รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด ปีงบประมาณ 2559

1.แผนงานวิจัย	วิจัยและพัฒนาการผลิตพืชไร่และพืชทดแทนพลังงานในภาวการณ์เปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	
2. โครงการวิจัย	การสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน	
กิจกรรมที่	4. การสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง	
กิจกรรมย่อยที่	-	
3. ชื่อการทดลอง	ศึกษาการจัดการปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินในระบบการผลิตถั่วเหลืองในสภาพนา Fertilizer Management for Soil Carbon Bank in the Soybean Cropping System After Rice	
4. คณะผู้ดำเนินงาน		
หัวหน้าโครงการวิจัย	ศุภกาญจน์ ล้วนมณี	ผอ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
หัวหน้าการทดลอง	พรพรรณ สุทธิแย้ม	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
ผู้ร่วมงาน	นภาพร คำนวณทิพย์	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
	สุพรรณณี เป็งคำ	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
	ปัทมกร พงวาเรศ	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่

5. บทคัดย่อ

การศึกษาทำขึ้นเพื่อหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในระบบปลูกถั่วเหลืองในสภาพนา และได้วิธีการจัดการปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในระบบ ซึ่งจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ในการทดลองนี้ เป็นก๊าซ CO_2) วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ประกอบด้วย 1) เตรียมดิน ไม่ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (T + no R + no F) 2) เตรียมดิน ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก/ไร่ (GAP) (T + R + F) 3) เตรียมดิน ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก/ไร่ (T+ C + R + F) 4) ไม่เตรียมดิน ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก/ไร่ (No T + R + F) 5) เตรียมดิน ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้และสมุนไพร ไม่ใช้สารเคมีใด ๆ (T + C + R + Organic) กรรมวิธีที่ 1-4 ป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยใช้สารเคมีตามความจำเป็น ส่วนกรรมวิธีที่ 5 พ่นน้ำหมักชีวภาพสัปดาห์ละครั้ง ขนาดแปลงทดลองย่อย 3x5 ม. พื้นที่เก็บเกี่ยว 2x4 $ม^2$ ทำการทดลองในปี 2557-2559 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะปลูกถั่วเหลือง 50x20 ซม. ดูแลรักษาตามกรรมวิธี ทำการเก็บก๊าซ CO_2 เหนือผิวดินในแปลงปลูก ทุก 2 สัปดาห์ (ทุกกรรมวิธี ทุกซ้ำ และจากที่ว่างข้างแปลง) ด้วยสารละลาย NaOH 1 N ขวดละ 20 ml แล้วไตเตรทด้วย HCl 1 N

พร้อมเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 20 50 และ 75 ซม. เพื่อหาความชื้น และบันทึกข้อมูล 1) สภาพภูมิอากาศระหว่างการทดลอง คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของดิน 2) ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากดินในแปลงปลูก ทุก 2 สัปดาห์ พร้อมความชื้นดิน และอุณหภูมิดิน 3) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 15 ซม. 4) ความสูงต้นถั่วเหลือง 5) น้ำหนักสดของต้น ใบ และฝักถั่วเหลือง ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 6) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตัวอย่างสุ่ม แยกเป็นส่วนของต้น ใบ เมล็ด และเปลือกฝัก 7) ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆของถั่วเหลือง 8) ผลผลิตของถั่วเหลือง ผลการทดลอง 3 ปี (2557-2559) สรุปได้ว่า การใช้ปุ๋ยหมักปรับปรุงดินก่อนปลูกถั่วเหลือง อัตรา 2 ตัน/ไร่ ทั้งในระบบเคมี และอินทรีย์ ช่วยในการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้ดีกว่าไม่ใช้ การผลิตถั่วเหลืองในฤดูแล้งหลังเก็บเกี่ยวข้าวโดยไม่เตรียมดิน ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม และปุ๋ยเคมี (12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่) (กรรมวิธีที่ 4 ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่เกษตรกรใช้) ให้ผลผลิตสูงสุด (เฉลี่ย 306.8 กิโลกรัมต่อไร่) และคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยหมักปรับปรุงดินก่อนปลูก คือ การปลูกโดยเตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเบียม+ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธีที่ 3) และปลูกโดยเตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเบียม และดูแลแบบอินทรีย์ (กรรมวิธีที่ 5) เพราะกรรมวิธีที่ 4 มีอินทรีย์คาร์บอนสูญเสียไปหลังจากเก็บเกี่ยวมากกว่า หรือค่าสมดุลของคาร์บอนต่ำกว่า (-640.0 กก. C /ไร่ ขณะที่กรรมวิธีที่ 3 และ 5 เท่ากับ -310.4 และ -222.1 กก. C /ไร่) จากผลวิเคราะห์ดิน การปลูกถั่วเหลืองแบบอินทรีย์ และการปลูกที่ใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถเก็บกักคาร์บอนไว้ในดินได้ดีกว่า โดยมีค่าอินทรีย์คาร์บอน 297 และ 294 กก. C /ไร่ หลังเก็บเกี่ยวปีที่ 3 ส่วนการปลูกถั่วเหลืองตามคำแนะนำ ได้แก่ กรรมวิธีที่ 2 (เตรียมดิน+ไรโซเบียม+ปุ๋ยเคมี) ให้ผลผลิตสูงสุดเช่นกัน ให้ค่าสมดุล C ต่ำกว่าเช่นกัน (-569.7 กก. C /ไร่) และมีอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดินหลังเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองปีที่ 3 เท่ากับ 257 กก. C /ไร่

