

## รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด ปีงบประมาณ 2559

1. แผนงานวิจัย	วิจัยและพัฒนาการผลิตพืชไร่และพืชทดแทนพลังงานในภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	
2. โครงการวิจัย	การสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน	
กิจกรรมที่	4. การสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง	
กิจกรรมย่อยที่	-	
3. ชื่อการทดลอง	4.2 ศึกษาการจัดการปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินในระบบการผลิตถั่วเหลืองในสภาพไร่ Fertilizer Management for Soil Carbon Storage in the Soybean Cropping System (Upland Condition)	
4. คณะผู้ดำเนินงาน		
หัวหน้าโครงการวิจัย	ศุภกาญจน์ ล้วนมณี	ผอ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
หัวหน้าการทดลอง	พรพรรณ สุทธิรัมย์	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
ผู้ร่วมงาน	นภาพร คำนวนทิตย์	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
	สุพรรณณี เบ็งคำ	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
	ปัทมกร พงวาเรศ	ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่

### 5. บทคัดย่อ

การศึกษาทำขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในระบบปลูกถั่วเหลืองในสภาพไร่ และได้วิธีการจัดการปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในระบบ ซึ่งจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซ CO<sub>2</sub>) ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ประกอบด้วย 1) ไม่ใช้ปุ๋ยชีวภาพโรโซเปียม ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (no R + no F) 2) ใช้ปุ๋ยชีวภาพโรโซเปียม ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่ (GAP) (R + F) 3) ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ ใช้ปุ๋ยชีวภาพโรโซเปียม ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่ (C+R+F) 4) ใช้ปุ๋ยชีวภาพโรโซเปียม ใช้ปุ๋ยเคมี P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9 กก./ไร่ + K<sub>2</sub>O 6 กก./ไร่ (R+P+K) 5) ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ ใช้ปุ๋ยชีวภาพโรโซเปียม น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้และสมุนไพร ไม่ใช้สารเคมี (C + R + Organic) ทุกกรรมวิธีทำการเตรียมดินก่อนปลูก กรรมวิธีที่ 1-4 ป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยใช้สารเคมีตามความจำเป็น ส่วนกรรมวิธีที่ 5 พ่นน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ และสมุนไพร สัปดาห์ละครั้ง (อัตราส่วนต่อน้ำ 1: 200) ขนาดแปลงทดลองย่อย 3x5 ม. พื้นที่เก็บเกี่ยว 2x4 ม<sup>2</sup> ระยะปลูก 50x20 ซม. ดูแลรักษาตามกรรมวิธี ทำการเก็บก๊าซ CO<sub>2</sub> เนื้อผิวดินในแปลงปลูก ทุก 2 สัปดาห์ (ทุกกรรมวิธี ทุกซ้ำ และจากที่วางข้างแปลง) ด้วยสารละลาย NaOH 1 N ขวดละ 20 ml แล้วไตเตรทด้วย HCl 1 N พร้อมเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 20 50 และ 75 ซม. เพื่อ

หาความชื้นดิน ก่อนปลูกถั่วเหลือง ทำการปลูกพืชบำรุงดินแล้วไถกลบ ดำเนินการ 3 ปี (2557-2559) ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ และบันทึกข้อมูล 1) สภาพภูมิอากาศระหว่างการศึกษา คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของดิน 2) ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> จากดินในแปลงปลูก ทุก 2 สัปดาห์ พร้อมความชื้นดิน และอุณหภูมิดิน 3) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 15 ซม. 4) ความสูงต้นก่อนเก็บเกี่ยว 5) น้ำหนักสดของต้น ใบ และฝัก ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 6) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตัวอย่างสุ่ม แยกเป็นส่วนของต้น ใบ เมล็ด และเปลือกฝัก 7) ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง 8) ผลผลิตถั่วเหลือง ผลการทดลอง พบว่า การผลิตถั่วเหลืองในสภาพไร่ ปลายฤดูฝน โดยมีการเตรียมดิน ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม และปุ๋ยเคมี P (9 กก./ไร่ของ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) และ K (6 กก./ไร่ของ K<sub>2</sub>O) ตามคำแนะนำหรือกรรมวิธีที่ 4 ให้ผลผลิตสูงสุด เฉลี่ย 3 ปี 88.0 กิโลกรัมต่อไร่ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (BCR = 1.4) แต่กักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน (300 กก. C/ไร่) ได้น้อยกว่ากรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยหมัก คือ กรรมวิธีที่ 3 (เตรียมดิน ใช้ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ ใช้ไรโซเบียม และปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่) และ 5 (เตรียมดิน ใช้ปุ๋ยหมัก ใช้ไรโซเบียม และระบบอินทรีย์) ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 74.9 และ 56.7 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถกักเก็บ C ในดินไว้ได้ 332 และ 391 กก. C/ไร่ ในปี 3 และในแต่ละปี กรรมวิธีระบบอินทรีย์ สามารถกักเก็บ C ไว้ในดินหลังเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ รวมทั้งให้ค่าสมดุลของไนโตรเจนในดินหลังเก็บเกี่ยว (12.8 และ 8.3 กก. N/ไร่) สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน ไม่ใช้ไรโซเบียม ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) 2 (เตรียมดิน ใช้ไรโซเบียม ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12) และ 4 (เตรียมดิน ใช้ไรโซเบียม ใช้ปุ๋ยเคมี P และ K) สรุปได้ว่า การใช้ปุ๋ยหมักปรับปรุงดินก่อนปลูกถั่วเหลืองในสภาพไร่ ปลายฤดูฝน สะสม C ไว้ในดินได้ดีกว่าไม่ใช้ ทั้งในระบบเคมี และอินทรีย์

