รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** : แผนบูรณาการวิจัยและพัฒนาระบบการผลิตพืชสู่เกษตรที่เป็นมิตรกับสภาพภูมิอากาศ
2. **โครงการวิจัย** : การศึกษาผลของการจัดการดิน ปุ๋ย และน้ำ ในระบบการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อย มันสำปะหลัง ถั่วเหลืองและถั่วเขียว ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

   กิจกรรม : การจัดการดินและปุ๋ยในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : การศึกษาการจัดการดินและปุ๋ยอย่างต่อเนื่องระยะยาวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระบบการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จ. ลพบุรี

   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): Long-term study of soil and fertilizer management on the changes of soil quality and greenhouse gas emissions in maize production system in Lopburi province
4. **คณะผู้ดำเนินงาน**

หัวหน้าการทดลอง	นางสาววนิดา โนบรรเทา	สังกัด กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
ผู้ร่วมงาน	นางสาวแววตา พลกุล	สังกัด กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
	นายณัฐพงษ์ ศรีสมบัติ	สังกัด กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
	นางนงลักษ์ ปั้นลาย	สังกัด ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์ลพบุรี
	นายอนันต์ ทองภู	สังกัด กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

5. **บทคัดย่อ**

การเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินในพื้นที่ทำการเกษตร หรือการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน เป็นกลยุทธ์หนึ่งที่ช่วยบรรเทาภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ยังเป็นการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาถึงผลของการจัดการดินแบบต่างๆต่อการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในดิน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดำเนินการในปี 2560 ถึงปี 2563 ในแปลงทดลองระยะยาวที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี กรรมวิธีประกอบด้วย 1) ใช้ฟางข้าวคลุมดิน (RiceStraw) และไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ (NoOM), 2) ไถพรวน (Till) และไม่ไถพรวน (No-till), และ 3) ใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) และไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) ผลการทดลองพบว่า การใช้ฟางข้าวคลุมดิน การไถพรวน และการ

กรมวิชาการเกษตร

ใช้ปุ๋ยเคมี ไม่ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินแตกต่างกันเฉลี่ย 3.3 ตัน CO_2 ต่อไร่ต่อปี แต่ส่งเสริมให้ข้าวโพดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ 2.2- 2.6 ตัน CO_2 ต่อไร่ต่อปี การใช้ฟางข้าวคลุมดินเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดิน (3.0 ตัน C ต่อไร่) ได้มากกว่าการไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ (2.5 ตัน C ต่อไร่) แต่อัตราการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินกลับลดลง ส่วนการสะสมและการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดินจากการไถพรวน ไม่แตกต่างจากการไม่ไถพรวน เช่นเดียวกันกับการใช้ปุ๋ยเคมีไม่ส่งผลให้การสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินแตกต่างจากการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี จากการวิเคราะห์สมดุลคาร์บอน การใช้ฟางข้าวคลุมดินการไถพรวน และการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้คาร์บอนในดินลดลง 39-65 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี หรือสูญหายออกไปจากพื้นที่ มากกว่าปริมาณคาร์บอนจากเศษซากที่คืนกลับสู่ดิน (649-719 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) เพราะอัตราการเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินจากเศษซากข้าวโพดและถั่วเขียวต่ออัตราการเปลี่ยนไปเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินไม่เพิ่มขึ้น และมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูง 865-923 กิโลกรัม C-CO_2 ต่อไร่ต่อปี ส่งผลให้การกักเก็บคาร์บอนในดินและคุณภาพดินลดลง จากผลการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยอธิบายถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในดินในพื้นที่ปลูกพืชไร่ในสภาพมรสุมเขตร้อนได้

คำสำคัญ อินทรีย์คาร์บอนในดิน ฟางข้าวคลุมดิน ไม่ไถพรวน สมดุลคาร์บอน ก๊าซเรือนกระจก

Abstract

Increasing soil organic carbon (SOC) content in agricultural fields is one of stratiegies for mitigating climate change through carbon sequestration, and could improve soil fertility. Thus, a field experimental studies have been conducted under various soil management practices in a long-term field in Lopburi seed research and development center from 2017 to 2020 to clarifying the effects of soil and fertilizer management on the changes of soil quality and greenhouse gas emissions in maize cultivation. The following treatment combinations were included: 1) rice straw mulch (RiceStraw) and no organic matter application (NoOM), 2) tillage (Till) and no-tillage (No-till), and chemical fertilizer application (Chem) and no chemical fertilizer application (0-0-0). The results showed that carbon dioxide emissions from the soil surface in rice straw mulch, tillage and chemical fertilizer application did not differ with an average of 3.3 t CO_2 rai^{-1} $year^{-1}$, but increasing maize to absorb CO_2 from the atmosphere from 2.2 to 2.6 t CO_2 rai^{-1} $year^{-1}$. Rice straw mulch increase soil carbon stock 3.0 t C rai^{-1} was greater than without organic materials (2.5 t C rai^{-1}), but the rate of organic carbon accumulation in soil was lower. Whereas SOC stock change in tillage did not differ from that in no-till. Similarly, chemical fertilizer application does not affect the organic carbon accumulation in the soil from no chemical fertilizer application. Analysis of carbon balance showed that rice straw mulch, tillage and chemical fertilizer application decreased soil carbon stock 39-65 kg C rai^{-1} $year^{-1}$ or

กรมวิชาการเกษตร

increased C lost from the maize field, although carbon input to the soil by returning maize-mung bean residues was also high (649-719 kg C rai^{-1} $year^{-1}$). Which might be caused by no increase in the conversion rate of total organic C input to SOC stock change and has a high surface carbon dioxide emission 865-923 kg C-CO_2 rai^{-1} $year^{-1}$, resulting in decrease soil carbon storage and soil quality. Thus, the results of this study could contribute to clarifying SOC stock change in upland crop fields in tropical monsoon conditions.

Key word Soil organic carbon, rice straw mulch, no-tillage, carbon balance, greenhouse gases

กรมวิชาการเกษตร

6. คำนำ

ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เพิ่มสูงขึ้นในชั้นบรรยากาศ ได้ส่งผลให้สภาพภูมิอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไป เกิดสภาพอากาศที่รุนแรง เช่นอุณหภูมิที่ร้อนจัด ฝนตกอย่างหนัก และความแห้งแล้ง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจส่งผลเสียต่อการผลิตอาหาร และสุขภาพของมนุษย์ การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศลงในดิน ด้วยวิธีการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน (soil carbon sequestration) จึงเป็นกลยุทธ์หนึ่งในการช่วยชลอการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPPC, 2014)

ในการกระบวนการผลิตพืช มีแนวทางการจัดการดินหลายๆ วิธี เช่นการลดการไถพรวน การไม่ไถพรวน การปลูกพืชคลุมดิน การจัดการธาตุอาหารพืช การใช้วัสดุอินทรีย์ การจัดการน้ำในดิน และระบบวนเกษตร สามารถเพิ่มปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินได้ (Lal, 2003) ซึ่งเกือบทั่วโลกได้มีการทดลองศึกษาถึงผลของการจัดการดินแบบต่างๆต่อการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์คาร์บอนในดิน Jarecki and Lal (2003) ได้รวบรวมและสังเคราะห์ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกักเก็บคาร์บอนในดิน และพบว่าการใส่อินทรียวัตถุลงไปในดินเป็นเวลามากกว่า 5-90 ปี เพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดินหรือกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้ 0.005-0.67 ตัน C ต่อไร่ต่อปี ส่วนการไม่ไถพรวน หรือลดการไถพรวน เป็นเวลา 3-44 ปี เพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดินเพียง -0.032-0.096 ตัน C ต่อไร่ต่อปี และการทิ้งเศษซากพืชไว้ในพื้นที่เพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดิน 0.016-0.176 ตัน C ต่อไร่ต่อปี นั่นแสดงว่ามีเพียง 15 เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนในเศษซากพืชที่เปลี่ยนไปเป็นอินทรีย์คาร์บอนกักเก็บไว้ในดิน ด้าน Minasny *et al.* (2017) ได้สำรวจกรณีศึกษาเกี่ยวกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมในดิน และศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในดินจาก 20 ภูมิภาคทั่วโลก พบว่าการใส่อินทรียวัตถุลงดินเป็นเวลามากกว่า 3-50 ปี ในพื้นที่เพาะปลูกมีปริมาณของการกักเก็บคาร์บอนในดินเท่ากับ 0.016-0.16 ตัน C ต่อไร่ต่อปี ส่วนการไม่ไถพรวนหรือลดการไถพรวนเป็นระยะเวลา 4-42 ปี มีการกักเก็บคาร์บอนในดินเพียง 0.0-0.08 ตัน C ต่อไร่ต่อปี และการใช้ปุ๋ยเคมี (NPK) สามารถกักเก็บคาร์บอนในดินได้ 0.032-0.112 ตัน C ต่อไร่ต่อปี แต่อย่างไรก็ตามงานศึกษาวิจัยดังกล่าวส่วนมากทำการศึกษาในเขตอบอุ่นที่มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างจากเขตร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับ Fujisaki *et al.* (2018) ที่ได้รวบรวมผลการศึกษาวิจัยจาก 214 กรณีศึกษาในภูมิภาคเขตร้อน 13 ประเทศ พบว่าการใส่อินทรียวัตถุลงดินเป็นเวลา 18.2 ปี เพิ่มการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินเขตร้อนได้ 0.072 ตัน C ต่อไร่ต่อปี ส่วนการลดการไถพรวน 12 ปี มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดิน 0.051 ตัน C ต่อไร่ต่อปี และการใช้ปุ๋ยเคมีมากกว่า 17.2 ปีเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดิน 0.038 ตัน C ต่อไร่ต่อปี ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินเขตร้อนต่ำกว่าในดินเขตอบอุ่นมาก นักวิจัยทั้งหลายจึงได้แนะนำให้มีการตรวจสอบ และศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสะสมของคาร์บอนในดิน โดยต้องพิจารณาถึงความแปรปรวนของอัตราการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินภายใต้ระบบการจัดการดินที่แตกต่างกัน ซึ่งจะสามารถช่วยอธิบายได้ว่าอะไรเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินเขตร้อน

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่ปี 2560 ถึงปี 2563 เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ การไถพรวนและการไม่ไถพรวน และการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดิน และคุณภาพดินในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย

กรมวิทยาศาสตร์

7. วิธีดำเนินการ

7.1 อุปกรณ์

1) อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน เช่น ท่อเจาะดินสแตนเลส กระบอกสแตนเลสสำหรับเก็บตัวอย่างดินขนาด 100 มิลลิลิตร พลั่วมือสแตนเลส ค้อนทองแดง ถุงพลาสติก ถังพลาสติก

2) อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างพืช เช่น ถุงกระดาษ ถุงตาข่าย

3) เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องแก้ว สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ดินและพืช เช่น สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู กรดไนตริก กรดเปอร์คลอริก แก๊สอาร์กอน แก๊สไนโตรเจน และ แก๊สอะเซทีลีน

4) เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พันธุ์นครสวรรค์ 3

5) ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ยูเรีย (46-0-0) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

6) ฟางข้าว

7.2 วิธีการ

1) รายละเอียดและสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ทดลอง

ดำเนินการในแปลงทดลองระยะยาวที่มีการดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 จนถึงปัจจุบัน ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี จังหวัดลพบุรี (14° 47.9′ N, 100°48.0′ E) ซึ่งเป็นดินชุดวังสะพุง (Typic Paleustults, Ultisols) โดยที่ระดับความลึก 0-13 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (ดินเหนียว 13.8 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง 35.2 เปอร์เซ็นต์ และ ทราย 51.0 เปอร์เซ็นต์) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) 5.8 ปริมาณอินทรียวัตถุ 10.7 กรัมต่อกิโลกรัม ไนโตรเจนทั้งหมด 1.7 กรัมต่อกิโลกรัม และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Sugino *et al*., 2013)

การทดลองครั้งนี้เริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือนตุลาคม 2560 ถึงเดือนกันยายน 2563 รวม 3 ปี โดยในปี 2560 มีปริมาณน้ำฝนรวมมากสุด 1459.4 มิลลิเมตร และในปี 2562 มีปริมาณน้ำฝนรวมน้อยสุด 1007 มิลลิเมตร ส่วนอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดในแต่ละปีไม่แตกต่างกัน มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยที่ 36.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยที่ 22.2 องศาเซลเซียส (Figure 1)