Abstract

The experiment was to find out the amount of soil carbon stocked in soybean plantation after rice (dry season) by varying plant nutrient management. This was to identify best practice for decreasing greenhouse gas (CO_2) in soybean production. Randomized complete block with 5 treatments and 4 replications was applied. The treatments were composed of 1) tillage + no Rhizobium + no chemical fertilizer (T + no R + no F) 2) tillage + Rhizobium + chemical fertilizer: 12-24-12 rating 25 kg/rai (GAP) (T + R + F) 3) tillage + compost 2 tons/rai + Rhizobium + chemical fertilizer (T+ C + R + F) 4) no tillage + Rhizobium + chemical fertilizer (No T + R + F) and 5) tillage + compost 2 tons/rai + Rhizobium +organic (bio-extracts spraying once a week) (T + C + R + Organic). Treatments 1-4 were sprayed with chemical insecticides when needed. The experiment was carried out at Chiang Mai Field Crops Research Centre in 2014-2016. Plot size was 3 x 5 m^2, plant spacing was 50 x 20 cm and Chiang Mai 60 variety was used. Carbon dioxide gas (CO_2) was collected by using 1 N of NaOH at the amount of 20 ml in a bottle and closed chamber, placing it on top soil for 24 hours. Then this was titrated with 1 N of

HCl to find out the amount and calculated for CO_2 emission (mg CO2 /m^2/day) from the soil. Data collected consisted of climate data, soil chemical and physical properties, CO_2 emission every 2 weeks, soil organic carbon (SOC) at 15 cm depth, plant height, fresh weight of stem, leaves and pod, fresh and dry weight of sampled stem, leaves, seed and pod cover, %C, %N of each soybean part and seed yield. It was found that the compost applied treatments (treatment 3 and 5) provided more carbon stock in the soil both in chemical and organic practices than without compost treatments (treatment 1, 2 and 4). Treatment 4 (no tillage + rhizobium + chemical fertilizer) gave the highest seed yield (306.8 kg/rai) and BCR (Benefit Cost Ratio) but was less environmental friendly than the treatments with compost application, which were treatment 3 (tillage + compost + rhizobium + chemical fertilizer) and 5 (tillage + compost + rhizobium + organic practice) as its carbon balance value was less (-640.0 kg C/rai) whereas treatment 3 and 5 valued -310.4 and -222.1 kg C/rai, respectively. Treatment 3 and 5 (organic) showed higher SOC after harvesting soybean, 297 and 294 kg C/rai indicated more soil carbon storage. Treatment 2 (tillage + rhizobium + chemical fertilizer), recommended soybean practice, also provided highest seed yield but left lower SOC of 257 kg C/rai.

6. คำนำ

การกักเก็บคาร์บอน (carbon storage) ในพื้นที่เกษตร เป็นแนวทางหนึ่งที่หลายประเทศนำไปใช้เพื่อประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งอาศัยการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ของพืช ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปเก็บสะสมไว้ในส่วนของเนื้อเยื่อพืช (ลำต้น ใบ ผล และราก) และเมื่อเศษซากพืชเหล่านี้หลุดร่วงหรือตายลง สารอินทรีย์เหล่านั้นจึงถูกย่อยสลาย และส่วนที่ย่อยสลายยาก จะเหลือตกค้างอยู่ในดินในรูปของฮิวมัสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอินทรียวัตถุ โดยเรียกกระบวนการดังกล่าวนี้ว่า “Soil carbon sequestration” (Lal, 2004; Lal *et al.*, 2007; Yonekura *et al.*, 2010) ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกักเก็บไว้ในดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย แต่ปัจจัยหลักๆ ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน สภาพภูมิอากาศ และการทำการเกษตร ทำให้มีการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน และปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ ในทางกลับกันหากมีการจัดการดิน-ปุ๋ย-น้ำ และพืชอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพกับพื้นที่ปลูก พื้นที่ทำการเกษตรก็จะเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญแหล่งหนึ่ง แต่ประเด็นปัญหาคือประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น ดินไร่ทั่ว ๆไปสามารถเก็บกักคาร์บอนไว้ในดินน้อยกว่าเขตอบอุ่น เนื่องจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นเร็ว ทำให้มี CO_2 ปลดปล่อยออกมา นอกจากนี้การกัดกร่อนผิวดินก็เป็นตัวเร่งให้เกิดการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนออกไปจากพื้นที่อีกด้วย ดังนั้นจึงควรมีวิธีการจัดการดิน-ปุ๋ย-น้ำและพืชอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสีย และหรือสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในพื้นที่ ทำให้เกิดการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้มากขึ้นเพื่อให้ดินเป็นเสมือนธนาคารในการกักเก็บคาร์บอน จึงทำการศึกษาขึ้นเพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในระบบปลูกพืชหนึ่งของถั่วเหลือง คือ ถั่วเหลืองหลังนา หรือถั่วเหลืองในฤดูแล้ง รวมทั้งเพื่อศึกษาวิธีการจัดการดิน

ปุ๋ย น้ำ และเศษซากพืชอย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในระบบการผลิตถั่วเหลือง เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงการผลิตที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์: CO_2)

7. วิธีดำเนินการ

- อุปกรณ์
    - ปุ๋ยเคมีที่ใช้ ได้แก่ ปุ๋ยเคมี 12-24-12
    - ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม
    - เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60
    - สว่านเก็บตัวอย่างดิน และอุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินแบบ Undisturbed core sample
    - สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช
- วิธีการ ทำการปลูกถั่วเหลืองในสภาพนา โดยปลูกหลังจากที่เก็บเกี่ยวข้าวเสร็จแล้ว หรือในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธีการจัดการปุ๋ย ประกอบด้วย

1) เตรียมดิน +ไม่ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (T + no R + no F)
2) เตรียมดิน +ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม+ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก/ไร่ (GAP) (T + R + F)
3) เตรียมดิน +ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่+ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม+ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก/ไร่ (T+ C + R + F)
4) ไม่เตรียมดิน+ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม+ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก/ไร่ (No T + R + F)
5) เตรียมดิน +ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่+ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม+น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้และสมุนไพร ไม่ใช้สารเคมีใด ๆ (T + C + R + Organic)

