

# อินทรีย์คาร์บอนของเม็ดดินที่ก่อให้เกิดก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในดินนา

## Organic Carbon in Soil Aggregates Induces Methane and Carbon Dioxide Formation in Paddy Soils

วุฒิ ศรีวิชัย<sup>1</sup> ดวงสมร ตูลาพิทักษ์<sup>2</sup> พฤกษา หล้าวงษา<sup>1,3</sup> และ พัชรี แสนจันทร์<sup>1,3\*</sup>

Wut Sriwichai<sup>1</sup>, Daungsamorn Tulaphitak<sup>2</sup>, Phrueksa Lawongsa<sup>1,3</sup> and Patcharee Saenjan<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

<sup>1</sup>Department of Soil Science and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

<sup>2</sup>ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

<sup>2</sup>Agricultural Development and Research Center in Northeast Thailand, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

<sup>3</sup>กลุ่มวิจัยอินทรีย์วัตถุของดิน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

<sup>3</sup>Soil Organic Matter Management Research Group, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

\*Corresponding author: Email: patsae1@kku.ac.th

(Received: 28 November 2017; Accepted: 30 May 2018)

**Abstract:** The objective of this study was to determine organic carbon types and soil aggregate sizes Induce in methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) formation in paddy soils. Loam and sandy loam soil were studied. Each soil was separated into 6 aggregate-size fractions : <4 mm (bulk soil), 4-2 mm (large macro-aggregate, LMa), 2-1 mm (medium macro-aggregate, MMA), 1-0.25 mm (small macro-aggregate, SMA), 0.25-0.053 mm (micro-aggregate, Mi) and <0.053 mm (fine micro-aggregate, FMi). Each aggregate fraction was uncrushed and crushed. Soil organic carbon (SOC) and labile organic carbon (LOC) content as well as non-LOC:SOC ratio were determined. Each soil-aggregate fraction (uncrushed and crushed) was anaerobically incubated for 14 days and measured for CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> production potential. The results found that LOC was more suitable source of SOC induced for CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> production potential than non-LOC was. Average LOC contents of loam and sandy loam were 0.78 mg/kg and 0.70 mg/kg, while average non-LOC:SOC ratio were 0.94 and 0.90, respectively. LOC content and non-LOC:SOC ratio of loam were significantly more than those of sandy loam. In loam soil, CH<sub>4</sub> formation locations were founded a lot in aggregate sizes of 2-1 mm followed by 1-0.25 mm and 4-2 mm, while in sandy loam soil was in 2-1 mm. CO<sub>2</sub> formation of loam soil was located more in aggregate size of 2-1 mm, while of sandy loam soil were 2-1 mm, <0.053 mm and 1-0.25 mm.

**Keywords:** Soil organic carbon, methane, carbon dioxide, soil aggregate

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของอินทรีย์คาร์บอนในดินและขนาดเม็ดดินที่ก่อให้เกิดก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในดินนา โดยทำการศึกษากับดินร่วนและดินร่วนปนทรายที่ถูกแยกออกเป็น 6 กลุ่มขนาดเม็ดดิน <4 มม. (bulk soil), 4-2 มม. (large macroaggregate, LMa), 2-1 มม. (medium macroaggregate, MMa), 1-0.25 มม. (small macroaggregate, SMa), 0.25-0.053 มม. (microaggregate, Mi) และ <0.053 มม. (fine microaggregate, FMi) ซึ่งแต่ละกลุ่มขนาดนั้นทั้งไม่ถูกบด (uncrushed) และที่ถูกบด (crushed) วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) แต่ละเนื้อดินมี 12 ดำรับทดลอง ทำ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) อินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายง่าย (LOC) และสัดส่วนคาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (non-LOC:SOC) แล้วทำการบ่มดินในสภาพไร้ออกซิเจน นาน 14 วัน และวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ผลการทดลองพบว่าสาร LOC เป็นแหล่งของอินทรีย์คาร์บอนที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  มากกว่าสาร non-LOC ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ค่าเฉลี่ยปริมาณ LOC ของดินร่วนและดินร่วนปนทรายมีค่า 0.78 มก./กก. และ 0.70 มก./กก. และมีค่าเฉลี่ยสัดส่วน non-LOC:SOC 0.94 และ 0.90 ตามลำดับ โดยที่ดินร่วนมีปริมาณ LOC และสัดส่วน non-LOC:SOC มากกว่าของดินร่วนปนทราย ตำแหน่งของการเกิดก๊าซ  $\text{CH}_4$  ในดินร่วนเกิดมากที่สุดที่เม็ดดินขนาด 2-1 มม. ตามด้วยเม็ดดินขนาด 1-0.25 มม. และ 4-2 มม. ส่วนในดินร่วนปนทรายก๊าซ  $\text{CH}_4$  เกิดมากที่สุดที่เม็ดดินขนาด 2-1 มม. ในขณะที่การเกิดก๊าซ  $\text{CO}_2$  ของดินร่วนเกิดมากที่สุดที่เม็ดดินขนาด 2-1 มม. ส่วนของดินร่วนปนทรายก๊าซ  $\text{CO}_2$  เกิดมากที่สุดที่เม็ดดินขนาด 2-1 มม. ตามด้วยเม็ดดินขนาด <0.053 มม. และ 1-0.25 มม.

