ผลของการจัดการดินและปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน และการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Effects of Soil and Fertilizer Management on Soil Carbon Sequestration and Carbon Dioxide Emissions in the Maize Field

วนิดา โนบรรเทา[1/*] แววตา พลกุล[1/] นงลักษ์ ปั้นลาย[2/] นารุโอะ มัตสุโมโตะ[3/]

Wanida Nobuntou[1/*] Waewta Polkul[1/] Nongluck Punlai[2/] Naruo Matsumoto[3/]

Received 23 Jun. 2022/Revised 27 Jan. 2023/Accepted 14 Feb 2023

ABSTRACT

Increasing soil organic carbon in agricultural fields through carbon sequestration is one of the strategies for mitigating climate change and improving soil fertility. Field experimental studies were carried out in a long-term field in Lopburi Seed Research and Development Center from 2017 to 2020 to clarify the effects of soil and fertilizer management on soil organic carbon change (SOC) and CO_2 emissions in maize cultivation. Eight treatments with the combination of rice straw mulch (RS), no organic matter application (NoOM), tillage (Till), no-tillage (No-till), chemical fertilizer application (Chem) and no chemical fertilizer application (No-chem) were conducted in RCB with 3 replications. Results showed that CO_2 emissions from soil surface in RS, Till, and Chem did not differ with an average of 3.3 t CO_2/rai /year. RS increased SOC stock by 3.0 t C/rai which was greater than NoOM (2.5 t C/rai), but the rate of organic carbon accumulation in soil was lower. Whereas SOC stock change in Till did not differ from No-till. Similarly, SOC accumulation in Chem was not different from that of No-chem. C balance analysis showed RS, Till, and Chem decreased SOC stock by 39-65 kg C/rai /year, despite C input to the soil by returning maize-mung bean residues was high (649-719 kg C/rai /year). This might be caused by no increase in conversion rate of total organic C input to SOC stock change, resulting in decreased SOC storage. The results of this study could clarify SOC stock changes in upland fields under tropical conditons. However, further studies of C dynamics in different site conditions and soil properties should be undertaken.

Keywords: soil organic carbon, rice straw mulch, no-tillage, carbon balance, carbon dioxide

[1/] กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[1/] Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture, Lad Yao, Chatuchak, Bangkok. 10900

[2/] ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี ต.โคกตูม อ.เมือง จ.ลพบุรี

[2/] Lopburi Seed Research and Development Center, Khoktum Sub-district, Mueang District, Lop Buri

[3/] Japan Internation Research Center for Agricultural Science, 1-1 Ohwashi, Tsukuba, Japan

*** Corresponding author: nwanida2002@yahoo.com**

บทคัดย่อ

การเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ในพื้นที่การเกษตรด้วยการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน เป็นกลยุทธ์หนึ่งที่ช่วยบรรเทาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ได้ศึกษาผลของการจัดการดินต่อการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) และการปล่อย CO_2 ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่แปลงทดลองระยะยาวในศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี ในปี 2560-2563 วางแผนการทดลองแบบ RCB 8 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ พบว่า กรรมวิธีใช้ฟางข้าวคลุมดิน ไถพรวน และใช้ปุ๋ยเคมี ปล่อย CO_2 จากผิวดินเฉลี่ย 3.3 ตัน CO_2/ไร่/ปี การใช้ฟางข้าวคลุมดิน เพิ่ม OC 3.0 ตัน C/ไร่ มากกว่าวิธีการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (2.5 ตัน C/ไร่) ส่วนวิธีการไถพรวนหรือไม่ไถพรวน การสะสม SOC ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี ไม่ทำให้ SOC เพิ่มขึ้นแตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ผลการวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนของวิธีการ ใช้ฟางข้าวคลุมดิน ไถพรวน และใช้ปุ๋ยเคมี คาร์บอนในดินลดลง 39-65 กก.C/ไร่/ปี การคืนกลับคาร์บอนจากเศษซากข้าวโพด-ถั่วเขียวลงในพื้นที่สูง 649-719 กก.C/ไร่/ปี เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดไปเป็นคาร์บอนที่กักเก็บในดินไม่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้คาร์บอนอินทรีย์ในดินลดลง ผลการศึกษานี้ ช่วยอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดินสภาพไร่ในเขตร้อนได้ อย่างไรก็ตาม ควรศึกษาพลวัตคาร์บอนเพิ่มเติมในสภาพพื้นที่และสมบัติดินที่แตกต่างออกไป

คำสำคัญ: คาร์บอนอินทรีย์ในดิน, ฟางข้าวคลุมดิน, ไม่ไถพรวน, สมดุลคาร์บอน, คาร์บอนไดออกไซด์

บทนำ

การจัดการดินทางการเกษตรโดยใช้ปุ๋ยและวัสดุอินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสม เป็นการช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและการผลิตพืช ขณะเดียวกันอาจมีศักยภาพในการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินด้วย ซึ่งในกระบวนการผลิตพืช นอกจากการใช้ปุ๋ย และวัสดุอินทรีย์แล้ว การจัดการอื่น ๆ เช่น การลดการไถพรวน การไม่ไถพรวน การปลูกพืชคลุมดิน การจัดการน้ำในดิน และระบบวนเกษตร สามารถเพิ่มการสะสมคาร์บอนในดินได้ (Lal, 2003) นอกจากนี้ Jarecki and Lal (2003) ยังรายงานว่า การใส่อินทรียวัตถุในดินเป็นเวลามากกว่า 5-90 ปี สามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ หรือกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน 0.005-0.67 ตัน C/ไร่/ปี ส่วนการไม่ไถพรวนหรือลดการไถพรวนดินเป็นเวลา 3-44 ปี เพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ในดิน-0.032 ถึง 0.096 ตัน C/ไร่/ปี นอกจากนี้ การทิ้งเศษซากพืชไว้ในพื้นที่เพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ในดิน 0.016-0.176 ตัน C/ไร่/ปี นั่นแสดงว่ามีเพียง 15% ของคาร์บอนอินทรีย์ในเศษซากพืชที่เปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนอินทรีย์สะสมในดิน

