

รหัสโครงการ : BRG 5880018

ชื่อโครงการ : การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเก็บกักคาร์บอนของดินโดยปรับปรุงการจัดการ
สารอินทรีย์

ชื่อนักวิจัย : ศ. ดร. ปัทมา วิทยากร แรมโบ

ผศ. ดร. พุกษา หล้าวงษา

ผศ. ดร. เบ็ญจพร กุลนิตย

ผศ. ดร. เสาวคนธ์ เหมวงษ์

ดร. สมชาย บุตรนันท์

ดร. รติกร แสงห้าว

นางสาววิมลศิริ พิงไธสง

นางสาวรัตนพร ภูสณิตย

Mr. Moritz Laub

Mr. Sisavanh Xayavong

Email address : patma@kku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 4 ปี (31 กรกฎาคม 2558 – 31 กรกฎาคม 2561 และได้รับการขยายเวลา 1 ปี ถึง
31 สิงหาคม 2562)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต่อยอดจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ได้รับทุนวิจัยจากฝ่ายวิชาการ สกว. (ทุน DBG5480001) ช่วงปี 2554-2558 โดยมีเป้าหมายเดียวกันกับงานวิจัยก่อนหน้า คือ ศึกษาวิธีการใช้เศษซากพืชที่หาได้ในท้องถิ่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน เน้นที่ดินเนื้อทราย ที่ใช้ทำการเกษตรโดยเฉพาะดินที่ตอนที่มีการระบายอากาศปกติ การฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินเน้นที่การสะสมอินทรีย์วัตถุ (Soil organic matter - SOM) หรืออินทรีย์คาร์บอนของดิน (soil organic carbon - SOC) และทำให้ได้ผลประโยชน์เพิ่มในด้านสิ่งแวดล้อมนั่นคือ การเก็บกักคาร์บอน (C) ไว้ในดิน เพื่อลดก๊าซเรือนกระจกคาร์บอนในบรรยากาศ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงกระบวนการของการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ใส่ลงในดิน ทั้งใส่แบบเดี่ยวและผสมกัน โดยศึกษาปัจจัยที่มากับการย่อยสลายได้แก่ ปัจจัยองค์ประกอบทางเคมี (หรือคุณภาพ) ของสารอินทรีย์ และปัจจัยสิ่งมีชีวิตผู้ทำการย่อยสลาย ได้แก่ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและจุลินทรีย์ดิน ที่มีผลต่อกลไกการสะสม

SOC ในดินทราย นอกจากนี้ยังศึกษาวัสดุอินทรีย์อีกประเภทหนึ่งคือ ถ่าน ในการใช้เป็นสารปรับปรุงดิน ซึ่งมีผลต่อการสะสม SOC และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย การศึกษาในโครงการนี้ได้รับการตีพิมพ์แล้วในวารสารวิชาการนานาชาติที่เป็นที่ยอมรับแล้วจำนวน 5 เรื่อง

การศึกษาส่วนที่ 1 คือ การศึกษาเชิงกระบวนการการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ และผลที่เกิดต่อการสะสม SOM ของดิน ส่วนใหญ่ดำเนินการในงานทดลองในแปลงทดลองระยะยาวของกลุ่มวิจัยการจัดการอินทรีย์วัตถุของดิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นการทดลองในสภาพไร่ ณ สถานีทดลองของสำนักงานเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ ตำบลท่าพระ จังหวัดขอนแก่น มีกรรมวิธีทดลอง ได้แก่ สารอินทรีย์คุณภาพแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีทดลองคือ 1) กรรมวิธีควบคุมซึ่งไม่มีการใส่สารอินทรีย์ 2) กรรมวิธีที่ใส่ซากต้นใบถั่วลิสง (groundnut stover - GN) ซึ่งจัดว่ามีคุณภาพสูง กล่าวคือมีปริมาณไนโตรเจน (N) สูง แต่มีปริมาณลิกกินิน (L) และโพลีฟีนอลส์ (Pp) ต่ำ 3) ใบ (+ก้าน) มะขามร่วง (tamarind - TM) จัดว่ามีคุณภาพปานกลาง กล่าวคือมีปริมาณ N L และ Pp ปานกลาง 4) ใบพลวงร่วง (dipterocarp - DP) จัดว่ามีคุณภาพต่ำ กล่าวคือมีปริมาณ N ต่ำ แต่มี L และ Pp สูง และ 5) ฟางข้าว (rice straw - RS) ซึ่งมีคุณภาพต่ำเช่นกัน แต่แตกต่างออกไป กล่าวคือ มีปริมาณ N L และ Pp ต่ำ แต่มีปริมาณเซลลูโลส (CL) สูงที่สุดในสารอินทรีย์ที่ศึกษา โดยใส่สารอินทรีย์กรรมวิธีที่ 2 - 5 ในอัตรา 10 ตัน/เฮกตาร์ ทุกปี ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคม ปีละ 1 ครั้ง เริ่มมาตั้งแต่ปี 2538 สารอินทรีย์ที่ใส่ในกรรมวิธีทดลองเหล่านี้จึงมีระยะเวลาย่อยสลาย 1 ปีคิดเป็นการย่อยสลายของแต่ละรอบปี ก่อนใส่สารอินทรีย์ในรอบใหม่ นอกจากการทดลองในสภาพไร่ในสถานีทดลองแล้ว ยังมีงานทดลองบ่มในสภาพควบคุม ที่ใช้ในการศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่นำมาผสมกัน ได้แก่ ฟางข้าวผสมกับซากต้นใบถั่วลิสงด้วย