ศรีบัวการเกษตร

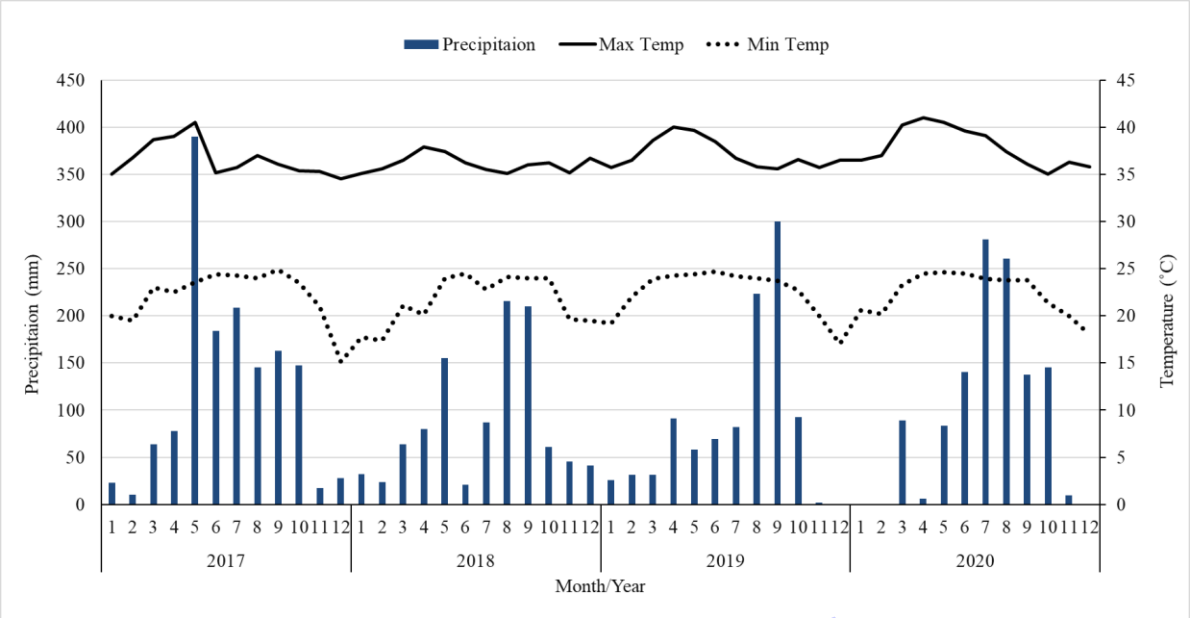


Figure 1 Monthly precipitation and monthly maximum – minimum air temperature at the Lopburi Seed Research and Development Center from 2017 to 2020

กรมวิชาการเกษตร

2) การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block ประกอบด้วย 8 กรรมวิธีๆละ 3 ซ้ำ ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้ 1) ใส่วัสดุอินทรีย์ โดยใช้ฟางข้าวคลุมดิน อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ (Rice straw) และไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (NoOM) 2) ไถพรวน (Till) และไม่ไถพรวน (No-till) และ 3) ใส่ปุ๋ยเคมี (Chem) อัตรา 15-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (0-0-0) ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Field experiment treatments from October 2017 – September 2020

Treatment no.	Treatment		
	Chemical fertilizer	Organic matter input	Tillage
1	No application (0-0-0)	No organic matter input (NoOM)	Tillage (Till)
2	No application (0-0-0)	No organic matter input (NoOM)	No-tillage (No-till)
3	No application (0-0-0)	Rice straw mulch (RiceStraw)	Tillage (Till)
4	No application (0-0-0)	Rice straw mulch (RiceStraw)	No-tillage (No-till)
5	Application (Chem)	No organic matter input (NoOM)	Tillage (Till)
6	Application (Chem)	No organic matter input (NoOM)	No-tillage (No-till)
7	Application (Chem)	Rice straw mulch (RiceStraw)	Tillage (Till)
8	Application (Chem)	Rice straw mulch (RiceStraw)	No-tillage (No-till)

Note: 1. Chemical fertilizer was applied at 15-5-5 kg N-P_2O_5-K_2O / rai under maize cultivation and not under mung bean cultivation

2. Rice straw mulch was carried out before maize sowing

3. Tillage and no-tillage was carried out under maize cultivation and not under mung bean cultivation

ทำการไถพรวนในแปลงที่มีการไถพรวนก่อนปลูกข้าวโพด 1 สัปดาห์ ในปี 2560 ทำการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 (Maize: *Zea mays*, variety: Nakhon Sawan 3) วันที่ 24 พฤษภาคม ปี 2561 ปลูกข้าวโพดวันที่ 19 พฤษภาคม ปี 2562 ปลูกข้าวโพดวันที่ 27 พฤษภาคม และปี 2563 ปลูกข้าวโพดวันที่ 21 พฤษภาคม ในแปลงย่อยขนาด 5.25 เมตร x 6 เมตร โดยใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 รองก้นร่องพร้อมปลูกอัตรา 7.5-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ และครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียวอัตรา 7.5 กิโลกรัม N ต่อไร่ เมื่อข้าวโพดอายุ 25-30 วันหลังปลูก เก็บเกี่ยวข้าวโพดประมาณ 110-120 วันหลังปลูก โดยปี 2560 เก็บเกี่ยวข้าวโพดวันที่ 18 กันยายน ปี 2561 เก็บเกี่ยวข้าวโพดวันที่ 3 กันยายน ปี 2562 เก็บเกี่ยวข้าวโพดวันที่ 16 กันยายน และปี 2563 เก็บเกี่ยวข้าวโพดวันที่ 9 กันยายน ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 15 ตารางเมตร (3.75 เมตร x 4 เมตร) ตัดต้นข้าวโพดแต่ละแปลงชั่งน้ำหนัก และทิ้งเศษซากต้นไว้ในแปลง

กรมวิชาการเกษตร

ปลูกถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 (Mung bean: *Vigna radiata*, variety: Chainat 84-1) หลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด โดยปี 2560 ปลูกถั่วเขียววันที่ 22 กันยายน ปี 2561 ปลูกถั่วเขียววันที่ 20 กันยายน ปี 2562 ปลูกถั่วเขียววันที่ 1 ตุลาคม และปี 2563 ปลูกถั่วเขียววันที่ 29 กันยายน ใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 60 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 15 เซนติเมตร และเก็บเกี่ยวถั่วเขียว ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 12 ตารางเมตร (3 เมตร x 4 เมตร) ซึ่งในปี 2560 เก็บเกี่ยวถั่วเขียววันที่ 24 พฤศจิกายน ปี 2561 เก็บเกี่ยวถั่วเขียววันที่ 21 พฤศจิกายน และปี 2562 เก็บเกี่ยวถั่วเขียววันที่ 2 ธันวาคม ตัดต้นถั่วเขียวแต่ละแปลงชั่งน้ำหนัก และทิ้งเศษซากต้นไว้ในแปลง

3) การเก็บตัวอย่างดิน และวิเคราะห์ดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกข้าวโพด และช่วงเก็บเกี่ยวที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร แปลงย่อยละ 5 จุดรวมกันเป็น 1 ตัวอย่างต่อแปลงย่อย นำตัวอย่างดินไปผึ่งให้แห้งในร่ม บด และร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (Rayment and Higginson, 1992) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินโดยวิธี walkley and black (Nelson and Sommers, 1982) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินใช้วิธี Bray II (Watanabe and Olsen, 1965) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สกัดดินด้วย 1N NH_4OAc, pH 7 (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544) และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 5300 DV) เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

4) การหาความหนาแน่นรวมของดิน (Soil bulk density)

หลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดในปี 2558 ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนด้วยกระบอกเก็บดิน (soil core) ที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร ในแต่ละแปลงย่อย นำกระบอกตัวอย่างดิน (soil core samples) ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาค่าความหนาแน่นรวมของดินดังแสดงใน Table 2

Table 2 Soil bulk density at havest time in 2015

Treatment	Soil bulk density ($g\ cm^{-3}$)
0-0-0, NoOM, Till	1.52
0-0-0, NoOM, No-till	1.50
0-0-0, Rice straw, Till	1.60
0-0-0, Rice straw, No-till	1.52
Chem, NoOM, Till	1.59
Chem, NoOM, No-till	1.54
Chem, Rice straw, Till	1.56
Chem, Rice straw, No-till	1.53
Av.	1.55

5) การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนในฟางข้าว และการคำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ใส่ลงไปในดิน

กรมวิชาการเกษตร

ฟางข้าวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ซื้อมาจากชาวนาที่ขายฟางข้าวสำหรับนำไปเป็นอาหารสัตว์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในฟางข้าววิเคราะห์ตามวิธีของ Tyurin (Japan Soil Association, 2000) จากผลวิเคราะห์ฟางข้าวมีอินทรีย์คาร์บอน 43.5 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ใส่ลงไปในดินเท่ากับ 217.5 กิโลกรัม C ต่อไร่ (ฟางข้าวที่ใช้คลุมดิน 500 กิโลกรัมต่อไร่ x อินทรีย์คาร์บอน 43.5 เปอร์เซ็นต์)

ใบ+ต้นของข้าวโพด และถั่วเขียวที่ทิ้งไว้ในแปลง มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 42.3 เปอร์เซ็นต์ (Ma *et al*., 2018) คำนวณเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่คืนกลับสู่ดินเท่ากับ น้ำหนักแห้งของเศษซากข้าวโพด และถั่วเขียว x อินทรีย์คาร์บอน 42.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่มาจากรากข้าวโพด และถั่วเขียว คำนวณจาก 16 เปอร์เซ็นต์ของส่วนน้ำหนักเหนือดินของข้าวโพดและถั่วเขียว (Amos and Walters, 2006)

6) การวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากผิวดิน ทำการดักจับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากผิวดินด้วยระบบปิด (closed chamber) ปรับปรุงจากวิธีของ Anderson (1982) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ใส่ในขวดแก้วที่มีความสูง 0.105 เมตร วางขวดแก้วที่บรรจุโซเดียมไฮดรอกไซด์ฐานรองที่มีความสูงจากพื้นประมาณ 0.05 เมตร จากนั้นครอบด้วยถังพลาสติกหุ้มด้วยกระดาษฟลอยด์สูง 0.20 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 0.0283 ตารางเมตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Figure 2) ทำการดักจับก๊าซทุกๆ 2 สัปดาห์ พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร และเก็บดินมาหาความชื้นในแต่ละครั้งที่ทำการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

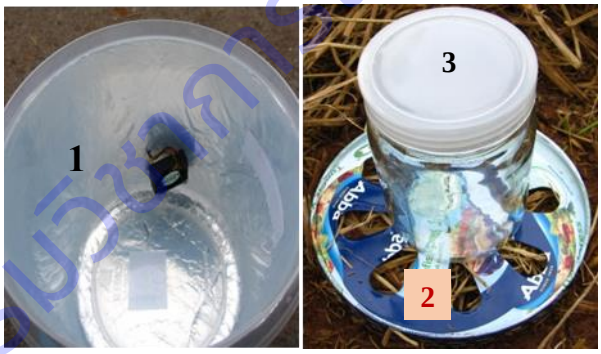


Figure 2 A device for capturing carbon dioxide emission from soil sureface

7) การวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนในพื้นที่ คำนวณจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงไป อินทรีย์คาร์บอนจากรากและเศษซากพืชที่ทิ้งไว้ในพื้นที่ หักลบด้วยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สูญหายออกไปจากพื้นที่โดยติดไปกับผลผลิตของข้าวโพด และถั่วเขียว และปริมาณคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากผิวดิน (soil respiration)

8) การประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดิน โดยใช้ข้อมูลการแปรผลจากค่าวิเคราะห์ดิน มากำหนดคะแนน เกณฑ์การประเมินเป็นค่าสูง ปานกลาง และต่ำ สำหรับบ่งบอกผลของการจัดการดิน และปุ๋ยที่มีต่อคุณภาพดิน

กรมวิชาการเกษตร

9) การวิเคราะห์ทางสถิติ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ $P<0.05$

เวลาและสถานที่ ตุลาคม 2559 - กันยายน 2563
กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 ผลของการจัดการดินและปุ๋ยต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และถั่วเขียว

จากผลการศึกษาวิธีการจัดการดิน และปุ๋ยที่แตกต่างกัน พบว่า การใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดิน เช่นฟางข้าว (RiceStraw mulch) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 556.4 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการไม่คลุมดินด้วยวัสดุอินทรีย์ (NoOM) ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ผลผลิตเฉลี่ย 450.6 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 3) ส่วนการไถพรวน (Till) ส่งผลให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูง (616.2 กิโลกรัมต่อไร่) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการไม่ไถพรวน (No-till) ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยเพียง 382.5 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการส่งเสริมให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ผลผลิตสูงขึ้น โดยการใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) ตามค่าวิเคราะห์ดินในอัตรา 15-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 660.8 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งสูงเป็น 2 เท่าของผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกโดยไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 338.6 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ย 4 ฤดูปลูก การใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ผลผลิตเฉลี่ย 548-722.5 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดลพบุรี ที่มีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 735-752 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากในฤดูปลูกปี 2560 และ 2561 เกิดสภาวะแล้ง ฝนทิ้งช่วงฝนไม่ตกในช่วงที่ข้าวโพดกำลังเจริญเติบโต และออกดอก (Figure 1) ส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดในปีดังกล่าวต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ยทั้ง 4 ฤดูปลูกต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของจังหวัดลพบุรี ดังนั้นหากต้องการให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดี นอกจากมีการไถพรวนดิน และใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมแล้ว ควรใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดินร่วมด้วย เพื่อช่วยรักษาความชื้นของดิน และเมื่อวัสดุอินทรีย์ที่ใช้คลุมดินมีการย่อยสลายยังเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินอีกทางหนึ่ง

Table 3 Maize grain yield (15% moisture) from 2017 to 2020 at Lopburi plant seed research and development center

Treatments	Maize grain yield (kg rai $^{-1}$)				Average
	2017	2018	2019	2020	
0-0-0, NoOM, Till	332.4 cd	348.4 c	504.2 c	564.3 b	437.4 c
0-0-0, NoOM, No-till	65.9 e	95.1 d	94.6 d	168.8 c	106.1 d

ศรีบูรพา

0-0-0, RiceStraw, Till	501.3 bc	608.9 ab	660.8 ab	615.6 b	596.7 ab
0-0-0, RiceStraw, No-till	219.2 de	275.5 c	128.2 d	234.9 c	214.5 d
Chem, NoOM, Till	713.2 a	515.7 b	711.5 ab	843.5 a	711.1 a
Chem, NoOM, No-till	476.4 bc	527.1 b	602.3 ba	586.4 b	548.0 bc
Chem, RiceStraw, Till	569.4 ab	637.6 ab	783.5 a	899.7 a	722.5 a
Chem, RiceStraw, No-till	628.1 ab	682.9 a	601.1 bc	733.6 ab	661.4 ab
CV. (%)	24.8	17.1	13.6	16.2	14.2
NoOM	396.9	371.6	493.3	540.7	450.6
RiceStraw	479.5 ns	551.3 **	543.4 ns	620.9 *	556.4 *
No-till	347.7	370.2	356.5	430.9	382.5
Till	529.1 **	527.6 *	680.2 **	730.8 **	616.2 **
0-0-0	279.7	331.9	346.9	395.9	338.6
Chem	596.8 **	590.8 **	689.8 **	765.8 **	660.8 **