## Abstract

The experiment was to find out the amount of soil carbon stocked in soybean plantation in the upland condition (late rainy season) by varying plant nutrient management. This was to identify best practice for decreasing greenhouse gas (CO<sub>2</sub>) in soybean production. Randomized complete block with 5 treatments and 4 replications was applied. The treatments were composed of 1) no Rhizobium + no chemical fertilizer (no R + no F) 2) Rhizobium + chemical fertilizer: 12-24-12 rating 25 kg/rai (GAP) (R + F) 3) compost 2 tons/rai + Rhizobium + chemical fertilizer (C + R + F) 4) Rhizobium + chemical fertilizer P and K rating 9 kg/rai of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 6 kg/rai of K<sub>2</sub>O (R + P + K) and 5) compost 2 tons/rai + Rhizobium + organic (bio-extracts spraying once a week) (C + R + Organic). Tillage twice were practiced in each treatment. 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<sup>2</sup>, plant spacing was 50 x 20 cm and Chiang Mai 60 variety was used. Carbon dioxide gas (CO<sub>2</sub>) 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<sub>2</sub> emission (mg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>/day) from the soil. Data collected consisted of climate

data, soil chemical and physical properties, CO<sub>2</sub> emission measured 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 (rhizobium + chemical fertilizer P and K) gave the highest seed yield (averaged 88.0 kg/rai) and BCR (Benefit Cost Ratio) = 1.4 but was less environmental friendly than the treatments with compost application, treatment 3 (compost + rhizobium + chemical fertilizer 12-24-12) and 5 (compost + rhizobium + organic practice) as its carbon balance value was less (-448.3 kg C/rai) whereas treatment 3 and 5 valued -215.0 and -262.3 kg C/rai, respectively. Treatment 3 and 5 (organic) showed higher SOC after harvesting soybean, 332 and 391 kg C/rai indicated more soil carbon storage. Treatment 2 (rhizobium + chemical fertilizer 12-24-12), recommended soybean practice, also provided higher seed yield than organic treatment but left lower SOC of 331 kg C/rai.

## 6. คำนำ

การกักเก็บคาร์บอน (carbon storage) ในพื้นที่เกษตร เป็นแนวทางหนึ่งที่หลายประเทศนำไปใช้เพื่อประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งอาศัยการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ของพืช ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปเก็บสะสมไว้ในส่วนของเนื้อเยื่อพืช (ลำต้น ใบ ผล และราก) และเมื่อเศษซากพืชเหล่านี้หลุดร่วงหรือตายลง สารอินทรีย์เหล่านั้นจึงถูกย่อยสลาย และส่วนที่ย่อยสลายยาก จะเหลือตกค้างอยู่ในดินในรูปของฮิวมัสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอินทรีย์วัตถุ โดยเรียกกระบวนการดังกล่าวนี้ว่า “Soil carbon sequestration” (Lal, 2004; Lal *et al.*, 2007; Yonekura *et al.*, 2010) ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกักเก็บไว้ในดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย แต่ปัจจัยหลักๆ ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน สภาพภูมิอากาศ และการทำการเกษตร ทำให้มีการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดิน และปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ ในทางกลับกันหากมีการจัดการดิน-ปุ๋ย-น้ำ และพืชอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพกับพื้นที่ปลูกพื้นที่ทำการเกษตรก็จะเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญแหล่งหนึ่ง แต่ประเด็นปัญหาคือประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น ดินไร้ทั่ว ๆ ไปสามารถเก็บกักคาร์บอนไว้ในดินน้อยกว่าเขตอบอุ่น เนื่องจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นเร็ว ทำให้มี CO<sub>2</sub> ปลดปล่อยออกมา นอกจากนี้การกัดกร่อนผิวดินก็เป็นตัวเร่งให้เกิดการสูญเสียอินทรีย์คาร์บอนออกไปจากพื้นที่อีกด้วย ดังนั้นจึงควรมีวิธีการจัดการดิน-ปุ๋ย-น้ำและพืชอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสีย และหรือสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในพื้นที่ ทำให้เกิดการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้มากขึ้น เพื่อให้ดินเป็นเสมือนธนาคารในการกักเก็บคาร์บอน จึงทำการศึกษารายละเอียดเพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในระบบการผลิตถั่วเหลืองสภาพไร่ โดยมีการปลูกปอเทืองเป็นพืชบำรุงดินก่อนปลูกถั่วเหลือง รวมทั้งเพื่อศึกษา

วิธีการจัดการดิน ปุ๋ย น้ำ และเศษซากพืชอย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในระบบการผลิตถั่วเหลือง เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงการผลิตที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์: CO<sub>2</sub>)

## 7. วิธีดำเนินการ

### - อุปกรณ์

- ปุ๋ยเคมีที่ใช้ ได้แก่ ปุ๋ยเคมี 12-24-12 ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์
- ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม
- เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60
- ส่วนเก็บตัวอย่างดิน และอุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินแบบ Undisturbed core sample
- สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช

- วิธีการ ทำการปลูกถั่วเหลืองในสภาพไร่ (ปลูกในเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม เก็บเกี่ยวเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน) วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธีการจัดการปุ๋ย ประกอบด้วย

- 1) ไม่ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (no R + no F)
- 2) ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่ (GAP) (R + F)
- 3) ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่+ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม+ใช้ปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่ (C+R+ F)
- 4) ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + ใช้ปุ๋ยเคมี P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9 กก./ไร่ + K<sub>2</sub>O 6 กก./ไร่ (R+P+K)
- 5) ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ + ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้และสมุนไพร ไม่ใช้สารเคมี (C + R + Organic)

