

การใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันต่อรูปแบบการสลายตัว กิจกรรมจุลินทรีย์ และสมบัติดินบางประการในพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือที่มีเนื้อดินหยาบ

Application of different organic residues on decomposition pattern, microbial activity and some properties in salt affected coarse texture soil

ศกุนตลา สุภาสัย¹, วิทยา ตรีโลเกศ^{1*} และ อรรณพ พุทโส²

Sakuntala Supasai¹, Vidhaya Trelo-ges^{1*} and Aunnop Puttaso²

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

¹ Department of Plant Sciences and Agricultural Resources, Land Resources and Environment Division, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen Thailand 40002

² กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

² Division of Soil Biotechnology, Land Development Department, Bangkok

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา อัตราการสลายตัววัสดุอินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมจุลินทรีย์ สมบัติดินและธาตุอาหารในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเกลือที่มีเนื้อดินหยาบ หรือที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้วัสดุอินทรีย์ประกอบด้วยซากถั่วลิสง ใบหญ้าแฝก ฟางข้าว และแกลบซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ซึ่งซากถั่วลิสงเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง ในขณะที่แกลบมีปริมาณลิกนินและเซลลูโลสสูง ผลการศึกษาพบว่า อัตราการสลายตัวเกิดขึ้นเร็วในช่วงแรก (k_1) โดยเฉพาะช่วง 2 สัปดาห์แรก ซึ่งมีอัตราสลายตัวสูงสุดในดินที่ใส่หญ้าแฝก และเกิดการสลายตัวล่าช้าในช่วงหลัง (k_2) อัตราการสลายตัวมีสหสัมพันธ์ทางลบกับคาร์บอนในวัสดุอินทรีย์ ($r = -0.906^{**}$) และสหสัมพันธ์ทางบวกกับอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ($r = 0.729^{**}$) และยังพบว่า กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจากการปลดปล่อย CO_2 ที่เกิดขึ้นทันที โดยเฉพาะดินที่ใส่ซากถั่วลิสง และแกลบซึ่งมีปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน ($r = 0.723^{**}$) และลิกนิน ($r = 0.771^{**}$) ในวัสดุอินทรีย์ สำหรับปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) และไนโตรเจน (MBN) พบในช่วงสัปดาห์ที่ 8 มีค่าสูงสุดในดินที่ใส่ฟางข้าวและซากถั่วลิสงสำหรับ MBC และ MBN ในขณะที่ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ (qCO_2) เพิ่มขึ้นในดินที่ใส่ซากถั่วลิสง และลดลงในดินที่ใส่ฟางข้าว นอกจากนี้ การใส่วัสดุอินทรีย์ยังช่วยให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าลดลง ค่าความจุการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเพิ่ม ดินมีความเข้มข้นของธาตุอาหารเพิ่มขึ้นประกอบด้วยไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นดิน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่นำไปสู่การจัดการดิน น้ำ และปุ๋ยในการปลูกข้าวในดินเนื้อหยาบ

คำสำคัญ: ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีเนื้อดินหยาบ; วัสดุอินทรีย์; อัตราการสลายตัว; กิจกรรมจุลินทรีย์; มวลชีวภาพจุลินทรีย์

ABSTRACT: The aim of this study was to study organic residue decomposition rate, changes in microbial activity, some soil properties, and nutrients in salt affected coarse texture soil. The experiment was a randomized complete block (RCBD) with three replications which organic residue treatment consisting of groundnut stover, vetiver grass leave, rice straw, and rice husk which had different chemical compositions especially organic rich N content (groundnut stover) and high resistant compounds as lignin and cellulose (rice husk). The result of study found that the fast decompost rate (k_1) especially in the first 2 weeks, with highest decomposition rate in soil treated by vetiver grass. The slow decomposition rate in the later stage k_2 (rice husk) was found. Decomposition

* Corresponding author. E-mail: vidtre@kku.ac.th

Received: date; July 12, 2022 Accepted: date; September 21, 2022 Published: date;

rate was negatively correlated with N residue ($r = -0.906^{**}$) and positively correlated with C/N ration ($r = 0.729^*$). We also found that microbial activity as shown by CO_2 evolution was occurred immediately especially in groundnut stover and rice husk which depend on N ($r = 0.723^{**}$) and lignin ($r = 0.771^{**}$) in the residue. Microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass nitrogen (MBN) at week 8, had the highest in soil treated with rice straw and groundnut stover, respectively; while the efficiency of the microbial quotient ($q\text{CO}_2$) was increased in groundnut stover and decreased in rice straw treatments. In addition, adding organic material led to decrease in bulk density, increased water holding capacity, decreased electrical conductivity, and also increased in cation exchange capacity. The concentration of soil nutrients was increased including total nitrogen, available phosphorus, exchangeable potassium, calcium, magnesium, and sodium which related with soil moisture content. This results of changes in soil microbial activity, soil properties, soil nutrients. This reflects changes that have led to apply for soil, water, and fertilizer management in rice cultivation in coarse texture soil.