การสะสมคาร์บอน SOC ในดินทรายที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพต่อเนื่องกันทุกปีเป็นปีที่ 10, 13, และ 21 จากการทดลองระยะยาว เป็นการศึกษาต่อยอดจากผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติเมื่อปี 2013 (2556) ซึ่งผลการศึกษานี้ต่อยอดจากผลที่ได้มาก่อน โดยแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ที่มาจากพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ TM และ GN ทำให้เกิดการสะสม SOC มากกว่าสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว (RS และ DP) สารอินทรีย์จากพืชตระกูลถั่วโดยเฉพาะอย่างยิ่ง TM ทำให้มี SOC มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในปีที่ 10 (3.67 g kg^{-1}) และ 13 (3.58 g kg^{-1}) ส่วนในปีที่ 21 TM และ GN ทำให้มี SOC สูงและไม่ต่างกันทางสถิติ (2.82 และ 2.73 g kg^{-1} ตามลำดับ) แหล่งของการสะสมใน soil matrix อยู่ที่ส่วน (fraction) เม็ดดินขนาดเล็ก (microaggregates) มากที่สุดในช่วงปีที่ 10 และ 13 โดยมีความเข้มข้น C ใน microaggregates ของกรรมวิธี TM (2.15 และ 1.74 g kg^{-1} , ตามลำดับ) สูงกว่าในกรรมวิธีสารอินทรีย์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาได้แก่ GN ตามด้วย DP และ RS แต่ในปีที่ 21 สูงไม่ต่างกันทาง

สถิติระหว่าง TM และ GN ผลการศึกษาที่ก้าวหน้าต่อมาคือการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล (หมู่ฟังก์ชัน) ของ SOM ในส่วนต่าง ๆ ของดิน โดยใช้เทคนิค mid-DRIFT spectroscopy ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หมู่อะลิฟาติก (2995-2880 และ 2880-2825 cm^{-1}) และหมู่ฟีนอลิก (1302-1253 cm^{-1}) มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณ C ใน microaggregates ($r = 0.629^{**} - 0.855^{**}$ สำหรับหมู่อะลิฟาติก และ $r = 0.730^{*}$ สำหรับหมู่ฟีนอลิก) และในอนุภาคขนาดเล็ก (fine particles) คือ silt และ clay ($r = 0.578^{*} - 0.839^{**}$ สำหรับหมู่อะลิฟาติก) ของบางช่วงปี ใน 3 ช่วงปีที่ศึกษา สำหรับสหสัมพันธ์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันและองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ ผลการศึกษาแสดงว่าหมู่อะลิฟาติกมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ N ในสารอินทรีย์ ($r = 0.626^{*} - 0.860^{***}$) ส่วนหมู่อะโรมาติกมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลส์ในสารอินทรีย์ ($r = 0.584^{*} - 0.940^{***}$) ในส่วน (fractions) ต่าง ๆ ทั้ง small macroaggregates, microaggregates และ fine particles (silt และ clay) ของ 3 ช่วงปีที่ศึกษา

นอกจากการศึกษาการสะสม SOC แล้ว ยังได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินตามช่วงเวลา (ปีที่ 2, 6, 11, 16 และ 20) ในช่วง 20 ปีของการใส่สารอินทรีย์เป็นประจำทุกปี ได้ผลการศึกษาที่แสดงถึงการเพิ่ม pH และ CEC เมื่อได้รับสารอินทรีย์สูงกว่าเมื่อไม่ได้รับสารอินทรีย์ โดยกรรมวิธีทดลอง TM ทำให้มี pH และ CEC สูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ โดยมี pH สูงสุด = 7 ในปีที่ 20 และ CEC สูงสุด = 5.2 cmol kg^{-1} ในปีที่ 6 รองลงมาเป็น GN สำหรับ pH ที่สูงสะท้อนความเข้มข้นแคลเซียม (Ca) ที่สูงของซากใบมะขามร่วง (35 g kg^{-1}) และซากถั่วลิสง (21 g kg^{-1}) เมื่อเทียบกับสารอินทรีย์อื่นๆ ที่ศึกษาที่มีในช่วง 4 (RS) ถึง 8 (DP) g kg^{-1} ที่ทำให้ความเข้มข้นของ Ca ที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงตามไปด้วยใน TM ตามด้วย GN สิ่งที่น่าสังเกตมากในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินในระยะ 20 ปี คือ การที่ pH, CEC และความเข้มข้นของแคทไอออน (Ca, Mg, K, และ Na) ลดลงอย่างชัดเจนในช่วงปีที่ 11 ถึง 16 ในกรรมวิธีที่ได้รับสารอินทรีย์ ผู้ศึกษาได้ตั้งสมมุติฐานว่าเนื่องมาจากกลไกการสร้างเม็ดดินโดยเฉพาะในกรรมวิธีที่ได้รับสารอินทรีย์ TM และ GN โดยอินทรีย์วัตถุทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมอนุภาค clay เข้าด้วยกัน ทั้งนี้แคทไอออนหลายวาเลนซี (polyvalent cations) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Ca^{2+} สามารถทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างผิว clay และ SOM ทำให้เกิดพันธะที่แข็งแกร่ง นอกจากนี้ Ca ยังทำให้เกิดการรวมตัว (flocculation) ของ clay ด้วย ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการสร้างเม็ดดิน