อย่างไรก็ตาม งานศึกษาวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในเขตอบอุ่น ซึ่งแตกต่างจากเขตร้อนซึ่งอุณหภูมิสูงและความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ต่ำกว่า จากการสังเคราะห์ข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนในดินของ Fujisaki *et al.* (2018) ที่ได้รวบรวมจากทั้งหมด 214 กรณีศึกษาใน 13 ประเทศ พบว่า การใส่อินทรียวัตถุลงดินประมาณ 18 ปี เพิ่มการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดินเขตร้อน 0.072 ตัน C/ไร่/ปี ส่วนการลดการไถพรวน 12 ปี มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สะสมในดิน 0.051 ตัน C /ไร่/ปี และการใช้ปุ๋ยเคมีมากกว่า 17 ปี เพิ่มการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดิน 0.038 ตัน C/ไร่/ปี สำหรับประเทศไทย ศุภกาญจน์ และคณะ (2560) พบว่า การไถพรวนร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี และใช้ฟางข้าวคลุมดิน เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน 0.16 ตัน C/ไร่/ปี เช่นเดียวกับ Matsumoto *et al.* (2008) ที่พบว่า

การจัดการดินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแบบไม่ไถพรวนร่วมกับใส่มูลวัว 3.2 ตัน/ไร่/ปี (น้ำหนักสด) เพิ่มการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดิน 0.38 ตัน C/ไร่/ปี ส่วนการไถพรวนมีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินเพิ่มขึ้น 0.06 ตัน C/ไร่/ปี และการไม่ไถพรวนเพิ่มขึ้น 0.14 ตัน C/ไร่/ปี แสดงอัตราการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดินเขตร้อนต่ำกว่าในดินเขตอบอุ่นชัดเจน จึงส่งผลต่ออัตราการกักเก็บคาร์บอนในดิน จากรายงานของศุภกาญจน์ และคณะ (2560) การใส่มูลไก่ หรือใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลไก่ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ระยะยาวที่ จ. นครสวรรค์ มีการปล่อย CO_2 จากผิวดินเฉลี่ย 3.42 ตัน CO_2/ไร่/ปี และการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตามด้วยข้าวฟ่าง หรือถั่วเขียว หรือถั่วแปบ ปล่อย CO_2 3.17 ตัน CO_2/ไร่/ปี ดังนั้น การศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มองค์ความรู้เกี่ยวกับผลของการจัดการดินและปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน และการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย จึงมีความสำคัญจะช่วยอธิบายถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินเขตร้อน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สมบัติของดินและสภาพอากาศในพื้นที่ทดลอง

ดำเนินการในแปลงทดลองระยะยาวที่ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี จ.ลพบุรี (14° 47.9’ N, 100°48.0’ E) เป็นดินชุดวังสะพุง (Fine, mixed, active, isohyperthermic Typic Haplustalfs) พื้นที่มีความลาดชันประมาณ 2-12% การระบายน้ำดี การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินอยู่ในระดับช้าถึงเร็ว และการซึมผ่านได้ของน้ำอยู่ในระดับปานกลาง เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกข้าวโพด และช่วงเก็บเกี่ยวที่ระดับความลึก 0-15 ซม. แปลงย่อยละ 5 จุดรวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง ผึ่งให้แห้งในร่ม บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. วัดค่า pH ของดิน (Rayment and Higginson, 1992) คาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยวิธี Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1982) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ด้วยวิธี Bray II ปริมาณโพแทสเซียม โดยการสกัดดินด้วย 1M NH_4OAc, pH 7 (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544) และวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 5300 DV) เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

2. การปลูกและเก็บเกี่ยว

วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block 8 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ รายละเอียดแต่ละกรรมวิธีแสดงใน Table 1 ใช้แปลงย่อยขนาด 5.25 x 6 ม. ทำการไถในแปลงที่มีการไถพรวนก่อนปลูกข้าวโพด 1 สัปดาห์ ส่วนแปลงที่ไม่ไถพรวนฉีดพ่นยากำจัดวัชพืช ก่อนปลูกข้าวโพด 3 สัปดาห์ และขุดร่องในการปลูก ทำการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ระยะระหว่างแถว 75 ซม. ระหว่างต้น 20 ซม. ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 รองก้นพร้อมปลูกอัตรา 7.5-5-5 กก. N-P_2O_5-K_2O /ไร่ และคลุมดินด้วยฟางข้าวในกรรมวิธีที่ใส่วัสดุอินทรีย์ ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยอัตรา 7.5 กก. N /ไร่ เมื่อข้าวโพดอายุ 25-30 วันหลังปลูก เก็บเกี่ยวข้าวโพดที่อายุ 110-120 วันหลังปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว 3.75 x 4 ม. ตัดต้นข้าวโพดแต่ละแปลงย่อย ชั่งน้ำหนักและทิ้งเศษซากต้น ใบ และเปลือกหุ้มฝักข้าวโพดไว้ในแปลง หลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด ปลูกถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 ระยะระหว่างแถว 60 ซม. ระหว่างต้น 15 ซม. และเก็บเกี่ยวถั่วเขียวในพื้นที่เก็บเกี่ยว 3 x 4 ม. ตัดต้นถั่วเขียวแต่ละแปลงย่อยชั่งน้ำหนักและทิ้งเศษซากต้นและใบถั่วเขียวไว้ในแปลง