**คำสำคัญ:** อินทรีย์คาร์บอนในดิน มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เม็ดดิน

## คำนำ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากดินเกษตรกรรมมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Smith *et al.*, 2008) ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ คือ มีเทน ( $\text{CH}_4$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ซึ่งก๊าซ  $\text{CH}_4$  มีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่า  $\text{CO}_2$  ถึง 25 เท่า (Ali *et al.*, 2015) ในปี ค.ศ. 2005 ก๊าซ  $\text{CH}_4$  ถูกปลดปล่อยจากนาข้าวทั่วโลกประมาณ 25.6 ล้านตัน/ปี (IPCC, 2007) พัทรี และคณะ (2558) รายงานว่าปริมาณก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ที่ปล่อยจากดินนา ร่วนมีมากถึง 0.76 และ 4.01 ตันคาร์บอน/เฮกแตร์/ฤดูปลูก

ดินประกอบด้วยเม็ดดินขนาดต่าง ๆ และอินทรีย์วัตถุในดิน ขนาดของเม็ดดินจะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างของช่องว่างภายในดิน โดยทั่วไปดินเนื้อหยาบจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon, SOC) ต่ำกว่าในดินเนื้อละเอียด (Mangalassery *et al.*, 2013) ซึ่ง SOC ประกอบด้วยอินทรีย์คาร์บอนสองชนิด

ได้แก่ อินทรีย์คาร์บอนที่สลายง่าย (labile organic carbon, LOC) อาทิ โพลีแซคคาไรด์ (Yang *et al.*, 2017) และสารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยาก (non labile organic carbon, non-LOC) อาทิ ซิวมีส (ชาลยูยุทธ และคณะ, 2560; Hobley *et al.*, 2016) ปริมาณ SOC จะขึ้นอยู่กับประเภทของเนื้อดินและขนาดของเม็ดดิน นอกจากนั้นขนาดของเม็ดดิน (aggregate size) ยังบ่งชี้ถึงตำแหน่ง (location) ของการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งเม็ดดินที่มีขนาดต่างกันจะสะสม SOC ในปริมาณต่างกัน (Fernandez *et al.*, 2010; Helgason *et al.*, 2010) โดยที่ดินเนื้อละเอียดมีแนวโน้มที่จะสร้างเม็ดดินขนาดเล็กที่เสถียร (stable microaggregates) ขณะเดียวกัน SOC จะถูกกักเก็บอยู่ภายในเม็ดดินทำให้ถูกปกป้องได้ง่ายกว่าในดินเนื้อหยาบที่มีแนวโน้มสร้างเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggregate) (Puttaso *et al.*, 2013) ทำให้ขนาดของเม็ดดินมีอิทธิพลต่อปริมาณการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอน ในขณะที่เดียวกัน SOC เป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  (พัทรี และคณะ, 2558; Ro *et al.*, 2011) เม็ดดินจึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากดิน Mangalassery *et al.*

(2013) รายงานว่าการปล่อยก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  (emission) ในดินเนื้อละเอียดจะน้อยกว่าในดินเนื้อหยาบ แม้ว่าดินเนื้อละเอียดจะมีปริมาณ SOC มากกว่าก็ตาม แต่สำหรับก๊าซ  $\text{CO}_2$  ซึ่งปล่อยออกมากในดินเนื้อหยาบนั้น พบว่าปล่อยออกปริมาณมากมาจากเม็ดดินขนาดใหญ่

SOC นั้นประกอบด้วย LOC และ non-LOC ซึ่งปริมาณของ SOC, LOC และ non-LOC คาดว่าน่าจะมีผลต่อการผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ในดินนา ในขณะที่ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของเม็ดดินที่ได้จากการแยกกลุ่มขนาดเม็ดดินต่อปริมาณของ SOC, LOC, non-LOC และการผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ยังมีข้อมูลน้อยมาก การแยกกลุ่มขนาดเม็ดดินจะทำให้ทราบถึงตำแหน่งของการผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ในดิน ในขณะที่เดียวกันไม่พบข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของ SOC, LOC และ non-LOC ของเม็ดดินขนาดต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อตำแหน่งและปริมาณการผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ในดินนาของประเทศไทย

อย่างไรก็ตามในดินโดยทั่วไปจะมี SOC, LOC และ non-LOC เป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งอยู่ตามบริเวณผิวของเม็ดดิน ที่ถูกกักเก็บอยู่ระหว่างอนุภาคดินภายในเม็ดดิน และที่ถูกกักเก็บอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ในทางทฤษฎีการบด (crushing) เม็ดดินจะทำให้ได้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ถูกกักเก็บอยู่ระหว่างอนุภาคดินภายในเม็ดดินและส่วนที่ถูกกักเก็บอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเม็ดดินแสดงออกมาได้ให้ใกล้เคียงกับปริมาณจริง หากบดเม็ดดินที่บดจะทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าถึงและใช้ประโยชน์จากอินทรีย์คาร์บอนเหล่านั้นเพื่อผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ได้ง่ายขึ้น สมมุติฐานของการไม่บดและการบดเม็ดดินทำให้ได้ปริมาณ SOC, LOC และ non-LOC ต่างกัน และทำให้มีผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ต่างกัน อันจะนำไปสู่ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้สารอาหาร (substrate) ที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ดังนั้นจึงต้องทำการแยกกลุ่มขนาดเม็ดดิน (soil-aggregate-size fraction) ทำการบดเม็ดดินของกลุ่มขนาดต่าง ๆ และทำการบดเม็ดดินเหล่านั้นควบคู่ไปกับการบดของเม็ดดินที่ไม่บด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของอินทรีย์

คาร์บอนในดินรวมถึงกลุ่มขนาดเม็ดดินที่ก่อให้เกิดก๊าซ  $\text{CH}_4$  และ  $\text{CO}_2$  ในดินนา

## อุปกรณ์และวิธีการ

### ตัวอย่างดินที่ศึกษาและการแยกกลุ่มขนาดเม็ดดิน

เก็บ ตัวอย่างดินนาเนื้อดินร่วน (loam, Ratchaburi soil series, Rb) และดินนา ร่วนปนทราย (sandy loam, Ubon soil series, Ub) ที่แปลงนาเกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น ที่ความลึก 0-15 ซม. ผึ่งในที่ร่มแล้ว ร่อนผ่านตะแกรงรูขนาด 4 มม. นำดินทั้งสองเนื้อดินมาทำการแยกกลุ่มขนาด (aggregate size fraction) โดยซังดินขนาด <4 มม. (bulk soil) จำนวน 100 ก. มาแยกกลุ่มขนาดเม็ดดินด้วยวิธี dry sieving โดยใช้เครื่องเขย่า W.S. Tyler RX-29-10 Ro-Tap Shaker 1,450 รอบ/นาที นาน 2 นาที แยกออกเป็นกลุ่มเม็ดดิน ได้แก่ ขนาด 4-2 มม. (L<sub>Ma</sub>), 2-1 มม. (M<sub>Ma</sub>), 1-0.25 มม. (S<sub>Ma</sub>), 0.25-0.053 มม. (M<sub>i</sub>) และ < 0.053 มม. (F<sub>Mi</sub>) (ดัดแปลงจาก Demirel and Scherer, 2008; Mangalassery *et al.*, 2013; Puttaso *et al.*, 2013; Zheng *et al.*, 2007)