Note: Mean followed by a common letter are not different at P value < 0.05 by DMRT
ns: non-significant, **: P value < 0.01, *: P value < 0.05

ผลผลิตของถั่วเขียวที่ปลูกเป็นพืชตามหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีหรือวัสดุอินทรีย์ใดๆ อาศัยผลตกค้างจากการจัดการดินและปุ๋ยในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า ผลตกค้างจากวัสดุอินทรีย์คลุมดิน (RiceStraw) ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 60 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 140.7 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการไม่ใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดิน (NoOM) ที่ถั่วเขียวให้ผลผลิตเฉลี่ย 112.3 กิโลกรัมต่อไร่ (Table 4) ส่วนการไถพรวน (Till) และไม่ไถพรวน (No-till) ถั่วเขียวให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน ผลผลิตเฉลี่ย 122.5-130.6 กิโลกรัมต่อไร่ นอกจากนี้ผลตกค้างของปุ๋ยเคมีส่งผลให้ถั่วเขียวให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่า (140 กิโลกรัมต่อไร่) การไม่ใช้ปุ๋ยเคมีที่ถั่วเขียวให้ผลผลิตเพียง 113 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถึงแม้ถั่วเขียวมีจุลินทรีย์ที่ปมรากซึ่งช่วยในการดูดซับก๊าซไนโตรเจนจากบรรยากาศ และเปลี่ยนเป็นแหล่งไนโตรเจนให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ แต่ยังมีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของถั่วเขียวในระยะแรก จาก Table 4 ในปี 2562 ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 60 ให้ผลผลิตต่ำมากในทุกกรรมวิธี ทั้งนี้เนื่องมาจากได้รับผลกระทบจากการระบาดของของแมลงตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยว เป็นสาเหตุให้ถั่วเขียวมีการเจริญเติบโตไม่ดีและให้ผลผลิตต่ำ

กรมวิชาการเกษตร

Table 4 Mung bean grain yield (11% moisture) from 2017 to 2019 at Lopburi plant seed research and development center

Treatments	Mung bean grain yield (kg rai $^{-1}$)			Average
	2017	2018	2019	
0-0-0, NoOM, Till	110.2 bc	92.3 b	81.8	97.8 c
0-0-0, NoOM, No-till	104.3 c	118.7 ab	55.0	92.7 c
0-0-0, RiceStraw, Till	185.9 a	147.1 ab	64.0	132.4 ab
0-0-0, RiceStraw, No-till	180.1 ab	149.2 ab	67.5	132.3 ab
Chem, NoOM, Till	177.3 ab	132.2 ab	68.0	125.9 b
Chem, NoOM, No-till	197.9 a	127.9 ab	82.3	136.1 ab
Chem, RiceStraw, Till	183.3 a	155.2 a	71.9	136.8 ab
Chem, RiceStraw, No-till	221.7 a	151.8 a	110.9	161.5 a
CV. (%)	22.5	22.0	24.3	13.9
NoOM	147.4	117.8	71.8	112.3
RiceStraw	192.8 *	150.8 *	78.6 ns	140.7 **
No-till	176.1	136.8	78.9	130.6
Till	164.2 ns	131.7 ns	71.4 ns	122.5 ns
0-0-0	145.2	126.8	67.1	113.0
Chem	195.1 *	141.8 ns	83.3 ns	140.0 **

Note: Mean followed by a common letter are not different at P value < 0.05 by DMRT
ns: non-significant, **: P value < 0.01, *: P value < 0.05

8.2 ผลของการจัดการดิน และปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนในส่วนต่างๆของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และถั่วเขียว และปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

พืชดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และกักเก็บไว้ในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆของต้นพืช ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศและกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนไว้ในส่วนของมวลชีวภาพต่างๆ เช่น ใบ ต้น เมล็ด ซัง และราก จากผลการศึกษา 3 ปี เพื่อประเมินผลของการจัดการดิน และปุ๋ยต่อปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้ในส่วนมวลชีวภาพของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตลอดจนประเมินถึงศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ พบว่า การจัดการดินโดยการใช้ฟางข้าวคลุมดิน (RiceStraw) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ให้น้ำหนักแห้ง (เมล็ด ซัง ต้น และใบ) รวม 1434.5 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่ากับ 606.8 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี เท่าเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดูดซับจากบรรยากาศ 2224.8 กิโลกรัม CO_2

กรมวิชาการเกษตร

ต่อไรต่อปี ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการจัดการดินโดยการไม่คลุมดินด้วยวัสดุอินทรีย์ (NoOM) ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยรวม 1127.3 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (Table 5) คิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในส่วนต่างๆของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่ากับ 476.9 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี เท่าเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดูดซับจากบรรยากาศ 1748.4 กิโลกรัม CO_2 ต่อไร่ต่อปี ส่วนการไถพรวน (Till) ส่งผลให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงถึง 1551.8 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในส่วนต่างๆ เท่ากับ 656.4 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี เท่าเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดูดซับจากบรรยากาศ 2406.8 กิโลกรัม CO_2 ต่อไรต่อปี แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการไม่ไถพรวน (No-till) ที่ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1009.9 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับ Matsumoto *et al.* (2008) ที่รายงานว่าการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยไม่มีการไถพรวนให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย (469 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี) ต่ำกว่าการปลูกแบบไถพรวนปกติที่ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงถึง 928 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) ตามค่าวิเคราะห์ดินในอัตรา 15-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1658.7 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในส่วนต่างๆ เท่ากับ 701.6 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี เท่าเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดูดซับจากบรรยากาศ 2572.5 กิโลกรัม CO_2 ต่อไร่ต่อปี ซึ่งสูงเป็น 2 เท่าของการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) ที่ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 878.1 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี จากข้อมูลผลการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า หากมีการจัดการดิน และปุ๋ยที่เหมาะสม จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตดี ให้มวลชีวภาพสูง นั่นหมายถึงพืชมีการดูดซับก๊าซคาร์บอนออกไซด์จากบรรยากาศในปริมาณมาก และกักเก็บไว้ในส่วนต่างๆของพืชสูงเช่นกัน ดังนั้นหากมีการไถกลบเศษซากพืชลงดินจึงเป็นวิธีการกักเก็บคาร์บอน (carbon storage) ในพื้นที่เกษตร ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่หลายประเทศนำไปใช้เพื่อประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

การปลูกถั่วเขียวเป็นพืชตามหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า ผลตกค้างจากวัสดุอินทรีย์คลุมดิน (RiceStraw) ทำให้ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 60 ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 383 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในส่วนต่างๆ เท่ากับ 162 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี เท่าเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดูดซับจากบรรยากาศ 594.1 กิโลกรัม CO_2 ต่อไร่ต่อปี แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการไม่ใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดิน (NoOM) ที่ถั่วเขียวให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 307.8 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (Table 6) และมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในส่วนต่างๆ เท่ากับ 130.2 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี เท่าเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดูดซับจากบรรยากาศ 477.4 กิโลกรัม CO_2 ต่อไร่ต่อปี ส่วนการไถพรวน (Till) และไม่ไถพรวน (No-till) ถั่วเขียวให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกันเฉลี่ย 325.3-365.5 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในส่วนต่างๆ เฉลี่ย 137.6-154.6 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี เท่าเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดูดซับจากบรรยากาศ 504.6-566.8 กิโลกรัม CO_2 ต่อไร่ต่อปี นอกจากนี้ผลตกค้างของปุ๋ยเคมีส่งผลให้ถั่วเขียวให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 378.7 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สูงกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยเคมีที่ถั่วเขียวให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเพียง 285.9 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ดังนั้นหากมีการไถกลบเศษซากถั่วเขียวจะเป็นการกัก

ศรีปทุมการเกษตร

เก็บคาร์บอนไว้ในดิน 132-160.2 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถั่วเขียวดูดซับจากบรรยากาศหรือลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ถึง 446.5-587.4 กิโลกรัม CO_2 ต่อไร่ต่อปี

กรมวิชาการเกษตร

Table 5 Total of maize dry matter production from 2017 to 2019 at Lopburi plant seed research and development center

Treatments	Dry matter production (kg rai $^{-1}$)			Total of dry matter production	Total C content	Amount of CO_2 adsorb by plant
	Seeds	Cobs	Stems and leaves	(kg rai $^{-1}$ year $^{-1}$)	(kgC rai $^{-1}$ year $^{-1}$)	(kgCO_2 rai $^{-1}$ year $^{-1}$)
0-0-0, NoOM, Till	333.5 bc	75.7 c	637.4 d	1046.5 c	442.7 c	1623.1 c
0-0-0, NoOM, No-till	111.9 d	15.3 e	230.6 e	367.7 d	155.6 d	570.3 d
0-0-0, RiceStraw, Till	496.9 ab	98.6 b	928.3 bc	1523.7 ab	644.5 ab	2363.3 ab
0-0-0, RiceStraw, No-till	280.3 cd	37.6 d	356.4 e	674.4 d	285.2 d	1045.9 d
Chem, NoOM, Till	557.1 a	123.1 a	1079.5 ab	1759.7 a	744.3 a	2729.2 a
Chem, NoOM, No-till	443.1 abc	98.0 b	794.2 cd	1335.3 bc	564.8 bc	2071.1 bc
Chem, RiceStraw, Till	594.0 a	121.2 a	1162.1 a	1877.3 a	794.1 a	2911.7 a
Chem, RiceStraw, No-till	520.2 ab	105.1 ab	1037.1 ab	1662.4 ab	703.2 ab	2578.4 ab
CV. (%)	25.5	12.6	12.3	14.9	14.9	14.9
NoOM	361.9	78.0	685.4	1127.3	476.9	1748.4
RiceStraw	472.8 **	90.6 *	871.0 **	1434.5 **	606.8 **	2224.8 **
No-till	341.4	64.0	604.6	1009.9	427.2	1566.5
Till	495.4 **	104.6 **	951.8 **	1551.8 **	656.4 **	2406.8 **
0-0-0	308.1	56.8	538.2	878.1	382.0	1400.7
Chem	528.6 **	111.9 **	1018.2 **	1658.7 **	701.6 **	2572.5 **

Note: Mean followed by a common letter are not different at P value < 0.05 by DMRT

ns: non-significant, **: P value < 0.01, *: P value < 0.05

กรมวิชาการเกษตร

Table 6 Total of mung bean dry matter production from 2017 to 2019 at Lopburi plant seed research and development center

Treatments	Dry matter production (kg rai $^{-1}$)			Total of dry matter production	Total C content	Amount of CO_2 adsorb by plant
	Seeds	Cobs	Stems and leaves	(kg rai $^{-1}$ year $^{-1}$)	(kgC rai $^{-1}$ year $^{-1}$)	(kgCO_2 rai $^{-1}$ year $^{-1}$)
0-0-0, NoOM, Till	108.7 bc	56.2 ab	123.9 ab	288.7 bc	122.1 bc	447.8 bc
0-0-0, NoOM, No-till	90.5 c	44.3 b	98.8 b	232.5 c	98.4 c	360.6 c
0-0-0, RiceStraw, Till	168.1 a	63.6 a	156.0 a	387.6 ab	163.9 ab	601.2 ab
0-0-0, RiceStraw, No-till	151.2 ab	61.9 ab	126.4 ab	339.5	143.6 ab	526.5 ab
Chem, NoOM, Till	158.4 ab	67.6 a	153.4 a	379.3 ab	160.5 ab	588.3 ab
Chem, NoOM, No-till	162.3 ab	52.9 ab	115.4 ab	330.6 ab	139.9 ab	512.8 ab
Chem, RiceStraw, Till	176.0 a	66.0 a	164.2 a	406.2 a	171.8 a	630.1 a
Chem, RiceStraw, No-till	174.8 a	61.5 ab	157.0 a	398.8 a	168.7 a	618.6 a
CV. (%)	20.4	15.9	18.4	15.3	15.3	15.3
NoOM	129.9	55.5	122.3	307.8	130.2	477.4
RiceStraw	167.5 *	63.3 *	150.9 *	383.0 **	162.0 **	594.1 **
No-till	134.4	55.2	124.2	325.3	137.6	504.6
Till	152.8 ns	63.3 ns	149.4 *	365.5 ns	154.6 ns	566.8 ns
0-0-0	129.6	56.5	126.0	285.9	132.0	446.5
Chem	167.9 **	62.1 ns	147.4 *	378.7 **	160.2 *	587.4 *