Keyword: salt affected coarse texture soil; organic residue; decomposition rate; microbial activity; microbial biomass

บทนำ

ทรัพยากรดินมีความสำคัญต่อการผลิตพืช ดินที่มีสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งไม่เหมาะสมต่อการเกษตรจะถูกจัดให้เป็นดินปัญหาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช ดินที่มีผลกระทบจากเกลือทั้งหมด ซึ่งจำแนกย่อยออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ดินเค็ม ดินเค็มโซดิก และดินโซดิก เป็นอีกหนึ่งของดินที่มีข้อจำกัดต่อการปลูกข้าวโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือบกกที่มีการสะสมเกลือจากการละลายของหินเกลือหรือจากน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มากทำให้พบชั้นสะสมเกลือมากมีเนื้อที่ทั้งหมด 2.21 ล้านไร่ และยังมีพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่พบการกระจายของคราบเกลือที่บริเวณผิวดินโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งหรือสภาพความชื้นในดินต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) ซึ่งพบกระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ลุ่มที่ปลูกข้าว ลักษณะและการกระจายตัวของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ในภูมิภาคนี้มีความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการขึ้นลงของเกลือและสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ นอกจากนี้ พื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือปรากฏคราบเกลืออยู่บนผิวดินเป็นหย่อมๆ เป็นที่ว่างเปล่าไม่มีพืชขึ้นและบางพื้นที่มีวัชพืชที่ชอบความเค็ม เช่น หนามแดง หนามปี หญ้าข้ากกลาก กระถินทุ่ง ข้าวที่ได้รับผลกระทบจากดินที่มีผลกระทบจากเกลือทำให้ข้าวเจริญเติบโตผิดปกติไม่สม่ำเสมอ ต้นข้าวแคระแกรน ไม่แตกกอ ปลายใบม้วนงอ เมล็ด และพบข้าวตายเป็นหย่อมๆ (เพิ่มพูน, 2527) ด้วยข้อจำกัดของความเค็มและหรือปริมาณโซเดียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโดยเฉพาะโครงสร้างดินที่ไม่ดีแน่นทึบ และดินมีปริมาณโซเดียมสูงจากเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่า 15 ส่งผลให้อนุภาคดินแตกกระจายได้ง่ายเกิดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุในดิน ทำให้ดินมีอินทรีย์วัตถุต่ำ และส่งผลต่อปริมาณและกิจกรรมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในดินที่มีบทบาทต่อการย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์ในดิน รวมถึงการปลดปล่อยธาตุอาหารในดิน ซึ่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดินต้องการสภาพแวดล้อมในดินที่เหมาะสม ทั้งความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปฏิกริยาดิน ที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตเติบโตของจุลินทรีย์ และสะท้อนถึงประชากรชนิด และประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินที่มีผลกระทบจากเกลือจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดินทำให้เพิ่มจำนวนและกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของกลไกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบดินที่มีผลกระทบจากเกลือ โดยเฉพาะความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ซึ่งจุลินทรีย์ในดินมีบทบาทที่สำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน แปรสภาพธาตุอาหารให้อยู่ในสภาพที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น จุลินทรีย์กลุ่มไนโตรฟายอิงแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมให้เป็นไนเตรตที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้