ดำเนินการทดลองประกอบด้วย 2 การทดลองย่อยกับดิน 2 เนื้อดินคือ ดินร่วนและดินร่วนปนทราย โดยของแต่ละดินได้ทำการบดตัวอย่างเม็ดดินกลุ่มขนาดต่าง ๆ ที่ไม่บด (uncrushed) และขณะเดียวกันทำการบดเม็ดดินของกลุ่มขนาดต่าง ๆ ที่ถูกบด (crushed) ไปพร้อมกัน วางแผนการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (CRD) ทำการบดตัวรับละ 3 ซ้ำ แต่ละการทดลองย่อยมี 12 ตัวรับจำนวน 36 ชุด รวมทั้งการทดลองมีทั้งหมด 72 ชุด

ส่วนการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) (Baver *et al.*, 1972) เนื้อดิน (soil texture) โดยวิธี Bouyoucos hydrometer ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH 1:5 H<sub>2</sub>O) โดยวิธี pH meter (Mc Lean, 1982) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon, SOC) โดยวิธี dichromate oxidation (Walkley and Black, 1934) ขณะที่การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเม็ดดินกลุ่มขนาดต่าง ๆ นั้น ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ SOC, ปริมาณ

อินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายง่าย (labile organic carbon, LOC) โดยวิธี permanganate oxidation (Moody and Cong, 2008) ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายยาก (non labile organic carbon, non-LOC) คำนวณจาก ปริมาณ SOC ลบด้วยปริมาณ LOC และคำนวณหาสัดส่วนของ non-LOC:SOC ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกกักเก็บ อาทิ SOC, LOC และ non-LOC ในเม็ดดินแต่ละกลุ่มขนาด จึงทำการวิเคราะห์ปริมาณ SOC และ LOC ในเม็ดดินกลุ่มขนาดต่าง ๆ ที่ไม่บดและที่บด ส่วนปริมาณ non-LOC คำนวณในสัดส่วน non-LOC:SOC จากสมการ 
$$=(SOC-LOC)/SOC$$

### การบ่มดินและการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซ

ซึ่งตัวอย่างเม็ดดินแต่ละกลุ่มขนาดประกอบด้วย เม็ดดินรวม (<4 มม., bulk soil) และเม็ดดิน 5 กลุ่มขนาด น้ำหนัก 2.5 ก. ลงในขวดแก้วทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.04 ม. สูง 0.06 ม. เติมน้ำปราศจากไอออน (DI) 3 มล. เขย่าสารละลายดินด้วยเครื่อง vertex shaker 50 รอบ/นาที นาน 30 วินาที เพื่อไลฟองอากาศในสารละลายดิน ขณะเดียวกันใช้ก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$  99.99%) ไล่อากาศในขวดเพื่อให้อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic) ปิดปากขวดด้วยจุกยางและล็อกปากขวดด้วยอะลูมิเนียมแคป บ่มตัวอย่างสารละลายดินในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิเฉลี่ย 34 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน

การวิเคราะห์ก๊าซ  $CH_4$  และ  $CO_2$  เก็บตัวอย่างก๊าซด้วย syringe ขนาด 1 มล. โดยดูดตัวอย่างอากาศในช่องว่าง (head space) ของขวดบ่ม นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นก๊าซ  $CH_4$  และ  $CO_2$  ด้วยเครื่อง gas chromatograph (GC) (Shimadzu, GC-2014, Japan) และคำนวณหาศักยภาพการผลิตก๊าซ  $CH_4$  และ  $CO_2$  (production potential, E) ในหน่วย มก./กก.ดิน/14 วัน โดยใช้วิธีการของ Saenjan *et al.* (2015) ด้วยสมการ  $E = \{C \times V_b \times (M_w/M_v) \times 273.2 / (273.2 + T)\} \times (1000/2.5)$  เมื่อ C = ความเข้มข้นของก๊าซ  $CH_4$  และ  $CO_2$  (พีพีเอม

หรือ ไมโครโมล/มิล);  $V_b$  = ปริมาตรของช่องว่างในขวดบ่ม (ลบ.ม.);  $M_w$  = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ  $CH_4$  16.123 ก./มิล และ  $CO_2$  44.01 ก./มิล;  $M_v$  = ปริมาตรโมเลกุลของก๊าซ  $CH_4$  และ  $CO_2$   $22.41 \times 10^{-3}$  ลบ.ม.; T = อุณหภูมิภายในห้องบ่ม (องศาเซลเซียส)

### การวิเคราะห์ข้อมูล

แบบที่ 1 ทำการเปรียบเทียบผลข้อมูลของการบดเม็ดดิน ซึ่งกำหนดให้เป็นปัจจัยที่ 1 คือ 1. ไม่บดเม็ดดิน และ 2. บดเม็ดดิน และกำหนดให้กลุ่มขนาดเม็ดดินเป็นปัจจัยที่ 2 คือ ขนาดของเม็ดดิน 6 กลุ่มดังที่กล่าวแล้วข้างต้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงเป็นกราฟวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance, ANOVA) แยกในแต่ละเนื้อดิน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) โดยใช้ค่า P-value <0.05

แบบที่ 2 ทำการเปรียบเทียบระหว่างเนื้อดิน ซึ่งกำหนดให้เป็นปัจจัยที่ 1 คือ 1. ดินร่วน และ 2. ดินร่วนปนทราย และกำหนดให้การบดเม็ดดินเป็นปัจจัยที่ 2 คือ 1. เม็ดดินที่ไม่บด 2. เม็ดดินที่ไม่บด วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบสองทาง (a two-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD โดยใช้ค่า P-value <0.05 แสดงผลการวิเคราะห์เป็นตาราง