Note: Mean followed by a common letter are not different at P value < 0.05 by DMRT

ns: non-significant, **: P value < 0.01, *: P value < 0.05

กรมวิชาการเกษตร

8.3 ผลของการจัดการดิน และปุ๋ยต่อการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การจัดการดิน และปุ๋ยในช่วงระยะเวลา 3 ปี ไม่ส่งผลให้มีการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นแตกต่างจากก่อนเริ่มการทดลองในปี 2560 โดยก่อนการทดลองดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนระหว่าง 6.67-8.31 กรัม C ต่อกิโลกรัม หลังการทดลองมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเฉลี่ยระหว่าง 6.67-8.43 กรัม C ต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าการใช้ฟางข้าวคลุมดิน (RiceStraw) สามารถเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดินเฉลี่ย 8.07 กรัม C ต่อกิโลกรัม มากกว่าการจัดการดินแบบไถพรวน (Till) หรือการใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) ที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน 7.58 กรัม C ต่อกิโลกรัม และ 7.46 กรัม C ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 7) แต่เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงและการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC stock change) ตั้งแต่ปี 2560 ถึงเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปี 2563 จะเห็นมีค่าติดลบทุกกรรมวิธี และการใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดินอย่างฟางข้าว (RiceStraw) มีแนวโน้มทำให้การสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินลดลงมากกว่าการจัดการดินแบบไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย นั่นแสดงว่า การใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดินเช่นฟางข้าวไม่ได้มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบในฟางข้าวให้ไปเป็นอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดิน ดังนั้นจากผลการทดลองการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินจากการใช้ฟางข้าวนั้นจึงมาจากอินทรีย์คาร์บอนในฟางข้าวที่มีปริมาณที่สูงเท่านั้น และการใช้ปุ๋ยเคมีอาจเป็นการเร่งอัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่ง

8.4 ผลของการจัดการดิน และปุ๋ยต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากผิวดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการติดตามการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2560 ถึง เดือนพฤษภาคม 2563 รวม 3 ปี (Figure 3 A) โดยเริ่มเก็บข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดช่วงปลูกข้าวโพด ปลูกพืชตาม (ถั่วเขียว) จนถึงช่วงพักดินที่ไม่มีการปลูกพืช พบว่า การจัดการดินโดยใช้วัสดุอินทรีย์อย่างฟางข้าวคลุมดิน (Rice straw mulch) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในแต่ละปีไม่แตกต่างจากการไม่ใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดิน (No OM) โดยมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 6.08-6.30 กรัม CO_2 ต่อตารางเมตรต่อปี หรือ 3.30-3.39 ตัน CO_2 ต่อไร่ต่อปี คิดเป็นปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไปจากพื้นที่เท่ากับ 899-923 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี (Table 8) ส่วนการไถพรวน (Till) และไม่ไถพรวน (No-till) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินไม่แตกต่างกัน เฉลี่ย 6.17-6.21 กรัม CO_2 ต่อตารางเมตรต่อปี หรือ 3.34 ตัน CO_2 ต่อไร่ต่อปี เทียบเท่าปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไปจากพื้นที่ 911.5 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน 5.88 กรัม CO_2 ต่อตารางเมตรต่อปี หรือ 3.17 ตัน CO_2 ต่อไร่ต่อปี ซึ่งมีปริมาณที่ต่ำกว่าการไม่ใช่ปุ๋ยเคมี (0-0-0) ที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 6.50 กรัม CO_2 ต่อตารางเมตรต่อปี หรือ 3.51 ตัน CO_2 ต่อไร่ต่อปี เทียบเท่าปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไปจากพื้นที่ 957.5 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Figure 3 A) และความชื้นในดิน (Figure 3B) จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กัน ในช่วงทีดินมีความชื้นเหมาะสม จะทำให้เกิดการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ต่างๆในดิน โดย

กรมวิชาการเกษตร

ผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ดี ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงขึ้น นอกจากนี้ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ยังขึ้นอยู่กับการหายใจของรากพืช ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในช่วงที่ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตเต็มที่ จะมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงขึ้น เช่นกัน (Figure 3 A)

8.5 ผลของการจัดการดิน และปุ๋ยต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

เมื่อวิเคราะห์ถึงผลของการจัดการดินต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 แบบไม่มีการใช้วัสดุอินทรีย์ (NoOM) หรือการไม่ไถพรวน (Not-till) หรือการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยผลผลิตมากกว่า การปลูกข้าวโพดแบบมีการใช้วัสดุอินทรีย์ (RiceStraw) หรือมีการไถพรวนดิน (Till) หรือมีการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (Chem) โดยในการจัดการดิน และปุ๋ยเพื่อให้ได้ผลผลิตข้าวโพด 1 กิโลกรัมนั้น การจัดการดินแบบไม่มีการใช้วัสดุอินทรีย์ (NoOM) หรือการไม่ไถพรวน (Not-till) หรือการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยผลผลิตเฉลี่ย 1.7-2.1 กิโลกรัม CO_2 ต่อกิโลกรัมผลผลิต (Table 9)

กรมวิชาการเกษตร

Table 7 Soil organic carbon (SOC) from before the start of the experiment (2017) to 3 years later (2020) and carbon stock in soil in 0-15 cm soil depth at Lopburi plant seed research and development center

Treatments	Av. SOC start (gC kg^{-1})	Av. SOC content [1/] (gC kg^{-1})	Change of SOC content (gC kg^{-1} $year^{-1}$)
0-0-0, NoOM, Till	6.69 ± 0.31	6.92 bc	-0.13
0-0-0, NoOM, No-till	6.67 ± 0.30	6.67 c	-0.15
0-0-0, RiceStraw, Till	8.31 ± 0.43	8.43 a	0.08
0-0-0, RiceStraw, No-till	7.92 ± 0.24	7.68 abc	-0.16
Chem, NoOM, Till	6.74 ± 0.14	6.84 bc	-0.12
Chem, NoOM, No-till	6.73 ± 0.81	6.84 bc	-0.09
Chem, RiceStraw, Till	8.10 ± 0.82	8.15 ab	-0.25
Chem, RiceStraw, No-till	8.18 ± 0.93	8.02 ab	-0.24
CV. (%)	-	9.3	-
NoOM	6.58 ± 0.03	6.82	-0.12
RiceStraw	8.13 ± 0.16	8.07 **	-0.14 ns
No-till	7.37 ± 0.78	7.30	-0.16
Till	7.46 ± 0.87	7.58 ns	-0.11 ns
0-0-0	7.40 ± 0.84	7.42	-0.09
Chem	7.44 ± 0.81	7.46 ns	-0.18 ns

Note: [1/] average data from 3 years

Mean followed by a common letter are not different at P value < 0.05 by DMRT

ns: non-significant, **: significantly P value < 0.01, *: significantly P value < 0.05

กรมวิทยาศาสตร์

Table 8 Amount of CO_2 emission from the soil surface in maize-mung bean cultivation at Lopburi plant seed research and development center

Treatments	CO_2 emission (g CO_2 $m^{-2}day^{-1}$)	CO_2 emission from soil surface (t CO_2 rai^{-1} $year^{-1}$)			Average* (t CO_2 rai^{-1} $year^{-1}$)	Average C loss * (kg C-CO_2 rai^{-1} $year^{-1}$)
		2017-18	2018-19	2019-20		
0-0-0, NoOM, Till	6.36 ± 2.97	3.72 ± 1.38	3.01 ± 1.08	3.46 ± 0.67	3.39 ± 0.61	925.9 ± 0.61
0-0-0, NoOM, No-till	6.39 ± 3.02	3.74 ± 0.64	2.96 ± 0.45	3.84 ± 1.50	3.51 ± 0.83	958.4 ± 0.83
0-0-0, RiceStraw, Till	6.59 ± 2.81	3.74 ± 1.00	3.25 ± 0.70	3.67 ± 0.88	3.56 ± 0.45	969.8 ± 0.45
0-0-0, RiceStraw, No-till	6.68 ± 2.81	3.81 ± 0.75	3.19 ± 1.36	3.73 ± 1.16	3.58 ± 0.57	975.7 ± 0.57
Chem, NoOM, Till	5.78 ± 2.53	3.35 ± 1.01	2.91 ± 1.00	3.14 ± 0.66	3.14 ± 0.37	855.4 ± 0.37
Chem, NoOM, No-till	5.80 ± 2.54	3.49 ± 0.84	2.78 ± 0.53	3.16 ± 1.10	3.14 ± 0.61	857.6 ± 0.61
Chem, RiceStraw, Till	6.10 ± 2.98	3.48 ± 2.09	2.66 ± 0.28	3.71 ± 0.45	3.28 ± 0.94	894.7 ± 0.94
Chem, RiceStraw, No-till	5.85 ± 2.34	3.41 ± 1.25	2.81 ± 1.64	3.18 ± 1.19	3.13 ± 0.51	854.4 ± 0.51
NoOM	6.08 ± 0.34	3.58 ± 0.19	2.92 ± 0.10	3.40 ± 0.33	3.30 ± 0.19	899.3 ± 51.2
RiceStraw	6.30 ± 0.40	3.61 ± 0.19	2.98 ± 0.29	3.57 ± 0.26	3.39 ± 0.22	923.7 ± 59.1
No-till	6.17 ± 0.43	3.61 ± 0.19	2.94 ± 0.19	3.48 ± 0.36	3.34 ± 0.24	911.5 ± 64.5
Till	6.21 ± 0.35	3.57 ± 0.19	2.96 ± 0.24	3.50 ± 0.26	3.34 ± 0.18	911.5 ± 48.4
0-0-0	6.50 ± 0.15	3.75 ± 0.04	3.10 ± 0.14	3.68 ± 0.16	3.51 ± 0.09	957.5 ± 22.2
Chem	5.88 ± 0.14	3.43 ± 0.07	2.79 ± 0.10	3.30 ± 0.28	3.17 ± 0.07	865.5 ± 19.5

Note: * CO_2 emission from soil sureface

กรมวิชาการเกษตร

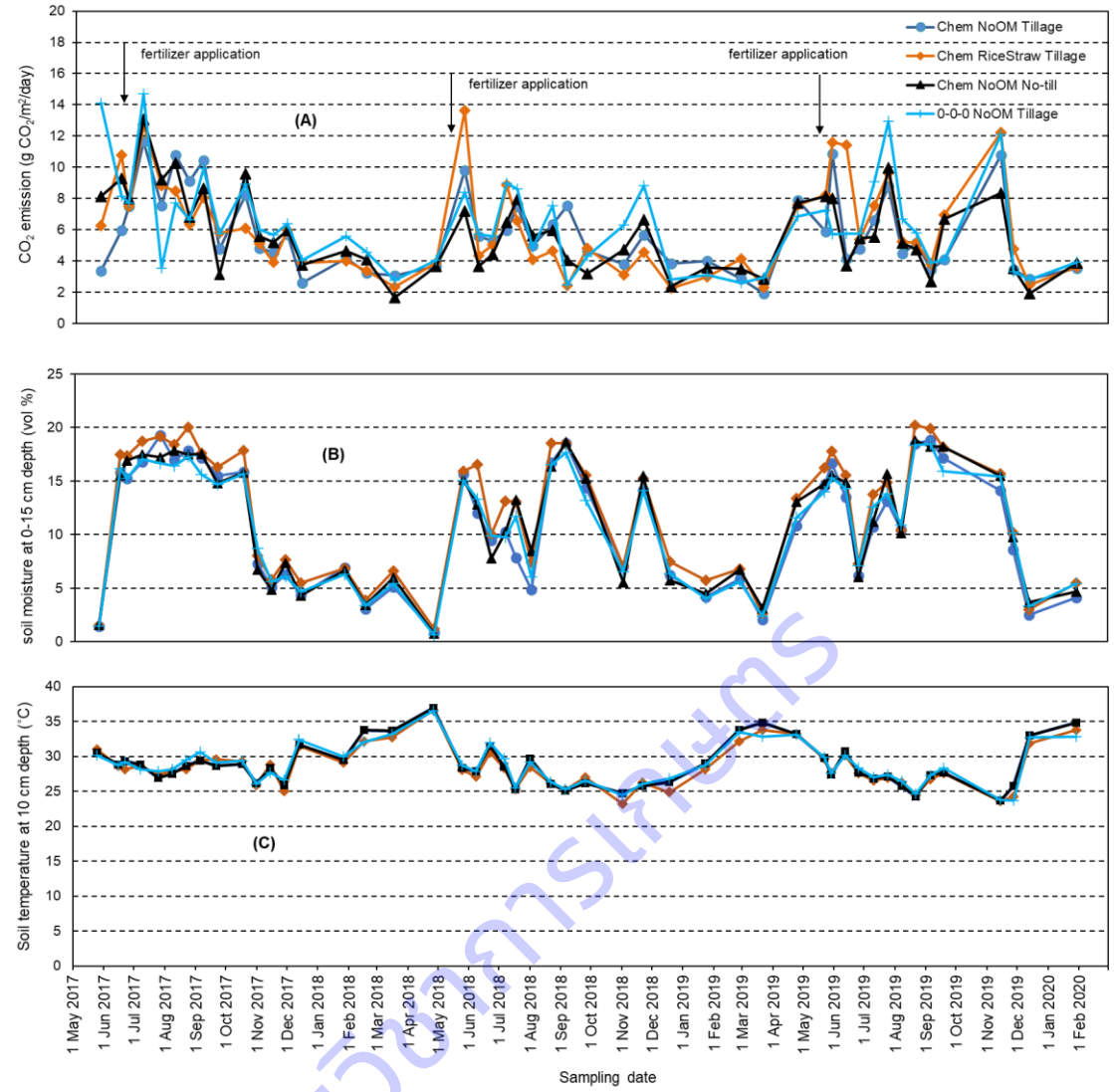


Figure 3 Amount of CO_2 emission from soil sureface (A), soil moisture (B), and soil temperature (C) at Maize – mung bean contivated field from May 2017 to Febuary 2020

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Table 9 Effect of soil and fertilizer management on CO_2 emission per unit of maize grain yield