ทำการเตรียมดินทุกกรรมวิธี กรรมวิธีที่ 1-4 ป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยใช้สารเคมีตามความจำเป็น ส่วนกรรมวิธีที่ 5 พ่นน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้และสมุนไพร สัปดาห์ละครั้ง กำจัดวัชพืชด้วยจอบ ขนาดแปลงทดลองย่อย 3x5 ม. พื้นที่เก็บเกี่ยว 2x4 ม<sup>2</sup> ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ระยะปลูกถั่วเหลือง 50x20 ซม. ดูแลรักษาตามกรรมวิธี ทำการเก็บก๊าซ CO<sub>2</sub> เนื้อผิวดินในแปลงปลูก 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<sub>2</sub> จากดินในแปลงปลูก ทุก 2 สัปดาห์ พร้อมความชื้นดิน และอุณหภูมิดิน
- 3) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 15 ซม.
- 4) ความสูงต้นถั่วเหลืองที่อายุ 30 วัน และระยะเก็บเกี่ยว
- 5) น้ำหนักสดของต้น ใบ และฝักถั่วเหลือง ในพื้นที่เก็บเกี่ยว
- 6) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตัวอย่างสุ่ม แยกเป็นส่วนของต้น ใบ เมล็ด และเปลือกฝัก
- 7) ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง
- 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<sub>2</sub> emission harvest, rainfall over cropping period and growing degree day (GDD) of soybean in the upland condition (late rainy season: LR 2014-2016)

growing season	planting - harvesting date	number of CO <sub>2</sub> emission harvests	rainfall over cropping period (mm)	Growing Degree Day (GDD -°C)
LR 2014	Aug 6, 2014 – Nov 6, 2014	10 harvests: Jun 20, 2014 – Nov 24, 2014	460.1	1,664.7
LR 2015	Jun 23, 2015 – Oct 9, 2015	7 harvests: Jun 9, 2015 – Oct 16, 2015	475.8	2,015.6
LR 2016	Jun 6, 2016 – Sep 13, 2016	3 harvests: May 26, 2016 – Sep 28, 2016*	574.7	1,835.9

\*Broken burette caused few CO<sub>2</sub> emission harvests

การวัดผลการกักเก็บคาร์บอน (carbon- C) ของการปลูกพืช พิจารณาจากสมดุลของคาร์บอน และผลวิเคราะห์ดิน (%อินทรีย์วัตถุ) ดังนี้

### สมดุลของคาร์บอนในดินจากการปลูกถั่วเหลืองสภาพไร่

สมดุลของคาร์บอน (carbon balance) จากกรรมวิธีต่าง ๆ คัดจากสมการ

$$C\text{-balance} = C\text{-input} - C\text{-loss}$$

C-input คือ คาร์บอนที่ใส่ลงไปใน การปลูกพืช 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 ต้น/ไร่ปรับปรุงดินก่อนปลูก คือ กรรมวิธีที่ 3 และ 5 มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช้ โดยในปี 2557 ให้ค่า C-balance เท่ากับ -262.3 และ -382.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ปี 2558 เท่ากับ -331.7 และ -387.7 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และปี 2559 เท่ากับ -79.9 และ -39.5 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่ไม่ใช้ คือ กรรมวิธีที่ 1 2 และ 4 เท่ากับ -435.1 -486.9 -515.7 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ (ปี 2557) เท่ากับ -517.4 -716.7 -520.2 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ (ปี 2558) และเท่ากับ -327.1 -322.1 -300.9 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ (ปี 2559) เฉลี่ย 3 ปี กรรมวิธีที่ 3 และ 5 ให้ค่า C-balance เท่ากับ -493.3 และ -537.4 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ส่วนกรรมวิธีที่ 1 2 และ 4 ค่า C-balance เท่ากับ -418.2

-499.9 และ -448.3 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ (Table 2) ผลวิเคราะห์ปริมาณ C ในดินโดยคำนวณจากปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินหลังเก็บเกี่ยวแล้วเหลือ พบว่า กรรมวิธีที่ 5 (เตรียมดิน+ใช้ปุ๋ยหมัก+ใช้ปุ๋ยชีวภาพโรโซเปียม+ระบบอินทรีย์ สามารถกักเก็บ C ในดินได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ทั้ง 3 ปี (Fig. 1) โดยเท่ากับ 401 531 และ 391 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ในปี 2557 2558 และ 2559 ตามลำดับ ในสภาพไร่ปลายฤดูฝนนี้ กรรมวิธีที่ 2 (เตรียมดิน + โรโซเปียม + ปุ๋ยเคมี) มีค่าการสะสม C ในดินสูงใกล้เคียงกับ การปลูกแล้วเหลือระบบอินทรีย์ โดยเท่ากับ 394 471 และ 331 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ในปี 2557 2558 และ 2559 ตามลำดับ กล่าวได้ว่า การใช้ปุ๋ยหมักปรับปรุงดินก่อนปลูกแล้วเหลือช่วยให้การกักเก็บ C ในดินมีมากกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยหมัก

คาร์บอนที่เกิดจากการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> จากดินระหว่างฤดูปลูก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ C-loss พบว่าในปี 2557 กรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน+ไม่ใช้ โรโซเปียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) มีการปล่อย C มากที่สุด (139 กก. C/ไร่) และกรรมวิธีที่ 2 (เตรียมดิน+โรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี) ปล่อย C ต่ำที่สุด (111 กก. C/ไร่) ปี 2558 กรรมวิธีที่ 5 (อินทรีย์) มีการปล่อย C มากที่สุด (207 กก. C/ไร่) และกรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน+ไม่ใช้ โรโซเปียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) ปล่อย C ต่ำที่สุด (176 กก. C/ไร่) และปี 2559 กรรมวิธีที่ 2 (เตรียมดิน+โรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี) มีการปล่อย C มากที่สุด (127 กก. C/ไร่) และกรรมวิธีที่ 4 (เตรียมดิน+ โรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี P+ปุ๋ยเคมี K) ปล่อย C ต่ำที่สุด (82 กก. C/ไร่) โดยเฉลี่ย 3 ปี กรรมวิธีที่ 5 (อินทรีย์) มีการปล่อย C มากที่สุด (149 กก. C/ไร่) และกรรมวิธีที่ 4 (เตรียมดิน+โรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี P+ปุ๋ยเคมี K) ปล่อย C ต่ำที่สุด (134 กก. C/ไร่) (Table 2) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปล่อย C จากการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> จากดินในฤดูปลูกเท่ากับ 33.5 27.7 28.7 29.1 และ 27.7% ในกรรมวิธีที่ 1 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการปล่อยโดยการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินและการหายใจของรากพืช ส่วนที่เหลือเป็นการสูญเสีย C จากการเก็บเกี่ยวส่วนของพืชออกไป Drury *et al.* (2017) พบว่า การปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> จากกระบวนการปลูกพืชเดี่ยวของถั่วเหลือง 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<sub>2</sub> ของพืชแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกก่อนหน้าในระบบปลูกพืชด้วย เช่น ในการทดลองเดียวกันกับพืชเดี่ยว การปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ของถั่วเหลืองที่ปลูกตามหลังข้าวโพด เฉลี่ย 2 ปี เท่ากับ 790 กก. C/ไร่ ซึ่งเป็นสาเหตุจากการใช้ปัจจัยการผลิตของพืชที่ปลูกก่อน เช่น ปุ๋ยเคมี เป็นต้น

ผลผลิตถั่วเหลืองสภาพไร่ปลายฤดูฝน ในปีที่ 1 (2557) พบว่า กรรมวิธีที่ 2 3 4 และ 5 (มีการใช้โรโซเปียม) ให้ผลผลิตเมล็ด (112.0-136.5 กก./ไร่) สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 ซึ่งไม่ใช้โรโซเปียม และปุ๋ยเคมี (86.0 กก./ไร่) ความสูงต้นระยะเก็บเกี่ยว พบว่า กรรมวิธีที่ 5 (อินทรีย์) ให้ความสูงต้นมากที่สุด 67.2 ซม. และกรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน+ไม่ใช้โรโซเปียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) ให้ความสูงต้นน้อยที่สุด 48.0 ซม. และจำนวนต้นต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เฉลี่ย 41,260 ต้น/ไร่ ส่วนในปี 2558 กรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน+ไม่ใช้โรโซเปียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) 3 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+โรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี) และ 4 (เตรียมดิน+โรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี P และ K) ให้ผลผลิตสูงสุด อยู่ในช่วง 55.0-78.4 กก./ไร่ ความสูงต้นระยะเก็บเกี่ยว ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เฉลี่ย 78.8 ซม. และจำนวนต้นต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน เฉลี่ย 38,260 ต้น/ไร่ และในปี 2559 ผลผลิตในกรรมวิธีที่ 5 ต่ำสุด เฉลี่ย 11.1 กก./ไร่ ความสูงต้น และจำนวนต้นต่อไร่ ก็เช่นเดียวกัน คือ กรรมวิธีที่ 5 (แปลงอินทรีย์) ต่ำที่สุด เฉลี่ย 68.5 ซม. และ 34,600 ต้น/ไร่ (Table 2) ผลผลิตถั่วเหลืองช่วงปลายฤดูฝนต่ำ ในปี 2558 ปลูก 23 มิถุนายน 2558 มีฝนทิ้งช่วง

หลายช่วงในฤดูปลูก ส่วนในปี 2559 อาจปลูกเร็วไปในปีนี้ (6 มิถุนายน 2559) ทำให้ต้องผ่านระยะที่ฝนทิ้งช่วง (กลางเดือนมิถุนายนถึงกลางเดือนกรกฎาคม) และมีผลกระทบจากฝนที่ตกหนักติดต่อกันช่วงปลายฤดู ทำให้ต้นล้มเสียหาย และเมล็ดเล็กมาก จากการวิเคราะห์ผลผลิตร่วมกัน 3 ปี พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติเนื่องจากปีที่ทดลอง กรรมวิธีการจัดการธาตุอาหารต่าง ๆ และมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างปี และกรรมวิธีการจัดการธาตุอาหาร โดยทุกกรรมวิธีให้ผลผลิตในปี 2557 สูงกว่าปี 2558 และ 2559 โดยในปี 2557 กรรมวิธีที่ 2 (เตรียมดิน+ไรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี) 3 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี) 4 (ไม่เตรียมดิน+ไรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี) และ 5 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเปียม+ระบบอินทรีย์) ให้ผลผลิตเมล็ด (เฉลี่ย 112.0 124.0 136.5 และ 116.6 กก./ไร่ ตามลำดับ) สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน+ไม่ใช้ไรโซเปียม+ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 86.0 กก./ไร่ และเฉลี่ย 3 ปี กรรมวิธีที่ 3 และ 4 ให้ผลผลิตสูงสุด (Table 3)

การคำนวณผลตอบแทน และต้นทุนแปรผัน (Table 4) พบว่า ค่า Benefit-Cost ratio (BCR) ของกรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน ไม่ใช้ไรโซเปียม ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) สูงที่สุด เท่ากับ 2.0 และกรรมวิธีที่ 4 (เตรียมดิน ใช้ไรโซเปียม และปุ๋ยเคมี P และ K) ซึ่งเท่ากับ 1.4 หรือคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่เป็นกรรมวิธีที่มีการปล่อย CO<sub>2</sub> สูงกว่ากรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยหมัก (กรรมวิธีที่ 3 และ 5) กล่าวคือ ค่าสมมูลคาร์บอนเฉลี่ย -418.2 และ -448.3 กก. C/ไร่ ขณะที่กรรมวิธีที่ 3 และ 5 เท่ากับ -215.0 และ -262.3 กก. C/ไร่ (Table 2) และค่า BCR ต่ำ เท่ากับ 0.1 และ 0.1 ตามลำดับ และสามารถกักเก็บ C ไว้ในดินได้มากกว่า โดยเท่ากับ 332 และ 391 กก. C/ไร่ ในปีที่ 3 (Table 2 และ Fig. 1) ซึ่งในระยะยาว จะช่วยให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ และเป็นแนวทางการพัฒนาความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สามารถให้ผลผลิตแก่ข้าวเหลือง และนำไปสู่การผลิตที่ยั่งยืน