### ผลการทดลอง

#### สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดิน

สมบัติของดินร่วน ความหนาแน่นรวม (BD) มีค่า 1.45 ก./ลบ.ซม. เนื้อดินประกอบด้วย sand, silt และ clay มีค่า 48.42, 37.40 และ 14.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ pH มีค่า 5.28 อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน (SOC) 10.7 ก./กก. ส่วนสมบัติของดินร่วนปนทราย ความหนาแน่นรวม มีค่า 1.50 ก./ลบ.ซม. เนื้อดินประกอบด้วย sand, silt และ clay มีค่า 65.42, 33.32 และ 1.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ pH มีค่า 5.23 และปริมาณ SOC 8.2 ก./กก.

**ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)**

ในดินร่วนปริมาณการผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub> ของเม็ดดินทุกขนาดที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 0.30-1.76 มก./กก./14 วัน มากกว่าของเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.10-1.43 มก./กก./14 วัน (ภาพที่ 1a) และพบว่าการเกิดก๊าซ CH<sub>4</sub> ของดินที่ไม่บดมีปริมาณมากในเม็ดดินขนาด 2-1 มม. 1-0.25 มม. และ 4-2 มม. ส่วนเม็ดดินที่บดพบก๊าซ CH<sub>4</sub> มากในเม็ดดินขนาด 2-1 มม. และ 1-0.25 มม. ส่วนปริมาณการเกิดก๊าซ CH<sub>4</sub> ในดินร่วนปนทรายของเม็ดดินที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 0.06-1.55 มก./กก./14 วัน มากกว่าของเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.05-0.33 มก./กก./14 วัน (ภาพที่ 1b) และพบว่าการเกิดก๊าซ CH<sub>4</sub> ของดินที่ไม่บดมีปริมาณมากในเม็ดดินขนาด bulk soil (<4 มม.) และ 2-1 มม. ส่วนเม็ดดินที่บดพบ CH<sub>4</sub> มากในเม็ดดินขนาด 1-0.25 มม. และ <0.053 มม.

ขณะที่การเกิดก๊าซ CO<sub>2</sub> ของดินร่วนที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 1,863.2-3,876.3 มก./กก./14 วัน มากกว่าของเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1,185.9-2,775.9 มก./กก./14 วัน (ภาพที่ 2a) และพบว่าการเกิดก๊าซ CO<sub>2</sub> ในเม็ดดินของดินที่ไม่บดมีปริมาณมากในเม็ดดินขนาด 2-1 มม. ตามด้วย <0.053 มม. และ 1-0.25 มม. ส่วนเม็ดดินที่บดพบก๊าซ CO<sub>2</sub> มากใน bulk soil, 2-1 มม. และ 1-0.25 มม. ส่วนปริมาณการเกิดก๊าซ CO<sub>2</sub> ในดินร่วนปนทรายของเม็ดดินที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 1,193.4-2,668.8 มก./กก./14 วัน มากกว่าของเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง

1,488.2-2,572.8 มก./กก./14 วัน (ภาพที่ 2b) และพบว่าการเกิดก๊าซ CO<sub>2</sub> ในเม็ดดินของดินที่ไม่บดมีปริมาณมากในเม็ดดินขนาด 2-1 มม. <0.053 มม. และ 1-0.25 มม. ส่วนเม็ดดินที่บดพบก๊าซ CO<sub>2</sub> มากในเม็ดดินขนาด 1-0.25 มม. และ <0.053 มม. ปริมาณก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> ในเม็ดดินที่ไม่บดและที่บดของดินร่วนจะมีมากกว่าของดินร่วนปนทราย (ตารางที่ 1)

**ปริมาณของ SOC, LOC และสัดส่วน non-LOC:SOC ในเม็ดดิน**

ปริมาณ SOC ของดินร่วนในเม็ดดินที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 10.7-15.6 ก./กก. และน้อยกว่าในเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 22.5-28.9 ก./กก. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 3a) โดยที่ปริมาณ SOC ในเม็ดดินที่ไม่บดจะมีมากในเม็ดดินขนาด <0.053 มม. และ 2-1 มม. ส่วนในเม็ดดินที่บดจะพบปริมาณ SOC มากในเม็ดดินขนาด <0.053 มม. และ 0.25-0.053 มม. ขณะที่ปริมาณ SOC ของดินร่วนปนทรายในเม็ดดินที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 3.8-8.2 ก./กก. และน้อยกว่าในเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 8.6-14.0 ก./กก. (ภาพที่ 3b) และพบว่าปริมาณ SOC ในเม็ดดินของดินที่ไม่บดจะมีปริมาณมากใน bulk soil ตามด้วย <0.053 มม. และ 0.25-0.053 มม. ส่วนเม็ดดินที่บดจะพบ SOC มากในเม็ดดินขนาด 4-2 มม. ตามด้วย 1-0.25 มม. และ 0.25-0.053 มม. ปริมาณ SOC ในเม็ดดินที่ไม่บดและที่บดของดินร่วนนั้นจะมีมากกว่าของดินร่วนปนทราย (ตารางที่ 1)

**Table 1. Soil organic carbon (SOC), labile organic carbon (LOC) content and non-LOC:SOC ratio in uncrushed and crushed of loam and sandy loam soil**

Treatment	SOC (g/kg)		LOC (g/kg)		non-LOC: SOC ratio	
	Loam	Sandy loam	Loam	Sandy loam	Loam	Sandy loam
Soil crushing						
Uncrushed	13.4 B a	7.1 B b	0.78 A a	0.70 A b	0.94 B a	0.90 B b
Crushed	25.1 A a	10.8 A b	0.39 B a	0.38 B a	0.98 A a	0.96 A b
F-test	**	**	**	**	**	**