Treatments	CO_2 emission* ($kg\ CO_2\ rai^{-1}\ crop^{-1}$)	Maize grain yield** ($kg\ rai^{-1}\ crop^{-1}$)	CO_2 emission per unit ($kg\ CO_2\ kg\ grain\ yield^{-1}$)
0-0-0, NoOM, Till	389.1	395.0	1.0
0-0-0, NoOM, No-till	387.0	85.2	4.5
0-0-0, RiceStraw, Till	424.4	590.3	0.7
0-0-0, RiceStraw, No-till	419.5	207.6	2.0
Chem, NoOM, Till	367.1	646.8	0.6
Chem, NoOM, No-till	363.6	535.3	0.7
Chem, RiceStraw, Till	384.8	663.5	0.6
Chem, RiceStraw, No-till	364.6	637.4	0.6
NoOM	376.7	415.6	1.7
RiceStraw	398.3	524.7	1.0
No-till	383.7	366.4	2.0
Till	391.4	573.9	0.7
0-0-0	405.0	319.5	2.1
Chem	370.0	620.7	0.6

Note: * Amount of CO_2 emission from soil sure face during maize growing period to harvest

** Average maize grian yield from 3 years

8.6 ผลของการจัดการดินต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน และสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่ปี 2560 ถึง 2563 ในกรรมวิธีการใช้วัสดุอินทรีย์ฟางข้าวคลุมดิน (RiceStraw) มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่คืนกลับลงไปในดินทั้ง 719.58 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี ได้มาจากเศษซากต้นใบข้าวโพด และถั่วเขียว 432.8 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี จากส่วนราก 69.2 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี และจากฟางข้าว 217.5 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินมากกว่ากรรมวิธีไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ (396.5 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) ถึง 2 เท่า จึงส่งผลให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นสูงกว่า การไม่ใช้วัสดุอินทรีย์เช่นกัน (3.01-2.52 = 0.49 ตัน C ต่อไร่) ซึ่งสอดคล้องกับ Shirato *et al.* (2005) ที่รายงานว่าการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินเขตร้อนอย่างประเทศไทยที่มีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบต่ำอยู่ในช่วง 1.6-2.9 ตัน C ต่อไร่ และค่อนข้างมีความแปรปรวน โดยมีอัตราการสะสมที่แตกต่างกันตั้งแต่ -0.64 ถึง +0.64 ตัน C ต่อไร่ แต่เมื่อพิจารณาถึงการกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration or change of SOC stock) กลับพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน ลดลงถึง 53 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี (Table 10) ซึ่งขัดแย้งกับ Sugino *et al.* (2013) ที่ได้วิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดินจากการใช้

ศูนย์วิชาการเกษตร

ฟางข้าวคลุมดินตลอดช่วงระยะเวลา 25 ปี ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย การสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินจะอยู่ในช่วงประมาณ 16-32 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี เช่นเดียวกับ Matsumoto *et al.* (2020) ที่รายงานว่าการใช้ฟางข้าวคลุมดินในระยะเวลา 5 ปี เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน 62 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี แต่ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินที่เพิ่มขึ้นในครั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากเป็นการทดลองระยะสั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงอัตราการกักเก็บคาร์บอนในดินจากการใช้ฟางข้าวคลุมดินในแปลงทดลองระยะยาว ตามรายงานผลการศึกษาของ Minasny (2017) ที่ว่าอัตราการกักเก็บคาร์บอนในดินจะลดลงตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้การหมุนเวียนของอินทรีย์คาร์บอนในดินเขตร้อนค่อนข้างเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากดินนั้นมีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบต่ำ Yoneyama *et al.* (2006) รายงานว่าการหมุนเวียนของอินทรีย์คาร์บอนในดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกิดรวดเร็วมีครึ่งชีวิตเพียง 0.35 ปี การหมุนเวียนของอินทรีย์คาร์บอนที่เกิดขึ้นเร็วส่งผลให้การเพิ่มของอินทรีย์คาร์บอนในดินต่ำหรือไม่เพิ่มขึ้นเลย ถึงแม้จะมีอินทรีย์คาร์บอนใส่ลงไปในดินในปริมาณที่มากก็ตาม

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการเปลี่ยนของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (total C input) ที่ใส่ลงไปในดินต่อการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่กักเก็บในดิน (change of SOC stock) การใช้ฟางข้าวคลุมดิน (rice straw mulch) และไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ (NoOM) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เป็นลบ คือ -0.077 และ -0.152 ตามลำดับ (Table 10) นั่นแสดงว่าอัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินเขตร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับ Fujisaki *et al.* (2018) ที่ได้ประเมินอัตราการเปลี่ยนของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินต่อการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่กักเก็บในดินเขตร้อนโดยมีอัตราเฉลี่ยอยู่ที่ -0.011 ถึง 0.058 จากผลการทดลองในครั้งนี้ยังพบว่าปริมาณวัสดุอินทรีย์ที่คืนกลับลงไปในดิน (719.58 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) มีปริมาณที่น้อยกว่าการสูญหายของคาร์บอนออกไปจากพื้นที่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (923.7 กิโลกรัม C-CO_2 ต่อไร่ต่อปี) บ่งบอกถึงมีอัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินที่สูง ดังนั้นเพื่อรักษา หรือเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินควรมากกว่าอัตราการสลายตัว (ยงยุทธ, 2557) เนื่องจากอินทรียวัตถุมีการย่อยสลายตามธรรมชาติ หากปริมาณอินทรียวัตถุที่สลายไปจากการใช้ดินในการปลูกพืชแต่ละปีสูงกว่าปริมาณเศษซากที่กลับคืนลงไปทดแทน ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะค่อยๆลดลงไปเรื่อยๆ

จากการวิเคราะห์สมดุลคาร์บอน (annual carbon balance) ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พบว่ามีค่าติดลบ (Table 10) คือคาร์บอนสูญหายออกไปจากพื้นที่มากกว่าถูกกักเก็บไว้ในดิน ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (total C input) ที่ใส่ลงไปในดินต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของการกักเก็บคาร์บอนในดิน (change of SOC stock) โดยการใช้ฟางข้าวคลุมดินทำให้ปริมาณคาร์บอนในดินลดลง (53 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) มากกว่าการไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ (45 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) บ่งบอกว่าถึงแม้จะใส่วัสดุอินทรีย์ลงไปในดิน แต่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนไปเป็นอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดินต่อหน่วยน้ำหนักของวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินต่ำ จะส่งผลให้การเพิ่มของอินทรีย์คาร์บอนในดินต่ำหรือไม่เพิ่มขึ้นเลย

สำหรับการไม่ไถพรวน (No-till) ไม่ส่งผลให้การสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินแตกต่างจากการไถพรวน (Till) โดยมีปริมาณการสะสมของอินทรียีคาร์บอนในดิน 2.67 และ 2.86 ตัน C ต่อไร่ ตามลำดับ ในด้านอัตราการเปลี่ยนของอินทรีย์คาร์บอนที่ใส่ลงไปในดินต่อการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่กักเก็บในดิน

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

ไม่แตกต่างกันถึงแม้การไถพรวนจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (649 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) คืนกลับลงดินมากกว่า (Table 10) และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เป็นลบส่งผลให้ปริมาณการเก็บคาร์บอนดินจากการไม่ไถพรวน ดินลดลง 58 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี และการไถพรวนการกักเก็บคาร์บอนในดินลดลง 39 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี ซึ่งขัดแย้งกับผลงานวิจัยจากหลายแหล่งที่รายงานว่าการไม่ไถพรวน หรือลดการไถพรวนจะเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน เช่น Matsumoto *et al.* (2008) พบว่าการไม่ไถพรวนดินที่แปลงทดลองในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นเวลา 3 ปี เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน 0.13 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี ซึ่งมากกว่าการไถพรวน (0.016 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) เช่นเดียวกับในประเทศอินเดียที่ Parihar *et al.* (2018) ที่รายงานว่าการทดลองไม่ไถพรวนดินเลยเป็นเวลา 5 ปี สามารถเพิ่มการเก็บคาร์บอนในดินได้ 0.23 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี ส่วนการไถพรวนเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินเพียง 0.03 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี

เมื่อวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนในพื้นที่จะพบว่าทั้งการไม่ไถพรวน และไถพรวนมีค่าติดลบ โดยการไม่ไถพรวน (No-till) มีปริมาณคาร์บอนสูญหายออกไปจากพื้นที่ถึง 58 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปีมากว่าการไถพรวน (Till) ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนสูญหายออกไปจากพื้นที่ กิโลกรัม 39 C ต่อไร่ต่อปีทั้งที่มีการการสูญเสียคาร์บอนออกไปจากพื้นที่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่แตกต่างกัน (911.5 กิโลกรัม $C\text{-}CO_2$ ต่อไร่ต่อปี) แต่ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ใส่คืนกลับลงไปในพื้นของกรรมวิธีไม่ไถพรวน (467 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) น้อยกว่ากรรมวิธีการไถพรวน (649 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) นอกจากนี้การไถพรวนยังเป็นการพรวนกลบเศษวัสดุอินทรีย์ลงไปในดิน ซึ่งแตกต่างจากการไม่ไถพรวนที่เศษซากวัสดุอินทรีย์ยังไว้ไว้บนผิวดิน ซึ่งจากรายงานของ Shirato *et al.* (2005) ครึ่งหนึ่งของเศษซากวัสดุอินทรีย์ที่คืนกลับในพื้นที่โดยเฉพาะในภูมิภาคเขตร้อนจะถูกปลวกทำลาย

ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) และไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) ไม่ส่งผลให้ปริมาณการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินแตกต่างกัน (Table 10) โดยมีอินทรีย์คาร์บอนในดินเฉลี่ย 2.74-2.78 ตัน C ต่อไร่ ถึงแม้ว่าการใช้ปุ๋ยเคมีจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพด และทำให้มีอินทรีย์คาร์บอนจากเศษซากพืชคืนกลับลงดินในปริมาณมากกว่า (681.4 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) การไม่ใช่ปุ๋ยเคมี (434.7 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงอัตราการเปลี่ยนของอินทรีย์คาร์บอนที่ใส่ลงไปในดินต่อการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนที่กักเก็บในดิน พบว่ามีอัตราต่ำ (-0.088) แสดงว่าการใช้ปุ๋ยเคมีไปเพิ่มอัตราการย่อยสลายของเศษซากพืชและอินทรียวัตถุในดิน จึงส่งผลให้เกิดการขาดดุลคาร์บอน หรือมีการสูญเสียคาร์บอนออกไปจากพื้นที่ถึง 65 กิโลกรัม C ต่อไร่ต่อปี ถึงแม้จะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนคืนกลับลงไปในดินในปริมาณมากก็ตาม สอดคล้องกับ Biederman and Harpole (2013) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีทำให้คาร์บอนทั้งหมดในดิน แม้ว่าจะมีบางงานวิจัยรายงานว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มอัตราการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Minasny *et al*., 2017) ซึ่งการลดลงของอัตราการกักเก็บคาร์บอนในการทดลองครั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีไปเพิ่มมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน เมื่อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตดีจึงมีความต้องการอาหารเพิ่ม ในทางตรงข้ามอินทรียวัตถุในดินเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์เช่นกัน ดังนั้นการใช้ปุ๋ยเคมีจึงเป็นตัวเร่งอัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุโดยอ้อม

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

Table 10 Carbon balance on a maize-mung bean field at Lopburi plant seed research and development center from 2016 to 2020

Treatments	Average of SOC content (g C kg^{-1})	Average of SOC stock [1/] (t C rai^{-1})	Change of [4/] SOC stock (kg C rai^{-1} $year^{-1}$)	C input to soil (kg C rai^{-1} $year^{-1}$)				Converstion rate of [2/] total C input to SOC stock change	Average of C loss [3/] from soil (kg C- CO_2 rai^{-1} $year^{-1}$)
				Stems and leaves	Root	Rice straw	Total		
0-0-0, NoOM, Till	6.92 bc	2.53 cd	-49	332.0 d	51.5 d	0.0	372.2 d	-0.135	925.9 ± 0.61
0-0-0, NoOM, No-till	6.67 c	2.40 d	-53	138.9 e	22.2 e	0.0	161.1 e	-0.338	958.4 ± 0.83
0-0-0, RiceStraw, Till	8.43 a	3.23 a	29	458.7 bc	73.4 bc	217.5	749.5 b	0.042	969.8 ± 0.45
0-0-0, RiceStraw, No-till	7.68 abc	2.79 a-d	-58	204.2 e	32.7 e	217.5	454.4 d	-0.135	975.7 ± 0.57
Chem, NoOM, Till	6.84 bc	2.61 bcd	-46	521.5 ab	83.4 ab	0.0	604.9 c	-0.066	855.4 ± 0.37
Chem, NoOM, No-till	6.84 bc	2.53 cd	-32	384.8 cd	61.6 cd	0.0	446.3 d	-0.068	857.6 ± 0.61
Chem, RiceStraw, Till	8.15 ab	3.04 ab	-94	561.0 a	89.8 a	217.5	868.4 a	-0.109	894.7 ± 0.94
Chem, RiceStraw, No-till	8.02 ab	2.95 abc	-89	507.3 ab	81.2 ab	217.5	806.0 ab	-0.107	854.4 ± 0.51
NoOM	6.82	2.52	-45	341.8	52.2	0.0	396.5	-0.152	899.3 ± 51.2
RiceStraw	8.07 **	3.01**	-53 ns	432.8 **	69.2 **	217.5	719.58 **	-0.077 ns	923.7 ± 59.1
No-till	7.30	2.67	-58	308.8	49.4	108.75	467.0	-0.162	911.5 ± 64.5
Till	7.58 ns	2.86 ns	-39 ns	465.8 **	72.0 **	108.75	649.1 **	-0.067 ns	911.5 ± 48.4
0-0-0	7.42	2.74	-33	281.0	44.9	108.75	434.7	-0.142	957.5 ± 22.2
Chem	7.46 ns	2.78 ns	-65 ns	493.7 **	79.0 **	108.75	681.4 **	-0.088 ns	865.5 ± 19.5

Note: Mean followed by a common letter are not different at P value < 0.05 by DMRT, ns: non-significant, **: significantly P value < 0.01

