.77 และ 1.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 8; ตารางผนวกที่ 2) ฟางข้าวที่ถูกเผาจนเป็นถ่านจะมีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลทั้งที่เป็นประจุบวกและประจุลบ ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการระบายน้ำของดิน นอกจากนี้ยังช่วยในการกักเก็บธาตุอาหารไว้ในดิน ส่งผลให้ปริมาณสารอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ (Lehmann *et al.*, 2006; DeLuca *et al.*, 2009) จึงส่งผลให้ดินไส้ฟางข้าวเผามีค่าอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่น



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดย CL คือ ชุคควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

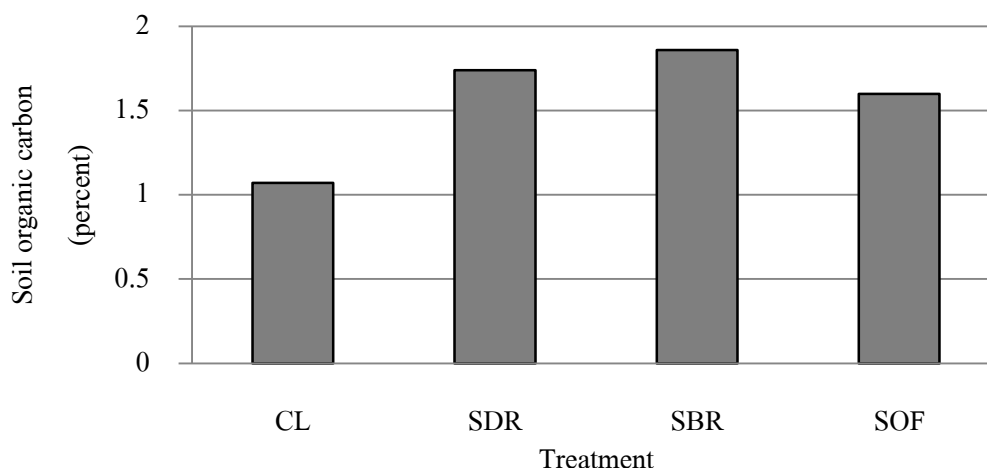
2.2 อินทรีย์คาร์บอนในดิน

จากการทดลองในดินที่แตกต่างกัน 4 ดำรับทดลองพบว่า มีค่าอินทรีย์คาร์บอนในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยในดินใส่ฟางเผามีค่าอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงที่สุด เท่ากับ 1.86 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินใส่ฟางสับ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และชุคควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 1.74, 1.60 และ 1.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 9; ตารางผนวกที่ 2) เนื่องจากฟางข้าวที่ถูกเผาจนเป็นถ่านเกิดการสูญเสียคาร์บอนไปในกระบวนการเผาไหม้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไปใส่ลงในดินจะสามารถกักเก็บคาร์บอนให้อยู่ในดินได้มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ (Lehmann *et al.*, 2006) และสามารถกักเก็บคาร์บอนให้อยู่ในดินเป็นเวลานาน (อรสา, 2552)

โดยทั่วไปพืชและสิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ เมื่อพืชและสัตว์ตายก็จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์คาร์บอนจึงถูกถ่ายทอดลงสู่ดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอน (สุบัณชาติ, 2549) นอกจากนั้นคาร์บอนในดินที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ส่วนหนึ่งมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและสามารถเข้าสู่ระบบนิเวศและในดินได้โดยการสังเคราะห์แสงที่ใบพืชและถูกสะสมอยู่ในลำต้น ใบ และราก ซึ่งรากพืชจะมีผลต่อการเคลื่อนย้ายคาร์บอนจากบรรยากาศสู่ดิน (อรรถชัย, 2547)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพิ่มการเจริญเติบโตของพืช (Lehmann *et al.*, 2006) และยังช่วยในการลดปริมาณก๊าซมีเทนและก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เนื่องจากถ่านฟางข้าวเผามีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน ปรับสภาพความเป็นกรด และคูดยืดธาตุอาหารในดิน (Steiner *et al.*, 2007)

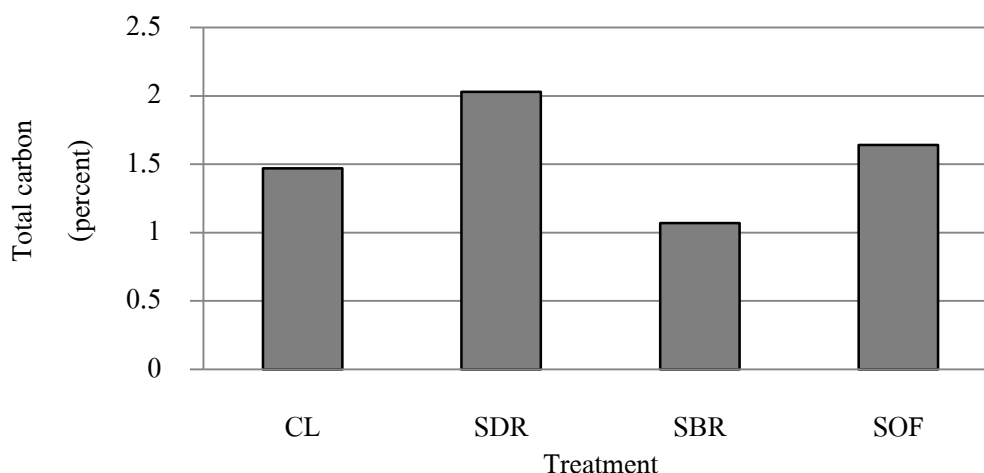


ภาพที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดย CL คือ ชุคควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับ และฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

2.3 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินที่ใช้เพาะปลูกที่แตกต่างกัน 4 คำรับทดลอง คือ ชุคควบคุม ดินใส่ฟางสับ ดินใส่ฟางเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินใส่ฟางสับมีค่าคาร์บอนทั้งหมดในดินสูงที่สุด เท่ากับ 2.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ชุคควบคุม และดินใส่ฟางเผา โดยมีค่าเท่ากับ 1.64, 1.47 และ 1.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 10; ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งการใส่ฟางข้าวสับลงดินเป็นการเพิ่มคาร์บอนให้แก่ดิน เนื่องจากในฟางข้าวมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 23 - 27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถูกย่อยสลายก็จะถูกถ่ายทอดลงสู่ดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอนซึ่งสามารถส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น ช่วยบำรุงดิน และยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารแก่ดิน (เครือมาศ, 2554) นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ถูกพืชนำมาใช้ในการเจริญเติบโตผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และเมื่อเศษซากพืชถูกย่อยสลาย คาร์บอนที่สะสมในพืชก็จะถูกถ่ายทอดลงสู่ดินได้เช่นกัน (สุบัญญัติ, 2549)

ปริมาณคาร์บอนในดินที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอน 2 ใน 3 ส่วน จะถูกออกซิไดซ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสร้างพลังงานของจุลินทรีย์ (นิวัติ, 2557)



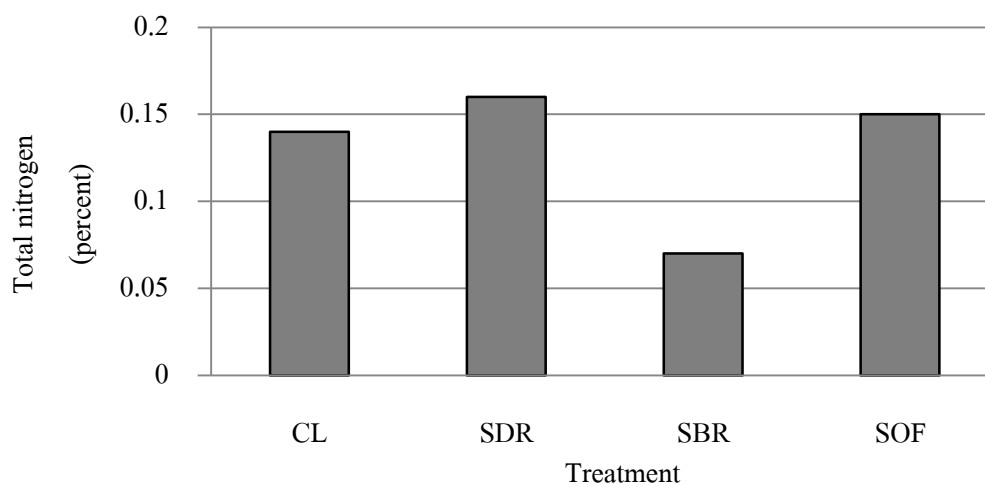
ภาพที่ 10 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน โดย CL คือ ชุคควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับ และฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

2.4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินที่ใช้เพาะปลูกที่แตกต่างกัน 4 ดำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินใส่ฟางสับมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงที่สุดเท่ากับ 0.16 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ชุคควบคุม และดินใส่ฟางเผา โดยมีค่าเท่ากับ 0.14, 0.15 และ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 11; ตารางผนวกที่ 2)