Mean with the different capital letters in a column indicate significant difference among soil crushing. Small letters in a row indicate significant difference among soil texture. Each direction comparison was statistical difference by LSD at P<0.05, n = 18

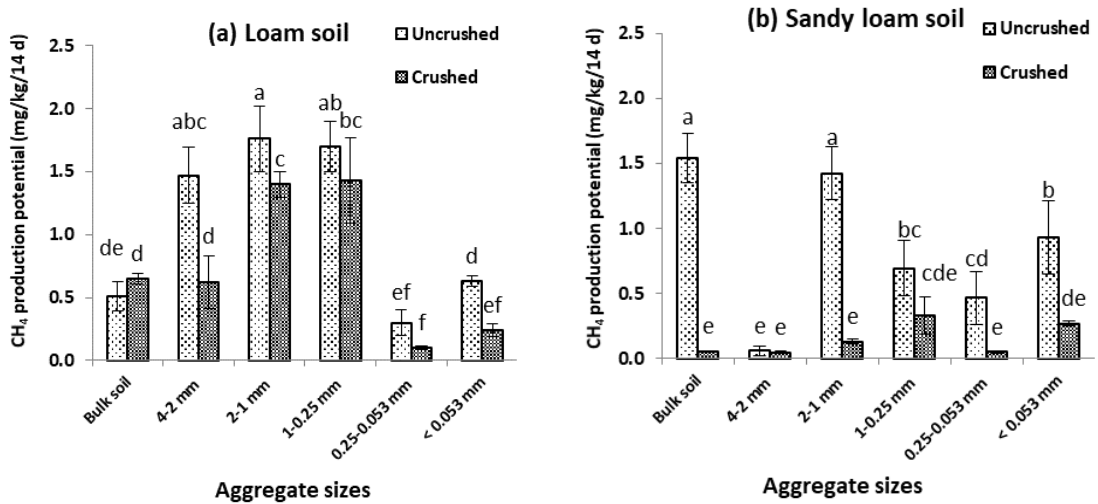


Figure 1. Methane production potential of individual soil aggregates (uncrushed and crushed) in (a) loam and (b) sandy loam soil. Bars represent standard deviation, n = 3

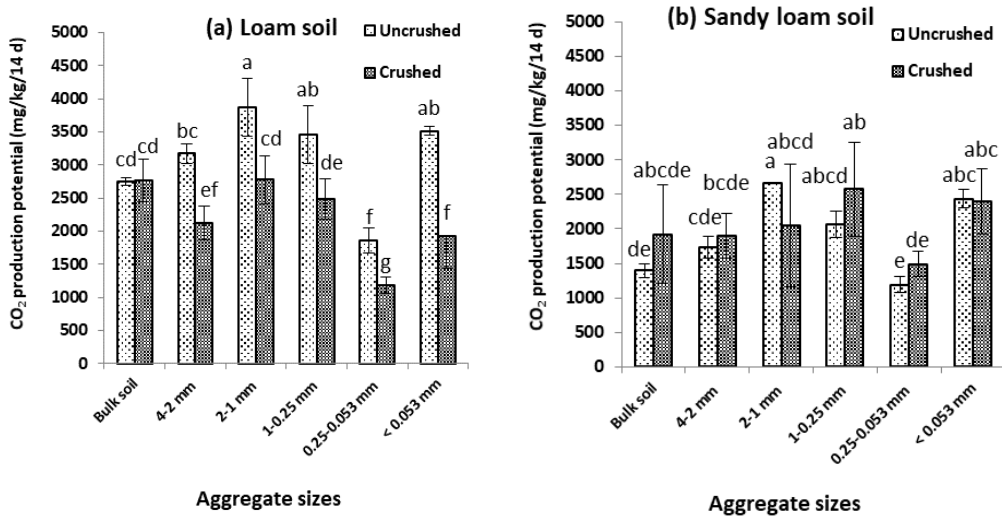


Figure 2. Carbon dioxide production potential of individual soil aggregates (uncrushed and crushed) in (a) loam and (b) sandy loam soil. Bars represent standard deviation, n = 3

ส่วนปริมาณ LOC ของดินร่วนในเม็ดดินที่ไม่บด มีค่าอยู่ในช่วง 0.72-0.88 ก./กก. (ภาพที่ 4a) และมากกว่า ในเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.37-0.41 ก./กก. โดยที่ ปริมาณ LOC ในเม็ดดินของดินที่ไม่บดพบมากเม็ดดิน ขนาด 4-2 มม. ตามด้วย 2-1 มม. และ 1-0.25 มม. ส่วนใน เม็ดดินที่บดจะพบปริมาณ LOC มากในเม็ดดินขนาด <0.053 มม. ขณะที่ปริมาณ LOC ของดินร่วนปนทรายใน เม็ดดินที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 0.60-0.80 ก./กก.

(ภาพที่ 4b) และมากกว่าในเม็ดดินที่บด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.37-0.42 ก./กก. ปริมาณ LOC ในเม็ดดินของดินที่ไม่บด พบมากใน bulk soil ตามด้วย 2-1 มม. และ <0.053 มม. และส่วนเม็ดดินที่บดจะพบปริมาณ LOC มากในเม็ดดิน ขนาด <0.053 มม. ปริมาณ LOC ในเม็ดดินที่ไม่บดและที่ บดของดินร่วนนั้นจะมีมากกว่าของดินร่วนปนทราย (ตารางที่ 1)