[1/] SOC stock = SOC content x soil bulk density x soil depth (cm)

[2/] Converstion rate = Change of SOC stock / Total C input to soil

[3/] C loss from decomposes SOC by soil fauna and root respiration = CO_2 emission from soil surface

[4/] Change of SOC stock = annual C sequestration = annual carbon balance (kg C rai^{-1} $year^{-1}$)

กรมวิชาการเกษตร

8.7 ผลของการจัดการดิน และปุ๋ยต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

คุณภาพดิน คือ ความสามารถของดิน หรือความเหมาะสมของดิน ในการสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช โดยดินจะไม่เสื่อมโทรม หรือไม่มีผลให้สภาพแวดล้อมเสื่อมลง ซึ่งในเชิงความอุดมสมบูรณ์ของดิน คุณภาพดิน หมายถึง ความสามารถอันยิ่งยืนของดินในการรองรับ กักเก็บ และหมุนเวียนธาตุอาหารและพลังงาน (ยงยุทธ, 2557) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดการดิน และปุ๋ยอย่างถูกต้องเหมาะสมจะเป็นการรักษาไว้ซึ่งผลิตภาพของดินให้สามารถผลิตพืชได้อย่างยั่งยืน

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินในช่วงระยะเวลา 5 ปี ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ซึ่งมีการจัดการดิน และปุ๋ยแบบต่างๆ พบว่า การจัดการดินแบบไม่มีการใช้วัสดุอินทรีย์ (NoOM) หรือการไม่ไถพรวน (Not-till) หรือการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) หรือมีการใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) ไม่มีผลทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินเฉลี่ย 6.82-7.46 กรัมต่อกิโลกรัม แต่การจัดการดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดข้าวเลี้ยงสัตว์โดยใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดินเช่นฟางข้าว (RiceStraw) สามารถเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดินเฉลี่ย 8.02-8.17 กรัมต่อกิโลกรัม (Table 11) แต่เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดินตั้งแต่ปี 2554 ถึงปี 2562 จะเห็นว่าปริมาณการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในดินเริ่มลดลงในปี 2559 จนถึงปีปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการลดอัตราของการใช้ฟางข้าวคลุมดินเป็น 500 กิโลกรัมต่อไร่ จากเดิมที่ใช้ถึง 1000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งในกรรมวิธีการไถพรวน (Till) ไม่ไถพรวน (No-till) การใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) หรือไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) การเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดินเป็นไปในทิศทางเดียวกันการใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดิน (Figure 4 A B and C) ทั้งนี้เนื่องจากอินทรียวัตถุมีการย่อยสลายตามธรรมชาติ หากปริมาณอินทรียวัตถุที่สลายไปจากการใช้ดินในการปลูกพืชแต่ละปีสูงกว่าปริมาณเศษซากที่กลับคืนลงไปทดแทน ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะค่อยๆลดลงไปเรื่อยๆ ดังนั้นปริมาณสารอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินควรมากกว่าอัตราการสลายตัว ทั้งนี้เพื่อให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ, 2557)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน เนื่องจากฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเดิมมีอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (4.9-14.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตเสริมในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยผลการทดลองพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) อัตรา 15-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ สามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเฉลี่ย 25.8-40.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 12) แต่หากมีการใช้ฟางข้าวคลุมดินร่วมด้วย (RiceStraw) จะเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินได้เฉลี่ย 44.9-48.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในดินในแต่ละปีไม่ได้เพิ่มมากขึ้นแตกต่างกัน (Figure 5 A B and C) เนื่องจากฟางข้าวที่ใช้คลุมดินในแต่ละปีมีฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.11-0.24 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ เมื่อสลายตัวนอกจากจะเพิ่มอินทรียวัตถุในดินแล้ว ยังปลดปล่อยธาตุอาหารฟอสฟอรัสให้เป็นประโยชน์กับพืชอีกทางหนึ่ง

สำหรับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเดิม พบว่ามีอยู่ในปริมาณต่ำ คือ 35-54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจากผลการทดลองใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) อัตรา 15-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ เพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินได้เฉลี่ย 75-76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 12) ซึ่งต่ำกว่าการใช้ฟางข้าวคลุมดิน (Chem) ที่สามารถเพิ่มโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินได้อย่างเด่นชัดถึง 105-114 มิลลิกรัมต่อ

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

กิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวที่ใช้คลุมดินในแต่ละปีมีโพแทสเซียมทั้งหมด 1.57-2.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสลายตัวจึงปลดปล่อยธาตุอาหารโพแทสเซียมให้เป็นประโยชน์กับพืชอีกทางหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามจากการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในดินตลอดระยะเวลา 5 ปี พบว่า โพแทสเซียมในดินมีแนวโน้มลดลงทุกๆปี (Figure 6 A B and C) ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะโพแทศเซียมเป็นธาตุที่มีการสูญหายไปกับการชะล้างและการกร่อนของดินได้ง่าย นอกจากนี้พืชยังมีการดูดใช้โพแทสเซียมในลักษณะที่ฟุ่มเฟือย และนำไปเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อต่างๆจนเกินระดับเพียงพอ โดยที่การเจริญเติบโตไม่เพิ่ม (ยงยุทธ และคณะ, 2554)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาดิน หรือ Soil pH พบว่า การจัดการดินโดยใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดิน (RiceStraw) ไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ (NoOM) หรือการไถพรวน (Till) ไม่ไถพรวน (No-till) หรือ การใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) และไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (0-0-0) ไม่ส่งผลให้ปฏิกิริยาดิน (pH) เกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันในแต่ละปี โดยดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มี pH อยู่ในช่วง 6.88-6.93 (Table 14 and Figure 7 A B and C)

คุณภาพดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ประเมินคุณภาพดินโดนนำผลการวิเคราะห์ดิน 3 รายการคือ ร้อยละปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน มาใช้เป็นเกณฑ์สำหรับประเมินคุณภาพดินหรือสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ด้วยวิธีให้คะแนน รวมผลคะแนนจากค่าวิเคราะห์ดินทั้ง 3 รายการ แล้วให้เกณฑ์การประเมินคุณภาพดินเป็น ระดับสูง ระดับปานกลาง และ ระดับต่ำ ดังแสดงใน Table 15 จากผลการประเมินคุณภาพดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ซึ่งเป็นแปลงทดลองระยะยาว พบว่า ดินมีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง หรือดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดังกล่าวมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (Table 16) ทั้งนี้เนื่องมาจากดินในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำมาก แม้จะมีปริมาณธาตุอาหารพืชอย่างเช่น ฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียมสูงก็ตาม เนื่องจากอินทรียวัตถุมีการย่อยสลายตามธรรมชาติ ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะค่อยๆลดลงไปเรื่อยๆ ดังนั้นปริมาณสารอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินควรมากกว่าอัตราการสลายตัว ทั้งนี้เพื่อให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารพืชในดิน จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดิน และมีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมบัติของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร

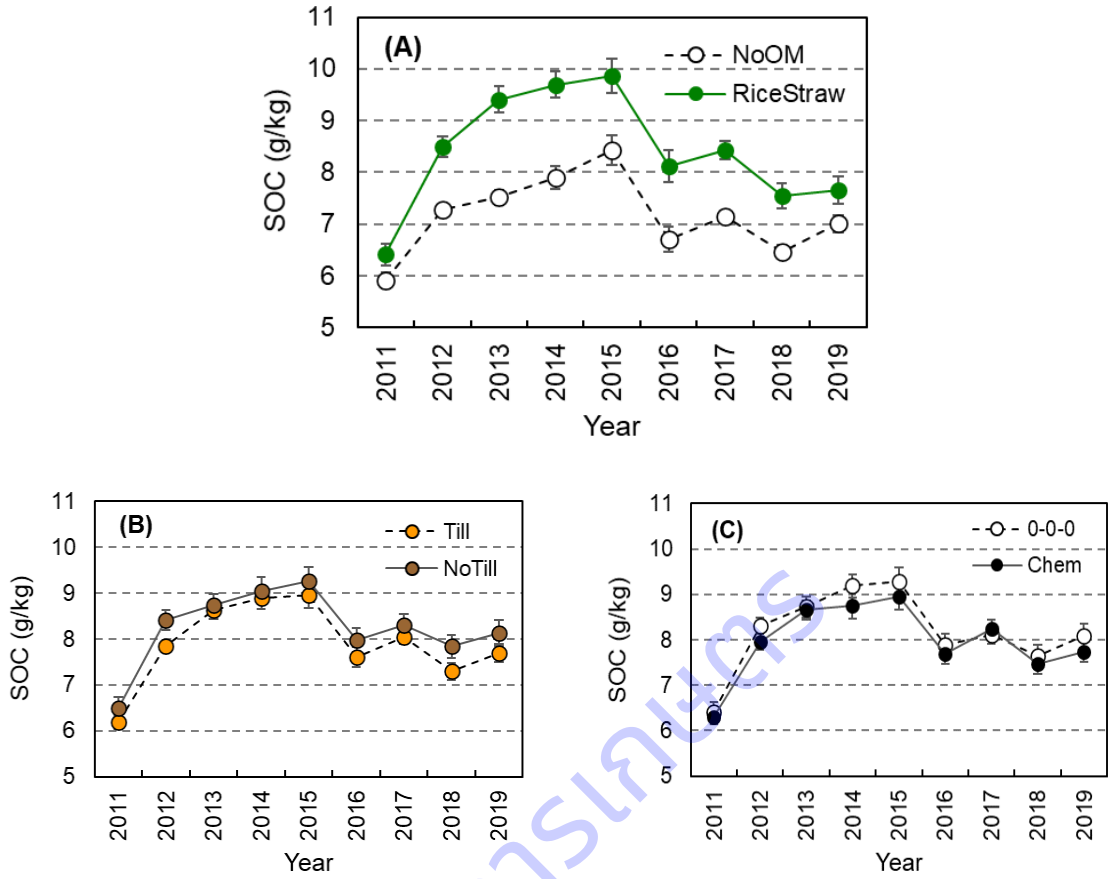
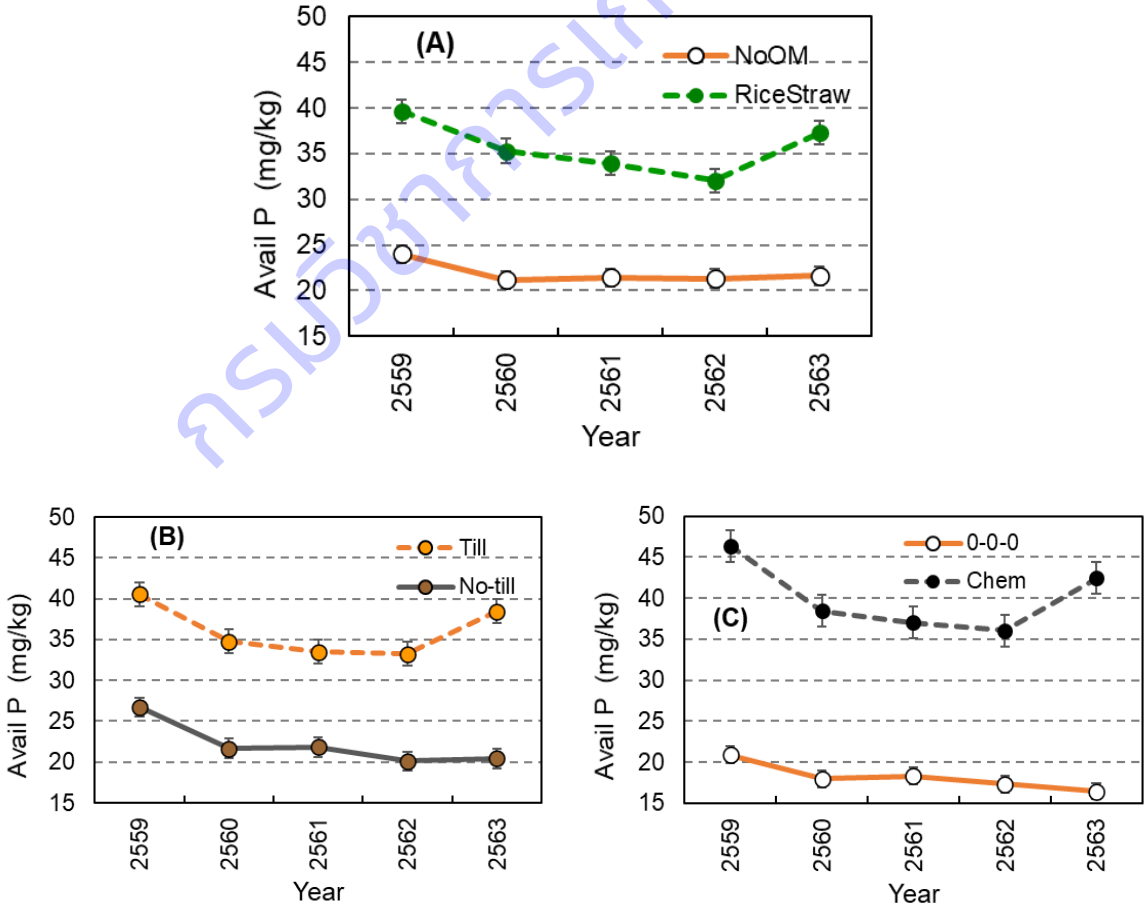


Figure 4 Change of organic carbon in soil, (A) Rice straw mulch (RiceStraw) and no organic matter application (NoOM), (B) Tillage (Till) and no tillage (No-till), and (C) chemical fertilizer application (Chem) and no chemical fertilizer application (0-0-0)

กรมวิชาการเกษตร

Table 11 Effect of soil and fertilizer managements on the change of soil organic carbon