Table 1 Field experiment treatments

Treatment no.	Treatment abb.	Treatment detail
1	No-chem, NoOM, Till	No chemical fertilizer application, No organic matter input, Tillage
2	No-chem, NoOM, No-till	No chemical fertilizer application, No organic matter input, No-tillage
3	No-chem, RS, Till	No chemical fertilizer application, Rice straw mulch, Tillage
4	No-chem, RS, No-till	No chemical fertilizer application, Rice straw mulch, No-tillage
5	Chem, NoOM, Till	Chemical fertilizer application, No organic matter input, Tillage
6	Chem, NoOM, No-till	Chemical fertilizer application, No organic matter input, No-tillage
7	Chem, RS, Till	Chemical fertilizer application, Rice straw mulch, Tilaage
8	Chem, RS, No-till	Chemical fertilizer application, Rice straw mulch, No-tillage

Note: 1) Chemical fertilizer was applied based on soil test at the rate of 15-5-5 kg N-P_2O_5-K_2O / rai

2) Rice straw mulch was carried out before maize sowing

3) Tillage and no-tillage were carried out under maize cultivation and not under mung bean cultivation

3. การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ปล่อยจากผิวดิน

ดักจับ CO_2 ที่ปล่อยจากผิวดินด้วยระบบปิด ปรับปรุงจากวิธีของ Anderson (1982) โดยดูดสารละลาย 1 M NaOH ใส่ในขวดแก้วที่มีความสูง 0.105 ม. วางขวดแก้วที่บรรจุ NaOH บนฐานรองที่มีความสูงจากพื้น 0.05 ม. ครอบด้วยถังพลาสติกที่หุ้มด้วยกระดาษฟลอยด์ซึ่งสูง 0.20 ม. และมีพื้นที่หน้าตัด 0.0283 ตร.ม. ดักจับ CO_2 เป็นเวลา 24 ชม. ทุกๆ 2 สัปดาห์ พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 0-10 ซม. และเก็บตัวอย่างดินมาหาความชื้น เปิดฝาครอบและนำขวดแก้วออก หยดด้วย 1 M $BaCl_2$ ทันทีจนเกิดตะกอน จากนั้นเติม phenolphthaline indicator 2-3 หยด จะเกิดสีชมพู ไทเทรต NaOH ที่เหลือด้วย 1M HCl จนถึงจุดยุติได้สารละลายขาวขุ่น และทำ Blank ควบคู่กันไป คำนวณ CO_2 ที่ดักจับได้ (mg CO_2 /m^2/d) ดังสมการ (1)

$$\text{mg } CO_2 /m^2/d \text{ or } C = (B\text{-}V) \times M \times E / \text{พื้นที่หน้าตัดของถังพลาสติกครอบ} \quad (1)$$

เมื่อ

B = ปริมาตรของ HCl (มล.) ที่ใช้ไทเทรตกับ NaOH ที่เป็น Blank จนถึงจุดยุติ

V = ปริมาตรของ HCl (มล.) ที่ใช้ไทเทรตกับ NaOH จากขวดที่ดักจับ CO_2 จนถึงจุดยุติ

M = ความเข้มข้นของ HCl ที่ใช้ไทเทรต

E = equivalent weight ถ้ารายงานผลเป็น CO_2, E = 22 และรายงานเป็น C, E = 6

4. ปริมาณคาร์บอนจากมวลชีวภาพที่ใส่ในพื้นที่

จากผลวิเคราะห์ฟางข้าวตามวิธีของ Tyurin (Japan Soil Association, 2000) ฟางข้าวมีคาร์บอน 43.5% ส่วนคาร์บอนในใบ+ต้น+เปลือกหุ้มฝักข้าวโพด และถั่วเขียว ใช้ค่าอ้างอิงตาม Ma *et al*. (2018) คือ คาร์บอน 42.3% และคาร์บอนที่ได้จากรากข้าวโพด และรากถั่วเขียว คำนวณ จาก 16% ของส่วนน้ำหนักเหนือดินของข้าวโพดและถั่วเขียว (Amos and Walters, 2006) คำนวณปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total C input : กก./ไร่/ปี) จากสมการ (2)

$$\text{Total C input} = \text{DW} \times \text{C content} \qquad (2)$$

เมื่อ

DW = น้ำหนักของมวลชีวภาพที่ใส่ในพื้นที่ (กก./ไร่/ปี)

C content = ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพ (%)

5. ปริมาณคาร์บอนในดินและอัตราการกักเก็บคาร์บอนในดิน

ปริมาณคาร์บอนในดิน 1 ไร่ (พื้นที่ = 1,600 ตร.ม.) ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และมีความหนาแน่นรวมของดิน 1.55 ก./ ลบ.ซม. (SOC stock; กก. C/ ไร่) คำนวณจาก

$$\text{SOC stock} = SOC_p \times \text{B.D.} \times \text{depth} \times 1{,}600\ m^2$$

เมื่อ

SOC_p = ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินในปีปัจจุบัน (ก. C/กก.)