T1-T4 ป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยใช้สารเคมีตามความจำเป็น ส่วน T5 พ่นน้ำหมักชีวภาพสัปดาห์ละครั้ง กำจัดวัชพืชด้วยจอบ ขนาดแปลงทดลองย่อย 3x5 ม. พื้นที่เก็บเกี่ยว 2x4 $ม^2$ ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะปลูกถั่วเหลือง 50x20 ซม. ดูแลรักษาตามกรรมวิธี ทำการเก็บก๊าซ CO_2 เหนือผิวดินในแปลงปลูก ทุก 2 สัปดาห์ (ทุกกรรมวิธี ทุกซ้ำ และจากที่ว่างข้างแปลง) ด้วยสารละลาย NaOH 1 N ขวดละ 20 ml แล้วไตเตรทด้วย HCl 1 N พร้อมเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 20 50 และ 75 ซม. เพื่อหาความชื้น เก็บเกี่ยวเมื่อฝักถั่วเหลืองเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และบันทึกข้อมูล

1) สภาพภูมิอากาศระหว่างการทดลอง คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของดิน
2) ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากดินในแปลงปลูก ทุก 2 สัปดาห์ พร้อมความชื้นดิน และอุณหภูมิดิน
3) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 15 ซม.
4) ความสูงต้นถั่วเหลืองที่อายุ 1 เดือน และระยะเก็บเกี่ยว
5) น้ำหนักสดของต้น ใบ และฝักถั่วเหลือง ในพื้นที่เก็บเกี่ยว
6) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตัวอย่างสุ่ม แยกเป็นส่วนของต้น ใบ เมล็ด และเปลือกฝัก
7) ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆของถั่วเหลือง
8) ผลผลิตของถั่วเหลือง

9) ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

- เวลาและสถานที่ – 3 ปี เริ่มต้น ตุลาคม 2556 - สิ้นสุด กันยายน 2559

  สถานที่ทำการทดลอง – ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

วันปลูก วันเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง และสภาพภูมิอากาศในฤดูปลูก แสดงใน Table 1

Table 1 Planting and harvesting date, number of CO_2 emission harvest, rainfall over cropping period and growing degree day (GDD) of soybean after rice planting (dry season: D 2014-2016)

growing season	planting - harvesting date	number of CO_2 emission harvests	rainfall over cropping period (mm)	Growing Degree Day (GDD -^{o}C)
D 2014				
soybean	Dec 28, 2013- Apr 17, 2014	9 harvests: Dec 26, 2013 – Apr 18, 2014	40.8 + irrigation	1,584.1
Rice (Hom Nin)	Jul 31, 2014 – Dec 15, 2014	-	481.3	
D 2015				
soybean	Jan 15, 2015 – Apr 27, 2015	8 harvests: Dec 24, 2014 – Apr 29, 2015	111.8 + irrigation	1,669.0
Rice (KDML105)	Jul 20, 2015 – Nov 25, 2015	-	435.1	
D 2016				
soybean	Dec 12, 2015 – Mar 23, 2015	8 harvests: Nov 25, 2015 – Mar 14, 2016	49.8 + irrigation	1,499.0

การวัดผลการกักเก็บคาร์บอน (carbon: C) ของการปลูกพืช พิจารณาจากสมดุลของคาร์บอน และผลวิเคราะห์ดิน (%อินทรียวัตถุ) ดังนี้

สมดุลของคาร์บอนจากการปลูกถั่วเหลืองหลังนา (ฤดูแล้ง)

สมดุลของคาร์บอน (carbon balance) จากกรรมวิธีต่าง ๆ คิดจากสมการ

C-balance = C-input – C-loss

C-input คือ คาร์บอนที่ใส่ลงไปในการปลูกพืช ประกอบด้วย C จากปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ และ C จากเศษซากพืชที่เหลือในแปลง (หลังเก็บเกี่ยว) ได้แก่ รากถั่วเหลือง

C-loss คือ คาร์บอนที่สูญเสียไปจากดินจากการปลูกพืช ประกอบด้วย C ที่ถูกปล่อยไปจากดินระหว่างการปลูกพืช และ C จากเศษซากพืชที่นำออกไปกับผลผลิต ในถั่วเหลืองมี ต้น ใบ เมล็ด และเปลือกฝัก

พบว่าสมดุลของคาร์บอนจากกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ปรับปรุงดิน คือ กรรมวิธีที่ 3 และ 5 มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช้ โดยในปี 2557 ให้ C-balance เท่ากับ -405.4 และ -401.7 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ปี 2558

เท่ากับ -242.4 และ -104.5 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และปี 2559 เท่ากับ -446.1 และ -234.0 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่ไม่ใช้ คือ กรรมวิธีที่ 1 2 และ 4 เท่ากับ -621.3 -677.1 -715.7 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ (ปี 2557) เท่ากับ -440.9 -511.7 -545.6 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ (ปี 2558) และเท่ากับ -627.5 -650.1 -800.2 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ (ปี 2559) เฉลี่ย 3 ปี กรรมวิธีที่ 3 และ 5 ให้ค่า C-balance เท่ากับ -310.4 และ -222.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ส่วนกรรมวิธีที่ 1 2 และ 4 ค่า C-balance เท่ากับ -529.4 -569.7 และ -640.0 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ (Table 2) เมื่อดูผลวิเคราะห์ปริมาณ C ในดินจากการคำนวณจากปริมาณอินทรียวัตถุหลังเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง พบว่า กรรมวิธีที่ 5 หรือการปลูกโดยมีการไถพรวน ใช้ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม และในระบบอินทรีย์ (ไม่ใช้สารเคมีและปุ๋ยเคมี) สามารถกักเก็บ C ในดินได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ซึ่งมีทั้งที่ไม่ใช้ปุ๋ยใด ๆ และใช้ปุ๋ยเคมี ทั้ง 3 ปี (Fig. 1) โดยเท่ากับ 420 299 และ 297 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ในปี 2557 2558 และ 2559 ตามลำดับ ในปีที่ 3 กรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี ให้การกักเก็บ C ในดิน สูงใกล้เคียงกับกรรมวิธีที่ 5 โดยเท่ากับ 294 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ดังนั้น กล่าวได้ว่า การใช้ปุ๋ยหมักปรับปรุงดินก่อนปลูกถั่วเหลืองช่วยให้การกักเก็บ C ในดินมีมากกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยหมัก

คาร์บอน (C) ที่เกิดจากการปล่อยก๊าซ CO_2 จากดินระหว่างฤดูปลูก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ C-loss พบว่าในปี 2557 กรรมวิธีที่ 5 (เตรียมดิน+ ไรโซเบียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี+อินทรีย์) มีการปล่อย C มากที่สุด (228 กก. C/ไร่) และกรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน+ไม่ใช้ ไรโซเบียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) ปล่อย C ต่ำที่สุด (137 กก. C/ไร่) ปี 2558 กรรมวิธีที่ 2 (เตรียมดิน+ไรโซเบียม+ปุ๋ยเคมี) มีการปล่อย C มากที่สุด (161 กก. C/ไร่) และกรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน+ไม่ใช้ ไรโซเบียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) ปล่อย C ต่ำที่สุด (149 กก. C/ไร่) และปี 2559 กรรมวิธีที่ 3 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเบียม+ปุ๋ยเคมี) มีการปล่อย C มากที่สุด (131 กก. C/ไร่) และกรรมวิธีที่ 4 (ไม่เตรียมดิน+ ไรโซเบียม+ปุ๋ยเคมี) ปล่อย C ต่ำที่สุด (97 กก. C/ไร่) โดยเฉลี่ย 3 ปี กรรมวิธีที่ 5 (อินทรีย์) มีการปล่อย C มากที่สุด (168 กก. C/ไร่) และกรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน+ ไม่ใช้ไรโซเบียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) ปล่อย C ต่ำที่สุด (129 กก. C/ไร่) (Table 2) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปล่อย C จากการปล่อยก๊าซ CO2 ในฤดูปลูกเท่ากับ 22.2 22.6 22.0 18.4 และ 30.9% ในกรรมวิธีที่ 1 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการปล่อยโดยการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินและการหายใจของรากพืช ส่วนที่เหลือเป็นการสูญเสีย C จากการเก็บเกี่ยวส่วนของพืชออกไป Drury *et al*. (2017) พบว่า การปล่อยก๊าซ CO_2 จากระบบการปลูกพืชเดี่ยวของถั่วเหลือง เฉลี่ย 3 ปี (2546-2548) ที่เมืองออนตาริโอ แคนาดา เท่ากับ 626 กก. C/ไร่ ข้าวโพด เท่ากับ 602 กก. C/ไร่ และข้าวสาลี (winter wheat) เท่ากับ 909 กก. C/ไร่ และการปล่อยก๊าซ CO_2 ของพืชแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกก่อนหน้าในระบบปลูกพืชด้วย เช่น ในการทดลองเดียวกันกับพืชเดี่ยว การปล่อยก๊าซ CO_2 ของถั่วเหลืองที่ปลูกตามหลังข้าวโพด เฉลี่ย 2 ปี เท่ากับ 790 กก. C/ไร่ ซึ่งเป็นสาเหตุจากการใช้ปัจจัยการผลิตของพืชที่ปลูกก่อน เช่น ปุ๋ยเคมี เป็นต้น

ผลผลิตถั่วเหลืองหลังเก็บเกี่ยวข้าวหรือฤดูแล้ง ในปีที่ 1 (2557) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เฉลี่ย 321.8 กก./ไร่ ความสูงต้นระยะเก็บเกี่ยว พบว่า การจัดการธาตุอาหารและปลูกแบบอินทรีย์ให้ความสูงน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ เฉลี่ย 43.3 ซม. กรรมวิธีที่ 1-4 เฉลี่ยอยู่ในช่วง 60.3-62.5 ซม. และจำนวนต้นต่อไร่ ปลูกแบบอินทรีย์ให้ต้นต่อไร่ต่ำที่สุด 33,850 ต้น เนื่องจากแปลงอยู่ในตำแหน่งที่น้ำขังมากกว่าจึงมีต้นเสียหายไปบ้าง ส่วนในปี 2558 ผลผลิตจากกรรมวิธีที่ 1 (ไถพรวน ไม่ใช้ไรโซเบียม ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี) และกรรมวิธีที่ 5 (แปลงอินทรีย์) ให้ผลผลิตต่ำที่สุด

190.0 และ 141.5 กก./ไร่ ตามลำดับ ความสูงต้นระยะเก็บเกี่ยว กรรมวิธีที่ 5 (แปลงอินทรีย์) ต่ำที่สุด เฉลี่ย 33.9 ซม. และจำนวนต้นต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เฉลี่ย 42,110 ต้น/ไร่ และในปี 2559 ผลผลิตในกรรมวิธีที่ 3 2 และ 4 สูงที่สุด เฉลี่ย 358.1 328.8 และ 300.9 กก./ไร่ ตามลำดับ ความสูงต้น กรรมวิธีที่ 5 (แปลงอินทรีย์) ต่ำที่สุด เฉลี่ย 37.5 ซม. และจำนวนต้นต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เฉลี่ยทุกกรรมวิธี 41,370 ต้น/ไร่ (Table 2)