### สมดุลของไนโตรเจนในดินจากการปลูกถั่วเหลืองสภาพไร่

คิดจากไนโตรเจน (N) ที่ใส่ลงในระบบการผลิตถั่วเหลือง (N-input) ลบด้วย N ที่สูญเสียไปจากระบบการผลิตจากการเก็บเกี่ยวส่วนของพืชออกไป (N-loss) โดย N-input ประกอบด้วย N จากปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไป และจากเศษซากพืช (ราก) ที่เหลืออยู่ในดินหลังเก็บเกี่ยว ส่วน N-loss ประกอบด้วย N ที่สูญเสียไปกับส่วนของพืชที่เก็บเกี่ยวออกไป (เมล็ด ต้น ใบ เปลือกฝัก) จากผลการวิเคราะห์ใน Table 4 พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยหมักปรับปรุงดินก่อนปลูก คือ กรรมวิธีที่ 3 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี) และกรรมวิธีที่ 5 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเปียม+ระบบอินทรีย์) ให้ค่าสมดุลของ N สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใช้ปุ๋ยหมัก ทั้งในปี 2557 - 2559 โดยมีค่าสมดุลของ N เท่ากับ 11.4 8.4 กิโลกรัม N/ไร่ ในปี 2557 เท่ากับ 13.8 7.8 กิโลกรัม N/ไร่ ในปี 2558 และเท่ากับ 18.0 17.4 กิโลกรัม N/ไร่ ในปี 2559 ตามลำดับ เฉลี่ย 3 ปี พบว่า สมดุลของ N จากการปลูกถั่วเหลืองในกรรมวิธีที่ 3 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเปียม+ปุ๋ยเคมี) และกรรมวิธีที่ 5 (เตรียมดิน+ปุ๋ยหมัก+ไรโซเปียม+ระบบอินทรีย์) ให้ค่าสมดุลของ N (เฉลี่ย 14.5 และ 11.3 กิโลกรัม N/ไร่) สูงกว่ากรรมวิธีอื่นที่ไม่ใช้ปุ๋ยหมัก (-11.9 ถึง -9.9 กิโลกรัม N/ไร่)

**Table 2** Carbon balance of the 5 nutrient management treatments for upland soybean  
(late rainy season: LR 2014-2016 Chiang Mai Field Crops Research Centre)

a)LR 2014		unit: kg C/rai				
	Bare soil	T1 no R+no F	T2 R+F	T3 C+R+F	T4 R+P+K	T5 C+R+organic
<b>C-input</b>						
C from compost	0	0	0	263.9	0	263.9
C from root residue						
<b>total C-input</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>263.9</b>	<b>0</b>	<b>263.9</b>
<b>C-loss</b>						
C from CO <sub>2</sub> emission (soybean)	140.1	139.0	110.5	126.0	118.8	133.8
C from harvested plant		296.0	376.4	400.1	396.8	512.2
-seed		79.85	104.24	117.42	134.54	116.68
-stem		87.49	102.24	123.86	126.03	223.01
-leaves		10.63	13.63	12.13	9.97	7.68
-pod cover		118.04	156.26	146.71	126.30	164.85
<b>total C-loss</b>	<b>140.1</b>	<b>435.1</b>	<b>486.9</b>	<b>526.2</b>	<b>515.7</b>	<b>646.0</b>
<b>C-balance (input-loss)</b>	<b>-140.1</b>	<b>-435.1</b>	<b>-486.9</b>	<b>-262.3</b>	<b>-515.7</b>	<b>-382.1</b>
seed yield (kg/rai)* (CV = 16.1%)		86.0 b	112.0 ab	124.0 a	136.5 a	116.5 a
plant height (cm)** (CV = 4.5%)		48.0 c	50.4 bc	53.6 b	50.7 bc	67.2 a
No. of plants/rai (CV = 2.9 %)		42,100	39,700	42,350	41,300	40,850
<b>b) LR 2015</b>						
Kg C /rai	Bare soil	T1 no R+no F	T2 R+F	T3 C+R+F	T4 R+P+K	T5 C+R+organic
<b>C-input</b>						
C from compost	0	0	0	263.9	0	263.9
C from root residue		12.4	13.1	14.5	10.9	11.2
<b>total C-input</b>	<b>0.0</b>	<b>12.4</b>	<b>13.1</b>	<b>278.4</b>	<b>10.9</b>	<b>275.1</b>
<b>C-loss</b>						
C from CO <sub>2</sub> emission (soybean)	279.4	176.3	189.1	202.2	199.6	206.9
C from harvested plant part		353.5	540.7	407.9	331.5	455.9
seed		57.30	33.26	39.89	57.69	30.36
stem		186.47	312.71	262.57	142.49	274.00
leaves		48.56	125.90	45.87	65.86	72.55
pod cover		61.12	68.77	59.58	65.46	79.00
<b>total C-loss</b>	<b>279.4</b>	<b>529.8</b>	<b>729.8</b>	<b>610.1</b>	<b>531.1</b>	<b>662.8</b>