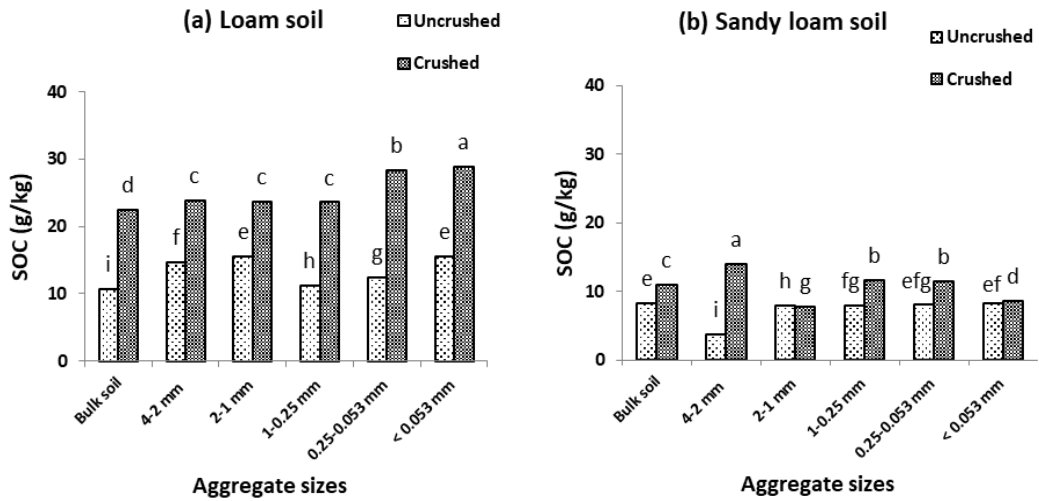


Figure 3. Soil organic carbon (SOC) of individual soil aggregates (uncrushed and crushed) in (a) loam and (b) sandy loam soil. Bars represent standard deviation, n = 3

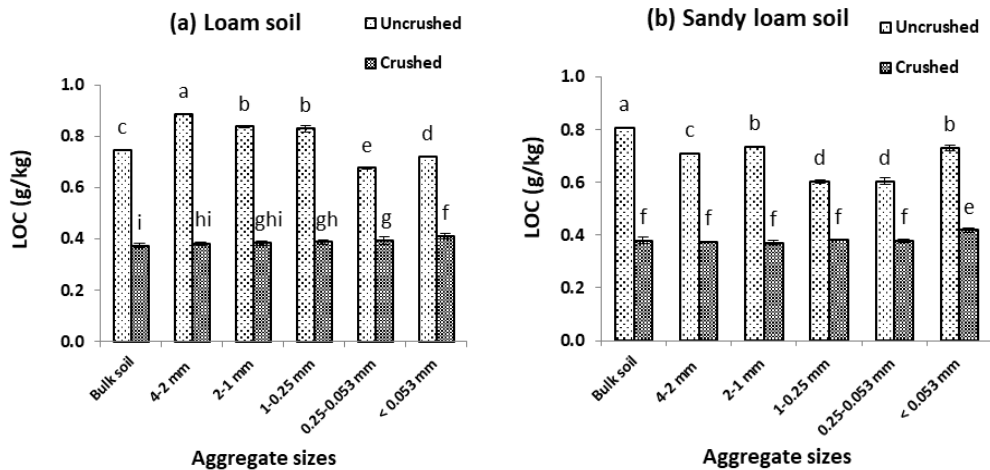


Figure 4. Labile organic carbon (LOC) of individual soil aggregates (uncrushed and crushed) in (a) loam and (b) sandy loam soil. Bars represent standard deviation, n = 3.

สัดส่วน non-LOC:SOC ของดินร่วนในเม็ดดินที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 0.90-0.95 (ภาพที่ 5a) และน้อยกว่าในเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.98-0.99 โดยที่สัดส่วน non-LOC:SOC ในเม็ดดินที่ไม่บดจะพบมากในเม็ดดินขนาด <0.053 มม. ตามด้วย 2-1 มม. และ 0.25-0.053 มม. ส่วนเม็ดดินที่บดจะพบสัดส่วน non-LOC:SOC มากในเม็ดดินขนาด 0.25-0.053 มม. และ <0.053 มม. ในขณะที่สัดส่วน non-LOC:SOC ของดินร่วนปนทรายในเม็ดดินที่ไม่บดมีค่าอยู่ในช่วง 0.81-0.95 (ภาพที่ 5b) และ

น้อยกว่าในเม็ดดินที่บดซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.95-0.97 และพบว่าค่าสัดส่วน non-LOC:SOC ในเม็ดดินที่ไม่บดจะมีมากในเม็ดดินขนาด <0.053 มม. ตามด้วย 0.25-0.053 มม. และ 1-0.25 มม. ส่วนเม็ดดินที่บดพบสัดส่วน non-LOC:SOC มากในเม็ดดินขนาด 4-2 มม. สัดส่วน non-LOC:SOC ในเม็ดดินที่ไม่บดและที่บดของดินร่วนนั้นจะมีมากกว่าของดินร่วนปนทราย (ตารางที่ 1)

การผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub> ในเม็ดดินที่ไม่บดของดินร่วนและดินร่วนปนทรายพบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

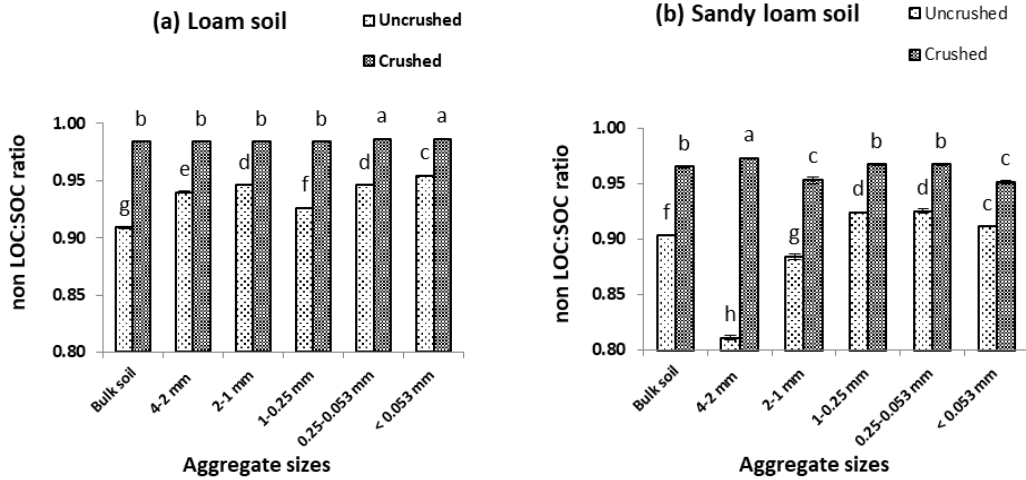


Figure 5. Non-LOC:SOC ratio of individual soil aggregates (uncrushed and crushed) in (a) loam and (b) sandy loam soil. Bars represent standard deviation, n = 3.