การศึกษากการกระจายตัวตามแนวดิ่งในโปรไฟล์ดินของอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ละลายได้ (dissolved organic carbon - DOC) ที่สกัดด้วยน้ำ ที่เป็น DOC ที่ผลิตจากสารอินทรีย์ต่างคุณภาพทำให้เกิดการกระจายตัวที่ต่างกันโปรไฟล์ดิน ผลการศึกษาจากแปลงระยะยาวทั้งสองปี (ปีที่ 13 และ 23)

แสดงให้เห็นว่าเมื่อดินได้รับสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน และลิกนิน ได้แก่ GN TM และ DP มีแนวโน้มเกิดการสะสมในดินชั้นบน ส่วนดินที่ได้รับฟางข้าว (RS) ที่มี N, ลิกนินและโพลีฟีนอลส์ต่ำ แต่มีเซลลูโลสสูง ไม่เกิดการสะสมในดินชั้นบน แต่เกิดสะสมในดินชั้นล่าง ซึ่งการศึกษานี้ต่อยอดจากการศึกษาหน้าของการกระจายตัวของ DOC ที่สกัดด้วย KCl ที่พบรูปแบบการกระจายตัวเดียวกัน ซึ่งการศึกษาก่อนหน้านี้ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติไปเมื่อเร็วๆ นี้ (2019) ในชื่อเรื่อง “Vertical dynamics of dissolved organic carbon in relation to organic input quality and microaggregate formation in a coarse-textured Ultisol.”

การศึกษาการใช้สารอินทรีย์ผสมระหว่างฟางข้าว (RS) และซากถั่วลิสง (GN) ที่คาดว่าจะทำให้เกิดการสลายตัวและการสะสมอินทรีย์วัตถุที่แตกต่างไปจากการใส่สารอินทรีย์เดี่ยว โดยตัวชี้วัดต่าง ๆ ได้แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายลิกนินในสารอินทรีย์ผสมมีต่ำกว่าฟางข้าวอย่างเดียวแต่สูงกว่าถั่วลิสงอย่างเดียว สำหรับการย่อยสลายองค์ประกอบเซลลูโลสในสารอินทรีย์ผสมมีน้อยกว่าในสารอินทรีย์เดี่ยว สำหรับอิทธิพลของการใส่สารอินทรีย์ เดี่ยวและผสมที่มีต่อการสะสมอินทรีย์วัตถุของดิน ผลที่เห็นชัดเจนคือ การเกิด priming effect หลังใส่สารอินทรีย์เป็นเวลา 56 วัน ที่ทำให้อินทรีย์วัตถุของดิน (SOM) ได้แก่ SOC และ SON ลดต่ำลง โดยทำให้ SOC (อยู่ในช่วง $4.14-4.30 \text{ g kg}^{-1}$) และ SON (อยู่ในช่วง $0.24-0.32 \text{ g kg}^{-1}$) ลดต่ำลง เมื่อเทียบกับระดับก่อนใส่สารอินทรีย์ (4.89 และ 0.37 g kg^{-1} สำหรับ SOC และ SON ตามลำดับ)

การศึกษาปัจจัยสัตว์ในดินผู้ย่อยสลายใช้เทคนิคถุงตาข่าย (litter bag technique) โดยศึกษาในแปลงทดลองระยะยาวรอบปีที่ 18 พบว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังทั้งขนาดกลาง (mesofauna) และขนาดใหญ่ (macrofauna) มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย และตัวผู้ย่อยสลายเองก็ได้รับอิทธิพลจากคุณภาพหรือองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่กำลังย่อยสลายไปพร้อม ๆ กัน จึงทำให้ผู้วิจัยได้นำเอากรอบแนวคิด “วงจรที่ย้อนกลับ (feedback loops)” ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ (Q) และสัตว์ในดินผู้ย่อยสลาย (F) ที่มีต่อกันและกัน ในกระบวนการย่อยสลายแต่ละช่วง โดยนำเสนอแต่ละช่วงให้ลดหลั่นกันลงมา (decomposition cascade) มาใช้ แต่ละช่วงของการย่อยสลายที่ลดหลั่นกันลงมานี้เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงแทนที่ทางนิเวศวิทยา (ecological succession) แต่ละช่วง การเปลี่ยนแปลงชุมชนสัตว์ในดินกำหนดองค์ประกอบทางเคมีของซากอินทรีย์ที่กำลังย่อยสลายที่เหลืออยู่ในช่วงต่อไปของ ecological succession ที่ลดหลั่นลงมา ได้ตั้งสมมุติฐานว่าองค์ประกอบทางเคมีของซากอินทรีย์ ณ เวลาเริ่มต้นของการย่อยสลายจะกำหนดชนิดชุมชนที่จำเพาะของสัตว์ไม่มีกระดูก