B.D. = ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (ก./ลบ.ซม.)

Depth = ระดับความลึกดิน (ซม.)

อัตราการกักเก็บคาร์บอนในดิน (SOC sequestration rate หรือ change of SOC stock: กก.C/ไร่/ปี) คำนวณจาก (Thelen *et al.,* 2010) สมการ (3)

$$\text{SOC sequestration rate} = (SOC_p - SOC_i)/\text{duration year} \qquad (3)$$

เมื่อ

SOC_p = ปริมาณคาร์บอนในดินในปีสิ้นสุดการทดลอง (SOC stock; ตัน C/ไร่)

SOC_i = ปริมาณคาร์บอนในดินในปีเริ่มต้นการทดลอง (SOC stock;ตัน C/ไร่)

duration year = จำนวนปีที่ทำการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของดินและสภาพอากาศในพื้นที่ทดลอง

ดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ค่าความหนาแน่นรวมของดิน 1.55 ก./ซม.^{3} ปฏิกิริยาดินเป็นกรดอ่อน (pH 6.98) อินทรียวัตถุ 15.7 ก./กก. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 45 มก./กก. และโพแทสเซียมที่สกัดได้ 127 มก./กก. ดังนั้น อัตราปุ๋ยตามคำแนะนำคือ 15-5-5 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ โดยในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณน้ำฝนรวมมากสุด 1,459 มม. และในปี พ.ศ. 2562 มีปริมาณน้ำฝนรวมน้อยสุด 1,007 มม. ส่วนอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ในแต่ละปีไม่แตกต่างกัน สูงสุดเฉลี่ย 36.9 ºซ และต่ำสุดเฉลี่ย 22.2 ºซ.

2. การให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และถั่วเขียว

ผลของการจัดการดิน และปุ๋ยที่แตกต่างกัน พบว่า การใช้ฟางข้าวคลุมดิน (RS) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 556. กก./ไร่ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ (NoOM) (Table 2) ส่วนการไถพรวน (Till) ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 616.4 กก./ไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับการไม่ไถพรวน (No-till) เนื่องจากการไถพรวนช่วยคลุกเคล้าอินทรียวัตถุลงดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น ช่วยให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตดีและผลผลิตสูงขึ้น (Leghari *et al.*,2016) การใช้ปุ๋ยเคมี (Chem) ให้ผลผลิตสูงขึ้นเฉลี่ย 660 กก./ไร่ และสูงเป็น 2 เท่าของการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี (No-chem) ซึ่งสอดคล้องกับ Mahmood *et al.* (2017) ที่รายงานว่าปุ๋ยเคมีสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต เนื่องจากพืชได้รับธาตุอาหารมากกว่าจึงทำให้ข้าวโพดมีชีวมวลและผลผลิตสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ. 2560 และ 2561 เกิดสภาวะฝนทิ้งช่วงส่งผลให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีผลผลิตต่ำ ดังนั้น ถ้าต้องการให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดี นอกจากการไถพรวนดิน และใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมแล้ว ควรใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดินร่วมด้วย เพื่อช่วยรักษาความชื้นของดิน และเมื่อวัสดุอินทรีย์ย่อยสลายยังเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินอีกทางหนึ่ง

สำหรับผลผลิตของถั่วเขียวที่ปลูกเป็นพืชตามหลังข้าวโพด พบว่า ผลตกค้างจากการใช้ฟางข้าวคลุมดิน ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 140 กก./ไร่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับไม่ใช้วัสดุอินทรีย์ (Table 3) ส่วนการไถพรวน และการไม่ไถพรวนไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ผลตกค้างของการใช้ปุ๋ยเคมี ยังส่งผลให้ถั่วเขียวมีผลผลิตเฉลี่ย 140 กก./ไร่ สูงกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี ขณะที่ในปี พ.ศ. 2562 ถั่วเขียวให้ผลผลิตต่ำมากในทุกกรรมวิธี ทั้งนี้ เนื่องมาจากการระบาดของแมลงตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ถั่วเขียวมีการเจริญเติบโตไม่ดี

3. การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

การปล่อย CO_2 จากผิวดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตามด้วยถั่วเขียว และช่วงพักดินที่ไม่มีการปลูกพืช พบว่า การใช้ฟางข้าวคลุมดินปล่อย CO_2 จากผิวดินในแต่ละปีไม่แตกต่างจากไม่ใช้วัสดุอินทรีย์เฉลี่ย 3.30-3.39 ตัน CO_2 /ไร่/ปี หรือเทียบเท่าปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไปจากพื้นที่ 899-923 กก.C /ไร่/ปี (Figure 1, Table 4) แต่สถาพร และคณะ (2556) รายงานว่า การนำตอซังข้าวโพดออกจากพื้นที่ ส่งเสริมให้มีการปล่อย CO_2 จากผิวดิน 1.99-3.29 ตัน CO_2 /ไร่/ปี มากกว่าการไถกลบตอซังข้าวโพด (0.48-2.67 ตัน CO_2 /ไร่/ปี) สำหรับการไถพรวน และการไม่ไถพรวน มีการปล่อย CO_2 จากผิวดินไม่แตกต่างกัน เฉลี่ย 3.34 ตัน CO_2 /ไร่/ปี เทียบเท่าปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไป

Table 2 Maize yield at Lopburi Plant Seed Research and Development Center during 2017-2020

Treatments	Maize yield (kg /rai), 15% moisture				Average
	2017	2018	2019	2020	
No-chem, NoOM, Till	332 cd	348.4 c	504.2 c	564.3 b	437.4 c
No-chem, NoOM, No-till	65.9 e	95.1 d	94.6 d	168.8 c	106.1 d
No-chem, RS, Till	501.3 bc	608.9 ab	660.8 ab	615.6 b	596.7 ab
No-chem, RS, 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, RS, Till	569.4 ab	637.6 ab	83.5 a	899.7 a	722.5 a
Chem, RS, 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
RS	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 **
No-chem	279.7	331.9	346.9	395.9	338.6
Chem	596.8 **	590.8 **	689.8 **	765.8 **	660.8 **

Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

ns: non-significant, **: significant at 1% level, *: significant at 5% level

Table 3 Mung bean yield at Lopburi Plant Seed Research and Development Center during 2017-2020

Treatments	Mung bean yield (kg /rai), 11% moisture			Average
	2017	2018	2019	
No-chem, NoOM, Till	110.2 bc	92.3 b	81.8	97.8 c
No-chem, NoOM, No-till	104.3 c	118.7 ab	55.0	92.7 c
No-chem, RS, Till	185.9 a	147.1 ab	64.0	132.4 ab
No-chem, RS, 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, RS, Till	183.3 a	155.2 a	71.9	136.8 ab
Chem, RS, 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
Rs	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
No-chem	145.2	126.8	67.1	113.0
Chem	195.1 *	141.8 ns	83.3 ns	140.0 **

Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

ns: non-significant, **: significant at 1% level, *: significant at 5% level

จากพื้นที่ 911.5 กก.C /ไร่/ปี เนื่องจากปริมาณฝนน้อย ความชื้นในดินต่ำ (Figure 1B) และอุณหภูมิของดินสูง (Figure 1C) จึงเกิด mineralization และการออกซิเดชันของอินทรียวัตถุในดินต่ำ (Hazra *et al*., 2019) นอกจากนี้ ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีมีการปล่อย CO_2 จากผิวดิน 3.17 ตัน CO_2 /ไร่/ปี ซึ่งต่ำกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี คิดเป็นปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไป 957.5 กก.C/ไร่/ปี การปล่อย CO_2 จากผิวดินนี้มีค่าต่ำกว่า ศุภกาญจน์ และคณะ (2560) และ Matsumoto *et al.* (2008) ทั้งนี้ การปล่อย CO_2 ในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเนื้อดิน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน อุณหภูมิ ความชื้น ชนิดพืช หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยปริมาณการปล่อย CO_2 ที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน จะเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณเมื่ออุณหภูมิของดินเพิ่มขึ้น (Limin *et al*., 2015)