งานวิจัยที่ผ่านมา เสรี และคณะ (2528) มีการปรับปรุงดินเค็มที่เป็นดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้กลบ และใส่ปุ๋ยคอกทำให้ข้าวเจริญเติบโตแตกกอได้ดี ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น และหลังใส่กลบไปแล้ว 1 เดือนความเค็มของดินลดต่ำลงเกินกว่าครึ่งหนึ่งของความเค็มเริ่มต้น นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มอัตราการระบายน้ำ ลดค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณโซเดียมในดินได้ เช่นเดียวกับ Topark-ngarm (1988) ที่มีการใช้วัสดุฟางข้าวคลุมดินในการลดค่าการนำไฟฟ้าของดินในพื้นที่ดินเค็ม บ้านท่ม อำเภอมือง จังหวัดขอนแก่น โดยสามารถลดค่าการนำไฟฟ้าของดินในฤดูแล้งได้ดี และยังช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงปฏิกริยาดินระหว่างฤดูฝนและฤดู

แล้วโดยไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงมากเกินไป รวมถึงช่วยลดการคายระเหยน้ำของดินทำให้สามารถรักษาความชื้นในดินได้มากขึ้น นอกจากนี้ Arunin et al. (1987) ได้ศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดินเค็มในการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ฟางข้าว แกลบ ปุ๋ยพืชสด (ไสนักรัก) ใบยูคาลิปตัส ใบกระถินณรงค์ และใส่กรดฮิวมิกซึ่งทำให้เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินหลังเก็บเกี่ยวข้าว เช่นเดียวกับ ไพรัช และคณะ (2544) ที่มีการใช้วัสดุปรับปรุงดินเพื่อปลูกอินทผลัมในพื้นที่ดินเค็ม อำเภอยะยี่ จังหวัดขอนแก่น โดยใช้ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก แกลบ ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก+แกลบ และปุ๋ยคอก+แกลบ ทำให้อินทผลัมสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินเค็ม สภาพการนำไฟฟ้าลดลงจะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินด้วยวัสดุอินทรีย์ เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการและปรับปรุงดิน เค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะการใช้วัสดุอินทรีย์ที่ได้ในพื้นที่ซึ่งมีทั้งวัสดุอินทรีย์ที่ได้หลังการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ชากถั่วลิสง และยังมีใบไม้ที่ร่วงหล่นจากไม้ยืนต้นในระบบฟาร์มเกษตรกร (ปัทมา, 1993) หลายงานวิจัยที่ผ่านมาชี้ว่า ระบบการปลูกไม้ยืนต้นช่วยฟื้นฟูปื้นที่ดินเค็มโดยการร่วนหล่นของใบไม้สู่ดินช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน รักษาและหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และอายุของไม้ยืนต้นที่มีการปลูกอย่างยาวนานยิ่งทำให้อินทรีย์วัตถุในดิน (SOM) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ (Puttaso et al., 2011; Vityakon et al., 2000) ชี้ว่า การใช้วัสดุอินทรีย์ทางการเกษตรและใบไม้ร่วงที่ได้ในพื้นที่เกษตรกรอย่างต่อเนื่องส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพดินทรายผ่านการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่ปลดปล่อยธาตุอาหารสู่ดิน การเกิด เม็ดดิน เพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน และเพิ่มปริมาณ SOM ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ SOM และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินสะท้อนถึงคุณภาพของดินได้รับการปรับปรุง รวมถึงกิจกรรมจุลินทรีย์ในดินเป็นตัวชี้วัดคุณภาพดินที่ดี เช่น ประชากรและ ชนิดจุลินทรีย์ดิน การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการรักษาคาร์บอนไว้ในดินแทนที่จะสูญเสียไปในรูป CO₂ (Anderson and Domsch, 1986) ซึ่งวัสดุอินทรีย์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ร่วมกับการจัดการดิน ให้ถูกต้องเหมาะสมอย่างต่อเนื่องจะช่วยปรับปรุงคุณภาพดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในชั้นดินบน ให้เหมาะสมต่อการ เจริญเติบโตของข้าว ทั้งนี้ การศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์ในดินที่มีผลกระทบจากเกลือยังมีจำนวนน้อย โดยเฉพาะรูปแบบการสลายตัวของ วัสดุอินทรีย์ในดินที่มีผลกระทบจากเกลือ และการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมและประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งการเปลี่ยนแปลง ดังกล่าวมีบทบาทอย่างมากต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะไนโตรเจนและคาร์บอนในดิน ดังนั้น การศึกษานี้จึงมี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพจุลินทรีย์ และการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และสมบัติดินบางประการในดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีเนื้อหยาบ