<b>C-balance (input-loss)</b>	<b>-279.4</b>	<b>-517.4</b>	<b>-716.7</b>	<b>-331.7</b>	<b>-520.2</b>	<b>-387.7</b>
seed yield (kg/rai)* (CV = 30.4%)	78.4 a	46.7 b	55.0 ab	77.9 a	42.6 b	
plant height (cm) (CV = 10.7%)	87.4	79.9	79.5	73.6	73.4	
No. of plants/rai (CV = 5.6 %)	37,400	39,350	38,050	38,450	38,050	

### c) LR 2016

Kg C /rai	Bare soil	T1 no R+no F	T2 R+F	T3 C+R+F	T4 R+P+K	T5 C+R+organic
<b>C-input</b>						
C from compost	0	0	0	263.9	0	263.9
C from root residue						
<b>total C-input</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>263.9</b>	<b>0.0</b>	<b>263.9</b>
<b>C-loss</b>						
C from CO <sub>2</sub> emission (soybean)	113.0	117.5	127.1	97.1	82.1	106.7
C from plant parts harvested		209.5	195.1	246.7	248.7	196.7
-seed		30.70	31.13	34.56	36.82	8.30
-stem		67.74	84.96	92.00	89.99	66.10
-leaves		68.25	33.77	73.11	80.28	83.43
-pod cover		42.85	45.20	47.07	41.65	38.89
<b>total C-loss</b>	<b>113.0</b>	<b>327.1</b>	<b>322.1</b>	<b>343.8</b>	<b>330.9</b>	<b>303.4</b>
<b>C-balance (input-loss)</b>	<b>-113.0</b>	<b>-327.1</b>	<b>-322.1</b>	<b>-79.9</b>	<b>-330.9</b>	<b>-39.5</b>
seed yield (kg/rai)* (CV = 44.4%)		41.9 a	43.2 a	45.8 a	49.6 a	11.1 b
plant height (cm)** (CV = 5.3%)		75.7 a	79.5 a	81.2 a	80.7 a	68.5 b
No. of plants/rai* (CV = 7.9 %)		41,300 a	39,900 a	39,500 a	43,850 a	34,600 b
100 seed weight (g)**(CV = 7.7%)		6.64 b	6.45 b	6.45 b	6.54 b	8.07 a

### d) average 3 years (2014-2016)

Kg C /rai	Bare soil	T1 no R+no F	T2 R+F	T3 C+R+F	T4 R+P+K	T5 C+R+organic
<b>C-input</b>						
C from compost	0	0	0	263.9	0	263.9
C from root residue		12.4	13.1	14.5	10.9	11.2
<b>total C-input</b>	<b>0.0</b>	<b>12.4</b>	<b>13.1</b>	<b>278.4</b>	<b>10.9</b>	<b>275.1</b>
<b>C-loss</b>						
C from CO <sub>2</sub> emission	177.5	144.3	142.2	141.8	133.5	149.1
% emission by total C-loss		(33.5%)	(27.7%)	(28.7%)	(29.1%)	(27.7%)
C from plant parts harvested		286.3	370.7	351.6	325.7	388.3
-seed		55.95	56.21	63.96	76.35	51.78
-stem		113.90	166.64	159.47	119.51	187.70
-leaves		42.48	57.77	43.70	52.04	54.55
-pod cover		74.01	90.08	84.46	77.80	94.25

total C-loss	177.5	430.6	512.9	493.3	459.2	537.4
C-balance (input-loss)	-177.5	-418.2	-499.9	-215.0	-448.3	-262.3
seed yield (kg/rai) avg 3 years		68.8 bc	67.3 bc	74.9 ab	88.0 a	56.7 c
(year **, trt **, year x trt *, CV = 25.2%)						
BCR <sup>1</sup>		2.0	1.0	0.1	1.4	0.1
SOC (kg C/rai) 3rd year		306	284	331	332	300

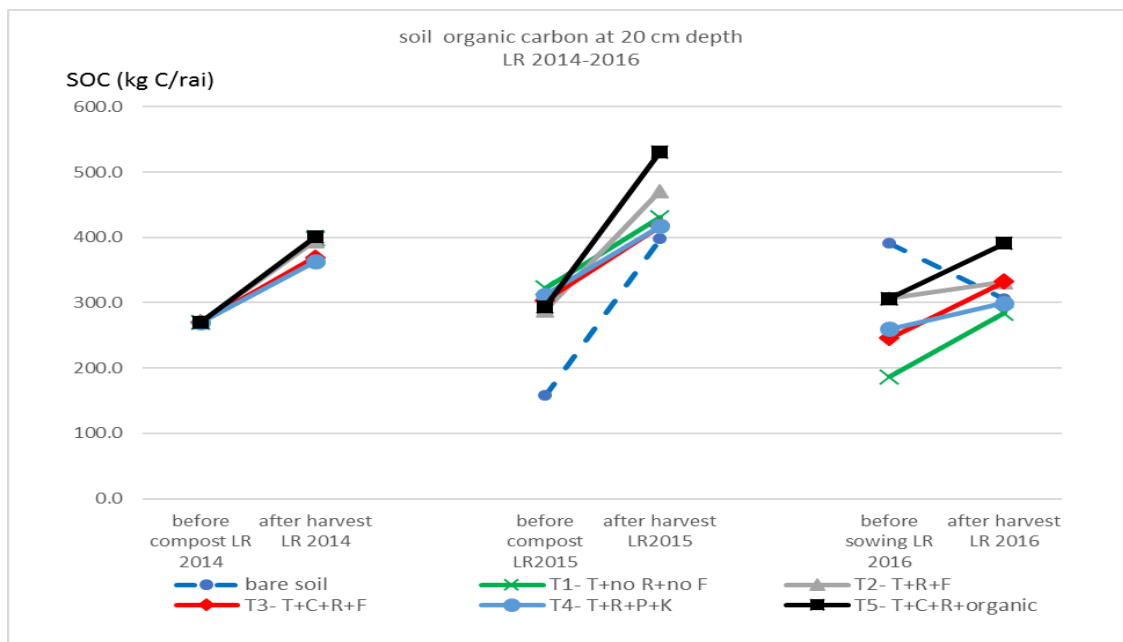
<sup>1</sup> from Table 4

**Table 3** Soybean seed yield in the 5 nutrient management treatments for upland soybean (combined 3 years, 2014-2016, Chiang Mai Field Crops Research Centre)