จากการคำนวณผลตอบแทน และต้นทุนแปรผัน (Table 3) พบว่า ค่า Benefit-Cost ratio (BCR) ของกรรมวิธีที่ 4 สูงที่สุด คือ การไม่ไถพรวนดินหลังเก็บเกี่ยวข้าว ใช้ไรโซเบียม และปุ๋ยเคมี เท่ากับ 5.0 คือคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ แต่เป็นกรรมวิธีที่มีการปล่อย C สูงที่สุด (เฉลี่ย C-loss 710.8 กก. C /ไร่ และกักเก็บ C ไว้ในดินได้ 264 กก. C /ไร่ในปีที่ 3) จึงเป็นกรรมวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ส่วนกรรมวิธีที่ 3 และ 5 ให้ค่า BCR ต่ำสุด เท่ากับ 0.3 และ 0.5 แต่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยกักเก็บ C ไว้ในดินได้มากกว่า คือเท่ากับ 294 และ 297 กก. C/ไร่ ในปีที่ 3 (Table 2 และ Fig. 1) ซึ่งในระยะยาว จะช่วยให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ และเป็นแนวทางการพัฒนาความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สามารถให้ผลผลิตแก่ถั่วเหลือง และนำไปสู่การผลิตที่ยั่งยืน มีความขัดแย้งกับการศึกษาในรัฐ Iowa สหรัฐอเมริกา ที่พบว่า การไม่ไถพรวนดิน (no-tillage) แต่มีเศษซากพืชผสมอยู่ และการไถแบบเป็นแถบ (strip tillage) ในการปลูกระบบข้าวโพด-ถั่วเหลืองสามารถกักเก็บ C ไว้ในดิน ได้มากขึ้นทุกปี ที่ระดับความลึกดิน 0-5 และ 5-10 ซม. และการปล่อย CO_2 จากดินในกรรมวิธีที่ไม่ไถ มีน้อยกว่ากรรมวิธีที่ไถเตรียมดิน (Al-Kaisi and Yin, 2017)

สมดุลของไนโตรเจนจากการปลูกถั่วเหลืองหลังนา (ฤดูแล้ง)

คิดจากไนโตรเจน (N) ที่ใส่ลงในระบบการผลิตถั่วเหลือง (N-input) ลบด้วย N ที่สูญเสียไปจากระบบการผลิตจากการเก็บเกี่ยวออกไป (N-loss) โดย N-input ประกอบด้วย N จากปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไป และจากเศษซากพืช (ราก) ที่เหลืออยู่ในดินหลังเก็บเกี่ยว ส่วน N-loss ประกอบด้วย N ที่สูญเสียไปกับส่วนของพืชที่เก็บเกี่ยวออกไป (เมล็ด ต้น ใบ เปลือกฝัก) จากผลการวิเคราะห์ในTable 4 พบว่า กรรมวิธีที่ 5 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเบียม+ระบบอินทรีย์) ให้ค่าสมดุลของ N สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ทั้งในฤดูแล้งปี 2558 และ 2559 เฉลี่ย 2 ปี มีค่าเท่ากับ 10.9 กิโลกรัม N /ไร่ ขณะที่กรรมวิธีที่ 3 2 4 และ 1 ให้ค่าสมดุลของ N เฉลี่ยเท่ากับ 4.3 -18.2 -19.2 และ -19.9 กิโลกรัม N /ไร่ ตามลำดับ

Table 2 Carbon balance of the 5 nutrient management treatments for soybean growing after rice (dry season: D 2014-2016 Chiang Mai Field Crops Research Centre)

a)D2014 **kg C /rai**

	Bare soil	T1 T+no R+no F	T2 T+R+F	T3 T+C+R+F	T4 noT+R+F	T5 T+C+R+organic
C-input						
C from compost	0	0	0	263.9	0	263.9
C from root residue						
total C-input	**0**	**0**	**0**	**263.9**	**0**	**263.9**
C-loss						
C from CO_2 emission (soybean)	245.4	136.5	141.6	146.0	143.0	228.1
C from plant part taken away		484.8	535.5	523.3	572.7	437.6
-seed		*270.0*	*274.7*	*306.3*	*316.6*	*201.5*
-stem		*72.90*	*108.42*	*76.59*	*91.47*	*72.89*
-leaves				*1.01*	*1.17*	*5.66*
-pod cover		*141.9*	*152.4*	*139.4*	*163.4*	*157.5*
total C-loss	**245.4**	**621.3**	**677.1**	**669.3**	**715.7**	**665.6**
C-balance (input-loss)	**-245.4**	**-621.3**	**-677.1**	**-405.4**	**-715.7**	**-401.7**
seed yield (kg/rai) (CV = 21.9%)		313.4	325.6	350.9	377.2	241.9
plant height (cm)** (CV = 7.8%)		62.5 a	62.5 a	61.2 a	60.3 a	43.3 b
plants/rai* (CV = 11.3%)		45,100 a	46,150 a	46,800 a	42,050 a	33,850 b

b) D2015

Kg C /rai	Bare soil	T1 T+no R+no F	T2 T+R+F	T3 T+C+R+F	T4 noT+R+F	T5 T+C+R+organic
C-input						
C from compost	0	0	0	263.9	0	263.9
C from root residue						
total C-input	**0**	**0**	**0**	**263.9**	**0**	**263.9**
C-loss						
C from CO_2 emission (soybean)	221.2	149.0	161.1	155.5	151.4	156.8
C from plant part taken away		291.9	350.6	350.7	394.3	211.6
-seed		*143.9*	*174.4*	*184.7*	*181.4*	*107.2*
-stem		*69.8*	*96.9*	*84.8*	*119.4*	*58.0*