สันหลังผู้ย่อยสลาย และเมื่อการย่อยสลายดำเนินไป คุณภาพของซากอินทรีย์และสัตว์ในดินผู้ย่อยสลาย จะมีปฏิสัมพันธ์กันไป ดังนั้นจึงเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ในการศึกษาเราพบ 4 วงจรย้อนกลับ ในวงจรย้อนกลับ #1 ซึ่งครอบคลุมช่วง 4 สัปดาห์แรกของการย่อยสลาย ทั้งสัตว์ในดินขนาดกลาง (mesofauna – Me) ได้แก่ แมลงหางดีด (springtails) และไร (mites) และสัตว์ในดินขนาดใหญ่ (macrofauna – Ma) ซึ่งมีด้วง (beetles) เป็นตัวเด่น มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากสารที่ย่อยสลายง่าย ได้แก่ CL และ N ความหนาแน่นมีสูงที่สุดในกรรมวิธี GN (1.35 และ 0.85 ตัวต่อกรัมสารอินทรีย์ สำหรับ Me และ Ma, ตามลำดับ) การปรากฏของ Ma ในสัปดาห์ที่ 2 มีแนวโน้มไปลดความเข้มข้นของ L ($R^2 = 0.29$, $P=0.067$) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า Ma ไปย่อยสลายองค์ประกอบ L ของสารอินทรีย์ก่อนที่ Me จะเข้าไปใช้ สารประกอบที่ย่อยสลายง่ายในสารอินทรีย์ได้ในสัปดาห์ที่ 4 หลังจากวงจรย้อนกลับ #1 แล้ว มีเพียง Ma (ด้วง) เท่านั้นที่ยังคงมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลาย L ($R^2 = 0.56$, $P<0.001$ และ $R^2 = 0.30$, $P=0.071$ สำหรับวงจรย้อนกลับ #2 (สัปดาห์ที่ 4-8) และ #3 (สัปดาห์ที่ 8-26), ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะ L กลายเป็นองค์ประกอบหลักที่เหลืออยู่ หลังจากองค์ประกอบที่ย่อยสลายง่ายถูกใช้ไปหมดแล้ว นอกจากนี้ Ma ยังเป็นผู้ย่อยสลายหลักหลังจากวงจรย้อนกลับ #1 โดยพิจารณาจากอิทธิพลต่อการสูญเสียมวลของสารอินทรีย์ ($R^2 = 0.52$ ($P<0.01$) and 0.36 ($P<0.05$) ที่สัปดาห์ที่ 8 และ 52 ตามลำดับ) หลักคิดวงจรย้อนกลับที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ทำให้เกิดมุมมองแบบ “สองด้าน” ของกระบวนการย่อยสลาย ที่ได้รับอิทธิพลจากสองปัจจัยคือ Q และ F ไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งนับว่าเป็นมุมมองใหม่ที่ดีกว่ามุมมองเดิมของการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในดิน ที่มีสัตว์ในดินมาเป็นปัจจัยควบคุมที่เป็นมุมมองแบบ “ด้านเดียว” คือศึกษาอิทธิพลของ Q ต่อ F หรือ F ต่อ Q เพียงด้านเดียว

สำหรับปัจจัยผู้ย่อยสลายอีกตัวหนึ่งคือ จุลินทรีย์ การศึกษาปัจจัยนี้ใช้ตัวอย่างดินจากแปลงทดลองระยะยาว โดยเป็นดินของปีที่ 16 สำหรับวิเคราะห์จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย และ อาร์เคีย) และดินปีที่ 19 สำหรับวิเคราะห์ชนิด และความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ จำนวนประชากรแบคทีเรียและอาร์เคียมีสูงเมื่อดินได้รับสารอินทรีย์กว่าดินที่ไม่ได้รับ สำหรับแบคทีเรียแล้ว จำนวนประชากรมีสูงที่สุดในดินที่ได้รับสารอินทรีย์คุณภาพสูงได้แก่ GN ตามมาด้วย TM (คุณภาพปานกลาง) แต่จำนวนประชากรอาร์เคียมีสูงที่สุดใน TM โครงสร้างชุมชนของแบคทีเรียและอาร์เคียในดินที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์มีความแตกต่างกับดินที่มีการใส่สารอินทรีย์อย่างชัดเจน และโครงสร้างชุมชนของแบคทีเรียและอาร์เคียในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ DP GN และ RS มีความใกล้เคียงกันมากกว่าดินที่มีการใส่ TM ในดินที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์พบแบคทีเรียในวงศ์ Koribacteraceae มากที่สุด ในดินที่มีการใส่

GN พบแบคทีเรียในวงศ์ Ktedonobacteraceae มากที่สุด ในดินที่มีการใส่ DP พบแบคทีเรียในวงศ์ Hyphomicrobiaceae มากที่สุด ในดินที่มีการใส่ RS พบแบคทีเรียในวงศ์ Koribacteraceae มากที่สุด ซึ่งมีจำนวนประชากรแบคทีเรียในวงศ์ดังกล่าวใกล้เคียงกันกับ แบคทีเรียในวงศ์ Bradyrhizobiaceae และ Hyphomicrobiaceae และในดินที่มีการใส่ TM พบแบคทีเรียในวงศ์ Bradyrhizobiaceae มากที่สุด สำหรับโครงสร้างชุมชนอาร์เคียในดินที่มีการใส่ GN พบอาร์เคียในไฟลัม Crenarchaeota มากที่สุด ส่วนในดินที่มีการใส่ TM พบอาร์เคียในไฟลัม Euryarchaeota มากที่สุด