ในฟางข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ปริมาตร 1 ตัน มีปริมาณธาตุไนโตรเจนประมาณ 5.4 กิโลกรัม (นิธยา และคณะ, 2549) ซึ่งจากการทดลองของ Kaewpradit *et al.*, (2009) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในดินที่มีการใส่ฟางข้าวโดยภายหลังการเพาะปลูกดินมีค่าปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งการใส่ฟางข้าวลงดินจะช่วยควบคุมสมดุลของไนโตรเจนในดินและช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้แก่ดิน (Shindo and Nishio, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษครั้งนี้ที่พบว่า การใส่ฟางข้าวในดินทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 3)

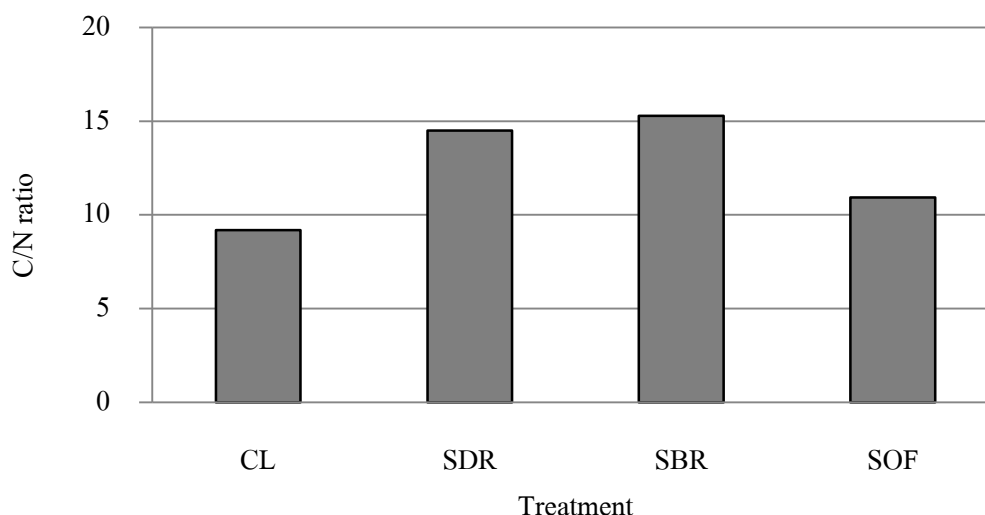
ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยพืชที่ได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ ใบจะมีสีเขียวสด โตเร็ว ทำให้พืชออกดอกและผลได้อย่างสมบูรณ์ (ยงยุทธ, 2552) ซึ่งผลการทดลองพบว่าข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางสับและดินใส่ฟางเผา มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด อีกทั้งจำนวนเมล็ดลึบในดินใส่ฟางสับยังลดลงกว่า 45.45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุคควบคุม



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน โดย CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับ และฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

2.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินที่แตกต่างกันทั้ง 4 ดำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยจากการทดลองพบว่าในดินใส่ฟางเผามีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ 15.29 รองลงมาคือ ดินใส่ฟางสับ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 14.50, 10.93 และ 9.18 ตามลำดับ (ภาพที่ 12; ตารางผนวกที่ 2) ในฟางข้าวมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 80 - 120 (นิวัติ, 2557) ดังนั้นเมื่อใส่ฟางข้าวลงในดินจะส่งผลให้ดินมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงขึ้น (Rao and Mikkelsen, 1976) สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า การใส่ฟางสับและฟางเผาทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินหลังการทดลองเพิ่มขึ้น 20.69 และ 11.05 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 3) ซึ่งค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมีค่าประมาณ 10 - 12 (สุนทร, 2549) จึงพบว่าข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางสับและดินใส่ฟางเผามีการเจริญเติบโตด้านปริมาณความสูงและจำนวนกอดต่อกระถางสูงที่สุด นอกจากนั้นค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนยังมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน โดยเป็นปัจจัยบ่งชี้ว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์มีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่จัดว่าเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์จะอยู่ในช่วง 20: 1 ถึง 30: 1 (นิวัติ, 2557)



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน โดย CL คือ ชุคควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ ฟางสับและฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ย อินทรีย์

2.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่แตกต่างกัน 4 คำรับทดลอง คือ ชุคควบคุม ดินใส่ฟางสับ ดินใส่ ฟางเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินใส่ฟางสับมี ค่าฟอสฟอรัสในดินสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 157.25 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ดินใส่ ปุ๋ยอินทรีย์ ดินใส่ฟางเผา และชุคควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 43.56, 21.96 และ 17.66 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยในฟางข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ปริมาณ 1 ตัน เมื่อมีการย่อยสลายจะมีธาตุ ฟอสฟอรัสประมาณ 1.1 กิโลกรัม (นิตยา และคณะ, 2549) ดินที่ใส่ฟางข้าวสับจึงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ เป็นประโยชน์ในปริมาณที่สูงกว่าคำรับทดลองอื่น

2.7 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

โพแทสเซียมในดินที่ใช้เพาะปลูกข้าวที่แตกต่างกัน 4 คำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินใส่ฟางเผามีค่าโพแทสเซียมในดินสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 395.21 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินใส่ฟางสับ และชุคควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 228.66, 193.88 และ 84.20 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้อง กับงานวิจัยของ Ponnamperna (1984) ที่พบว่า การเผาฟางข้าวและการไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น 12.5 และ 11.6 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ponnamperna (1984) ทำการศึกษาอิทธิพลของการจัดการฟางข้าวในรูปแบบต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน พบว่าการไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว และการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวไว้ในนามีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นมากกว่าการเผาหรือการนำฟางข้าวออกจากแปลงนา การไถกลบฟางข้าวลงในดินติดต่อกันในระยะยาวมีผลต่อการเพิ่มศักยภาพของดินในการเพิ่มผลผลิตของพืชที่เพาะปลูก โดยเมื่อมีการไถเผาคอซังและฟางข้าว ผลผลิตข้าวเฉลี่ยจะได้ 3.4 ตันต่อเฮกแตร์ ในขณะที่การไถกลบคอซังและฟางข้าวจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 4.1 ตันต่อเฮกแตร์

2.8 ค่าปฏิกิริยาดิน (pH)

ค่า pH ในดินที่ใช้เพาะปลูกที่แตกต่างกันทั้ง 4 ดำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินใส่ฟางเผามีค่า pH ในดินสูงที่สุด เท่ากับ 7.71 รองลงมาคือ ชุดควบคุม ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และดินใส่ฟางสับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.52, 7.43 และ 7.32 ตามลำดับ ฟางข้าวเผามีคุณสมบัติเป็นด่าง เมื่อเติมสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นด่างลงไปดินจะทำให้ดินมี pH สูงขึ้นด้วย (Masulili and Utomo, 2010) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า pH ในดินใส่ฟางเผาที่เพิ่มขึ้นจาก 6.74 เป็น 7.71 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดำรับทดลองอื่น ส่วนดินใส่ฟางสับเมื่อเกิดกระบวนการเน่าเปื่อยผุพังของอินทรีย์วัตถุส่งผลให้เกิดกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก ค่า pH ของดินจึงมีค่าลดลงทำให้มีสภาพเป็นกรด (บุญแสน, 2557) โดยพบว่าในดินใส่ฟางสับมีค่า pH เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือจาก 6.48 เป็น 7.32 ค่าความเป็นกรดด่างของดินนั้นมีผลต่อการเพิ่มและลดปริมาณธาตุอาหารในดินที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ จากการศึกษาของปรัชญา และคณะ (2534) พบว่าการไถกลบตอซังและฟางข้าวในอัตราตั้งแต่ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ขึ้นไป จะทำให้ผลผลิตของข้าวโดยเฉลี่ยสูงขึ้น และมีแนวโน้มทำให้ pH ของดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกด้วย

ค่าความเป็นกรดต่างของดิน (pH) ในช่วงที่มีค่าเป็นกลางนั้นจะเหมาะสมสำหรับการผลิต ก๊าซมีเทน ซึ่งหากค่าความเป็นกรดต่างของดินมีค่าต่ำกว่า 5.75 หรือสูงกว่า 8.75 จะทำให้เกิดการยับยั้ง การเกิดก๊าซมีเทนได้ (Wang *et al.*, 1997) เนื่องจากจะเกิดการยับยั้งกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ ของจุลินทรีย์

2.9 ความหนาแน่นดินรวม

ค่าความหนาแน่นดินรวมที่ใช้เพาะปลูกที่แตกต่างกัน 4 ตำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินใส่ฟางสับมีค่าความหนาแน่นดินรวมสูงที่สุด เท่ากับ 1.28 กรัม

ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาคือ ชูดควบคุม ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และดินใส่ฟางเผา โดยมีค่าเท่ากับ 1.14, 1.10 และ 0.89 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากดินที่มีการใส่ฟางเมื่อเกิดการย่อยสลายฟางอย่างสมบูรณ์จะส่งผลให้ดินมีลักษณะร่วนซุย ดินโดยทั่วไปมีความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.80 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนดินใส่ฟางเผาที่พบว่ามีความหนาแน่นรวมของดินน้อยที่สุด เนื่องจากฟางข้าวที่ถูกเผาจนเป็นถ่านจะมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการระบายน้ำเพิ่มขึ้น (อรสา, 2552) ดินที่มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชจะมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.00 - 1.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดินจะมีลักษณะละเอียด (บุญแสน, 2557) จากการทดลองพบว่า ดินใส่ฟางสับมีความหนาแน่นรวมของดินสูงที่สุดเท่ากับ 1.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นรวมของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช

3. ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินที่ปลูกข้าว

3.1 การสะสมคาร์บอนในดิน

ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินทั้ง 4 ดำรับทดลองสามารถคำนวณได้จากค่า คาร์บอนในดิน (SOC content) ความหนาแน่นของดิน (BD) ระดับความลึกของดิน (depth) ขนาดพื้นที่ (area) ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินมีหน่วยเป็นตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก

จากผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนสะสมในดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินมากที่สุด คือ 6,207.40 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก รองลงมาคือ ดินใส่ฟางสับ ดินใส่ฟางเผา และชูดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 5,629.62, 5,296.29 และ 3,903.70 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ซึ่งดำรับทดลองชูดควบคุมมีปริมาณคาร์บอนสะสมน้อยที่สุด เนื่องจากมีอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นในปริมาณน้อยที่สุด คือ 19.46 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 3) และเมื่อพืชนำคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตและคาร์บอนอีกส่วนหนึ่งถูกปลดปล่อยออกไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์ (สุบัณฑิต, 2549) จึงทำให้ชูดควบคุมมีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินน้อยกว่าดำรับทดลองอื่น

การจัดการดินมีผลต่อปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน ซึ่งจากการทดลองพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนดินใส่ฟางสับ และดินใส่ฟางเผา เนื่องจากอินทรีย์วัตถุที่เป็นส่วนประกอบในปุ๋ยอินทรีย์จะสลายตัวได้ช้า และเมื่อผ่าน

กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์แล้วจะมีการบอนส่วนหนึ่งตกค้างอยู่ในดิน อีกทั้งจากผลการทดลองพบว่า ดินไผ่ปุ๋ยอินทรีย์มีการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชน้อยกว่าดินไผ่ฟางสับ และดินไผ่ฟางเผา จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สูญเสียจากการนำไปใช้ของพืชและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศลดลงด้วย โดยทั่วไปปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนใหญ่จะถูกสะสมไว้ในส่วนของเมล็ดข้าว รองลงมาคือ ลำต้น และใบ ตามลำดับ (พวงผกา และคณะ, 2552) ดังนั้นจากการทดลองจึงพบว่า ดินไผ่ปุ๋ยอินทรีย์มีการปริมาณคาร์บอนสะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดินชนิดอื่น โดยมีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินเพิ่มขึ้นถึง 37.12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Huang *et al.* (2010) พบว่า นาข้าวที่ไผ่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นถึง 61.60 เปอร์เซ็นต์ นาข้าวตามวิธีการเกษตรอินทรีย์จะช่วยส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดีกว่าวิธีการเกษตรเคมี (ธาริณี, 2555) โดยจะมีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินมากกว่านาประเภทอื่นๆถึง 2-5 เท่า (ภัทรา, 2554) ดังนั้นจึงพบว่าอัตราการสะสมอินทรีย์คาร์บอนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับวัสดุอินทรีย์ต่างๆ ที่ใส่ลงไปในดิน (ศุภกาญจน์, 2552) จากการทดลองจึงพบว่า ดินไผ่ฟางสับ ดินไผ่ฟางเผา และดินไผ่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนสะสมเพิ่มขึ้น 1.44, 1.36 และ 1.59 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 8 ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดิน

Treatment	Carbon stock in paddy soil (kg C/ha/crop)	Net Carbon (kg C/ha/crop)
CL	3,903.70d	650.33b
SDR	5,629.62b	1,104.02ab
SBR	5,296.29c	1,265.66a
SOF	6,207.40a	1,350.44a
F-test	**	*
% CV	19.84	12.63

หมายเหตุ

* คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ

CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา

SDR คือ ดินใส่ฟางสับ

SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา

SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

3.2 ปริมาณคาร์บอนสุทธิ

ปริมาณคาร์บอนสุทธิในดินที่ปลูกข้าวสามารถคำนวณจากผลต่างของปริมาณคาร์บอนในส่วนที่เข้า (carbon input) กับปริมาณคาร์บอนที่ออกจากนาข้าว (carbon output) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้กำหนดปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ปลูก คือ การใส่ฟางข้าวและการใส่ปุ๋ย และปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากพื้นที่ปลูก คือ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน คาร์บอนในผลผลิตข้าว (เมล็ดข้าวดี และเมล็ดข้าวลีบ) และฟางข้าว

ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณคาร์บอนสุทธิจากทั้ง 4 ดำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณคาร์บอนสุทธิในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1,350.44 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับดินใส่ฟางสับและดินใส่ฟางเผา ซึ่งมีค่าปริมาณคาร์บอนสุทธิเท่ากับ 1,104.02 และ 1,265.66 กิโลกรัมคาร์บอนต่อ เฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก ตามลำดับ โดยที่ชุดควบคุมมีค่าปริมาณคาร์บอนสุทธิน้อยที่สุดเท่ากับ 650.33 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อฤดูกาลเพาะปลูก (ตารางที่ 8) กระบวนการจัดการดินมีส่วนสำคัญต่อปริมาณคาร์บอนสุทธิในดิน ซึ่งจะเห็นได้ว่า ดินใส่ฟางเผา ดินใส่ฟางสับ และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณคาร์บอนสุทธิในดินแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างชัดเจน โดยพบว่าดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนสุทธิสูงที่สุด เนื่องจากอินทรีย์วัตถุที่ใส่ลงดินนอกจากจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินเพิ่มสูงขึ้นแล้ว อินทรีย์วัตถุบางส่วนจะสลายตัวได้ช้า ทำให้ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มเข้าพื้นที่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี (ธาริณี, 2555) นอกจากนั้นยังมีการสูญเสียในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน (ตารางที่ 7) สูญเสียไปกับการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของข้าวน้อยกว่าดินใส่ฟางสับ จึงส่งผลให้ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนสุทธิสูงที่สุด

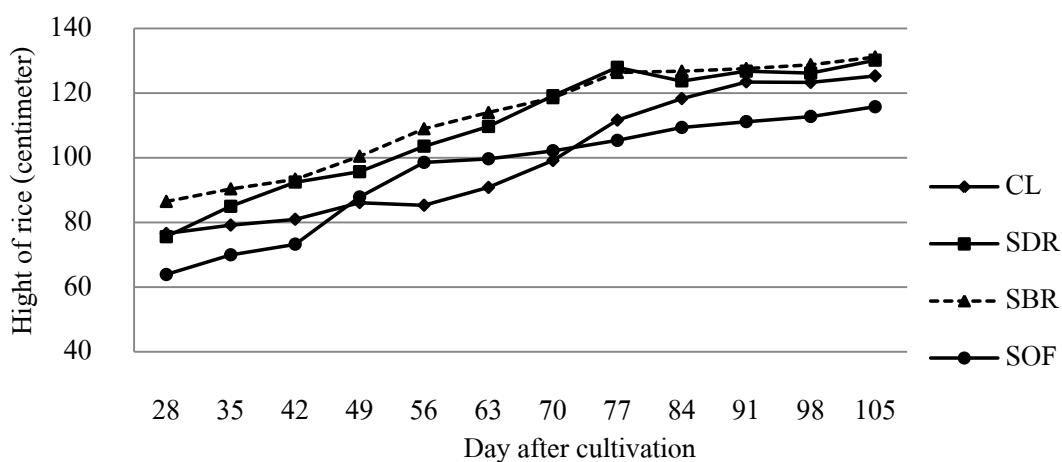
จากผลการทดลองพบว่าดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินสูงที่สุด ซึ่งการจัดการดินโดยใช้ ฟางสับ ฟางเผา และปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้ดินมีการสะสมคาร์บอนเพิ่มขึ้น 1.44, 1.36 และ 1.59 เท่าของชุดควบคุม ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ ธาริณี (2555) ซึ่งพบว่า นาอินทรีย์ทั้งที่มีและไม่มีการจัดการน้ำจะมีปริมาณคาร์บอนสะสมในพื้นที่ดินสูงกว่านาที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี 1.2 เท่า และ Minamikawa and Sakai (2007) ซึ่งรายงานว่าโดยการเพาะปลูกข้าว 1 รอบ จะสามารถช่วยสะสม

คาร์บอนในพื้นที่ปลูกได้ประมาณ 278-538 กรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร

4. การเจริญเติบโตของข้าว

4.1 ความสูง

จากการวัดความสูงของต้นข้าวที่เพาะปลูกใน 4 ดำรับทดลอง พบว่า ความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผาพบว่าต้นข้าวมีความสูงมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 131.20 เซนติเมตร รองลงมาก็คือดินใส่ฟางสับ ชุคควบคุม และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าเท่ากับ 130.20, 125.80 และ 115.80 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 13) โดยดินที่มีการใส่ฟางเผาดันข้าวมีความสูงมากที่สุดเนื่องจาก ในฟางข้าวมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 1.8-2.1 เปอร์เซ็นต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ซึ่งการใส่ฟางข้าวลงในดินทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 3) โดยไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช มีส่วนช่วยในการสร้างเนื้อเยื่อในการเจริญเติบโต (ขงยุทธ, 2552) จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางสับและฟางเผามีค่าสูงที่สุด