-leaves		*21.4*	*11.9*	*4.7*	*24.1*	
-pod cover		*56.8*	*67.4*	*76.5*	*69.4*	*46.4*
total C-loss	**221.2**	**440.9**	**511.7**	**506.3**	**545.6**	**368.4**
C-balance (input-loss)	**-221.2**	**-440.9**	**-511.7**	**-242.4**	**-545.6**	**-104.5**
seed yield (kg/rai)** (CV = 17.9%)		190.0 ab	226.0 a	248.0 a	242.3 a	141.5 b
plant height (cm)** (CV = 9.3%)		43.0 a	43.7 a	44.9 a	44.4 a	33.9 b
plants/rai (CV = 4.2 %)		42,300	42,750	40,950	43,650	40,900

c) D2016

Kg C /rai	Bare soil	T1 T+no R+no F	T2 T+R+F	T3 T+C+R+F	T4 noT+R+F	T5 T+C+R+organic
C-input						
C from compost	0	0	0	263.9	0	263.9
C from root residue		50.8	65.0	81.4	70.7	57.5
total C-input	**0.0**	**50.8**	**65.0**	**345.3**	**70.7**	**321.4**
C-loss						
C from CO_2 emission (soybean)	140.4	100.7	127.0	130.8	97.3	119.0
C from plant parts harvested		577.7	588.1	660.6	773.6	436.4
-seed		*210.4*	*257.3*	*284.4*	*240.1*	*141.2*
-stem		*100.2*	*138.7*	*138.1*	*179.0*	*110.9*
-leaves		*142.2*	*55.1*	*75.0*	*174.2*	*76.5*
-pod cover		*124.9*	*137.0*	*163.2*	*180.4*	*107.8*
total C-loss	**140.4**	**678.3**	**715.1**	**791.4**	**870.9**	**555.4**
C-balance (input-loss)	**-140.4**	**-627.5**	**-650.1**	**-446.1**	**-800.2**	**-234.0**
seed yield (kg/rai)** (CV = 16.4%)		266.2 b	328.8 ab	358.1 a	300.9 ab	181.7 c
plant height (cm)** (CV = 10.6%)		47.4 a	49.8 a	53.2 a	55.2 a	37.5 b
plants/rai (CV = 16.5 %)		35,700	36,700	45,350	49,400	39,700

d) average 3 years (2014-2016)

Kg C /rai	Bare soil	T1 T+no R+no F	T2 T+R+F	T3 T+C+R+F	T4 noT+R+F	T5 T+C+R+organic
C-input						
C from compost	0	0	0	263.9	0	263.9
C from root left in soil		50.8	65.0	81.4	70.7	57.5
total C-input	**0.0**	**50.8**	**65.0**	**345.3**	**70.7**	**321.4**
C-loss						
C from CO_2 emission	202.3	128.7	143.2	144.1	130.6	168.0

(soybean)						
C from plant parts harvested		451.4	491.4	511.6	580.2	375.5
seed		*208.1*	*235.4*	*258.5*	*246.0*	*150.0*
stem		*81.0*	*114.7*	*99.8*	*130.0*	*80.6*
leaves		*54.5*	*22.3*	*26.9*	*66.5*	*41.1*
pod cover		*107.9*	*119.0*	*126.4*	*137.7*	*103.9*
total C-loss	**202.3**	**580.2**	**634.6**	**655.7**	**710.8**	**543.5**
C-balance (input-loss)	**-202.3**	**-529.4**	**-569.7**	**-310.4**	**-640.0**	**-222.1**
seed yield (kg/rai)		256.5 b	293.4 ab	319.0 a	306.8 a	188.4 c
(year *, trt **, year x trt ns, CV =19.6%)						
BCR[1]		2.3	2.1	0.4	5.0	0.3
SOC (kg C/rai) 3rd year	319	246	257	294	264	297

[1] from Table 3

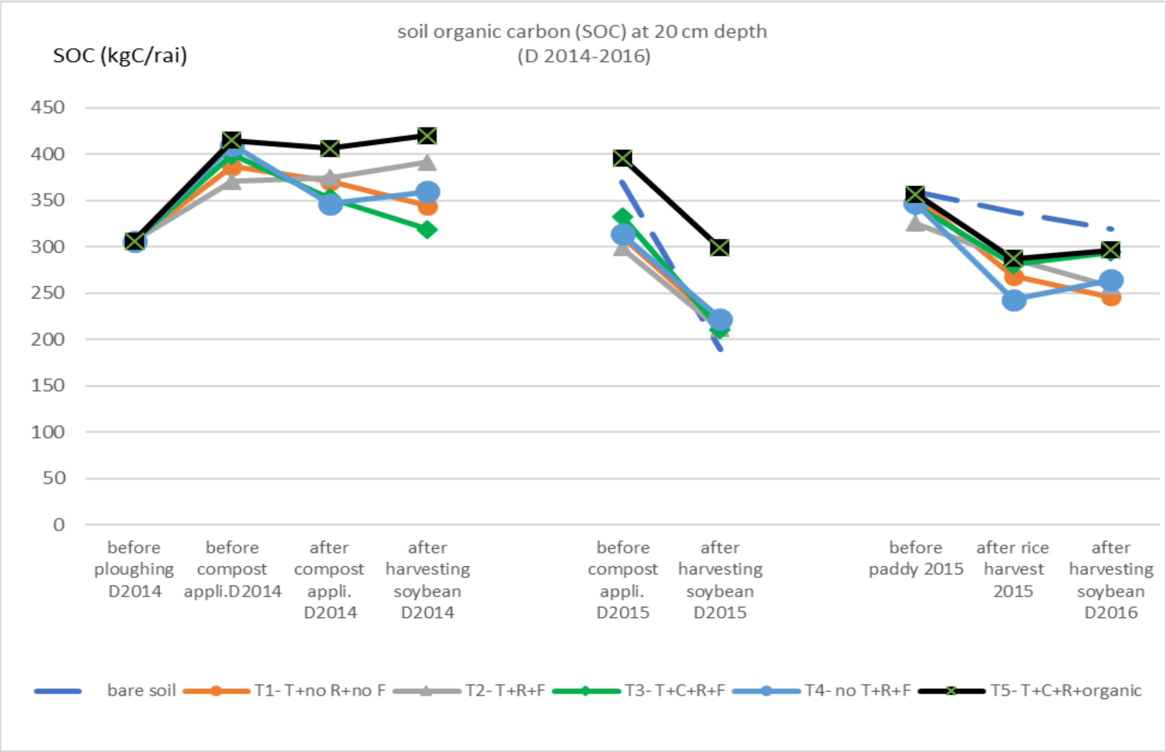

Fig. 1 Soil organic carbon at 20 cm depth from the 5 nutrient management treatments for soybean after rice (D 2014-2016, Chiang Mai Field Crops Research Centre)