กับแหล่งของคาร์บอน (SOC, LOC and non-LOC:SOC) ในเชิงบวกมีค่าอยู่ในช่วง 0.041 ถึง 0.875 และการผลิตก๊าซ CO<sub>2</sub> พบว่าในดินร่วนมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับแหล่งของคาร์บอนอยู่ในช่วง 0.154 ถึง 0.601 ส่วนดินร่วนปนทรายการผลิต ก๊าซ CO<sub>2</sub> มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในเชิงลบกับ SOC และ non-LOC:SOC แต่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ LOC

### วิจารณ์

ปริมาณก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> ในเม็ดดินที่ไม่บดมีมากกว่าในเม็ดดินที่บด เนื่องจากปริมาณ LOC ในเม็ดดินที่ไม่บดมีมากกว่าในเม็ดดินที่บด LOC เป็นสารอินทรีย์คาร์บอนและเป็นสารเชื่อมที่อยู่บริเวณรอบ ๆ ผิวของเม็ดดินที่มีความเสถียรน้อยและไม่ถูกปกป้อง (Tisdall and Oades, 1982) เมื่อสลายตัวให้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> แสดงให้เห็นว่าก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> ในดินมีแหล่งกำเนิดมาจาก LOC ในดินโดยตรง การที่ปริมาณก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> ในเม็ดดินที่บดมีต่ำกว่าเม็ดดินที่ไม่บดทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของ non-LOC:SOC ในเม็ดดินที่บดมีมากกว่าในเม็ดดินที่ไม่บดนั่นเอง สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยยาก (non-LOC) รวมถึงสารฮิวมิกที่ถูกกักเก็บอยู่ภายในเม็ดดินเป็นคาร์บอนที่เสถียรที่ถูกปกป้องด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์และทางเคมีภายในเม็ดดิน

non-LOC จึงเป็นสารตั้งต้นที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> แสดงให้เห็นว่าการไม่บดและการบดเม็ดดินทำให้มีผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> ต่างกัน ปริมาณก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> ของดินร่วนผลิตได้มากกว่าของดินร่วนปนทราย เนื่องจากปริมาณ LOC ในเม็ดดินขนาดต่าง ๆ ของดินร่วนมีมากกว่าของดินร่วนปนทรายอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามทั้งปริมาณ SOC และสัดส่วน non-LOC:SOC ในเม็ดดินขนาดต่าง ๆ มีความคล้ายกันและในเม็ดดินที่ไม่บดมีปริมาณต่ำกว่าในเม็ดดินที่บด แสดงให้เห็นว่า non-LOC เป็นองค์ประกอบหลักของ SOC ในเม็ดดิน ในขณะที่ LOC เป็นองค์ประกอบรองแต่มีบทบาทสำคัญต่อการผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพและชี้ให้เห็นว่าเกิดขึ้นในดินร่วนมากกว่าในดินร่วนปนทราย ในเม็ดดินที่ไม่บดของดินร่วนปริมาณก๊าซ CH<sub>4</sub> เกิดได้มากในเม็ดดินขนาด 4-2 (L<sub>Ma</sub>), 2-1 (M<sub>Ma</sub>) และ 1-0.25 (S<sub>Ma</sub>) มม. ในขณะที่ของดินร่วนปนทรายปริมาณก๊าซ CH<sub>4</sub> เกิดได้มากในเม็ดดินขนาด 2-1 มม. (S<sub>Ma</sub>) กรณีของก๊าซ CO<sub>2</sub> ของดินร่วนพบได้มากในเม็ดดินขนาด 2-1 มม. และ <0.053 มม. และของดินร่วนปนทรายพบมากในเม็ดดินขนาด <0.053 มม. ปริมาณก๊าซ CH<sub>4</sub> และ CO<sub>2</sub> ในเม็ดดินที่ไม่บดของดินร่วนและดินร่วนปนทรายมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณของ LOC ในเม็ดดินนั้น ๆ (ไม่ได้แสดงข้อมูล)



ดินที่ถูกบดปริมาณ SOC จะมีมากขึ้นเพราะการบดดินเป็นการทำลายโครงสร้างของเม็ดดินให้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณ SOC ที่กักเก็บอยู่ภายในเม็ดดิน (Plante *et al.*, 2006) ในทำนองเดียวกันทำให้ทราบปริมาณ LOC และสัดส่วน non-LOC:SOC ของเม็ดดิน โดยที่ปริมาณ LOC ลดลงแต่สัดส่วน non-LOC:SOC มากขึ้น อย่างไรก็ตามดินร่วนมี SOC, LOC และสัดส่วน non-LOC:SOC มากกว่าของดินร่วนปนทราย เนื่องจากดินร่วนมีปริมาณอนุภาคดินเหนียว (14.18 เปอร์เซ็นต์) มากกว่าในดินร่วนปนทราย (1.26 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อม SOC, LOC และ non-LOC กับผิวของอนุภาคดินเหนียวได้เป็นอย่างดี แสดงให้เห็นว่าการไม่บดและการบดเม็ดดินของดินร่วนและดินร่วนปนทรายทำให้ได้ปริมาณ SOC, LOC และ non-LOC ต่างกัน

ศักยภาพการผลิตก๊าซ  $CH_4$  มีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณ SOC, LOC และสัดส่วน non-LOC:SOC ในเม็ดดิน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ขนาดของเม็ดดินมีอิทธิพลต่อการเกิด  $CH_4$  โดยที่ในเม็ดดินขนาดใหญ่ (>0.25 มม.) จะเกิดการผลิตก๊าซ  $CH_4$  ได้มากกว่าในเม็ดดินขนาดเล็ก (<0.25 มม.) เนื่องจากในเม็ดดินขนาดใหญ่มีปริมาณ LOC มากกว่าทำให้จุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (methanogens) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ผลิตก๊าซ  $CH_4$  (Mangalassery *et al.*, 2013) ใช้เป็นแหล่งอาหารเพื่อสร้างมวลชีวภาพ ในทางตรงกันข้ามในเม็ดดินขนาดเล็กจะให้ศักยภาพการผลิตก๊าซ  $CH_4$  ได้น้อยเนื่องจากมี LOC ปริมาณต่ำและมีสัดส่วน non-LOC:SOC ภายในเม็ดดินสูง