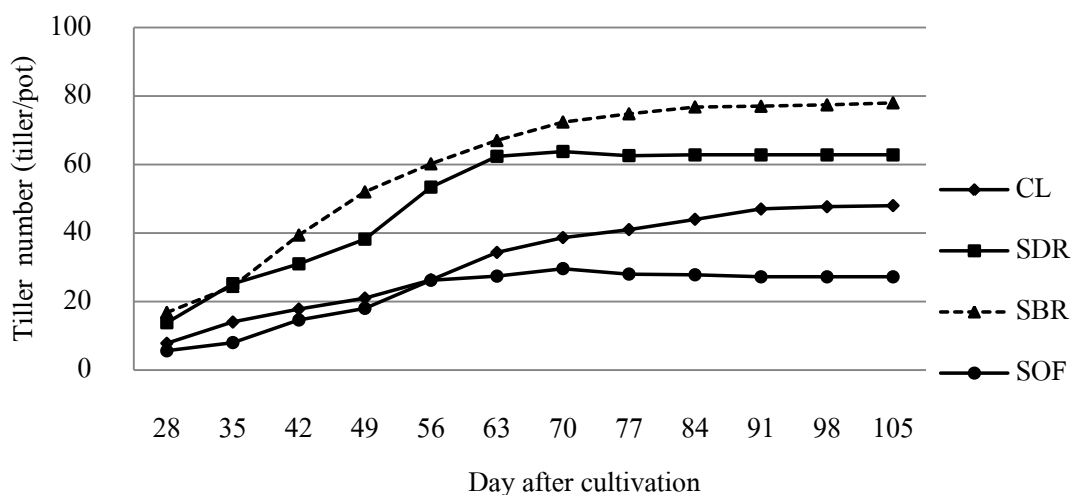
ภาพที่ 13 เปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูก โดย CL คือ ชุคควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

4.2 จำนวนกอ

จำนวนกอดต่อกระถางที่เพาะปลูกใน 4 ดำรับทดลอง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีค่าจำนวนกอดต่อกระถางมากที่สุด คือ 78 กอดต่อกระถาง รองลงมาคือ ดินใส่ฟางสับ ชุตควบคุม และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งพบจำนวนกอดต่อกระถางเท่ากับ 63, 48 และ 27 กอดต่อกระถาง ตามลำดับ (ภาพที่ 14) เนื่องจากการใส่ฟางข้าวเผาลงในดินจะช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารให้แก่ดิน ช่วยในการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาจากดินอย่างช้าๆ ตรงตามช่วงความต้องการของพืช อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในท่อลำเลียงและการนำธาตุในโตรเจนไปใช้ของพืช (Lehmann *et al.*, 2002) จึงช่วยให้พืชเจริญเติบโตทางด้านลำต้นดีกว่าดินดำรับทดลองอื่น ดังนั้นดินใส่ฟางเผาจึงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดำรับทดลองอื่น (ภาพที่ 11)

โดยการทดลองของ นิตยาและคณะ (2549) พบว่าในฟางข้าวมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยในฟางข้าว 1 ตัน มีธาตุไนโตรเจน ประมาณ 5.4 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 1.1 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 145 กิโลกรัม ดังนั้นเมื่อใส่ฟางลงไปดินจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนาข้าวนอกจากจะมีการปลดปล่อยออกมาจากดินและกระบวนการ CH_4 oxidation ส่วนหนึ่งจะมาจากการปลดปล่อยออกมาจากพืช หากพืชมีการเจริญเติบโตสูงก็จะสามารถปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสูงตามไปด้วย จากผลการทดลองพบว่าดินใส่ฟางข้าวสับมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากการที่ถ่านฟางข้าวเผามีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลทั้งประจุบวกและประจุลบ คาร์บอนบางส่วนจึงอาจถูกกักเก็บไว้ในดิน (Lehmann *et al.*, 2006; DeLuca *et al.*, 2009)



ภาพที่ 14 เปรียบเทียบจำนวนกอของข้าวตลอดฤดูการเพาะปลูก โดย CL คือ ชุคควมคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา SDR คือ ดินใส่ฟางสับ SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

4.3 จำนวนใบต่อต้น

จำนวนใบต่อต้นจาก 4 คำรับทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งจำนวนใบที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีจำนวนใบต่อต้นมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 6 ใบต่อต้น รองลงมาคือ ดินใส่ฟางสับ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และชุคควมคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 ใบต่อต้น ในฟางข้าวมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยในฟางข้าว 1 ตัน มีธาตุอาหารไนโตรเจนประมาณ 5.4 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 1.1 กิโลกรัมและโพแทสเซียม 145 กิโลกรัม ดังนั้น เมื่อใส่ฟางลงไปดินจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (นิตยา และคณะ, 2549)

4.4 จำนวนรวงต่อกระถาง

จำนวนรวงข้าวที่เพาะปลูกในทั้ง 4 ชนิดดิน มีจำนวนรวงต่อกระถางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีจำนวนรวงข้าวมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 63 รวงต่อกระถาง รองลงมาคือ ดินใส่ฟางสับ ชุคควมคุม และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าเท่ากับ 47, 36 และ 20 รวงต่อกระถาง ตามลำดับ เนื่องจากจำนวนกอข้าวต่อกระถางที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีจำนวนกอสูงที่สุดจึงมีจำนวนรวงต่อกระถางสูงที่สุด (ภาพที่ 14) โดยต้นข้าวที่แตกกอมากและตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยจะมีจำนวนรวงต่อกอมาก ทำให้จำนวนรวงต่อเนื้อที่เพาะปลูกมากซึ่งทำให้มีผลผลิตสูง (Baker, 2004)

ตารางที่ 9 การเจริญเติบโตของข้าว

Treatment	Plant height (centimeter)	Tiller number (tiller/pot)	Leaf number (leaf/tiller)	Panicle number (panicle/pot)
CL	125.80b	48c	5b	36c
SDR	130.20a	63b	5b	47b
SBR	131.20a	78a	6a	63a
SOF	115.80c	27d	5b	20d
F-test	**	**	*	**
%CV	2.39	9.50	8.36	16.07

หมายเหตุ

* คือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่อยู่ในคอลัมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ

CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา

SDR คือ ดินใส่ฟางสับ

SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา

SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

4.5 น้ำหนักฟางข้าวสดและน้ำหนักฟางข้าวแห้ง

น้ำหนักฟางข้าวสดและน้ำหนักฟางข้าวแห้งที่เพาะปลูกใน 4 ดำรับทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยค่าน้ำหนักฟางข้าวสดและแห้งที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผา มีน้ำหนักฟางข้าวสดและฟางข้าวแห้งมากที่สุดเท่ากับ 618.77 และ 174.80 กรัม ตามลำดับ เนื่องจากฟางข้าวมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 1.8-2.1 เปอร์เซ็นต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ธาตุไนโตรเจนจะมีส่วนช่วยในการกระตุ้นการเจริญเติบโตโดยไม่อาศัยเพศของพืชโดยเฉพาะไนโบและลำต้น นอกจากนั้นยังส่งเสริมให้พืชมีความแข็งแรง (ยงยุทธ, 2552) ปริมาณธาตุไนโตรเจนในดินมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช โดยธาตุไนโตรเจนส่วนหนึ่งถูกใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผา มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด จึงมีปริมาณไนโตรเจนในดินน้อยกว่าดำรับทดลองอื่น (ภาพที่ 11) เนื่องจากข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผาซึ่งมีค่าจำนวนกอและความสูงของต้น

ข้าวมากที่สุด ดังนั้นจึงมีน้ำหนัฟางข้าวสดและฟางข้าวแห้งมากที่สุด รองลงมาคือ ดินใส่ฟางสับ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และชุดควบคุม ซึ่งมีน้ำหนัฟางข้าวสดเท่ากับ 433.90, 213.01 และ 437.78 กรัม ตามลำดับ และมีน้ำหนัฟางข้าวแห้งเท่ากับ 123.51, 59.32 และ 130.28 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

4.6 น้ำหนักรากข้าวสดและน้ำหนักรากข้าวแห้ง

น้ำหนักรากข้าวสดและน้ำหนักรากข้าวแห้งที่เพาะปลูกใน 4 ดำรับทดลองมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยค่าน้ำหนักรากข้าวสดและรากข้าวแห้งที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผา มีน้ำหนักรากข้าวสดและรากข้าวแห้งมากที่สุดเท่ากับ 662.90 และ 249.26 กรัม ตามลำดับ เนื่องจากข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผา มีการเจริญทางด้านลำต้นสูงที่สุด ทั้งทางด้านจำนวนกอและความสูงจึงพบว่ามีน้ำหนักรากข้าวสดและน้ำหนักรากข้าวแห้งสูงที่สุดด้วย รองลงมาคือ ดินใส่ฟางแห้ง สับ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และชุดควบคุม ซึ่งมีน้ำหนักรากข้าวสดเท่ากับ 486.37, 258.44 และ 505.80 กรัม ตามลำดับ และมีน้ำหนักรากข้าวแห้งเท่ากับ 161.56, 41.74 และ 149.51 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