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาและการวางแผนงานทดลอง: ดำเนินการศึกษาในพื้นที่นาดินเนื้อหยาบในพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ บ้านจัวเก่า ตำบลโนนประดู่ อำเภอสีดา จังหวัดนครราชสีมา โดยวางแผนการทดลองแบบกลุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) แปลงทดลองขนาด 3 × 4 ม. มี จำนวน 6 กรรมวิธีทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 1) ไม่ใส่อะไรเลย 2) ชากถั่วลิสง 3) ใบหญ้าแฝก 4) ฟางข้าว 5) แกลบ และ 6) ปุ๋ยคอก ในอัตรา 1.6 ตัน/ไร่ ทำการเตรียมวัสดุอินทรีย์โดยสับเป็นท่อนเล็กให้มีขนาด 5-10 ซม. สำหรับถั่วลิสง หญ้าแฝก และฟางข้าว ทำการกำจัดวัชพืชในแปลงทดลองก่อนการใส่วัสดุอินทรีย์ และกำหนดพื้นที่สำหรับเก็บตัวอย่างดินบริเวณตรงกลางแปลงทดลองขนาด 2 × 2 ม. ใส่วัสดุอินทรีย์โดยโรยบริเวณผิวดินอย่างสม่ำเสมอแล้วกลบลงในดินลึกประมาณ 15 ซม. โดยมีการรบกวนดินน้อยที่สุด และเก็บตัวอย่างวัสดุอินทรีย์ส่วนหนึ่งสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การศึกษาอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์: ศึกษาการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ด้วยวิธีถุงตาข่าย (litterbag technique) โดยเตรียมถุงตาข่ายสำหรับบรรจุวัสดุอินทรีย์ขนาด 20×20 ซม. ที่มีขนาดรู 2 มม. แล้วบรรจุวัสดุอินทรีย์ตามกรรมวิธีทดลองในถุงแล้ว เย็บปิดปากถุงแล้วนำไปวางในแปลงทดลองบริเวณขอบแปลงทั้ง 2 ข้าง และเก็บถุงตาข่ายเพื่อติดตามน้ำหนักที่เหลือ (weight remaining) ที่เวลา 1, 2, 4, 8, 16, 26 และ 52 สัปดาห์ หลังใส่ในดิน แล้วนำไปวิเคราะห์ในส่วนน้ำหนักที่ปราศจากเถ้าของซากวัสดุ อินทรีย์ เพื่อประเมินอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอัตราการสลายตัวจากข้อมูลวัสดุ อินทรีย์ที่เหลือ (Olson, 1963) ดังสมการ (1) และ (2)

$$W_t = W_0 e^{-kt} \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่ W_0 คือมวลเริ่มต้น W_t คือมวลที่เหลืออยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด (t) และ k คือค่าคงที่อัตรารวมในช่วงการสลายตัวตลอดระยะเวลา 20 สัปดาห์ นอกจากนี้ สมการการสลายตัวแบบคงที่ (k) แบบจำลองการถดถอยรูปแบบของอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์

$$W = C_1 (1 - e^{-k_1 t}) + C_2 (1 - e^{-k_2 t}) \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ W คือน้ำหนักรวมที่เหลืออยู่ t ช่วงเวลา ค่า C_1 และ C_2 คือค่าประมาณการของวัสดุอินทรีย์ที่เหลืออยู่ ตามลำดับ k_1 และ k_2 คือสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่เหลืออยู่

การศึกษามวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน: วิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (microbial biomass carbon, MBC) และไนโตรเจน (microbial biomass nitrogen, MBN) ในดิน โดยใช้วิธีการรมด้วยคลอโรฟอร์มแล้วตามด้วยการสกัด (chloroform fumigation-extraction technique) (Vance et al., 1987; Amato and Ladd, 1988) ปริมาณมวลชีวภาพที่ได้เป็นผลต่างระหว่างดินที่ผ่านการรมกับไม่รมคลอโรฟอร์ม สำหรับการหามวลชีวภาพจุลินทรีย์ ประกอบด้วย การหามวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (MBN) ในการคำนวณปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนใช้ค่า $K_c = 0.33$ (Tate et al., 1988; ภัทรลัญญ์, 2550) และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจนใช้ค่า $K_n = 3.1$ (Amato and Ladd, 1988; Sparling, 1991) สำหรับวิธีการวิเคราะห์หา MBC และ MBN ในดิน และวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างปริมาณ MBC กับ MBN เพื่อประเมินประชากรจุลินทรีย์ในดิน

การศึกษากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือการหายใจของดิน (soil respiration): ศึกษาด้วยวิธีการดักจับด้วยต่าง (Anderson, 1982) โดยติดตั้งอุปกรณ์ทรงกระบอกทอพีวี่ซีที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ฝังลงในดินลึก 5 ซม. จากผิวดิน สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตัวดักจับ CO_2 ในแปลงทดลองและทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชม. (ส่วน Blank โดยติดตั้งอุปกรณ์ในบริเวณด้านนอกแปลงทดลองด้วยวิธีการดักจับด้วยต่าง เช่นเดียวกันกับพื้นที่ทดลอง) แล้วนำ NaOH มาไทเทรตกับกรด (HCl) เพื่อคำนวณปริมาณ CO_2 หรือ CO_2-C (มก.)

$$CO_2-C \text{ (mg)} = (B-V) NE$$

โดยที่ B คือ ปริมาตร (mL) ของกรด HCl สำหรับการไทเทรตกับ Blank, V คือ ปริมาตร (mL) ของกรด HCl สำหรับการไทเทรตกับ sample, N คือ ความเข้มข้นของ HCl และ E คือน้ำหนักสมมูลของ CO_2-C และทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการนำคาร์บอนมาใช้เพื่อการสร้างเซลล์ metabolic quotient (qCO_2) คำนวณจากสมการ (Anderson and Domsch, 1993)

$$qCO_2-C \text{ (mg/kg soil DW)} = CO_2-C / \text{microbial biomass C}$$

การเก็บตัวอย่าง: เก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนดินที่ความลึก 0 – 15 ซม. สำหรับวิเคราะห์สมบัติดินบางประการที่เวลา 0, 1, 2, 4, 8, 16, 26 และ 52 สัปดาห์หลังใส่วัสดุอินทรีย์ และเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนดินโดยวิธีกระบอกเก็บดินเพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมดินที่เวลา ก่อน และหลังการทดลอง (52 สัปดาห์)

การวิเคราะห์ตัวอย่าง: วิเคราะห์ตัวอย่างดิน ประกอบด้วย ความชื้นในดิน ความหนาแน่นของดินโดยวิธีกระบอกเก็บดิน เนื้อดินด้วยวิธีปิเปต ความเป็นกรด-ด่าง (ดิน:น้ำ, 1:1) สภาพการนำไฟฟ้า (ดิน:น้ำ, 1:5) อินทรีย์คาร์บอนในดินโดยร้อนผ่านตะแกรง 1 มิลลิเมตร โดยวิธีสันดาปเปียก (wet oxidation) ตามวิธีของ Walkley and Black ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ด้วยวิธี Micro Kjeldahl (ทศนีย์ และคณะ, 2532) ปริมาณประจุบวกที่เป็นต่าง (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) โดยวิธีการชะล้างด้วย 1 N NH_4OAc (pH 7.0) แล้ววัดปริมาณประจุบวกที่เป็นต่างโดยวิธี Atomic Adsorption Spectrophotometry (AAS) ค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (CEC) วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยวิธี Bray II และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (exchangeable K) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ ประกอบด้วย คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธีการเผาไหม้แบบแห้ง (dry combustion) และวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ Elemental analyzer (NA

1500, Carlo Erba, Milan, Italy) ปริมาณลิกนิน และเซลลูโลส โดยวิธี Acid detergent lignin (Van Soest and Wine, 1968; Anderson and Ingram, 1993)

การเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ : เก็บข้อมูลในช่วงเดือนมิถุนายน 2559 ถึงมิถุนายน 2560 จากสถานีศูนย์อุทกวิทยา และบริหารน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกันยายน 2559 และพฤษภาคม 2560 และมีปริมาณสะสมเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม 2559 และกุมภาพันธ์ 2560 ดังแสดงใน Figure 1

การวิเคราะห์ข้อมูล: วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลตามแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างปัจจัยศึกษาโดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD) วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย และสมการถดถอยโดยใช้ระบบโปรแกรมสำเร็จรูป Statistix 8.0 และ SigmaPlot®