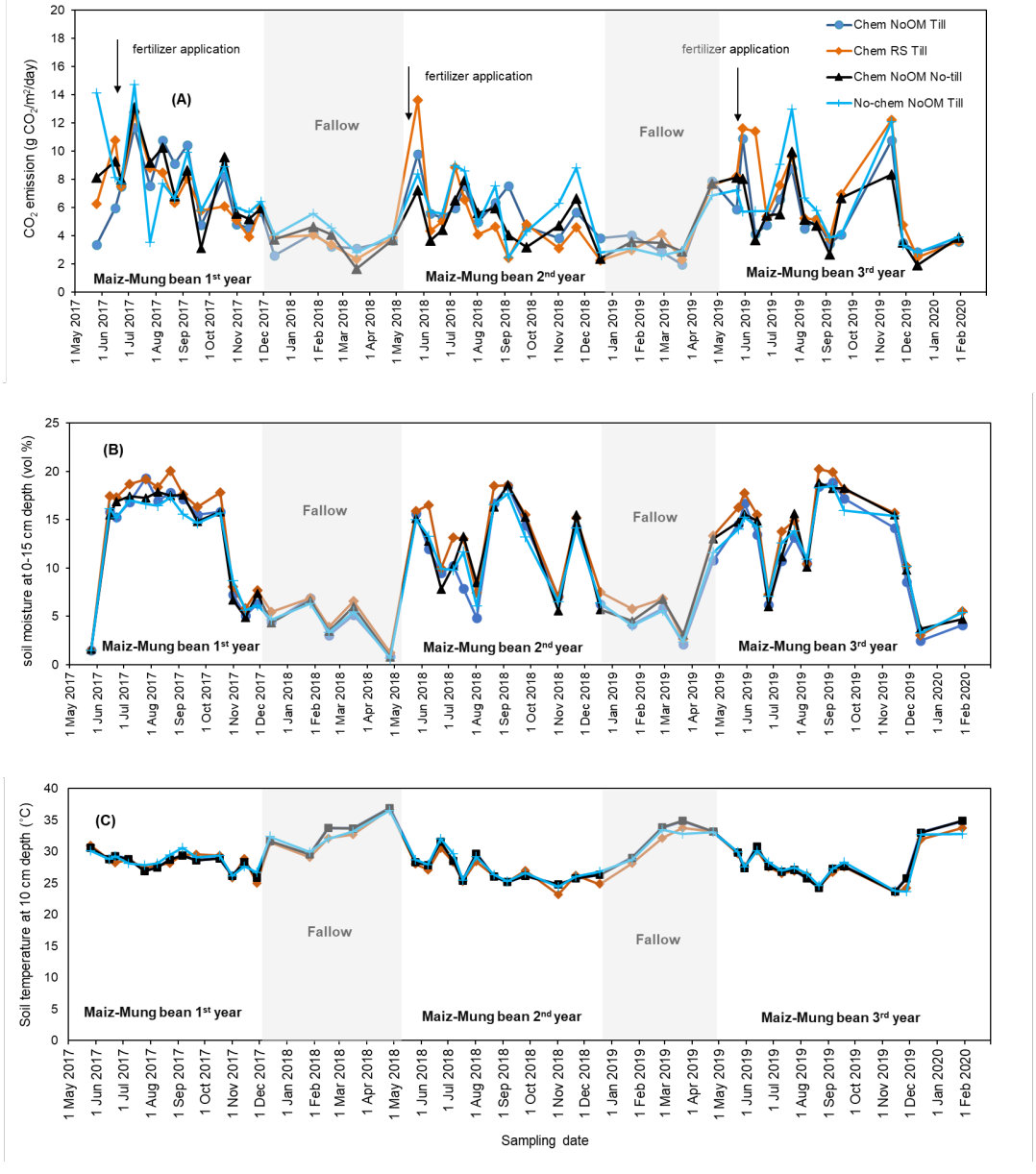

Figure 1 Amount of CO_2 emission from the soil surface (A), soil moisture (B), and soil temperature (C) from May 2017 to February 2020 at Lopburi Plant Seed Research and Development Center

Table 4 Amount of CO_2 emission from the soil surface in maize-mung bean cultivation from May 2017 to February 2020 at Lopburi Plant Seed Research and Development Center

Treatments	CO_2 emission (g CO_2 /m^2 / day)	CO_2 emission from the soil surface (t CO_2 /rai/ year)			Average (t CO_2 /rai/year)	C loss from soil * (kg C-CO_2/rai/year)
		2017-18	2018-19	2019-20		
1. No-chem, 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
2. No-chem, 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
3. No-chem, RS, 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
4. No-chem, RS, 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
5. 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
6. 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
7. Chem, RS, 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
8. Chem, RS 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
RS	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
NO-chem	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: * C loss from decomposes SOC by soil fauna and root respiration (CO_2 emission from the soil surface)

4. ผลของการจัดการดินและปุ๋ยต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนอินทรีย์ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ถึง 2563 พบว่า **การใช้ฟางข้าวคลุมดิน**มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์จากเศษซากข้าวโพด เศษซากถั่วเขียว ส่วนราก และจากฟางข้าวคืนกลับลงในดินเฉลี่ย 719.5, 432.8; 69.2 และ 217.5 กก.C/ไร่/ปี ตามลำดับ มากกว่ากรรมวิธี**ไม่ใช้วัสดุอินทรีย์**ถึง 2 เท่า จึงส่งผลให้วิธี**การใช้ฟางข้าวคลุมดิน**มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สะสมในดินสูง 0.49 ตัน C/ไร่ แต่อัตราการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่า ลดลงเหลือ 53 กก.C/ไร่/ปี (Table 5) เนื่องจากการเติมวัสดุอินทรีย์ใหม่เข้าไปในดิน จะไปเร่งอัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน (Nottingham *et al.,* 2015) นอกจากนี้ Shirato *et al.* (2005) ยังพบว่า ดินในเขตร้อนที่มีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบต่ำ มีอัตราการสะสมคาร์บอนตั้งแต่ -0.64 ถึง +0.64 ตัน C/ไร่ โดยมีการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน 1.6-2.9 ตัน C/ไร่ และค่อนข้างมีความแปรปรวน ซึ่งขัดแย้งกับ Sugino *et al.* (2013) ที่รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนอินทรีย์ในดินช่วงระยะเวลา 25 ปี จากการใช้ฟางข้าวคลุมดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย พบการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดินต่ำอยู่ในช่วง 16-32 กก.C/ไร่/ปี และเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Matsumoto *et al.* (2021) ที่รายงานว่า การใช้ฟางข้าวคลุมดินในระยะเวลา 5 ปี เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินประมาณ 62 กก.C/ไร่/ปี **เมื่อพิจารณาถึงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่**

Table 5 Carbon balance on a maize-mung bean field at Lopburi Plant Seed Research and Development Center from 2017 to 2020

Treatments	Average of SOC content (g C /kg)	Average of SOC stock (t C /rai)	Change of SOC stock (kg C /rai/year)	C input to soil (kg C /rai/year)				Conversion rate of 1/total C input to SOC stock change	Average of C loss from soil (kg C- CO2/ rai/year)
				Stems and leaves	Root	Rice straw	Total		
No-chem, 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
No-chem, 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
No-chem, RS, 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
No-chem, RS, 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, RS, 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, RS, 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
RS	8.07 **	3.01**	-53 ns	432.8 **	69.2 **	217.5	719.5 **	-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
No-chem	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

Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

ns: not significant, **: significant at 1% level, *: significant at 5% level

[1/]Conversion rate = Change of SOC stock / Total C input to soil

ใส่ลงไปในดินต่ออัตราการเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนที่กักเก็บในดิน พบว่า การใช้ฟางข้าวคลุมดิน และการไม่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเป็นลบ คือ -0.077 และ -0.152 ตามลำดับ (Table 5) สอดคล้องกับ Fujisaki *et al.* (2018) ที่พบว่าปริมาณวัสดุอินทรีย์ที่คืนกลับลงไปในดินมีปริมาณน้อยกว่าการสูญหายของคาร์บอนออกไปจากดินในรูปของ CO_2 (923.7 กก.C-CO_2/ไร่/ปี) บ่งบอกถึงอัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินสูง และมีการหมุนเวียนของคาร์บอนอินทรีย์ในดินค่อนข้างเร็ว ส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนอินทรีย์ในดินต่ำหรือไม่เพิ่มขึ้น ดังนั้น เพื่อรักษาหรือเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณวัสดุอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินควรมากกว่าอัตราการสลายตัว หากน้อยกว่าอินทรียวัตถุในดินก็จะค่อย ๆ ลดลงไปเรื่อย ๆ (ยงยุทธ, 2557) สำหรับวิธีการไถพรวนและไม่ไถพรวน ไม่ส่งผลให้การสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน และการเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินต่ออัตราการเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนที่กักเก็บในดินไม่แตกต่างกัน ถึงแม้วิธีการไถพรวนจะมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (649 กก.C/ไร่/ปี) คืนกลับลงดินมากกว่าวิธีการไม่ไถพรวน (Table 5) ในทางตรงข้าม อัตราการเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนอินทรีย์สะสมในดินเป็นลบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนในพื้นที่พบว่า วิธีการไถพรวน และไม่ไถพรวนมีค่าติดลบ หรือการกักเก็บคาร์บอนในดินลดลง 39 และ 58 กก.C/ไร่/ปี ตามลำดับ แต่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Matsumoto *et al*. (2008) การไม่ไถพรวนเป็นระยะเวลา 5 ปี เพิ่มการเก็บคาร์บอนในดินได้ 0.23 กก.C/ไร่/ปี สูงกว่าการไถพรวน แต่วิธีการไม่ไถพรวนในการทดลองครั้งนี้ ไม่สามารถเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน

ส่วนวิธีการใส่ และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ไม่ส่งผลให้การสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน (Table 5) เฉลี่ย 2.74-2.78 ตัน C/ไร่ แม้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมี มีคาร์บอนอินทรีย์จากเศษซากพืช (681.4 กก.C/ไร่/ปี) คืนกลับลงดินในปริมาณมากกว่าก็ตาม แต่การเปลี่ยนของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดิน ต่ออัตราการเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนที่กักเก็บในดินมีอัตราต่ำมาก (-0.088) แสดงว่า ปุ๋ยเคมีไปเร่งอัตราการย่อยสลายของเศษซากพืชและอินทรียวัตถุในดิน ส่งผลให้สูญเสียคาร์บอน 65 กก.C/ไร่/ปี สอดคล้องกับ Biederman and Harpole (2013) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้คาร์บอนทั้งหมดในดินลดลง ขณะที่ Minasny *et al*. (2017) รายงานว่า ถึงแม้การใส่ปุ๋ยเคมีจะเพิ่มอัตราการกักเก็บคาร์บอนในดิน แต่อัตราการกักเก็บคาร์บอนในดินที่ลดลงอาจจะเนื่องมาจากธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีไปเพิ่มมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน เมื่อจุลินทรีย์เจริญเติบโตดีและมีความต้องการอาหารเพิ่ม จึงใช้อินทรียวัตถุในดินมาเป็นแหล่งอาหาร ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเคมีจึงเป็นตัวเร่งอัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินโดยอ้อม เพื่อเป็นการรักษาอินทรียวัตถุในดิน จึงควรเลือกใช้วัสดุอินทรีย์ที่ช่วยเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดี ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ยาก เช่น ถ่านชาร์ (biochar) นอกจากนี้การใส่ถ่านชาร์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมียังสามารถเพิ่มการเติบโตของพืชและผลผลิตพืชได้ (Christopher *et al*., 2010) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงพลวัตของคาร์บอนในดินเขตร้อนตามคุณสมบัติของดินที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ภายใต้ระบบการปลูกพืชที่ไม่มีการไถพรวน และการใช้ปุ๋ยเคมี

สรุปผลการทดลอง

ผลของการจัดการดินโดยใช้ฟางข้าวคลุมดิน การไถพรวน และการใช้ปุ๋ยเคมี ไม่ส่งผลให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินแตกต่างกัน การใช้ปุ๋ยเคมียังช่วยเพิ่มมวลชีวภาพของข้าวโพด จึงสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ลงไปในดินจากเศษซากข้าวโพดได้มากกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยเคมี แต่ปริมาณการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดินไม่ได้เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการไถพรวน และไม่ไถพรวนที่ปริมาณการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดินไม่แตกต่างกัน และพบว่าการเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินต่ออัตราการเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนอินทรีย์ที่กักเก็บไว้ในดินต่ำ ดังนั้น การใส่วัสดุอินทรีย์ลงไปในดินเขตร้อนจึงควรมีปริมาณมากกว่าอัตราการสลายตัว เนื่องจากอินทรียวัตถุมีการย่อยสลายตามธรรมชาติ หากปริมาณการย่อยสลายในแต่ละปีสูงกว่าปริมาณที่กลับคืนลงไปทดแทน ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะลดลงไปเรื่อย ๆ

เอกสารอ้างอิง

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

ยงยุทธ โอสถสภา. 2557. คุณภาพดินและสุขภาพดิน. หน้า 74-96. *ใน: คุณภาพดินเพื่อการเกษตร.* สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย. 248 หน้า.