รากเป็นอวัยวะที่สำคัญของพืชที่ทำหน้าที่ในการดูดน้ำและธาตุอาหารไปเลี้ยงลำต้นพืช และยังทำหน้าที่ในการยึดเกาะดินทำให้พืชทรงตัวอยู่ได้ ทำหน้าที่สะสมอาหาร และเป็นแหล่งเริ่มต้นในการสร้างฮอร์โมนพืช การเจริญเติบโตของรากจึงมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของส่วนยอด (Gardner, 1985) และในทางกลับกันเมื่อพืชมีการเจริญเติบโตในส่วนยอดได้ดีจึงส่งผลให้รากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีตามไปด้วย (Russell, 1977) ดังนั้นจึงสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า ดินใส่ฟางเผา มีการเจริญเติบโตทางด้านจำนวนกอและความสูงได้ดีที่สุด จึงส่งผลให้มีน้ำหนักรากข้าวสดและน้ำหนักรากข้าวแห้งสูงที่สุด ตามไปด้วย

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าว

Treatment	Weight rice straw (gram/pot)	Dry weight rice straw (gram/pot)	Weight of root (gram/pot)	Dry weight of root (gram/pot)
CL	213.01c	59.32c	258.44c	41.74c
SDR	434.78b	130.28b	505.80b	161.56b
SBR	618.77a	174.80a	662.90a	249.26a
SOF	433.90b	123.51b	486.37b	149.51b
F-test	**	**	**	**
%CV	11.30	8.94	14.05	25.59

หมายเหตุ

** คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่อยู่ในคอลัมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ

CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา

SDR คือ ดินใส่ฟางสับ

SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา

SOF คือ ดินอินทรีย์

4.7 ความยาวรากข้าว

ค่าเฉลี่ยความยาวของรากข้าวที่อายุการเพาะปลูก 20 วัน ที่ปลูกในดินทั้ง 4 ชนิด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยความยาวรากข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีความยาวรากยาวที่สุด มีค่าเท่ากับ 17.80 เซนติเมตร รองลงมาคือ ชุดควบคุม ดินใส่ฟางสับ และดินใส่ฟางเผา ซึ่งมีความยาวรากเท่ากับ 15.96, 11.76 และ 10.64 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีคุณสมบัติช่วยให้ดินร่วนซุยเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้รากพืชสามารถชอนไชเพื่อหาอาหารได้ไกล (รัชนี, 2554) ดังนั้นรากข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงมีความยาวรากยาวมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยความยาวของรากข้าวที่อายุการเพาะปลูก 30 วัน ที่ปลูกในดินทั้ง 4 ชนิด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยความยาวรากข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีความยาวรากยาวที่สุด มีค่าเท่ากับ 23.18 เซนติเมตร รองลงมาคือ ชุดควบคุม ดินใส่ฟางเผา และดินใส่

ฟางสับ ซึ่งมีความยาวรากน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 20.20, 15.76 และ 15.26 เซนติเมตร ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยความยาวของรากข้าวภายหลังการเก็บเกี่ยวมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยความยาวรากข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีความยาวรากยาวที่สุด มีค่าเท่ากับ 51.30 เซนติเมตร รองลงมาคือ ดินใส่ฟางเผา ชุคควบคุม และดินใส่ฟางสับ มีความยาวรากน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 45.60, 43.60 และ 42.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ปุ๋ยอินทรีย์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงสภาพหรือลักษณะของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ช่วยทำให้ดินมีสภาพร่วนซุยมากขึ้น ไม่อัดตัวกันแน่น ทำให้ดินมีสภาพการระบายน้ำ ระบายอากาศได้ดีทั้งยังช่วยให้ดินมีความสามารถอุ้มน้ำ หรือดูดซับน้ำที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น คุณสมบัติในข้อนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของปุ๋ยอินทรีย์เพราะดินที่มีลักษณะร่วนซุย ระบายน้ำระบายอากาศได้ดีนั้นจะส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้รวดเร็ว แข็งแรง แดกแขนงได้มาก มีระบบรากที่สมบูรณ์ จึงดูดแร่ธาตุอาหารหรือน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร, 2552) ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารหลักในดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินก่อนการทดลอง และยังช่วยในการปรับปรุงความหนาแน่นรวมของดินเพื่อให้สภาพของดินมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้นจาก 0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 1.10 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ตารางผนวกที่ 3) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นรวมของดินที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารและค่าความหนาแน่นรวมของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงส่งผลให้ข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีความยาวรากเพิ่มสูงขึ้น

5. ผลผลิตของข้าว

5.1 จำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง

จำนวนเมล็ดดีต่อรวงที่เพาะปลูกในดินทั้ง 4 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าจำนวนเมล็ดดีต่อรวงที่เพาะปลูกในชุคควบคุมมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือดินใส่ฟางเผา ดินใส่ฟางสับ และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 131, 114, 113 และ 99 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ และมีค่าจำนวนเมล็ดลีบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยค่าจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงที่เพาะปลูกในชุคควบคุมมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ดินใส่ฟางเผา ดินใส่ฟางสับ และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 55, 41, 30 และ 13 เมล็ดต่อรวง ตามลำดับ (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการไถดินที่ใส่ฟางสับ ดินใส่ฟางเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลให้ดินมีค่าเฉลี่ยธาตุอาหารไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส สูงกว่าชุคควบคุม ซึ่งธาตุอาหารทั้งสามชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งด้านลำต้นและการสืบพันธุ์ (ยงยุทธ, 2552) จึงส่งผลให้ข้าวที่เพาะปลูกในดินที่ใส่ฟางสับ ดินใส่ฟางเผาและดินใส่ปุ๋ย

อินทรี มีจำนวนเมล็ดลึบน้อยกว่าชุดควบคุม

5.2 น้ำหนักเมล็ดดีและเมล็ดลึบต่อรวง

น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงที่เพาะปลูกในดินทั้ง 4 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผา มีค่าน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงสูงที่สุดเท่ากับ 2.84 กรัมต่อรวง รองลงมา คือ ดินใส่ฟางสับ ดินใส่ปุ๋ยอินทรี และชุดควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.77, 2.72 และ 2.71 กรัมต่อรวง ตามลำดับ (ตารางที่ 11) เนื่องจากในฟางเผามีธาตุอาหาร ไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูง จึงส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงของข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผา มีน้ำหนักสูง โดยธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อพืชซึ่งจะช่วยในด้านการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มผลผลิตโดยเฉพาะพืชที่ให้เมล็ดเล็กและเพิ่มโปรตีนในพืชอาหาร และธาตุโพแทสเซียมมีส่วนช่วยในการสร้างเมล็ดของพืช โดยข้าวที่อยู่ในระยะออกดอกต้องการปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมในดินเท่ากับ 20-30 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกรัม (ขงยุทธ, 2552) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าดินใส่ฟางเผามีค่าน้ำหนักเมล็ดดีสูงที่สุด เนื่องจากในดินใส่ฟางเผา มีจำนวนเมล็ดในปริมาณมากและมีปริมาณโพแทสเซียมในดินในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช

ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะมีส่วนช่วยในด้านการเจริญเติบโตด้านการสืบพันธุ์และเสริมสร้างคุณภาพเมล็ดของพืช (ขงยุทธ, 2552) โดยปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นในดินใส่ฟางสับ ดินใส่ฟางเผา และดินใส่ปุ๋ยอินทรี จะส่งผลให้ข้าวมีจำนวนเมล็ดลึบลดลง และมีน้ำหนักเมล็ดข้าวสูงกว่าข้าวที่เพาะปลูกในชุดควบคุม (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ปริมาณผลผลิตของข้าว

Treatment	Filled seed (seed/ear)	Incomplete seed (seed/ear)	Filled seed weight (gram/ear)	Seed weight (gram/1,000 seeds)
CL	131a	55a	2.71a	21.67c
SDR	113a	30b	2.77a	24.74b
SBR	114a	41b	2.84a	24.85b
SOF	99a	13c	2.72a	27.51a
F-value	ns	**	ns	**
% CV	14.58	23.84	16.04	5.15

หมายเหตุ

** คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตัวอักษร a, b และ c ที่อยู่ในคอลัมป์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ

CL คือ ขุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา

SDR คือ ดินใส่ฟางสับ

SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา

SOF คือ ดินอินทรีย์

5.3 น้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดดี

น้ำหนักเมล็ดดี 1,000 เมล็ดดี ที่เพาะปลูกในดินที่แตกต่างกันทั้ง 4 ชนิด มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีค่าน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดดีสูงที่สุด เท่ากับ 27.51 กรัม รองลงมา คือ ดินใส่ฟางเผา ดินใส่ฟางสับ และขุดควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.85, 24.70 และ 21.67 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11) เนื่องจากในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีฟอสฟอรัสในปริมาณ 43.56 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม และมีโพแทสเซียมในปริมาณ 228.66 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยข้าวต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 20-60 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมประมาณ 20-30 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัม (ยงยุทธ, 2552) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตด้านการสืบพันธุ์และช่วยเสริมสร้างคุณภาพเมล็ดของพืชพวกธัญพืช