Treatments	Soil organic carbon (SOC, g kg^{-1})					Average
	2016	2017	2018	2019	2020	
0-0-0, NoOM, Till	6.69 ± 0.31	7.36 ± 0.91	6.75 ± 0.68	6.94 ± 1.02	6.89 ± 0.87	6.92 ± 0.26
0-0-0, NoOM, No-till	6.67 ± 0.30	6.93 ± 0.37	6.48 ± 0.53	6.88 ± 0.37	6.41 ± 0.84	6.67 ± 0.23
0-0-0, RiceStraw, Till	8.31 ± 0.43	8.17 ± 1.58	7.53 ± 1.91	8.27 ± 1.76	8.57 ± 2.85	8.17 ± 0.86
0-0-0, RiceStraw, No-till	7.92 ± 0.24	7.68 ± 0.55	7.19 ± 0.71	7.56 ± 0.67	8.05 ± 1.58	7.68 ± 0.33
Chem, NoOM, Till	6.74 ± 0.14	7.22 ± 0.27	6.23 ± 0.88	7.21 ± 0.72	6.81 ± 0.34	6.84 ± 0.41
Chem, NoOM, No-till	6.73 ± 0.81	7.10 ± 0.25	6.43 ± 0.26	7.02 ± 0.13	6.94 ± 0.19	6.84 ± 0.27
Chem, RiceStraw, Till	8.10 ± 0.82	8.30 ± 0.73	7.86 ± 0.62	7.30 ± 0.92	8.38 ± 1.42	8.15 ± 0.66
Chem, RiceStraw, No-till	8.18 ± 0.93	8.77 ± 1.35	7.64 ± 0.80	7.46 ± 0.25	8.02 ± 0.97	8.02 ± 0.50
NoOM	6.58 ± 0.03	7.15 ± 0.18	6.47 ± 0.21	7.01 ± 0.15	6.76 ± 0.35	6.82 ± 0.10
RiceStraw	8.13 ± 0.87	8.43 ± 0.63	7.56 ± 0.28	7.65 ± 0.43	8.58 ± 0.81	8.07 ± 0.31
No-till	7.37 ± 0.78	7.62 ± 0.83	6.94 ± 0.59	7.24 ± 0.34	7.35 ± 0.82	7.30 ± 0.65
Till	7.46 ± 0.86	7.96 ± 0.86	7.09 ± 0.74	7.43 ± 0.58	7.99 ± 1.44	7.58 ± 0.82
0-0-0	7.40 ± 0.84	7.53 ± 0.53	6.99 ± 0.47	7.41 ± 0.65	7.80 ± 0.94	7.43 ± 0.79
Chem	7.44 ± 0.81	8.05 ± 1.03	7.04 ± 0.83	7.25 ± 0.19	7.54 ± 0.57	7.46 ± 0.72

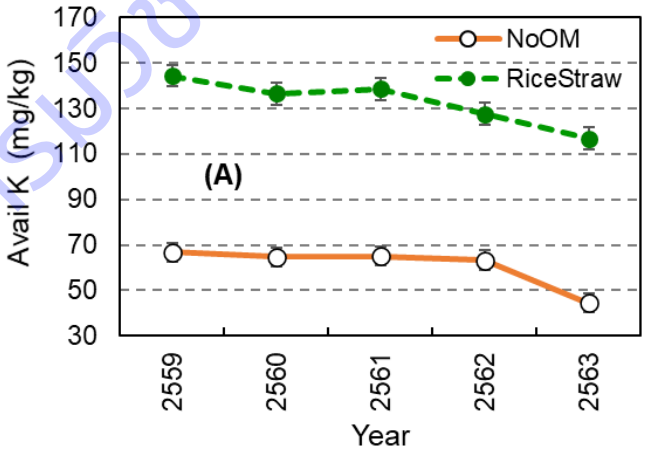


กรมวิชาการเกษตร

Figure 5 Change of available phosphorus in soil, (A) Rice straw mulch (RiceStraw) and no organic matter application (NoOM), (B) Tillage (Till) and no tillage (No-till), and (C) chemical fertilizer application (Chem) and no chemical fertilizer application (0-0-0)

Table 12 Effect of soil and fertilizer managements on available phosphorus (P) in soil

Treatments	Available P in soil (mg P kg^{-1})					Average
	2559	2560	2561	2562	2563	
0-0-0, NoOM, Till	15.1 ± 3.2	10.9 ± 0.7	16.2 ± 5.1	12.3 ± 3.9	15.18 ± 7.27	14.0 ± 2.2
0-0-0, NoOM, No-till	11.7 ± 4.1	10.1 ± 6.3	9.9 ± 5.9	10.1 ± 5.3	8.77 ± 6.23	10.2 ± 1.1
0-0-0, RiceStraw, Till	47.7 ± 41.4	44.4 ± 55.2	38.3 ± 39.8	38.1 ± 45.2	36.23 ± 41.32	4.9 ± 4.9
0-0-0, RiceStraw, No-till	9.1 ± 2.0	6.4 ± 1.6	8.6 ± 2.2	8.6 ± 2.6	5.67 ± 0.52	7.7 ± 1.5
Chem, NoOM, Till	52.4 ± 17.7	37.9 ± 4.7	34.8 ± 12.7	39.1 ± 2.7	38.32 ± 17.66	40.5 ± 6.8
Chem, NoOM, No-till	31.5 ± 5.82	25.6 ± 4.9	24.6 ± 11.7	23.5 ± 7.5	24.20 ± 14.14	25.8 ± 3.1
Chem, RiceStraw, Till	46.9 ± 11.8	45.6 ± 4.8	44.5 ± 5.4	43.3 ± 11.3	64.07 ± 33.87	48.9 ± 8.5
Chem, RiceStraw, No-till	54.7 ± 6.3	44.5 ± 15.0	44.0 ± 10.2	38.0 ± 6.2	43.13 ± 15.51	44.9 ± 6.0
NoOM	23.9 ± 18.6	21.1 ± 13.2	21.4 ± 10.7	21.3 ± 13.2	21.62 ± 5.49	22.6 ± 13.6
RiceStraw	39.6 ± 20.6	35.2 ± 19.2	33.9 ± 17.0	32.0 ± 15.8	37.27 ± 18.39	35.6 ± 18.9
No-till	26.7 ± 21.1	21.6 ± 17.3	21.8 ± 16.4	20.1 ± 13.7	20.44 ± 17.16	21.1 ± 17.1
Till	40.5 ± 17.13	34.7 ± 16.2	33.5 ± 12.1	33.2 ± 14.0	38.45 ± 20.02	36.1 ± 15.2
0-0-0	20.9 ± 18.0	17.9 ± 17.7	18.3 ± 13.7	17.3 ± 13.9	16.46 ± 18.56	18.2 ± 15.4
Chem	46.3 ± 10.5	38.4 ± 9.2	37.0 ± 9.4	36.0 ± 8.6	42.43 ± 9.17	40.0 ± 10.0



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

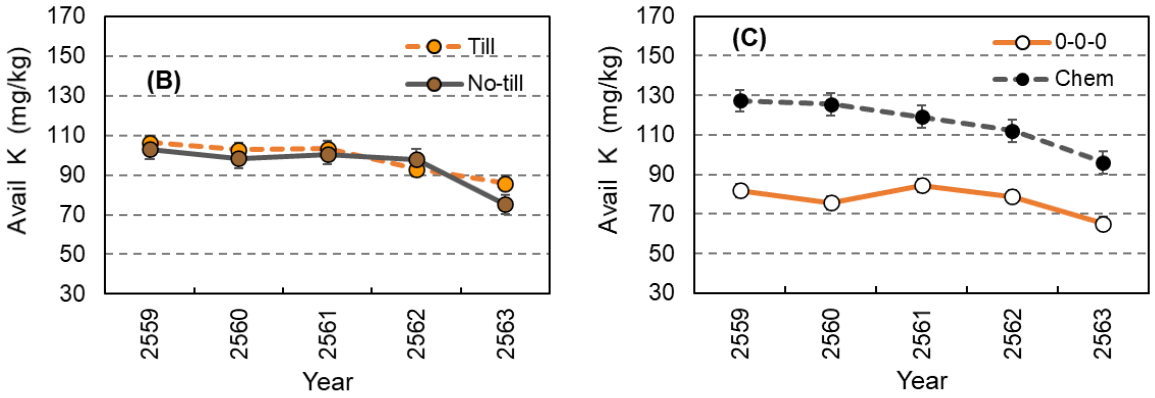


Figure 6 Change of exchangeable potassium in soil, (A) Rice straw mulch (RiceStraw) and no organic matter application (NoOM), (B) Tillage (Till) and no tillage (No-till), and (C) chemical fertilizer application (Chem) and no chemical fertilizer application (0-0-0)

Table 13 Effect of soil and fertilizer managements on available potassium (K) in soil

Treatments	Extractable K in soil (mg K kg^{-1})					Average
	2016	2017	2018	2019	2020	
0-0-0, NoOM, Till	58.3 ± 22.5	51.2 ± 14.7	66.1 ± 14.8	62.2 ± 22.1	34.9 ± 6.9	54.4 ± 12.3
0-0-0, NoOM, No-till	36.1 ± 6.5	35.1 ± 8.9	37.8 ± 12.0	39.7 ± 15.0	26.2 ± 14.5	35.0 ± 5.2
0-0-0, RiceStraw, Till	117.9 ± 26.4	118.4 ± 14.7	120.8 ± 24.4	96.7 ± 18.9	116.2 ± 74.6	114.0 ± 9.8
0-0-0, RiceStraw, No-till	115.9 ± 29.9	97.9 ± 30.4	113.2 ± 31.5	116.3 ± 33.6	83.2 ± 20.2	105.3 ± 14.5
Chem, NoOM, Till	88.3 ± 16.9	80.5 ± 19.8	78.2 ± 37.5	72.4 ± 16.0	58.6 ± 25.0	75.6 ± 11.1
Chem, NoOM, No-till	76.9 ± 3.6	91.2 ± 23.9	78.0 ± 12.7	78.9 ± 14.3	58.0 ± 12.5	76.7 ± 12.0
Chem, RiceStraw, Till	160.5 ± 11.6	160.6 ± 18.7	147.8 ± 29.2	140.9 ± 23.2	134.0 ± 47.3	148.7 ± 11.8
Chem, RiceStraw, No-till	183.3 ± 14.8	169.3 ± 27.8	172.5 ± 12.1	156.7 ± 8.9	133.6 ± 41.4	163.1 ± 19.0
NoOM	66.8 ± 22.8	64.6 ± 26.0	65.0 ± 19.0	63.3 ± 17.1	44.4 ± 7.6	60.4 ± 19.8
RiceStraw	144.4 ± 31.1	136.5 ± 34.0	138.6 ± 27.0	127.7 ± 26.5	116.7 ± 22.4	132.8 ± 27.6
No-till	103.0 ± 62.6	98.5 ± 55.0	100.4 ± 57.1	97.9 ± 50.1	75.3 ± 45.4	95.0 ± 53.8
Till	106.2 ± 43.6	102.7 ± 47.4	103.3 ± 37.9	93.1 ± 35.1	85.9 ± 46.8	98.2 ± 41.7
0-0-0	82.0 ± 41.3	75.7 ± 39.0	84.5 ± 39.4	78.8 ± 34.3	65.1 ± 30.9	77.2 ± 38.5
Chem	127.2 ± 52.6	125.5 ± 45.9	119.1 ± 48.4	112.2 ± 42.8	96.0 ± 15.8	116.0 ± 46.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

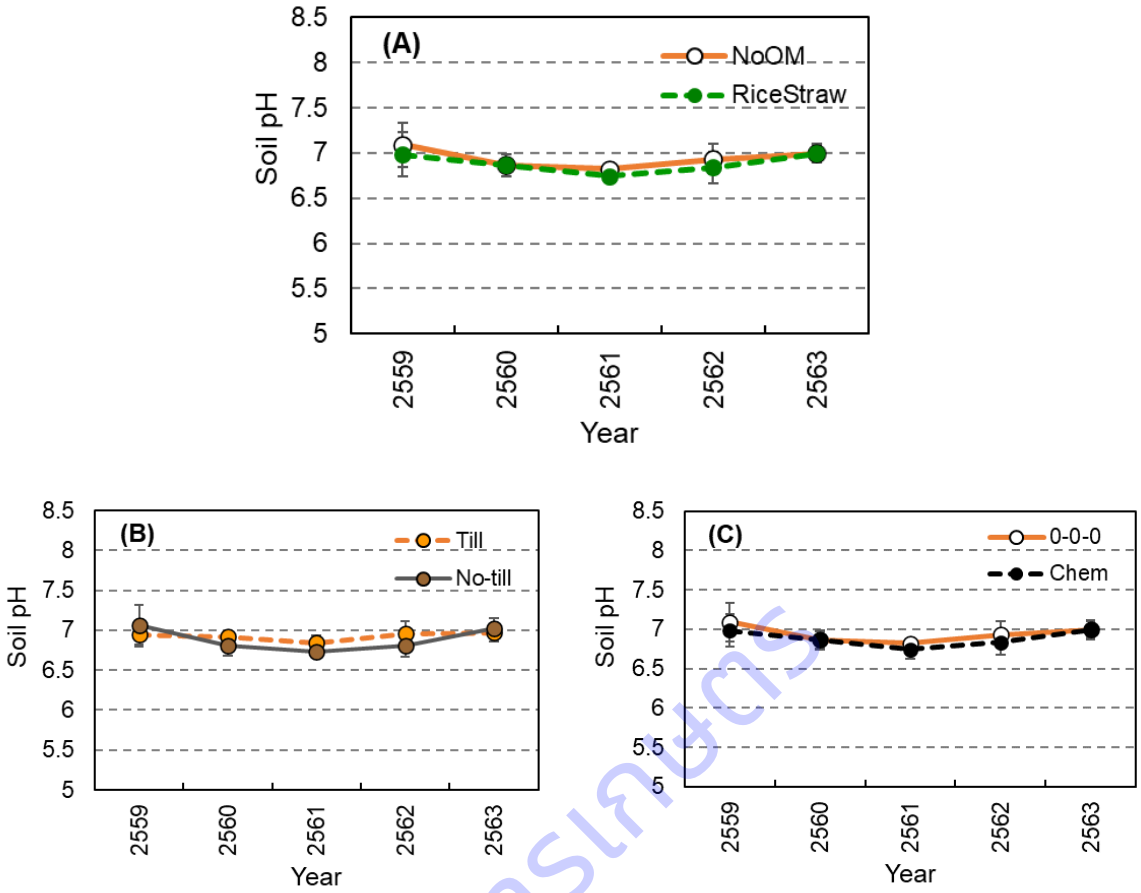


Figure 7 Change of soil pH, (A) Rice straw mulch (RiceStraw) and no organic matter application (NoOM), (B) Tillage (Till) and no tillage (No-till), and (C) chemical fertilizer application (Chem) and no chemical fertilizer application (0-0-0)