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินทราย โดยเน้นที่การสะสมในเม็ดดินขนาดเล็ก (microaggregates) ตามองค์ความรู้ที่ได้สะสมมาจากการวิจัยที่ผ่านมาของกลุ่มวิจัยได้นำไปสู่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สัมพันธ์กระบวนการสร้างเม็ดดินกับกิจกรรมจุลินทรีย์ที่ได้รับอิทธิพลจากคุณภาพสารอินทรีย์ โดยใช้ข้อมูลจากแปลงทดลองระยะยาวที่สะสมมาถึงปีที่ 22 ผลการทดสอบความเที่ยงตรง (validation) ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องตรงกับค่าสังเกตการณ์ถึงระดับหนึ่ง แต่ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เพราะยังมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าค่าสังเกตการณ์อยู่ในกรรมวิธีทดลองสารอินทรีย์บางกรรมวิธี การปรับปรุงแบบจำลองให้เที่ยงตรงขึ้นได้คือ การได้ข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงเวลา (temporal resolution) ที่สูงขึ้นกว่าชุดข้อมูลจากงานทดลองระยะยาวที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อที่จะพัฒนาแบบจำลองให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น โดยมีข้อมูลถี่ขึ้นในช่วงการย่อยสลายของสารอินทรีย์ตลอดรอบปี ขณะที่ทำการเขียนรายงานอยู่นี้จึงได้มีนักศึกษาระดับปริญญาโทมาทำวิทยานิพนธ์เพื่อการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลง SOM ในรอบปีที่ 25 โดยเริ่มรอบปีล่าสุดนี้เมื่อเดือนพฤษภาคม 2562 โดยงานนี้เป็นการทำวิจัยร่วมกันระหว่างนักวิจัยฝ่ายไทยของกลุ่มวิจัยและนักวิจัยเยอรมัน (University of Hohenheim) ที่มีความร่วมมือวิจัยและวิชาการกันมาอย่างยาวนานกว่า 25 ปี

การศึกษาส่วนที่สอง มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของถ่านที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยพิจารณาจาก ปริมาณองค์ประกอบคาร์บอนเสถียร (fixed C) สารที่ระเหยได้ (volatile matter, VM) และ เถ้าของถ่าน ต่อเสถียรภาพของอินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon – SOC) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases – GHG) ในดินที่มีเนื้อดินและแร่วิทยาแตกต่างกัน ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินชุดโคราช (Typic Oxyaquic Kandistults) มีเนื้อดินทรายปนร่วน จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และชุดดินวาเฮียวา (Wahiawa soil series) (Rhodic Haplustox) เนื้อร่วนปนทรายแป้งและดินเหนียว (silty clay loam) จากสถานีวิจัยโพโฮโมโฮ (Poamoho Research Station) มหาวิทยาลัยฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีความร่วมมือในงานวิจัยและวิชาการต่อ

กัน ส่วนถ่านที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดเดียวกัน คือ ส่วนปลายของไม้ยูคาลิปตัส แต่เผาด้วยวิธีการที่ต่างกัน 2 วิธี คือ วิธีแบบพื้นบ้านของไทย (traditional kiln, TK) ซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 350°C) และอีกวิธีหนึ่งเป็นวิธีสมัยใหม่ที่เรียกว่าวิธีการเผาด้วยอุณหภูมิสูงแบบเฉียบพลัน (Flash CarboniationTM, FC) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิสูงสุด 800°C เป็นช่วงสั้น ทำการทดลองในเรือนทดลองระหว่างเดือนกันยายน 2554 ถึง เดือนมกราคม 2555 โดยใส่ถ่านแต่ละชนิด 4 อัตรา (0, 1, 2, และ 4% โดยน้ำหนัก (w/w)) ผลการศึกษาแสดงว่า มีอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ของคุณสมบัติถ่าน (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณ fixed C, VM, และเถ้า) กับเนื้อดินและแร่วิทยาของทั้งดินเนื้อหยาบและดินเนื้อละเอียด ต่อเสถียรภาพของ SOC ซึ่งปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนจากการตอบสนองของเสถียรภาพของ SOC ในดินสองชนิดนี้แตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอัตราการใช้ถ่าน ทำให้เสถียรภาพของ SOC เพิ่มขึ้น ในดินเนื้อหยาบที่มีอะลูมิเนียม (Al) สูง แต่เสถียรภาพของ SOC กลับลดลงในดินเนื้อละเอียดที่มีแมงกานีส (Mn) สูง การศึกษานี้ได้อภิปรายถึงกลไกที่คาดว่าทำให้เสถียรภาพของ SOC เพิ่มขึ้นในดินหยาบแต่กลับลดลงในดินเนื้อละเอียดด้วย

สำหรับผลการศึกษาด้านอิทธิพลของถ่านต่อการปลดปล่อยก๊าซ GHG ซึ่งเป็นการทดลองบ่มในระบบนิเวศจำลองขนาดเล็ก (microcosm) ซึ่งใช้วัสดุทดลองและกรรมวิธีทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาเสถียรภาพของ SOC ที่รายงานไว้ด้านบน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบส่วนที่ย่อยสลายง่ายของถ่านได้แก่ VM มีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซ CO_2 , CH_4 และ N_2O มากกว่าส่วนที่ย่อยสลายยากนั่นคือคาร์บอนเสถียร นอกจากนี้การปลดปล่อย GHG ยังได้รับอิทธิพลจากคุณสมบัติของดินโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความจุในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน (buffering capacity) โดยทั่วไปแล้ว VM ของถ่านกระตุ้นการปลดปล่อย CO_2 , CH_4 และ N_2O ในดินที่มีค่า buffering capacity ทั้งสูง (Oxisol) และต่ำ (Ultisol) แต่ส่วนเถ้าของถ่านที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่ม pH ของดินนั้นยับยั้งการปลดปล่อยก๊าซ GHG เหล่านี้ อย่างไรก็ตาม ถ่านที่มี VM สูง (ถ่านอุณหภูมิต่ำ) ในอัตราสูง (4%) ยับยั้งการปลดปล่อย CO_2 ซึ่งคาดว่ามาจากสารพิษบางชนิดในถ่านไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้าง CO_2 ผลจากการศึกษานี้ นำไปสู่การเสนอกลไกที่อาจเป็นไปได้ต่อการผลิตและปลดปล่อย GHG ที่ได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบ VM และเถ้าของถ่าน ที่มีต่อการทำงานของจุลินทรีย์ดิน กลไกที่ได้รับอิทธิพลจากสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบของ VM คือ กลไกโดยตรงที่เกี่ยวข้องกับการที่ VM เป็นแหล่งอาหารหรือในทางตรงข้าม เป็นสารพิษต่อจุลินทรีย์ และกลไกโดยอ้อมคือ การที่ VM สามารถทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับธาตุอาหารและธาตุที่เป็นพิษบางชนิด ส่วนถ่านนั้นเกี่ยวข้องกับการเพิ่ม pH ของ