treatment	Growing season			average
	LR 2557	LR 2558	LR 2559	
T1 - no R + no F	86.0 b	78.4 bc	41.9 d	68.8
T2 - R + F	112.0 a	46.7 d	43.2 d	67.3
T3 - C + R + F	124.0 a	55.0 cd	45.8 d	74.9
T4 - R + P + K	136.5 a	77.9 bc	49.6 d	88.0
T5 - C + R + organic	116.5 a	42.6 d	11.1 e	56.7
average	115.0 A	60.1 B	38.3 C	

year \*\*, treatment \*\*, year x treatment\*, CV = 25.2%

The means followed by the same letter were not significantly different at 95% confidence level by DMRT



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

**Table 4** Calculation of variable cost, benefit and Benefit-Cost ratio (BCR) for the 5 nutrient management treatments for upland soybean (LR 2014-2016, Chiang Mai Field Crops Research Centre)

					LR2014	LR2015			LR2016			Averaged BCR			
	Compost	chemical fertilizer	Rhizobium	Spraying	Total Cost	Seed yield (kg/rai)	Income*	BCR	Seed yield (kg/rai)	Income*	BCR		Seed yield (kg/rai)	Income*	BCR
<b>T1 - no R+no F</b>				700	<b>700</b>	86.0	<b>1,720</b>	2.5	78.4	<b>1,568</b>	2.2	41.9	<b>838</b>	1.2	<b>2.0</b>
<b>T2 - R+F</b>		600	25	700	<b>1,325</b>	112.0	<b>2,240</b>	1.7	46.7	<b>934</b>	0.7	43.2	<b>864</b>	0.7	<b>1.0</b>
<b>T3 - C+R+F</b>	12,000	600	25	700	<b>13,325</b>	124.0	<b>2,480</b>	0.2	55.0	<b>1,100</b>	0.1	45.8	<b>916</b>	0.1	<b>0.1</b>
<b>T4 - R+P+K</b>		530	25	700	<b>1,255</b>	136.5	<b>2,730</b>	2.2	77.9	<b>1,558</b>	1.2	49.6	<b>992</b>	0.8	<b>1.4</b>
<b>T5 - C+R+organic</b>	12,000		25	1,000	<b>13,025</b>	116.5	<b>2,330</b>	0.2	42.6	<b>852</b>	0.1	11.1	<b>222</b>	0.0	<b>0.1</b>

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

1	rhizobium	25 baht/packet, 1 packet/rai	25	Baht/rai
2	compost+ labor	6 baht/kg, 2,000 kg/rai	12,000	Baht/rai
3	chemical fertilizer	12-24-12 at the rate 25 kg/rai, 24 baht/kg (1,200 baht/50 kg)	600	Baht/rai
4	chemical fertilizer P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 9 กก./ไร่)	0-46-0 at the rate 19.6 kg/rai, 19 baht/kg (950 baht/50 kg)	372	Baht/rai
5	chemical fertilizer K (K <sub>2</sub> O 6 กก./ไร่)	0-46-0 at the rate 10 kg/rai, 15.80 baht/kg (790 baht/50 kg)	158	Baht/rai
6	labor cost for chemical/bio-extract sprays (100 baht/rai/ 1 spraying)			
	T1-T4	7 sprayings/cropping season	700	Baht/rai
	T5	10 sprayings/cropping season	1,000	Baht/rai

**Table 5** Nitrogen balance of the 5 nutrient management treatments for upland soybean  
(late rainy season:LR 2014-2016 Chiang Mai Field Crops Research Centre)

a)LR2014		kg N/rai					
		Bare soil	T1 no R+no F	T2 R+F	T3 C+R+F	T4 R+P+K	T5 C+R +organic
N-input	N from compost		0	0	23.8	0	23.8
	N from chemical fertilizer			3	3	0	
	N from root residue						
<b>total N-input</b>			<b>0.0</b>	<b>3.0</b>	<b>26.8</b>	<b>0.0</b>	<b>23.8</b>
N-loss	N from harvested plant parts		11.7	13.2	15.4	15.0	15.4
	seed		5.09	6.59	7.42	8.20	7.24
	stem		2.22	2.99	3.61	3.00	2.85
	leaves		0.44	0.39	0.40	0.77	1.08
	Pod cover		3.91	3.26	3.92	2.99	4.21
	<b>total N-loss</b>			<b>11.7</b>	<b>13.2</b>	<b>15.4</b>	<b>15.0</b>
<b>N-balance (input-loss)</b>			<b>-11.7</b>	<b>-10.2</b>	<b>11.4</b>	<b>-15.0</b>	<b>8.4</b>

b) LR2015		kg N/rai					
		Bare soil	T1 no R+no F	T2 R+F	T3 C+R+F	T4 R+P+K	T5 C+R +organic
N-input	N from compost		0	0	23.8	0	23.8
	N from chemical fertilizer			3	3	0	
	N from root residue		0.19	0.26	0.42	0.52	0.30
<b>total N-input</b>			<b>0.2</b>	<b>3.3</b>	<b>27.2</b>	<b>0.5</b>	<b>24.1</b>
N-loss	N from harvested plant parts		12.0	19.6	13.4	12.0	16.3
	seed		4.25	2.54	2.98	4.11	2.40
	stem		4.10	9.94	5.63	3.33	6.82
	leaves		1.22	4.26	2.33	2.47	3.40
	Pod cover		2.39	2.84	2.48	2.08	3.65
	<b>total N-loss</b>			<b>12.0</b>	<b>19.6</b>	<b>13.4</b>	<b>12.0</b>
<b>N-balance (input-loss)</b>			<b>-11.8</b>	<b>-16.3</b>	<b>13.8</b>	<b>-11.5</b>	<b>7.8</b>