6. ปริมาณธาตุอาหารในพืช

6.1 ฟอสฟอรัสในพืช

ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชที่มีการเพาะปลูกในดินทั้ง 4 ดำรับทดลอง คือ ชุดควบคุม ดินใส่ฟางเผา ดินใส่ฟางสับ และดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในชุดควบคุมมีค่าฟอสฟอรัสในพืชสูงที่สุด เท่ากับ 0.43 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม รongลงมาคือดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และดินใส่ฟางสับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.41 และ 0.40 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยพืชที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีค่าฟอสฟอรัสในพืชน้อยที่สุด เท่ากับ 0.31 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 12) เนื่องจากการเจริญเติบโตของข้าวที่เพาะปลูกใน ชุดควบคุมและดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีการเจริญเติบโตน้อย ส่วนดินที่มีการใส่ฟางสับและดินใส่ฟางเผามีอัตราการเจริญเติบโตสูง พืชจึงมีการดูดธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ในการเจริญเติบโตและสะสมไว้ในพืช โดยรูปของธาตุฟอสฟอรัสในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ต้องอยู่ในรูปของสารประกอบฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^- และ HPO_4^-) พืชจึงดูดและนำไปเก็บสะสมไว้ในต้น (ยงยุทธ, 2552)

6.2 โพแทสเซียมในพืช

โพแทสเซียมในพืชที่มีการเพาะปลูกในดินทั้ง 4 ดำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีค่าโพแทสเซียมในพืชสูงที่สุด เท่ากับ 1.93 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัม รongลงมาคือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ดินใส่ฟางสับ และชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 1.89, 1.75 และ 1.74 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 12) เนื่องจากในดินที่มีการใส่ฟางเผาและดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณโพแทสเซียมในดินสูง ดังนั้นเมื่อพืชเจริญเติบโตจึงมีการดึงธาตุโพแทสเซียมในดินมาเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและเก็บสะสมไว้ในต้นพืช ได้มาก (ยงยุทธ, 2551) ซึ่งในน้ำหนักแห้งของพืช 1 กิโลกรัม จะประกอบไปด้วยโพแทสเซียมมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อพืชและทำให้พืชมีความอุดมสมบูรณ์ (Leigh and Wyn Jones, 1984)

6.3 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในพืช

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในพืชที่มีการเพาะปลูกในดินที่แตกต่างกันทั้ง 4 ดำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในพืชสูงที่สุด เท่ากับ 1.98 เปอร์เซ็นต์ รongลงมาคือ ดินใส่ฟางสับ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

และชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 1.64, 1.27 และ 1.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) เนื่องจากพืชที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีค่าการเจริญเติบโตสูงที่สุดโดยสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้สูงจึงมีปริมาณคาร์บอนในพืชสูง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในพืชในดินใส่ฟางเผาสูงกว่าชุดควบคุม ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และดินใส่ฟางสับ เท่ากับ 17.17, 35.86 และ 40.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่คาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญชนิดหนึ่งในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ นอกจากนั้นคาร์บอนในพืชยังมาจากการหมุนเวียนของคาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์คาร์บอนจากบรรยากาศจึงเคลื่อนย้ายเข้าสู่พืช (สุบัณทิต, 2549)

6.4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชที่มีการเพาะปลูกในดินทั้ง 4 ดำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชสูงที่สุด เท่ากับ 34.40 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ชุดควบคุม ดินใส่ฟางสับ โดยมีค่าเท่ากับ 34.36, 31.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) โดยพืชที่เพาะปลูกในดินใส่ฟางเผามีค่าไนโตรเจนทั้งหมดในพืชน้อยที่สุด เท่ากับ 28.30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์จึงไม่มีการดูดเอาธาตุไนโตรเจนจากดินมาใช้ทดแทนในการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ พืชจึงสามารถใช้ประโยชน์จากธาตุไนโตรเจนจากดินได้อย่างเต็มที่ (บุญแสน, 2557)

เนื่องจากดินใส่ฟางสับและดินใส่ฟางเผามีการเติมฟางข้าวที่เป็นอินทรีย์วัตถุชนิดหนึ่งลงในดินทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน โดยปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยในการย่อยสลายตัวของซากพืชซากสัตว์คือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนซึ่งค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในอัตราส่วน 10:1 หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงหรือต่ำกว่านี้จะมีการดูดเอาธาตุไนโตรเจนจากดินมาใช้แทน ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินลดลงพืชจึงนำไปใช้ประโยชน์และเก็บสะสมไว้ได้น้อยลง (บุญแสน, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าดินใส่ฟางสับและดินใส่ฟางเผา มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 14.50 และ 15.29 ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) จึงส่งผลให้ดินใส่ฟางเผาและดินใส่ฟางสับมีการสะสมธาตุไนโตรเจนในพืชน้อยกว่าดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ตารางที่ 12 ปริมาณธาตุอาหารในพืช

Treatment	Phosphorus (mg P/kg)	Potassium (mg K/kg)	Total N	Total C	C/N ratio
CL	0.43a	1.74c	34.36a	1.17d	16.83d
SDR	0.40b	1.75c	31.10b	1.64b	18.88c
SBR	0.31c	1.93b	28.30c	1.98a	22.33b
SOF	0.41ab	1.89a	34.40a	1.27c	30.13a
F-value	**	**	**	**	**
% CV	8.32	3.86	1.29	2.96	2.05

หมายเหตุ

** คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่อยู่ในคอลัมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ

CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา

SDR คือ ดินใส่ฟางสับ

SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา

SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

6.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืช

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชที่มีการเพาะปลูกในดินทั้ง 4 ดำรับทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่เพาะปลูกในดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชสูงที่สุด เท่ากับ 30.13 เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ลงไปดินมีปริมาณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 7.22 (ตารางที่ 5) จึงเป็นการเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดิน รองลงมาคือ ดินใส่ฟางเผา ดินใส่ฟางสับ และชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 22.33, 18.88 และ 16.83 ตามลำดับ โดยในดินที่ใช้เพาะปลูกข้าวทั้ง 4 ดำรับทดลอง มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่มีประโยชน์ต่อพืช ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีประโยชน์ต่อพืชมีค่าประมาณ 10-12 (สุนทร, 2549) จึงส่งผลให้พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดีจึงมีการสะสมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในพืชสูงกว่าดำรับทดลองอื่น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ใช้ปลูกข้าวในการจัดการดินที่แตกต่างกันสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การจัดการดินแตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินมีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า ดินไส้ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินสูงที่สุด รองลงมาคือ ดินไส้ฟางเผา ดินไส้ฟางสับ และชุดควบคุม ตามลำดับ
2. ปริมาณธาตุอาหารหลักสะสมในดินปลูกข้าวที่มีการจัดการดินแตกต่างกันพบว่า ดินไส้ฟางข้าวสับมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงที่สุด ส่วนดินไส้ฟางข้าวเผามีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์คาร์บอนในดิน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุด
3. พบการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินไส้ฟางข้าวสับในปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือ ดินไส้ปุ๋ยอินทรีย์ ดินไส้ฟางเผา และชุดควบคุม ตามลำดับ
4. การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวนั้นพบว่า ข้าวที่เพาะปลูกในดินไส้ฟางเผามีปริมาณความสูง จำนวนก่อดอกระถาง จำนวนรวงต่อกระถางสูงที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่าชุดควบคุมมีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงสูงที่สุด แต่น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวงในดินไส้ฟางเผามีค่าสูงที่สุด และพบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ดดี จากดินไส้ปุ๋ยอินทรีย์มีน้ำหนักสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองครั้งนี้เป็นการทำการทดลองในกระถาง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการหาอาหารของรากข้าวและจะส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของข้าว ดังนั้นควรทำการศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีพื้นที่ใหญ่ขึ้น เช่น แปลงทดลอง หรือแปลงนาข้าว
2. ควรมีการศึกษาคุณสมบัติของฟางข้าวและปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลอง เพื่อการประเมินผลที่ถูกต้องมากขึ้น
3. เพื่อความแม่นยำในการทดลองควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในฤดูกาลต่างๆ และควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องหลายๆ ฤดูกาลเพาะปลูก
4. ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน และองค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดข้าว เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนสุทธิ
5. ควรมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **โลกบดบัง สร้างดินยั่งยืน พื้นสิ่งแวดล้อม**. สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทาง
ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน.

_____. 2552. **บอกข่าว เล่าความ แก่โลกร้อนด้วยวิถีไทย**. หนังสือพิมพ์มติชน 6 สิงหาคม 2552.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**.
พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

เครื่องมือ สัมภาษณ์. 2554. แนวโน้มการสะสมคาร์บอนในดินที่ใช้ปลูกข้าวจากการใส่ฟางข้าวและ
ฟางข้าวเผา. **Veridian-Journal**. 4(1): 931-941.

ชาญ มงคล. 2536. **ข้าว**. ตำรา-เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 63. ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ
หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู. โรงพิมพ์การศาสนา กรุงเทพฯ.