ดิน ที่จะเพิ่มได้ต่างกันในดินที่มี buffering capacity ต่างกันที่ศึกษา และถ้ามีอิทธิพลโดยตรงในการดูดซับ GHG บางชนิด นั่นคือ CO_2 และ N_2O อย่างไรก็ดีตาม การศึกษานี้ ถ้าไม่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อย CH_4 คาดว่าเนื่องจากสภาพของดินที่มีการถ่ายเทอากาศอย่างเพียงพอ งานวิจัยที่ควรดำเนินต่อไปคือ ทดสอบกลไกต่างๆ ที่ได้เสนอไว้ใน การศึกษานี้

Project code: BRG 5880018

Project title: Management of organic materials to increase soil fertility and enhance soil carbon sequestration

Investigators: Dr. Patma Vityakon (Project leader)

Dr. Phrueksa Lawongsa

Dr. Benjapon Kunlanit

Dr. Saowakon Hemwong

Dr. Somchai Butnan

Dr. Ratikorn Sanghaw

Ms. Wimonsiri Pingthaisong

Ms. Ratanaporn Poosathit

Mr. Moritz Laub

Mr. Sisavanh Xayavong

Email address: patma@kku.ac.th

Project duration: 4 years (31 July 2015 – 31 July 2018 extended for 1 year to 31 August 2019)

Abstract

This research is a continuation of the previous one funded by the Academic Research Division, TRF (DBG5480001) during 2011-2015 which has similar goals of investigating organic methods through the use of locally available organic residues in Northeast Thailand to restore fertility of a sandy agricultural soil under aerobic conditions. Soil fertility restoration emphasizes soil organic matter (SOM) or soil organic carbon (SOC) accumulation. Additional environmental benefits to this restoration is soil C sequestration to mitigate greenhouse gas emissions. The objectives of these studies were to conduct process-level investigations on decomposition of contrasting quality (chemical composition) organic residues applied to soil as single or mixed forms. The investigations focused on factors regulating decomposition including residue quality factor and

decomposer organism factor, i.e., soil invertebrates and microorganisms that had effects on SOC accumulation in sandy soils. In addition, charcoal or biochar use as a soil amendment was investigated from the viewpoint of its effects on SOC accumulation and greenhouse gasses mitigation. This research has produced five articles published in well recognized international journals.

The first part of the research was process-level investigations on effects of contrasting quality organic residues on SOM accumulation. The investigations in this part were mostly conducted in the long-term experiment of the Research Group on Soil Organic Matter Management, Khon Kaen University located at the research station of the Office of Agriculture and Co-operatives of the Northeast, Tha Phra subdistrict, Khon Kaen Province. The experiment was under upland aerobic conditions. There were five residue treatments including 1) Unamended control, 2) groundnut stover (GN): high quality residue with high N and low lignin (L) and polyphenol (Pp) contents, 3) tamarind leaf (+petiole) litter (TM): intermediate quality with medium contents of N, L and Pp, 4) dipterocarp leaf litter (DP): low quality with low N but high L and Pp contents, and 5) rice straw (RS): low quality but different than DP in that it had low N, L and Pp contents but it had the highest cellulose (CL) content among the residues studied. Applications of treatments 2-5 had been done yearly in early May at the rate 10 tons ha⁻¹ since 1995. These organic residues had a 1-year decomposition period before a new round of organic residue application took place to start a new decomposition cycle. In addition to the field experiment, there was an incubation experiment in controlled conditions to study decomposition of mixed residues of rice straw and groundnut stover.

Studies of soil organic C (SOC) accumulation in sandy soils treated with contrasting quality organic residues continuously for 10, 13, and 21 years under the long-term field experiment were continuation of the studies which the results have been published in an international journal in 2013. The results of the continuing studies confirmed those of the previous study that legume-derived residues including TM and GN led to higher SOC accumulation than that from non-legume residues (RS and DP). Legume residues,