สถาพร ใจอารีย์ กิตติมา ศิวอาทิตย์กุล และชินพัฒน์ธนา สุขวิบูลย์. 2556. พลวัตของคาร์บอนในดินภายใต้การไถกลบตอซังข้าวโพดของประเทศไทย. *ว. อนุรักษ์ดินและน้ำ.* 28(3): 20-31.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี วนิดา โนบรรเทา ดาวรุ่ง คงเทียน สุทัศนีย์ วงศ์ศุปไทย ศรีสุดา ทิพยรักษ์ ชยันต์ ภักดีไทย วัลลีย์ อมรพล พรพรรณ สุทธิแย้ม กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ สมควร คล้องช้าง และคณะ. 2560. การสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกพืชไร่

และพืชทดแทนพลังงาน. *รายงานโครงการวิจัยสิ้นสุดประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560* กรมวิชาการเกษตร. 122 หน้า.

Amos, B. and D.T. Walters. 2006. Maize root biomass and net rhizodeposited carbon: An analysis of the literature. *Soil Sci. Soc. Amer.* 70(5): 1489-1503.

Anderson, J.P.E., A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. Soil Respiration. pp 831-871. ***In:*** Page, A.L., Ed., Methods of Soil Analysis, Part 2 (2nd). ASA and SSSA, Madison.

Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald and N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil*. 337:1–18.

Biederman, L.A. and W.S. Harpole. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. *GCB Bioen*. 5: 202-214.

Fujisaki, K., T. Chevallier, L. Chapuis-Lardy, A. Alain, T. Razafimbelo, D. Masse, Y. Ndour and J.L. Chotte. 2018. Soil carbon stock changes in Tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: A synthesis. *Agri. Eco. Envi*. 259: 147-158.

Ghimire, R., S. Lamichhane, B.S. Acharya, P. Bista and U.M. Sainju. 2017. Tillage, crop residue, and nutrient management effects on soil organic carbon in rice-based cropping system: A review. *Integ. Agri.* 16 (1):1-15.

Hazra, K.K., C.P. Nath, U. Singh, C.S. Praharaj, N. Kumar, S.S. Singh and N.P. Singh. 2019. Diversification of maize-wheat cropping system with legumes and integrated nutrient management increase soil aggregation and carbon sequestration. *Geod.* 353: 308-319.

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

Jarecki, M.K. and R. Lal. 2003. Crop management for soil carbon sequestration. Crit. Rev. Plant Sci. 22(6): 471-502.

Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22(2): 151-184.

Leghari, N., A.Q. Mughal, K.Q. Leghari, W. Farhad, M.S. Mirjat and H.M. Hammad. 2016. Effect of various tillage practices on soil properties and maize growth. *Pak. J. Bot.* 48(3): 1173-1182.

Limin, A., M. Shimizu, M. Mano, K. On, A. Miyata, H. Wada, H. Nozaki and R. Hatano. 2015. Manure application has an effect on the carbon budget of a managed grassland in southern Hokkaido, Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.* 61(5): 856–872.

Ma, S., F. He, D. Tian, D. Zou, Z. Yan, Y. Yang, T. Zhou, K. Hung, H. Shen and J. Fang. 2018. Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis. *Biogeo*.15: 693-702.

Mahmood, F., I. Khan, U. Ashraf, T. Shahzad, S. Hussain, M. Shahid, M. Abid and S. Ullah. 2017. Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Soil Sci. Plant Nutr*. 17(1): 22-32.

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 Sci. Plant Nutr*. 54(2): 77-288.

Matsumoto, N., W. Nobuntou, N. Punlai, T. Sugino, P. Rujikun, S. Luanmanee and K. Kawamura. 2021. Soil carbon sequestration on a maize-mung bean field with rice straw mulch, no-tillage, and chemical fertilizer application in Thailand from 2011 to 2015. *Soil Sci. Plant Nutr*. 67(2): 190-196.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982.Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. pp. 595-579. *In*: *Method of soil analysis, part 2*. Chemical and Microbiology Properties. (2 nds) ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Nottingham, A.T., B.L. Turner, A.W. Stott and E.V. Tanner. 2015. Nitrogen and phosphorus constrain labile and stable carbon turnover in lowland tropical forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 80: 26-33.

Parihar, C.M., M.D. Parihar, T.B. Sapkota, R.K. Nanwal, A.K. Singh, S.L. Jat, H.S. Nayak, D.M. Mahala, L.K. Singh, S.K. Kakraliya, et al. 2018. Long-term impact of conservation agriculture and diversified maize rotations on carbon pools and stocks, mineral nitrogen fractions, and nitrous oxide fluxes in Inceptisol of India. *Sci. Total. Environ.* 640-641: 1382-1392.

Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods. Inkarta Press, Melbourne, Australia. 330 p.

Shirato, Y., K. Paisancharoen, P. Sangtong, C. Nakviro, M. Yokozawa and N. Matsumoto. 2005. Testing the Rothamsted Carbon Model against data from long-term experiments on upland soils in Thailand. *Eur, J. Soil Sci.* 56(2): 179-188.

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 areas of Thailand. *Int. Soil Water Conserv. Res*. 1(3): 29-36.

Thelen, K.D., B.E. Fronning, A. Kravchenko, D.H. Min and G.P. Robertson. 2010. Integrating livestock manure with a corn-soybean bioenergy cropping systems improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biom.-Bioen*. 34: 960-966.