## สรุป

อินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) ที่ก่อให้เกิดก๊าซ  $CH_4$  และ  $CO_2$  ในดินนา (ในเม็ดดินที่ไม่บด) ของดินร่วนและดินร่วนปนทรายคือสารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายง่าย (LOC) สาร LOC เป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอนหลักที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซ  $CH_4$  และ  $CO_2$  ในดินมากกว่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก (non-LOC) ซึ่งสารอินทรีย์คาร์บอนเหล่านี้มีอยู่ตามบริเวณผิวของเม็ดดิน ถูกกักเก็บอยู่ระหว่างอนุภาคดินภายในเม็ดดิน และยังมีส่วนที่ถูกกัก

เก็บอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยที่ดินร่วนมีสัดส่วน non-LOC:SOC มากกว่าของดินร่วนปนทราย ในดินร่วนจะมีการผลิตก๊าซ  $CH_4$  มากกว่าเม็ดดินขนาด 2-1 มม. ตามด้วย 1-0.25 มม. และ 4-2 มม. ส่วนในดินร่วนปนทรายมีการผลิตก๊าซ  $CH_4$  มากกว่าเม็ดดินขนาด 2-1 มม. ขณะที่การผลิตก๊าซ  $CO_2$  ในดินร่วนผลิตมากที่สุดที่เม็ดดินขนาด 2-1 มม. ส่วนในดินร่วนปนทรายผลิตก๊าซ  $CO_2$  มากที่เม็ดดินขนาด 2-1 มม.ตามด้วย <0.053 มม. และ 1-0.25 มม.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนทั่วไปจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น และทุนส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะวิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่น

## เอกสารอ้างอิง

- ชาญยุทธ รัตนพรหมมณี กวีพร จินะจันตา และ อรรถวรรณ นัตรสีรุ่ง. 2560. ผลของลิโอนาร์ไตต์ต่อการปรับปรุงคุณภาพดินและผลผลิตข้าว. วารสารเกษตร 33(2): 215-224.
- พัชรี แสนจันทร์ นิภา ธรรมโสม Chhin Phy และ ดวงสมร ตูลาพิทักษ์. 2558. การใช้ถ่านชีวภาพยูคา ลิปตัลและฟางข้าวเพื่อการผลิตข้าวและลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. เกษตร 43(ฉบับพิเศษ 1): 373-379.
- Ali, M.A., P.J. Kim and K. Inubushi. 2015. Mitigating yield-scaled greenhouse gas emissions through combined application of soil amendments: A comparative study between temperate and subtropical rice paddy soils. Science of the Total Environment 529: 140-148.
- Baver, L.D., W.H. Gardner and W.R. Gardner. 1972. Soil Physics. 4<sup>th</sup> ed. John Wiley and Sons, New York.

- Demirel, B. and P. Scherer. 2008. The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 7(2): 173-190.
- Fernandez, R., A. Quiroga, C. Zorati and E. Noellemeyer. 2010. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil and Tillage Research* 109: 103-109.
- Helgason, B.L., F.L. Walley and J.J. Germida. 2010. No-till soil management increases microbial biomass and alters community profiles in soil aggregates. *Applied Soil Ecology* 46: 390-397.
- Hobley, E. U., J. Baldock and B. Wilson. 2016. Environmental and human influences on organic carbon fractions down the soil profile. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 223: 152-166.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 ( Online) . Available: [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/tssts-2-1-1.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/tssts-2-1-1.html) (June 1, 2016).
- Mangalassery, S., S. Sjogersten, D.L. Sparkes, C. J. Sturrock and S.J. Mooney. 2013. The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of greenhouse gases. *Soil and Tillage Research* 132: 39-46.
- Mc Lean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. pp. 199-224. *In*: A. L. Page (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part II. Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Moody, P.W. and P.T. Cong. 2008. Soil Constraints and Management Package (SCAMP): Guidelines for Sustainable Management of Tropical Upland Soil. ACIAR Monograph No. 130. Australian Center for International Agricultural Research, Canberra.
- Plante, A.F., R.T. Conant, C.E. Stewart, K. Paustian and J. Six. 2006. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. *Soil Science Society of America Journal* 70: 287-296.
- Puttaso, A., P. Vityakon, F. Rasche, P. Saenjan, V. Treloges and G. Cadisch. 2013. Does organic residue quality influence carbon retention in a tropical sandy soil? *Soil Science Society of America Journal* 77: 1001-1011.
- Ro, S., P. Saenjan, T. Tulaphitak and K. Inubushi. 2011. Sulfate content influencing methane production and emission from incubated soil and rice-planted soil in northeast Thailand. *Soil Science and Plant Nutrition* 57: 833-842.
- Saenjan, P., S. Ro and P. Vityakon. 2015. Methane fluxes and rice yields as a function of sulfate fertilizer with incorporated rice stubble. *KKU Research Journal* 20(3): 337-345.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach and J. Smith. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B. Biological Sciences* 363: 789-813.

- Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the degtareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Yang, X., J. Meng, Y. Lan, W. Chen, T. Yang, J. Yuan, S. Liu and J. Han. 2017. Effects of maize stover and its biochar on soil CO<sub>2</sub> emissions and labile organic carbon fractions in Northeast China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240: 24-31.
- Zheng, J., X. Zhang, L. Li, P. Zhang and G. Pan. 2007. Effect of long-term fertilization on C mineralization and production of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> under anaerobic incubation from bulk samples and particle size fractions of a typical paddy soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 120: 129-138.
-