especially TM, had significantly highest SOC in year 10 (3.67 g kg^{-1}) and year 13 (3.58 g kg^{-1}). As for year 21, both TM and GN brought about high SOC which were not significantly different from each other (2.82 and 2.73 g kg^{-1} , respectively). Storage location of SOC in the soil matrix was principally associated with microaggregates in years 10 and 13. In both years 10, and 13 TM treatments had significantly highest C concentrations (2.15 and 1.74 g kg^{-1} , respectively) followed by GN, DP and RS. In year 21 the C concentrations in microaggregates were not significantly different between TM and GN. Studies to determine functional groups constituting molecular structure of SOM in various soil fractions employing the mid-DRIFT spectroscopic technique showed that aliphatic functional groups ($2995\text{-}2880$ and $2880\text{-}2825 \text{ cm}^{-1}$) and phenolic functional group ($1302\text{-}1253 \text{ cm}^{-1}$) had positive correlations with C concentrations in microaggregates ($r = 0.629^{**}\text{-}0.855^{**}$ for the aliphatic and $r = 0.730^{*}$ for the phenolic functional groups). As for fine particles, the correlation coefficients were in the range of $r = 0.578^{*}\text{-}0.839^{*}$ between aliphatic groups and microaggregate C concentrations in some years of the 3 studied years. Regarding the correlations between functional groups of SOC in various soil fractions (small macroaggregates, microaggregates, and fine particles) of all 3 studied years and chemical composition parameters of organic residues, the results showed that aliphatic groups had positive correlations with N concentrations in residues ($r = 0.626^{*}\text{-}0.860^{***}$). On the contrary, aromatic functional groups in the various fractions had positive correlations with lignin and polyphenol concentrations in the residues ($r = 0.584^{*}\text{-}0.940^{***}$).

In addition to studies on SOC accumulation, another study was conducted on changes in soil chemical properties with time for 20 years (including year 2, 6, 11, 16, and 20) of yearly organic residue application. Changes in chemical properties were manifested in increases in soil pH and cation exchange capacity (CEC) under treatments with applied residues relative to unamended control. TM showed higher pH and CEC than the other treatments as seen in the highest pH = 7 in year 20 and the highest CEC = $5.2 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$ in year 6. These were followed by GN treatment. The high pH reflected higher Ca

concentrations of TM (35 g kg^{-1}) and GN (21 g kg^{-1}) relative to the other organic residues studied, i.e., 4 g kg^{-1} (RS) and 8 g kg^{-1} (DP). This brought about high soil exchangeable Ca under TM followed by GN treatments. It is noteworthy that changes in soil chemical parameters during the 20-year period were such that during the period encompassing year 11 to year 16 under treatments receiving organic residues, pH, CEC and concentrations of cations (Ca, Mg, K and Na) decreased sharply. The researchers have advanced a hypothesis that it was due to a mechanism pertaining to soil aggregate formation particularly in the treatments TM and GN through SOM acting as a binding agent of clay particles. Polyvalent cations especially Ca^{2+} can perform a bridging function between clay surface and SOM creating strong bonds between the two materials. These processes led to soil aggregate formation.

Investigations of vertical distribution in soil profiles of dissolved organic carbon (DOC) (extracted by water) derived from contrasting quality organic residues applied during years 13 and 23 of the long-term experiment showed that soils treated with residues containing N, and lignin, i.e., GN, TM, and DP, tended to have DOC accumulated in topsoils. On the other hand, soils treated with RS which had low N, lignin and polyphenols, did not have DOC accumulation in the topsoils but in the subsoils. This study confirmed those of the previous study on vertical distribution of KCl extractable DOC which found similar pattern of distribution. This previous study was recently (2019) published in an international journal under the title “Vertical dynamics of dissolved organic carbon in relation to organic input quality and microaggregate formation in a coarse-textured Ultisol.”

Investigation of applying mixture of rice straw (RS) and groundnut stover (GN) which was to result in different decomposition and SOM accumulation than applying each of the residue singly showed that lignin degradation was lower in RS alone but it was higher in GN alone than that in the mixture. As for cellulose degradation, it was lower in the mixture than that in the single residue. As for effects of applications of single and mixed residues

on SOM accumulation, an occurrence of priming effects on SOM (SOC and SON) was distinctly observed 56 days after residue application as compared to the initial values as seen in decreases in SOC to 4.14-4.30 g kg⁻¹ and SON to 0.24-0.32 g kg⁻¹ below those initial values prior to the organic residue application of 4.89 and 0.37 g kg⁻¹ for SOC and SON, respectively.

Studies of a decomposition regulating factor of soil fauna decomposers employing the litter bag technique in the long-term field experiment plots of year 18 have shown that both meso- and macrofauna exerted their influence on decomposition, while the fauna decomposers were simultaneously influenced by quality or chemical composition of decomposing organic residues. This has led the researchers to develop a conceptual framework of “feedback loops” of interactions between factors of quality (chemical composition) of organic residues (Q) and soil fauna decomposer (F). In this model, the course of decomposition is depicted as the decomposition cascade in which each level represents an individual ecological successional stage. This community change determines the biochemical quality of remaining organic residues in the next successional stage down the cascade. It is hypothesized that the initial chemical constituents of organic residues select for certain members of soil faunal decomposer community. As the cascade proceeds, the residue quality and the soil fauna go on to interact, thus altering their composition continuously over time. In this study 4 feedback loops were found. In the first 4 weeks after residue incorporation (loop #1), both Me (springtails, and mites) and Ma (dominated by beetles) showed an increase in their abundance as influenced by labile CL and N. The abundances were highest under GN [(1.35 and 0.85 individual number (g dry litter)⁻¹] for Me and Ma, respectively). The presence of Ma at week 2 led to a tendency of decreased L concentration ($R^2 = 0.29$, $P=0.067$), indicating that Ma degraded the residue L component before Me could gain access and make use of more labile constituents at week 4. After loop #1, only Ma (beetles) played an important role in decomposition of recalcitrant L ($R^2 = 0.56$ ($P<0.01$) and 0.30, $P=0.071$ for loops #2 (week 4-8) and #3 (week 8-26), respectively), as L became dominant over the exhausted labile substrates. In addition, Ma was the dominant decomposer after loop #1 as was indicated by its influence

on mass loss ($R^2 = 0.52$ ($P < 0.01$) and 0.36 ($P < 0.05$) at weeks 8 and 52, respectively). The feedback loops concept provides a more comprehensive, “two-sided” view into decomposition, as regulated simultaneously by two factors, Q and F, than earlier “one-sided” approaches of soil fauna-mediated decomposition.