ชาติชาย มณีสุวรรณ. 2545. **อิทธิพลของวิธีการปลูกข้าวและการเพิ่มอินทรีย์วัตถุต่อการปลดปล่อย
ก๊าซมีเทนจากนาข้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ดวงพร คันธโชติ. 2545. **นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันท์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ การ
วิเคราะห์ดินและพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 7. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ เจียรพสุนันต์. 2552. **ศึกษาการทำนาชลประทานที่ยั่งยืนภายใต้ความเสี่ยงของการ
เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ**. บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัย
พระจอมเกล้าธนบุรีและศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม.

ธาริณี เฝ้าสีหา. 2555. การประเมินบัญชีคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าวที่ปลูกตามแนวทางเกษตรเคมีและอินทรีย์ร่วมกับการจัดการน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นารัตน์ ไกรพานนท์ และศิริช แก้วเจริญ. 2550. ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินเป็นแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 21 (3): 50-55.

นิตยา ชื่นสุข, ถัดดาวัดย์ กรรณนุช และวาสนา อินแถลง. 2549. ผลของการจัดการฟางต่อการสะสมธาตุหลักในเมล็ด. รายงานผลงานประจำปี 2549 ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว

บุญหงส์ จงกิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ปัทมา ศิริธัญญา. 2553. รายงานการศึกษา ก๊าซเรือนกระจกในระบบการผลิตข้าว ภายใต้โครงการจัดทำแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก การผันผวนของราคาพลังงานและวิกฤติอาหารโลก. เสนอสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

ปรีชา ชาญญาติ, ประชา นาคะประเวศ, พิชยากร ลิมทอง, แววดา วาสนานุกูล, ปรีดี ศิริรักษา, สุภาพร จันรุ่งเรือง และพันทิพา ไชยานะ. 2534. ศึกษาการไถกลบตอซังข้าวเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ. รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ.

ประภาส วีระแพทย์. 2531. ความรู้เรื่องข้าว. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช กรุงเทพฯ

พจน์ย์ มอญเจริญ และทวีศักดิ์ เวียร์ศิลป์. 2541. คาร์บอนในดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ

ไพบุตย์ วิวัฒน์วงศ์นา. 2546. เคมิดิน. เชียงใหม่พิมพ์สวย เชียงใหม่.

ขงยุทธ โอสดสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรุงเทพฯ

รัชณี สนกก. 2554. เศรษฐกิจการใช้เทคโนโลยีการไถกลบตอซังเพื่อบรรเทาภาวะโลกร้อน. สำนัก
เศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วนิดา จินาสตร. 2551. มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์. 2556. ฟางข้าวและพืชปุ๋ยสด: ไถกลบลงอย่างไรในภาวะโลกร้อน?
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 18(4): 697-708.

วิฑูรย์ ปัญญากุล. 2538. โลกร้อนบทเรียนจากอนาคต. จัดพิมพ์โดยสถาบันชุมชนท้องถิ่นพัฒนา
ถนนบำรุงเมือง เขตป้อมปราบ กรุงเทพฯ

วีระศักดิ์ อุดมโชค. 2534. โลกร้อน. วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ 18(1-2): 31-43

วีรานุช หลาง. 2551. จุลินทรีย์วิทยาสังแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี. 2552. การสะสมคาร์บอนในดินจากการไถกลบเศษซากพืชและวัสดุอินทรีย์
อย่างต่อเนื่องระยะยาวในการผลิตข้าวโพด. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์.

สถาบันวิจัยข้าว. 2529. การทำน่าน้ำฝน. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย
จำกัด กรุงเทพฯ

สถาบันวิจัยข้าว. 2544. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่ง
ประเทศไทย จำกัด กรุงเทพฯ

สายพิน พูนแก้ว. 2546. อิทธิพลของการระบายน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์
จากนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สิริกานดา วัชรไทย. 2551. การศึกษาศึกษาสมมูลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสับปะรดที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุบัณฑิต นิมรรัตน์. 2549. จุลชีววิทยาทางดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

สุนทรี อัครชนกุล. 2549. บทปฏิบัติการปฐพีวิทยามูลฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 3 ภาคปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เดชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ วังใน. 2529. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

อรรควดี ทศน์สองชั้น. 2530. เรื่องของข้าว. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อรรถชัย จินตะเวช. 2547. การสะสมคาร์บอน. เอกสารประกอบการสอนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติเพื่อการใช้ประโยชน์และการอนุรักษ์ความหลากหลายที่ยั่งยืน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 58 น.

อินแปง ดวงวงศา. 2553. การจัดการฟางข้าวเพื่ออนุรักษ์ธาตุ N, P, และ K ในดินนาของประเทศลาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี.

อุทิศ กุญอินทร์. 2542. นิเวศวิทยา: พื้นฐานเพื่อการป่าไม้. โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ.

อรสา สุกสว่าง. 2552. การสัมมนาวิชาการ เรื่องเทคโนโลยีถ่านชีวภาพ: คำตอบสำหรับลดโลกร้อน สร้างความสมบูรณ์ให้ดิน และกำจัดความยากจน. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ

เอกสวณ ชูวิสิฐกุล. 2544. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์
การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

นิวัติ อนงค์รักษ์. 2557. **ปฐพีศาสตร์ทั่วไป**. แหล่งที่มา:

http://www.mis.agri.cmu.ac.th/course/course_lecture_download.asp?CourseNO=361201&CID=1110. 19 พฤษภาคม 2557.

บุญแสน เตียนกุลธรรม. 2557. **วิชาปฐพีวิทยา**. แหล่งที่มา:

http://www.elearning.nsu.ac.th/web_elearning/soil/lesson.php 19 พฤษภาคม 2557.

พวงผกา แก้ว, สุริย์พร ชรรณิกพงษ์ และสุรางค์รัตน์ พันแสง. 2552. การศึกษาการเปลี่ยนแปลง
อุณหภูมิอากาศและผลกระทบที่มีต่อข้าวในจังหวัดเพชรบูรณ์. แหล่งที่มา:

http://www.research.pcu.ac.th/rdb/pro_data/files/5203008.pdf. 25 พฤษภาคม 2557

ภัทรา เฟื่องธรรมกิริติ. 2554. **วิจัยยืนยันข้าวเกษตรอินทรีย์สะสมคาร์บอนในดินได้ดีที่สุด**.

14 กรกฎาคม 2554 วารสารกรีนเน็ต แหล่งที่มา: <http://www.greenet.or.th/news/1025>.
19 พฤษภาคม 2557.

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. 2552. **ปุยอินทรีย์**. แหล่งที่มา:

<http://www.pineapple-eyes.snr.ac.th/stm/index.php?q=node/186>. 19 พฤษภาคม 2557.

Alexander, M. 1977. Microorganisms in their natural habitats: Air, Water and soil Microbiology. In
Micro ecology: fundamentals and application. 4th ed. **Atlas RM and Bartha R (Ed.)**
Addison Wesley Longman, Inc., California.

Bachoon, D. and R.D. Jones. 1992. Potential rates of methanogenesis in sawgrass marshes with peat
and marl soil in the everglade. **Soil. Biochem.** 24: 21-27.

Baker, J.T. 2004. Yield responses of southern US rice cultivars to CO₂ and temperature. **Agric. For.
Meteorol.** 122: 129-137.

- Cai, Z.C., H. Tsuruta and K. Minami. 2000. Methane emission from rice fields in China: measurements and influencing factors. **J. Geophys. Res.**, 17: 231–242.
- Cheng, W., K. Yagi, H. Xu, H. Sakai and K. Kobayashi. 2005. **Chemical Geology**: 218: 15-24.
- Chaudhary, R.C. and D.V. Tran. 2001. **Speciality rices of the world**. Science Publishers, Inc., USA.
- DeLuca T.H., M. D. MacKenzie and M. J. Gundale. 2009. Biochar Effects on Soil Nutrient Transformations. **Biochar for Environmental Management**: 251-269.
- Denier van der Gon, H.A.C. 1996. **Methane Emission from Wetland Rice Fields**. Ph.D. Thesis. Wageningen Agriculture University, Wageningen.
- Dunfield, P., R. Knowles, R. Domont and T.R. Moore. 1993. Methane production and consumption in temperate and sub arctic peat soil: response to temperature and pH. **Soil Biology and Biochemistry** 25: 321 – 326.
- Follett, R.F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil & Tillage Research** 61: 77-92.
- Gardner, F.P., B.R. Pearce and R.L. Mitchell. 1985. **Physiology of Crop Plants**. Iowa State University Press, U.S.A.
- Grant, R.F., N.G. Juma, J.A. Robertson, R.C. Izaurralde and W.B. McGill. 2001. Long-Term Changes in Soil Carbon under Different Fertilizer, Manure, and Rotation: Testing the Mathematical Model Ecosystem with Data from the Breton Plots. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 65: 205-214.
- Huang, S., W. Rui, X. Peng, Q. Huang and W. Zhang. 2010. Organic carbon fraction affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 86: 153-160.