Table 14 Effect of soil and fertilizer managements on the change of soil pH

Treatments	Soil pH					Average
	2016	2017	2018	2019	2020	
0-0-0, NoOM, Till	7.23 ± 0.12	7.04 ± 0.13	6.86 ± 0.24	7.10 ± 0.16	7.12 ± 0.06	7.07 ± 0.14
0-0-0, NoOM, No-till	7.23 ± 0,.15	6.79 ± 0.40	6.79 ± 0.40	7.01 ± 0.27	7.12 ± 0.21	6.98 ± 0.20
0-0-0, RiceStraw, Till	7.08 ± 0.37	7.03 ± 0.25	6.90 ± 0.34	7.05 ± 0.08	6.94 ± 0.31	7.00 ± 0.08
0-0-0, RiceStraw, No-till	7.16 ± 0.17	6.82 ± 0.19	6.62 ± 0.10	6.84 ± 0.06	7.12 ± 0.10	6.91 ± 0.22
Chem, NoOM, Till	6.72 ± 0.30	6.80 ± 0.25	6.81 ± 0.26	6.92 ± 0.28	6.81 ± 0.21	6.81 ± 0.07
Chem, NoOM, No-till	6.94 ± 0.12	6.86 ± 0.27	6.83 ± 0.30	6.70 ± 0.59	6.93 ± 0.31	6.85 ± 0.10
Chem, RiceStraw, Till	6.75 ± 0.14	6.82 ± 0.04	6.80 ± 0.24	6.77 ± 0.13	7.00 ± 0.07	6.83 ± 0.10
Chem, RiceStraw, No-till	6.94 ± 0.45	6.79 ± 0.30	6.66 ± 0.46	6.69 ± 0.77	6.92 ± 0.27	6.80 ± 0.13
NoOM	7.09 ± 0.25	6.87 ± 0.13	6.82 ± 0.03	6.93 ± 0.17	7.00 ± 0.10	6.93 ± 0.12
RiceStraw	6.98 ± 0.20	6.86 ± 0.11	6.74 ± 0.13	6.84 ± 0.15	6.99 ± 0.12	6.88 ± 0.09
No-till	7.06 ± 0.15	6.81 ± 0.04	6.73 ± 0.10	6.81 ± 0.15	7.02 ± 0.11	6.89 ± 0.08
Till	6.95 ± 0.25	6.92 ± 0.13	6.84 ± 0.05	6.96 ± 0.13	6.97 ± 0.13	6.93 ± 0.13
0-0-0	7.09 ± 0.25	6.87 ± 0.13	6.82 ± 0.03	6.93 ± 0.17	7.00 ± 0.10	6.93 ± 0.12
Chem	6.98 ± 0.20	6.86 ± 0.11	6.74 ± 0.13	6.84 ± 0.15	6.99 ± 0.13	6.88 ± 0.09

Table 15 Soil quality classification criteria

Level	Low	Medium	High
OM (%)	< 1.5	1.5-3.5	>3.5
	(1 point)	(2 points)	(3 points)
Avail P (mg/kg)	<10	10-25	>25
	(1 point)	(2 points)	(3 points)
K (mg/kg)	<60	60-90	>90
	(1 point)	(2 points)	(3 points)

Source: modified from Land Development Department (2558)

Note: Soil quality criteria using scoring method

If the total score is between 2-4, the soil quality is low

If the total score is between 5-7, the soil quality is moderate

If the total score is between 8-9, the soil quality is considered high

Table 16 Soil quality level in maize field at Lopburi plant seed research and development center

Treatments	Organic matter (OM, %)	Available P (mg kg^{-1})	Exchangeable K (mg kg^{-1})	Soil quality level
0-0-0, NoOM, Till	0.69	14	54	Low (4)
0-0-0, NoOM, No-till	0.67	10	35	Low (4)
0-0-0, RiceStraw, Till	0.82	5	114	Medium (5)
0-0-0, RiceStraw, No-till	0.77	8	105	Medium (5)
Chem, NoOM, Till	0.68	41	76	Medium (6)
Chem, NoOM, No-till	0.68	26	77	Medium (6)
Chem, RiceStraw, Till	0.82	49	149	Medium (7)
Chem, RiceStraw, No-till	0.80	45	163	Medium (7)
NoOM	0.68	23	60	Medium (5)
RiceStraw	0.81	36	133	Medium (7)
No-till	0.73	21	95	Medium (6)
Till	0.76	36	98	Medium (7)
0-0-0	0.74	18	77	Medium (5)
Chem	0.75	40	116	Medium (7)

กรมวิชาการเกษตร

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของการจัดการดินแบบต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดิน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแปลงทดลองระยะยาวที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์พืชลพบุรีในปี 2560 ถึง 2563 การใช้ฟางข้าวคลุมดิน การไถพรวน และการใช้ปุ๋ยเคมีช่วยเพิ่มมวลชีวภาพของข้าวโพด และไม่ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินแตกต่างกัน แต่ส่งเสริมให้ข้าวโพดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศถึง 2.2- 2.6 ตัน CO_2 ต่อไร่ต่อปี

การใช้วัสดุอินทรีย์ฟางข้าวคลุมดินเพิ่มการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในดิน ซึ่งเกิดจากปริมาณวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงในดินจากฟางข้าวรวมกับเศษซากข้าวโพดและถั่วเขียวมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินจากเศษซากข้าวโพดและถั่วเขียวไปเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินไม่ได้เพิ่มขึ้น

การไม่ไถพรวน ไม่ได้ส่งผลให้ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดินแตกต่างจากการไถพรวน และอัตราการเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินจากเศษซากข้าวโพดและถั่วเขียวต่อการเปลี่ยนไปเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินไม่แตกต่างเช่นกัน แต่โดยทั่วไป การปลูกพืชแบบไม่ไถพรวนช่วยเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางชีวภาพของดิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงพลวัตของคาร์บอนในดิน ภายใต้ระบบการปลูกที่ไม่มีการไถพรวน ในสภาพมรสุมเขตร้อนและคุณสมบัติของดินที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

การใส่ปุ๋ยเคมีช่วยเพิ่มมวลชีวภาพของข้าวโพด จึงเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ใส่ลงไปในดินได้มากกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดิน จากการใส่ปุ๋ยเคมีไม่แตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินจากเศษซากข้าวโพดต่อการเปลี่ยนไปเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินจากการใส่ปุ๋ยเคมีนั้นค่อนข้างต่ำกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมียังไปเพิ่มอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุจากเศษซากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในดินให้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าการใช้ปุ๋ยเคมีมีผลอย่างไรต่อพลวัตของคาร์บอนในดินเขตร้อน

ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่าอัตราการเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินต่ออัตราการเปลี่ยนไปเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินต่ำ จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ช่วยอธิบายได้ว่าทำไมดินในเขตร้อนถึงมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำ ดังนั้นปริมาณวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินเขตร้อนควรมากกว่าอัตราการสลายตัว เนื่องจากอินทรียวัตถุมีการย่อยสลายตามธรรมชาติ หากปริมาณอินทรียวัตถุที่สลายไปจากการใช้ดินในการปลูกพืชแต่ละปีสูงกว่าปริมาณเศษซากที่กลับคืนลงไปทดแทน ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะค่อยๆลดลงไปเรื่อยๆ

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการดิน เพื่อรักษาศักยภาพการผลิตพืชของดินในเขตร้อนอย่างยั่งยืน เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินเป็นตัวบ่งชี้ถึงสถานะความอุดมสมบูรณ์ของดิน และช่วยบรรเทาภาวการณ์เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อีกวิธีหนึ่ง

11. คำขอบคุณ -

12. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ***ใน*** สถานภาพทรัพยากรดิน และที่ดินของประเทศไทย. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 120-144.

กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. เอกสารวิชาการ กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 164 หน้า

ยงยุทธ โอสถสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2554. หลักการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสาน. ***ใน*** ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 324-347.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2557. คุณภาพดินและสุขภาพดิน. ***ใน*** คุณภาพดินเพื่อการเกษตร. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย. หน้า 74-96.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สืบค้นจาก http://mis-app.oae.go.th/product/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%82%E0%B8%9E%E0%B8%94%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%A7%E0%B9%8C [มกราคม 2563].

Amos, B., and D.T. Walters. 2006. Maize root biomass and net rhizodeposited carbon: An anlysis of the literature. Soil Science Society of America Journal. 70:1489-1503. doi:10.2136/sssaj2005.0216.

Anderson, J. 1982. Soil respiration. ***In*** Methods of Soils Analysis, Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 831-871.

Biederman, L.A. and W.S. Harpole. 2013 Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. GCB Bioenergy. 5: 202-214. doi:10.111/gcbb.12037.

Fujisaki, K., T. Chevallier, L. Chapuis-Lardy, A. Albrecht, T. Razafimbelo, and T. Masse. 2018. Soil carbon stock changes in Tropical croplands are mainly diven by carbon inputs: A systhesis. Agriculture, Ecosystmens & Environment. 259: 147-158. doi:10.1016/j.agee.2017.12.008.

IPCC. 2014. Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of working groups III to fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Edited by Cambridge, United Kindom and New York, NY, USA: Cambridge University press.

กรมวิชาการเกษตร

Japan Soil Association. 2000. Methods of organic matter analysis-organic carbon. ***In*** Mothods of Organic Matter in Compost and Manure Analysis. Tokyo: Japan Soil Association (in Japaneses). pp. 140-147.

Jarecki, M.K. and R. Lal. 2003. Crop management for soil carbon sequestration. Critical Reviews in Plant Sciences. 22: 471-502. doi:10.1080/713608318.

Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. Critical Reviews in Plant Sciences. 22(2): 151-184. doi:10.1080/713610854.

Ma, S., F. He, D. Tian, D. Zou, Z. Yan, Y. Yang, T. Zhou, K. Hung, H. Shen, and J. Fang. 2018. Vaiations and determinants of carbon conten in plants: A global systhesis. Biogeoscience.15:693-702. doi.10.5194/bg-15-693-2018.

Matsumoto, N., K. Paisancharoen, and T. Hakamata. 2008. Carbon balance in maize fields under cattle manure application and no-tillage cultivation in Northeast Thailand. Soil Science & Plant Nutrition, 54:2. 277-288. doi:10.1111/j.1747-0765.2007.00223.x

Matsumoto, N., W. Nobuntou, N. Punlai, T. Sugino, P. Rugikun, K. Luanmanee, and K. Kawamura. 2020. Soil carbon sequestration on a miaze-mung bean field with rice straw mulcj, no-tillage, and chemical fertilizer application in Thailand from 2011 to 2015. Soil Science and Plant Nutrition. doi:10.1080/00380768.2020.1857660.

Minasny, B., B.P. Malone, A.B. McBratney, D.A. Angers, D. Arrouays, and A. Chambers. 2017. Soil carbon 4 per mille. Geoderma. 295: 59-86. doi:10.1016/j.geoderma.2017.01.002.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic matter. pp 539-579. In Method of soil analysis, part 2. Chemical and Microbiology Properties. Agronomy Monograph 9 (2 nd) ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Parihar, C.M., M.D. Parihar, T.B. Sapkota, R.K. Nanwal, A.K. Singh, and H.K. Nayak. 2018. Long-term impact of conservation agriculture and diversified maize rotations on carbon pools and stocks, minerals nitrogen fractions and nitrous oxide fluxes in Inceptisol of India. Science of the Total Environment. 640-641: 1382-1392. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.05.405.

Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods. Inkarta Press, Melbourne, Australia.

Shirato, Y., K. Paisancharoen, P. Sangtong, C. Nakviro, M. Yokozawa, and N. Matsumoto. 2005. Testing the Rothansted Carbon Model against data from long-term experiments on upland soil in Thailand. Eur, J. Soil Sci., 56:179-188.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

Sugino, T., W. Nobuntou, N. Srisombut, P. Rugikun, S. Luanmanee, and N. Punlai. 2013. Effects of long-term organic material applications and green manure crop cultivation on soil organic carbon in rain fed area of Thailand. International Soil and Water Conservation Research. 1(3): 29-36. doi:10.1016/S2095-6339(15)30028-9.

Watanabe, F.S., and S.R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts. Soil Sci. Am. Proc. 29:677-678.

Yoneyama, T., H. Okada, P. Chongpraditnun, P. Ando, P. Prasertsak, and K. Hirai. 2006. Effects of vegetation and cultivation on ^{13}C values of soil organic carbon and estimation of its turnover in Asian tropics: a case study in Thailand. Soil Science and Plant Nutrition. 52: 95-102.

กรมวิชาการเกษตร