Another decomposer factor is microorganisms. Studies of this factor made use of soils from the long-term experiment of year 16 for determination of microbial (bacteria and archaea) abundance and soils of year 19 for microbial types and biodiversity. Higher bacterial and archaeal abundance was found in organic residue amended soils than the non-amended one. As for bacteria, the highest abundance was found in soil treated with high quality organic residue, GN, followed by TM (medium quality) but the highest archaeal abundance was found in TM amended soil. Community structures of bacteria and archaea in unamended soil were different than the amended counterparts. In addition, community structures of bacteria and archaea in soils treated with DP, GN and RS were closer than those in TM soil. In unamended soil, bacteria family Koribacteraceae were found to be the highest in abundance. In GN soil, bacteria in the family Ktedonobacteraceae was the highest in abundance, while in DP soil it was the family Hyphomicrobiaceae and in RS soil the bacterial family Koribacteraceae was found in highest abundance and the abundance was comparable to those of the family Bradyrhizobiaceae and Hyphomicrobiaceae. As for TM soil, the bacterial family Bradyrhizobiaceae was found in highest abundance. Regarding the community structure of archaea, those in GN soil belonged to phylum Crenarchaeota which was found in highest abundance, while TM treatment found archaea in the phylum Euryarchaeota in highest abundance.

A mathematical model to simulate SOM accumulation focusing on the accumulation in soil microaggregates based on the body of knowledge formed through the basic research of the Research Group has led to the model construction that related processes of aggregate formation and microbial activities as influenced by quality or chemical composition of organic residues. Data used for the simulation model was the long-term data (up to year 22) of the long-term SOM experiment. Validation of the model showed that the simulation data could fit the observed data up to a degree, however it

was not yet satisfactory as there were some higher and lower calculated values than observed values in some residue treatments. To improve the accuracy of the model, data of higher temporal resolution (more frequent sampling) than the data set used in this study is required. Such data set can be obtained by frequent sample collection during a future annual decomposition cycle. At this time of this report writing, a master's degree student is collecting such temporally-high resolution data of SOM dynamics during the 25th year cycle of the long-term experiment starting in May 2019. This work is a part of the collaborative research between the Research Group and the German collaborators (University of Hohenheim) under the long lasting (more than 25 years) academic collaboration.

The second part of the research had the objective of assessing effects of biochar (charcoal) differing in quality which included their contents of fixed C, volatile matter (VM), and ash on stability of soil organic C (SOC) and greenhouse gas (GHG) emissions in soil differing in texture and mineralogy, i.e., the Khorat soil (Typic Oxyaquic Kandistults) having loamy sand texture which was collected from Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, and the Wahiawa soil (Rhodic Haplustox) having silty clay loam texture which was collected from Poamoho Research Station, University of Hawaii at Manoa (UH), USA under the research collaboration between the Research Group and UH. Two biochars produced from the same feedstock, i.e. upper parts of eucalyptus tree, but under different pyrolysis techniques, i.e., traditional kiln (TK) at temperature of approx. 350 °C, and a modern technique of Flash CarbonizationTM (FC) at the peak temperature up to 800 °C applied in intense bursts. A greenhouse experiment was conducted from September 2011 to January 2012. Four rates (0, 1, 2, and 4% w/w) of each biochar were applied to each soil. There were interaction effects of biochar properties (fixed C, VM, and ash contents) and soil type on SOC stability. This interaction effect was shown by contrasting responses in SOC stability in the two soil types. Soil organic C stability increased with increases in biochar rates in the coarse textured (Khorat) soil having high Al concentrations. On the contrary, the stability in the fine textured (Wahiawa) soil possessing high Mn concentrations decreased when the biochar rates increased. Possible mechanisms of the increases in SOC stability in coarse-textured soil and decreases in fine-textured soil were discussed.

Regarding the study on effects of biochar on GHG emissions which constituted an incubation study in microcosms employing similar materials and treatments as the study on SOC stability above, it was found that volatile matter (VM)-derived labile fractions of biochars had higher effects on emissions of CO₂, CH₄, and N₂O than their recalcitrant constituents counterpart. In addition, GHG emissions were also affected by soil properties, particularly soil buffering capacity. In general, biochar VM stimulated emissions of CO₂, CH₄, and N₂O in both high (the Oxisol) and low (the Ultisol) buffering capacity soils. Meanwhile, biochar ash, through increasing soil pH, suppressed these GHGs. However, high rate (4%) of high VM low temperature biochar suppressed CO₂ emission. There may have been some VM-derived toxic substances inhibiting CO₂ producer microorganisms. Possible mechanisms were proposed on production and emission of GHGs as affected by VM and ash through their effects on microbial activity. Mechanisms pertaining to effects of VM derived organic compounds on GHG emission are direct mechanisms involving VM acting as a C source for microorganisms and as microbial toxic substances. In addition, an indirect mechanism pertaining to VM through its forming complexation with microbial toxic elements. Meanwhile, ash caused increases in soil pH. However, the increase was different in the studied soils different in buffering capacity. In addition, ash could have a direct effect through adsorption of CO₂ and N₂O. However, CH₄ emission was not affected by biochars due to aerobic conditions of this study. Further research is required to test the proposed mechanisms.