- Kaewpradit, W., B. Toomsan, G. Cadish, P. Vityakon, V. Limpinuntana, P. Saenjan, S. Jogloy and A. Patanotai. 2009. Mixing groundnut residues and rice straw to improve rice yield and N use efficiency. **Field Crop Research**. 110: 130-138.
- Kirk, G. 2004. **The Biogeochemistry of Submerged Soils**. John Wiley and Sons, Ltd., England
- Kludze, H.K., R.D. Delanne and W.H. Patrick Jr. 1993. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. **Soil Sci. Soc. Am. J** 57: 386-391.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma** 123: 1-22.
- Leco, C. 1996. **CNS – 2000 elemental analyzer – instruction manual**. St. Joseph (MI): LECO Corporation. 25 pp.
- Lehmann, J., D. Silva Jr, M. Rondon, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech and B. Glaser. 2002. Nutrient Availability and Leaching in an Archaeological Anthrosol and Ferralsol of Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments. **Plant and Soil** 249: 343-357.
- _____, J. Gaunt and M. Rondon. 2006. Bio-Char Sequestration in terrestrial Ecosystem - A Review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. 11: 403-27.
- Leigh, R. A. and R. G. Wyn Jones. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and fraction of is ion in the plant cell. **New Phytologist**. 1-13.
- Lindau, C.W., P.K. Bollich, R.D. Delaune, W.H. Patrick Jr and V. J. Law. 1991. Effect of Urea Fertilizer and environment Factors on Methane Emission from a Louisiana U.S.A. Rice Field. **Plant and Soil**. Vol. 136, pp. 195-203.

- Luo, Z., E.Wang and O.J. Sun. 2010. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. **Geoderma**. 155: 211–223.
- Man, L.H. and N.N. Ha. 2006. Effect of decomposed rice straw at different times on Rice yield. **Omonrice**. 14: 58-63.
- Maninder, K.K., B.S. Sidhu and D.K. Benbi. 2009. Effect of Organic material and rice cultivars on methane emission from rice field. **Journal of Environmental Biology**. 31: 281-285.
- Masulili, A. and W. H. Utomo. 2010. Rice husk bio-char for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk bio-char and its Influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. **Journal of Agriculture Science**. 25-33.
- 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.
- Moor T.R. and R. Knowles. 1990. Methane emission from fen, bog and swamp peatlands in Quebec. **Biogeochem**. 11: 45 – 61.
- Murakami, H., M. Kimura and H. Wada. 1999. Microbial colonization and decomposition processes in rice rhizoplane. II. Decomposition of young and old roots. **Soil Science Plant Nutrition**. 36: 441-450.
- Nishimura, S., S. Yonemura, T. Sawamoto, Y. Shirato, H. Akiyama, S. Sudo and K. Yagi. 2008. Effect of land use change from paddy rice cultivation to upland crop cultivation on soil carbon budget of a cropland in Japan. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 125: 9-20.

- Oremland, R.S. 1998. Biochemistry of methanogenic bacteria. In: Zehnder A.J.B. (Ed.) *Biology of anaerobic microorganisms*. **Wiley and Sons, New York**. 641-706.
- Patrick, Jr. W.H. and R.D. Delaune. 1977. Chemical and biological redox system affecting nutrient availability in the coastal wetlands. **Geoscience and Man**. 18 : 131-137.
- Ponnamperuma, F.N. 1984. Straw as a source of nutrients for wet land rice, PP. 117 – 136. In International Rice Research Institute. **Organic matter and rice**. Los Banos, Philippines.
- Rao, D.N. and D.S. Mikkelsen, 1976. Effect of rice straw incorporation on rice plant growth and nutrition. **Agron. J** 68: 752–755.
- Robert, L. 1995. **Soil Microbiology**. John Wiley and Sons, Inc., America
- Russell, R.S. 1977. **Plant Root Systems: Their function and interaction with the soil**. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, London.
- Sanjay, K., G. J. Lauren and J. M. Duxbury. 2009. Soil organic carbon and nitrogen stocks in Nepal long-term soil fertility experiments. **Soil and Tillage Research** 106: 95–103.
- Sainju U.M., J.D. Jabro and W.B. Stevens. 2006. Soil Carbon Dioxide Emission as Influenced by Irrigation, Tillage, Cropping System, and Nitrogen Fertilization. **Workshop on Agricultural Air Quality**, pp. 1086-1098.
- Shindo, H. and T. Nishio. 2005. Immobilization and remineralization of N following addition of wheat straw into soil: determination of gross N transformation rates by ¹⁵N-ammonium isotope dilution technique. **Soil Biology and Biochemistry**. 37: 425 – 432
- Steiner C., W. G. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls and W. Zech. 2007. Long term effect of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazon upland soil. **Plant and Soil**. 291:275-290.

- Thomas, G.W. 1996. **Soil pH and Soil Acidity**. In spark, D.L., et al., **Soil Analysis : Modern Instrumental Techniques., second edition**. New York: Marced Dekker, pp. 111 – 182.
- Topp, G.C. 1993. **Soil Water Content**. In M.R. Carter.,edition. **Soil Sampling and Method of Analysis**. Part 3. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers., 541 – 557.
- Towprayoon, S., K. Smakgahn and S. Poonkeaw. 2005. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. **Chemosphere**. 59: 1547-1556.
- Wang, Z., H. Kludze, C.R. Crozier and W.H. Patrick JR. 1995. Soil Characteristics Affecting Methane Production and Emission in Flooded Rice. **Climate Chang and Rice**. 81-90.
- _____, R.D. Delaune, W.H. Patrik JR. and P.H. Masscheleyn. 1997. Soil redox and pH effect on methane production in a flooded rice soils. **Soil Science Soci Am.Jornal**. 382-385.
- William, R.T. and R.L. Crawford. 1984. Methane production in Minnesota peatlands. **Appl. And Environ. Microbial**. 47: 1266-1271.
- Zhang, A., L. Cui, G. Pan, L. Li, Q. Hussain, X. Zhang, J. Zheng and D. Crowley. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 139: 469–475.
- Milne, E. 2008. **Soil organic carbon**. Encyclopedia of earth. Available Source: http://www.eoearh.org/article/soil_organic_carbon, 5 January 2014.



ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการเพาะปลูก

Treatment	Total C (percent)	Total N (percent)	C/N ratio	pH	Soil Carbon		Phosphorus (mg P/kg)	Potassium (mg K/kg)	Bulk density
					OM (percent)	OC (percent)			
CL	1.09b	0.10a	10.90b	6.71a	1.49b	0.87b	6.62b	45.18c	1.15a
SDR	1.38a	0.12a	11.50b	6.48a	1.98a	1.15a	16.78a	91.43a	1.31a
SBR	1.36a	0.10a	13.60a	6.74a	1.71a	0.99a	17.27a	63.30b	0.98b
SOF	1.09b	0.10a	10.90b	6.52a	1.25c	0.73b	14.63a	39.26c	0.92b
F-value	**	ns	**	ns	**	**	**	**	**
% CV	3.46	6.79	7.10	1.31	9.89	9.07	12.61	45.23	9.03

หมายเหตุ

** คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่อยู่ในคอลัมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ

CL คือ ซุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา

SDR คือ ดินใส่ฟางสับ

SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา

SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังการเพาะปลูก

Treatment	Total C (percent)	Total N (percent)	C/N ratio	pH	Soil Carbon		Phosphorus (mg P/kg)	Potassium (mg K/kg)	Bulk density
					OM (percent)	OC (percent)			
CL	1.47b	0.14a	9.18b	7.52b	1.85c	1.07b	17.66d	84.20d	1.14b
SDR	2.03a	0.16a	14.50a	7.32c	3.01a	1.74a	157.25a	193.88c	1.28a
SBR	1.07c	0.07b	15.29a	7.71a	3.21a	1.86a	21.96c	395.21a	0.89c
SOF	1.64c	0.15a	10.93b	7.43bc	2.77b	1.60a	43.56b	228.66b	1.10b
F-value	**	**	**	**	**	**	**	**	**
% CV	24.32	6.17	4.39	1.33	4.52	3.42	3.28	1.13	10.86

หมายเหตุ

** คือ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอักษร a, b, c และ d ที่อยู่ในคอลัมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ

CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา

SDR คือ ดินใส่ฟางสับ

SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา

SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ตารางผนวกที่ 3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนการเพาะปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

Treatment	Organic matter			Organic carbon			Total C			C/N ratio			Total N		
	(percent)			(percent)			(percent)						(percent)		
	Before	After	Change	Before	After	Change	Before	After	Change	Before	After	Change	Before	After	Change
			(percent)			(percent)			(percent)			(percent)			(percent)
CL	1.49	1.85	19.46	0.87	1.07	18.69	1.09	1.47	25.85	10.90	9.18	-17.55	0.10	0.14	28.57
SDR	1.98	3.01	34.22	1.15	1.74	33.91	1.38	2.03	32.02	11.50	14.50	20.69	0.12	0.16	25.00
SBR	1.71	3.21	46.73	0.99	1.86	46.77	1.36	1.07	-27.10	13.60	15.29	11.05	0.10	0.07	-42.86
SOF	1.25	2.77	54.87	0.73	1.60	54.38	1.09	1.64	33.54	10.90	10.93	0.27	0.10	0.15	33.33

หมายเหตุ

CL คือ ชุดควบคุม ดินที่ไม่มีการใส่ฟางสับและฟางเผา

SDR คือ ดินใส่ฟางสับ

SBR คือ ดินใส่ฟางข้าวเผา

SOF คือ ดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายณัฐพล บัวจันทร์
วัน เดือน ปีเกิด	16 มกราคม 2531
สถานที่เกิด	อำเภอท่าชนะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