Table 3 Calculation of variable cost, benefit and Benefit-Cost ratio (BCR) for the 5 nutrient management treatments for soybean after rice (D 2014-2016, Chiang Mai Field Crops Research Centre)

	cost that different (Baht/rai)						**D2014**			**D2015**			**D2016**			
Treatment	Compost	chemical fertilizer	Rhizobium	Tillage	Spraying	Total Cost	Seed yield (kg/rai)	Income *	BCR	Seed yield (kg/rai	Income *	BCR	Seed yield (kg/rai	Income *	BCR	Averaged BCR
T1 -T+no R+no				1,600	600	**2,200**	313.4	**6,267**	2.8	190.0	**3,800**	1.7	266.2	**5,324**	2.4	**2.3**
T2 -T+R+F		600	25	1,600	600	**2,825**	325.6	**6,511**	2.3	226.0	**4,520**	1.6	328.8	**6,576**	2.3	**2.1**
T3 -T+C+R+F	12,000	600	25	1,600	600	**14,82**	350.9	**7,019**	0.5	248.0	**4,960**	0.3	358.1	**7,162**	0.5	**0.4**
T4 -noT+R+F		600	25		600	**1,225**	377.2	**7,543**	6.2	242.3	**4,846**	4.0	300.9	**6,018**	4.9	**5.0**
T5 -T+C+R+organic	12,000		25	1,600	1,000	**14,625**	241.9	**4,839**	0.3	141.5	**2,830**	0.2	181.7	**3,634**	0.2	**0.3**

Note: *calculated from soybean farm price of 20 Baht/kg seed

1	tillage	Twice tillage practices, 800 baht each	1,600	Baht/rai
2	rhizobium	25 baht/packet, 1 packet/rai	25	Baht/rai
3	compost+ labor	6 baht/kg, 2,000 kg/rai	12,000	Baht/rai
4	chemical fertilizer	12-24-12 at the rate 25 kg/rai, 24 baht/kg (1,200 baht/50 kg)	600	Baht/rai
5	labor cost for chemical/bio-extract sprayings (100 baht/rai/ 1 spraying)			
	T1-T4 6 sprayings/cropping		600	Baht/rai
	T5 10 sprayings/cropping		1,000	Baht/rai

Table 4 Nitrogen balance of the 5 nutrient management treatments for soybean after rice (dry season: D 2015-2016 Chiang Mai Field Crops Research Centre)

a) D2015 kg N/rai

		Bare soil	T1	T2	T3	T4	T5
			T+no R+no F	T+R+F	T+C+R+F	noT+R+F	T+C+R (org.)
N-input	N from compost		0	0	23.8	0	23.8
	N from chemical fertilizer			3	3	3	
	N from root residue						
	total N-input		**0.0**	**3.0**	**26.8**	**3.0**	**23.8**
N-loss	N from harvested plant parts		16.7	19.1	20.3	21.2	12.1
	seed		*11.94*	*14.56*	*15.56*	*15.44*	*8.56*
	stem		*1.12*	*1.67*	*1.67*	*1.99*	*1.08*
	leaves		*0.51*	*0.29*	*0.27*	*0.24*	
	Pod cover		*3.13*	*2.61*	*2.80*	*3.53*	*2.42*
	total N-loss		**16.7**	**19.1**	**20.3**	**21.2**	**12.1**
	N-balance (input-loss)		**-16.7**	**-16.1**	**6.5**	**-18.2**	**11.7**

b) D2016 kg N/rai

		Bare soil	T1	T2	T3	T4	T5
			T+no R+no F	T+R+F	T+C+R+F	noT+R+F	T+C+R (org.)
N-input	N from compost		0	0	23.8	0	23.8
	N from chemical fertilizer			3	3	3	
	N from root residue		0.70	0.75	0.79	1.26	0.43
	total N-input		**0.7**	**3.8**	**27.6**	**4.3**	**24.2**
N-loss	N from harvested plant parts		24.4	24.7	26.3	25.8	12.7
	seed		*17.72*	*20.11*	*21.29*	*19.55*	*9.14*
	stem		*1.05*	*1.12*	*1.02*	*0.95*	*0.81*
	leaves		*3.69*	*1.83*	*2.42*	*3.74*	*1.80*
	Pod cover		*1.93*	*1.63*	*1.52*	*1.56*	*0.98*
	total N-loss		**24.4**	**24.7**	**26.3**	**25.8**	**12.7**
	N-balance (input-loss)		**-23.7**	**-20.9**	**1.3**	**-21.5**	**11.5**

c) average 2 years (D2015-2016) kg N/rai

		Bare soil	T1	T2	T3	T4	T5
			T+no R+no F	T+R+F	T+C+R+F	noT+R+F	T+C+R (org.)
N-input	N from compost		0	0	23.8	0	23.8
	N from chemical ferti.			3	3	3	
	N from left plant part (root)		0.70	0.75	0.79	1.26	0.43
	total N-input		**0.7**	**3.8**	**27.6**	**4.3**	**24.2**
N-loss	N from harvested plant parts		20.6	21.9	23.3	23.5	13.3
	seed		*14.83*	*17.34*	*18.43*	*17.49*	*8.85*

stem	*1.08*	*1.39*	*1.34*	*1.47*	*0.94*
leaves	*2.10*	*1.06*	*1.35*	*1.99*	*1.80*
Pod cover	*2.53*	*2.12*	*2.16*	*2.55*	*1.70*
total N-loss	**20.6**	**21.9**	**23.3**	**23.5**	**13.3**
N-balance (input-loss)	**-19.9**	**-18.2**	**4.3**	**-19.2**	**10.9**
seed yield (kg/rai) -avg 3yrs	**256.5**	**293.5**	**319.0**	**306.8**	**188.4**