c) LR2016		kg N/rai					
		Bare soil	T1 no R+no F	T2 R+F	T3 C+R+F	T4 R+P+K	T5 C+R +organic
N-input	N from compost		0	0	23.8	0	23.8
	N from chemical fertilizer			3	3	0	
	N from root residue		0.50	0.43	0.28	0.57	0.53
<b>total N-input</b>			<b>0.5</b>	<b>3.4</b>	<b>27.1</b>	<b>0.6</b>	<b>24.3</b>
N-loss	N from harvested plant parts		8.0	7.1	9.1	10.4	7.0
	seed		2.35	2.45	2.65	2.81	0.65
	stem		0.91	1.34	1.53	2.26	1.05

leaves	2.87	1.38	2.97	3.34	3.67
Pod cover	1.83	1.90	1.91	2.00	1.60
<b>total N-loss</b>	<b>8.0</b>	<b>7.1</b>	<b>9.1</b>	<b>10.4</b>	<b>7.0</b>
<b>N-balance (input-loss)</b>	<b>-7.4</b>	<b>-3.6</b>	<b>18.0</b>	<b>-9.8</b>	<b>17.4</b>

d) average 3 years (LR 2014-2016)		kg N/rai					
		Bare soil	T1 no R+no F	T2 R+F	T3 C+R+F	T4 R+P+K	T5 C+R +organic
N-input	N from compost		0	0	23.8	0	23.8
	N from chemical fertilizer			3	3	0	
	N from root residue		0.37	0.35	0.35	0.54	0.42
	<b>total N-input</b>		<b>0.4</b>	<b>3.3</b>	<b>27.2</b>	<b>0.5</b>	<b>24.2</b>
N-loss	N from harvested plant parts		10.5	13.3	12.6	12.4	12.9
	seed		3.90	3.86	4.35	5.04	3.43
	stem		2.41	4.76	3.59	2.86	3.57
	leaves		1.51	2.01	1.90	2.19	2.72
	Pod cover		2.71	2.67	2.77	2.35	3.15
	<b>total N-loss</b>		<b>10.5</b>	<b>13.3</b>	<b>12.6</b>	<b>12.4</b>	<b>12.9</b>
	<b>N-balance (input-loss)</b>		<b>-10.1</b>	<b>-10.0</b>	<b>14.6</b>	<b>-11.9</b>	<b>11.3</b>
	<b>seed yield (kg/rai) -avg 3yrs</b>		68.8 bc	67.3 bc	74.9 ab	88.0 a	56.7 c

## 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การผลิตถั่วเหลืองในสภาพไร่ ปลายฤดูฝน โดยมีการเตรียมดิน ใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม และปุ๋ยเคมี P (9 กก./ไร่ของ  $P_2O_5$ ) และ K (6 กก./ไร่ของ  $K_2O$ ) ตามคำแนะนำหรือกรรมวิธีที่ 4 ให้ผลผลิตสูงสุด เฉลี่ย 3 ปี 88.0 กิโลกรัมต่อไร่ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (BCR = 1.4) แต่กักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน (300 กก. C/ไร่) ได้น้อยกว่ากรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยหมัก คือ กรรมวิธีที่ 3 (เตรียมดิน ใช้ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ ใช้ไรโซเบียม และปุ๋ยเคมี 12-24-12 อัตรา 25 กก./ไร่) และ 5 (เตรียมดิน ใช้ปุ๋ยหมัก ใช้ไรโซเบียม และระบบอินทรีย์) ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ย 74.9 และ 56.7 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถกักเก็บ C ในดินไว้ได้ 332 และ 391 กก. C/ไร่ ในปี 3 และในแต่ละปี กรรมวิธีระบบอินทรีย์ สามารถกักเก็บ C ไว้ในดินหลังเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ รวมทั้งให้ค่าสมดุลของไนโตรเจนในดินหลังเก็บเกี่ยว (14.5 และ 11.3 กก. N/ไร่) สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 (เตรียมดิน ไม่ใช้ไรโซเบียม ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี) 2 (เตรียมดิน ใช้ไรโซเบียม ใช้ปุ๋ยเคมี) และ 4 (เตรียมดิน ใช้ไรโซเบียม ใช้ปุ๋ยเคมี P และ K)

## 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- จัดทำรายงานผลงานวิจัย รายงานประจำปี และนำเสนอผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่ความรู้แก่นักวิจัย เพื่อนำไปปรับใช้กับงานวิจัยด้านอื่นต่อไป
- พัฒนางานวิจัยเพื่อนำไปเผยแพร่และปฏิบัติงานในแปลงเกษตรกร เพื่อให้มีการเรียนรู้และรู้จักปรับใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

-จัดทำเป็นข้อเสนอนโยบายการพัฒนาการเกษตรที่ช่วยบรรเทาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

## 11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ และศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ที่ช่วยสนับสนุนทำการวิเคราะห์หาคาร์บอน ไนโตรเจน และธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ในส่วนของพืชที่ทดลอง

## 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.ncresearchpress.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.

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<sub>2</sub> emission) หน่วยเป็น mg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> ที่วัดได้  
คำนวณเป็น ปริมาณ C โดยแปลงหน่วยเป็น mg CO<sub>2</sub> /ไร่ โดย x 1,600 แล้วเป็น kg CO<sub>2</sub> /ไร่ โดย x 10<sup>-6</sup> และ  
เป็น kg C /ไร่ โดย x 0.2727

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

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

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

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

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

โดย %OC = %OM / 1.724 และ

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

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

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

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