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การผลิตถั่วเหลืองในฤดูแล้งหลังเก็บเกี่ยวข้าวโดยไม่เตรียมดิน ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม และปุ๋ยเคมี (12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่) (กรรมวิธีที่ 4 ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่เกษตรกรใช้) ให้ผลผลิตสูงสุด (เฉลี่ย 306.8 กิโลกรัมต่อไร่) และคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยหมักปรับปรุงดินก่อนปลูก คือ การปลูกโดยเตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเบียม+ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธีที่ 3) และปลูกโดยเตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเบียม และดูแลแบบอินทรีย์ (กรรมวิธีที่ 5) เพราะกรรมวิธีที่ 4 มีอินทรีย์คาร์บอนสูญเสียไปหลังจากเก็บเกี่ยวมากกว่า หรือค่าสมดุลของคาร์บอนต่ำกว่า (-640.0 กก. C /ไร่ ขณะที่กรรมวิธีที่ 3 และ 5 เท่ากับ -310.4 และ -222.1 กก. C /ไร่) จากผลวิเคราะห์ดิน การปลูกถั่วเหลืองแบบอินทรีย์ และการปลูกที่ใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถเก็บกักคาร์บอนไว้ในดินได้ดีกว่า โดยมีค่าอินทรีย์คาร์บอน 297 และ 294 กก. C /ไร่ หลังเก็บเกี่ยวปีที่ 3 ส่วนการปลูกถั่วเหลืองตามคำแนะนำ ได้แก่ กรรมวิธีที่ 2 (เตรียมดิน+ไรโซเบียม+ปุ๋ยเคมี) ให้ผลผลิตสูงสุดเช่นกัน ให้ค่าสมดุล C ต่ำกว่าเช่นกัน (-569.7 กก. C /ไร่) และมีอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดินหลังเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองปีที่ 3 เท่ากับ 257 กก. C /ไร่

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- จัดทำรายงานผลงานวิจัย รายงานประจำปี และนำเสนอผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่ความรู้แก่นักวิจัย เพื่อนำไปปรับใช้กับงานวิจัยด้านอื่นต่อไป

- พัฒนางานวิจัยเพื่อนำไปเผยแพร่และปฏิบัติงานในแปลงเกษตรกร เพื่อให้มีการเรียนรู้และรู้จักปรับใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

-จัดทำเป็นข้อเสนอนโยบายการพัฒนาการเกษตรที่ช่วยบรรเทาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ และศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ที่ช่วยสนับสนุนทำการวิเคราะห์หาคาร์บอน ไนโตรเจน และธาตุอาหารพืชอื่น ๆในส่วนของพืชที่ทดลอง

12. เอกสารอ้างอิง

Drury, C. F., X. M. Yang, W. D. Reynolds and N. B. McLaughlin. 2017. Nitrous Oxide and Carbon Dioxide Emissions from Monoculture and Rotational Cropping of Corn, Soybean and Winter

Wheat. Available in http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/CJSS06015, searched on March 3, 2017.

Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change. Geoderma 123: 1-22.

Lal, R., R.F. Follett, B.A. Stewart and J.M. Kimble. 2007. Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change and Advance Food Security. Soil Science 172 (12): 943-956.

Al-Kaisi, Mahdi M. and Xinhua Yin. 2017. Tillage and Crop Residue Effects on Soil Carbon and Carbon Dioxide Emission in Corn-Soybean Rotations. Available in: http://extension.agron.iastate.edu/soilmgmt/Publications/CO2Emission.pdf, searched on February 27, 2017.

Yonekura, Y.S.O, Y. Kiyono, D. Aksa, K. Morisada, N. Tanaka and M. Kanzaki. 2010. Changes in Soil Carbon Stock After Deforestation and Subsequent Establishment Of "Imperata" Grassland in The Asian Humid Tropics. Plant Soil. 329: 495-507.

13. ภาคผนวก

การคำนวณที่ใช้ ประกอบด้วย

1) ปริมาณคาร์บอนที่ปล่อยออกมาในรูปก๊าซจากผิวดิน (CO_2 emission) หน่วยเป็น mg CO_2 /m^2 ที่วัดได้ คำนวณเป็น ปริมาณ C โดยแปลงหน่วยเป็น mg CO_2 /ไร่ โดย x 1,600 แล้วเป็น kg CO_2 /ไร่ โดย x 10^{-6} และเป็น kg C /ไร่ โดย x 0.2727

2) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดิน (organic carbon: OC - %) = ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter: OM - %) / 1.724

3) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (กก./ไร่) = ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%) /100 x B.D. (g/cm^3)/1000 x 1600 m^2 x ความหนาของชั้นดิน (cm)/100 *1,000,000 m^3 หรือใช้

4) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (กก./ไร่) = ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%)/100 x B.D. (g/cm^3) x 1600 m^2 x Depth (cm)/100 x 1000

5) ปริมาณคาร์บอนจากส่วนของพืช = น้ำหนักแห้งของพืช (กก./ไร่) x (%C ในส่วนของพืช /100)

6) ปริมาณคาร์บอนจากปุ๋ยอินทรีย์ = น้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ (กก./ไร่) x (%OC ของปุ๋ยอินทรีย์ /100)

โดย %OC = %OM / 1.724 และ

ความชื้นของปุ๋ยหมักที่ 30% ถ้าใช้อัตรา 2,000 กก./ไร่ จะคิดเป็นปุ๋ยหมักแห้ง = (100-30)/100 x 2,000 = 1,400 กก./ไร่

7) ปริมาณไนโตรเจนจากส่วนของพืช = น้ำหนักแห้งของพืช (กก./ไร่) x (%N ในส่วนของพืช /100)

8) ปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยหมัก = น้ำหนักแห้งปุ๋ยหมักที่ใช้ (กก./ไร่) x (%N ในปุ๋ยหมัก /100)

9) ปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมี = น้ำหนักปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่) x (ปริมาณ N ในปุ๋ยเคมี /100)