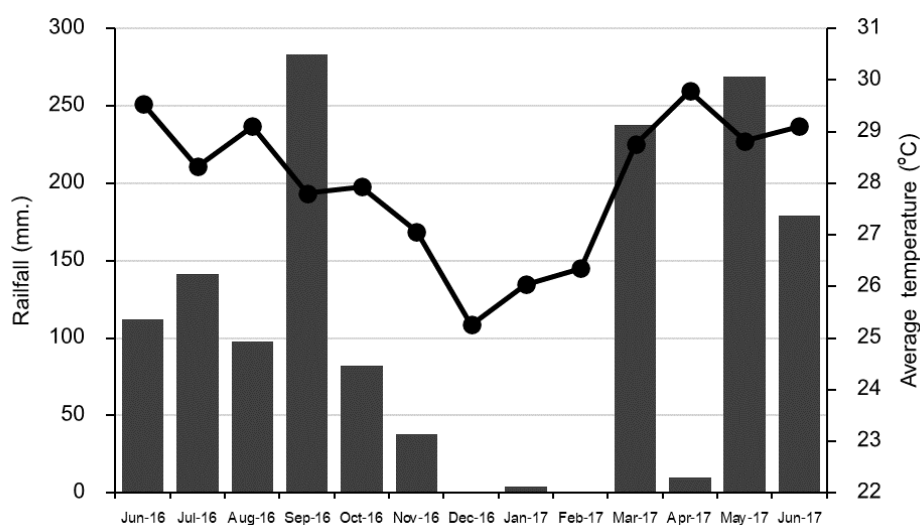


Figure 1 Climatic conditions [weekly rainfall (bars) and average temperature (black circle)] after application of residues during the period (year 2016 – 2017) of the field measurements

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดินเบื้องต้นก่อนการศึกษา และวัสดุอินทรีย์

ดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นดินนาชุดดินกุลาร้องไห้ (Typic Natraqualfs) พิกัดแปลง UTM 229935.89E 1720963.88N มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam) ซึ่งมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายสูง (71.53%) และอนุภาคขนาดดินเหนียวต่ำ ดินมีลักษณะทางกายภาพไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของดินมีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 1.6 ก./ลบ.ซม. สมบัติทางเคมีดินมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย ค่าความเค็มของดินภายใต้อิทธิพลเกลือต่ำเท่ากับ 0.015 เดซิซีเมนส์/ม. แต่กลับส่งผลให้โซเดียมที่มีอยู่ในดินเท่ากับ 1.63 เซนติโมล/กก. อีกทั้งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากับ 2.46 ก./กก. และไนโตรเจนทั้งหมดในดินเท่ากับ 0.12 ก./กก. สำหรับแคลเซียม แมกนีเซียม ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินอยู่ในเกณฑ์ต่ำ คือมีค่าเท่ากับ 1.21, 0.20 และ 4.18 เซนติโมล/กก. ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูง คือ 42.8 มล./กก. (Table 1) สภาพพื้นที่ศึกษาโดยทั่วไปบริเวณผิวดินพบคราบเกลือในช่วงฤดูแล้ง สภาพพื้นที่มีลักษณะราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-2% ส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ที่ดินในการทำนาปลูกข้าวได้ในพื้นที่ห่อมนที่ไม่พบคราบเกลือ หรือมีน้ำขัง ข้อสังเกตและเสนอแนะ พบคราบเกลือที่ผิวดินประมาณ 1-10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ และพบข้าว หรือต้นหญ้าวัชพืช ตายเป็นหย่อม

Table 1 Initial physical and chemical properties of topsoil (0-15 cm) at before organic residue incorporation

Soil properties	Mean values
Sand content (%)	71.53
Silt content (%)	24.34
Clay content (%)	4.13
Soil texture	Sandy loam
Bulk density (g/cm ³)	1.63
Soil pH (1:1, soil:H ₂ O)	6.50
EC (1:5, soil:H ₂ O) dS/m	0.015
Soil organic matter (g/kg)	2.46
Total nitrogen (total N; g/kg)	0.12
Available phosphorus (g/kg)	42.8
Exchangeable Calcium (exch.Ca; cmol _c /kg)	1.21
Exchangeable Magnesium (exch.Mg; cmol _c /kg)	0.20
Exchangeable Sodium (exch.Na; cmol _c /kg)	1.63
Exchangeable potassium (exch.K; cmol _c /kg)	0.02
Cation exchange capacity (CEC; cmol _c /kg)	4.18

จากผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ชากถั่วลิสง ใบหญ้าแฝก ฟางข้าว แกลบ และปุ๋ยคอก พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของชากถั่วลิสง หญ้าแฝก ฟางข้าว แกลบ มีปริมาณ คาร์บอนใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 309.80 – 342.40 ก./กก. เมื่อพิจารณาระหว่างวัสดุอินทรีย์ที่ได้จากพืชวงศ์ถั่ว และไม่ใช่วงศ์ถั่ว จะเห็นว่าวัสดุอินทรีย์ที่เป็นพืชวงศ์ถั่ว (ชากถั่วลิสง เท่ากับ 18.30 ก./กก.) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สูงกว่าวัสดุอินทรีย์ที่ไม่ใช่พืชวงศ์ถั่ว ซึ่งสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้ทันทีที่ใส่ลงในดิน สำหรับปริมาณลิกนินซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอนที่ต้านทานต่อการสลายตัวมีค่าอยู่ในช่วง 27.20 ก./กก. (ฟางข้าว) ถึง 148.10 ก./กก. (แกลบ) ส่วนปริมาณเซลลูโลสมีค่าอยู่ระหว่าง 351.90 – 480.50 ก./กก. ปริมาณไนโตรเจนและคาร์บอนที่แตกต่างกันส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยต่ำสุดที่ชากถั่วลิสง (16.9) และสูงสุดที่แกลบ (51.6) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์แล้วจะเห็นว่ามียุควัสดุอินทรีย์ที่ให้ไนโตรเจนสูง เช่น ชากถั่วลิสง และกลุ่มที่ให้คาร์บอนสูง เช่น หญ้าแฝก และกลุ่มที่มีสารต้านทานการย่อยสลายสูง เช่น แกลบ และมีตัวแทนวัสดุที่น้ำจะให้ธาตุอาหารได้เร็วที่สุดคือ ปุ๋ยคอก เพราะผ่านการย่อยสลายมาแล้ว ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Chemical compositions of organic residue locally available in Northeast Thailand

Organic residue	C	N	Lignin	Cellulose	C/N	Lignin/N
	g/kg.....					
Groundnut stover	310.2	18.3	90.2	374.5	16.9	4.9
Vetiver grass (leave)	342.4	9.9	66.6	351.9	34.6	6.7
Rice straw	325.1	7.7	27.2	425.1	42.2	3.5
Rice Husk	309.8	6.0	148.1	480.5	51.6	24.7
Cow manure	173.3	8.3	72.1	473.0	20.9	8.7

รูปแบบและอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน

จากผลการศึกษาการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ (litter decomposition) สำหรับซากถั่วลิสง ใบหญ้าแฝก ฟางข้าว และแกลบ หลังการใส่ลงไปในดิน พบว่า วัสดุอินทรีย์ทุกชนิดเริ่มมีการสลายตัวหลังใส่ลงไปในดินในสัปดาห์ที่ 1 โดยมีน้ำหนักเหลือจากการสลายตัวอยู่ในช่วง 14.31-7.04 ก. หรือคิดเป็น 35.77-17.59% ของน้ำหนักเริ่มต้น โดยหญ้าแฝกมีการสลายตัวเร็วที่สุดและมีน้ำหนักเหลืออยู่น้อยที่สุด รองลงมาคือ ฟางข้าว ในขณะที่แกลบและซากถั่วลิสงมีน้ำหนักเหลืออยู่ใกล้เคียงกัน (Table 3) หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2 ถึง 8 น้ำหนักของหญ้าแฝกเหลืออยู่น้อยที่สุด ในขณะที่น้ำหนักของแกลบมีแนวโน้มน้ำหนักเหลืออยู่สูงสุด ในสัปดาห์ที่ 16 ดินที่ใส่ซากถั่วลิสง ฟางข้าว และหญ้าแฝก มีน้ำหนักเหลืออยู่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่แกลบมีน้ำหนักเหลืออยู่สูงสุด สำหรับในสัปดาห์ที่ 26 น้ำหนักของฟางข้าว เหลืออยู่น้อยสุด รองลงมาคือ ซากถั่วลิสง หญ้าแฝก และแกลบ มีค่าเท่ากับ 1.60, 2.12, 3.77 และ 9.89 ก. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 52 (1 ปี) พบว่า วัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดเริ่มมีการสลายตัวช้าในช่วงหลัง แกลบมีน้ำหนักเหลือมากที่สุด (9.38 ก.) รองลงมาคือ หญ้าแฝก (3.49 ก.) ซากถั่วลิสง (1.87 ก.) และฟางข้าว (1.49 ก.) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด หลังใส่ลงไปในดินลดลงตามเวลา สามารถอธิบายอัตราการสลายตัว (k) ของวัสดุอินทรีย์ซึ่งพิจารณาจากค่าคงที่ของการสลายตัว แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกที่มีการสลายตัวเร็วโดยเฉพาะในช่วง 2 สัปดาห์แรก และช่วงหลังที่มีการสลายตัวช้า ซึ่งจะเห็นได้จากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ ช่วงแรก คือ k_1 ในดินที่ใส่หญ้าแฝกมีอัตราการสลายตัวเร็วสุด (85.1 ก./สัปดาห์) รองลงมา คือ ฟางข้าว (49.2 ก./สัปดาห์) แกลบ (36.8 ก./สัปดาห์) ส่วนซากถั่วลิสง (1.9 ก./สัปดาห์) มีอัตราการสลายตัวช้าสุด ส่วนในช่วงที่ 2 หรือช่วงหลังของการสลายตัว โดยพิจารณาจากค่าคงที่ของการสลายตัว k_2 คือ ฟางข้าว และซากถั่วลิสง มีค่า k_2 ใกล้เคียงกัน (0.06 ก./สัปดาห์) รองลงมาคือหญ้าแฝก มีค่าคงที่ของการสลายตัว k_2 เท่ากับ 0.01 ก./สัปดาห์ ส่วนแกลบมีค่าคงที่ของการสลายตัว (k_2 เท่ากับ 0.006 ก./สัปดาห์) ช้ามากที่สุด (Figure 1) เมื่อพิจารณาอัตราการสลายตัวตลอดเวลา 52 สัปดาห์จะเห็นว่า ในช่วงแรกของการสลายตัวนั้นหญ้าแฝกมีอัตราการสลายตัวเร็วสุดในขณะที่ซากถั่วลิสงมีอัตราการสลายตัวช้าสุด ในทางกลับกันในช่วงหลังของการสลายตัว ฟางข้าว และซากถั่วลิสง มีอัตราการสลายตัวเร็วสุด ส่วนแกลบมีอัตราการสลายตัวช้าสุด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสลายตัวกับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ พบว่า อัตราการสลายตัว k_1 มีความสัมพันธ์ทางลบกับคาร์บอน r เท่ากับ -0.906^{**} และอัตราการสลายตัว k_2 มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน r เท่ากับ 0.729^* (Table 4) ซึ่งให้เห็นว่า ในช่วงแรกของการสลายตัววัสดุอินทรีย์ที่มีคาร์บอน และลิกนินเป็นองค์ประกอบสูง มีผลทำให้เกิดการสลายตัวช้า เช่น แกลบ ขณะเดียวกันวัสดุอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน และอัตราส่วนลิกนินต่อไนโตรเจนสูง มีผลต่อการสลายตัวเร็ว เช่น ซากถั่วลิสง ส่วนการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในช่วงหลัง พบว่า วัสดุอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง จะส่งเสริมให้เกิดการสลายตัวเร็วเนื่องจากเป็นแหล่งสะสมคาร์บอน และวัสดุอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนสูง เช่น ซากถั่วลิสง จะมีการสลายตัวช้า รวมถึงการมีปริมาณลิกนิน เซลลูโลส อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และลิกนินต่อไนโตรเจนที่สูง คุณสมบัติองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์เหล่านี้ก็ไม่ได้เป็นข้อจำกัดต่อการสลายตัวในพื้นที่ดินเค็ม

Table 3 Ash free dry weight remaining at weeks after litterbag burial

Treatment	Ash free dry weight remaining (g) at weeks after litterbag burial						
	1	2	4	8	16	26	52
Groundnut stover	13.89a	9.27a	7.80ab	7.34ab	2.13b	2.12c	1.87b
Vetiver grass	7.04c	5.27b	4.69b	4.50b	3.89b	3.77b	3.49b
Rice straw	9.94b	9.76a	8.23ab	7.10ab	3.82b	1.60c	1.49b
Rice husk	14.31a	11.42a	11.01a	10.71a	10.26a	9.89a	9.38a
SED	0.8**	1.4*	1.5*	1.5*	1.3**	0.5**	1.1**
C.V. (%)	9.48	19.73	24.05	26.06	32.50	14.65	34.81

Mean in the same column followed by the same lower case letters are not significantly different ($p>0.05$), LSD

SED = standard error of the difference

*, ** = significantly different at $p<0.05$ and < 0.01 , respectively

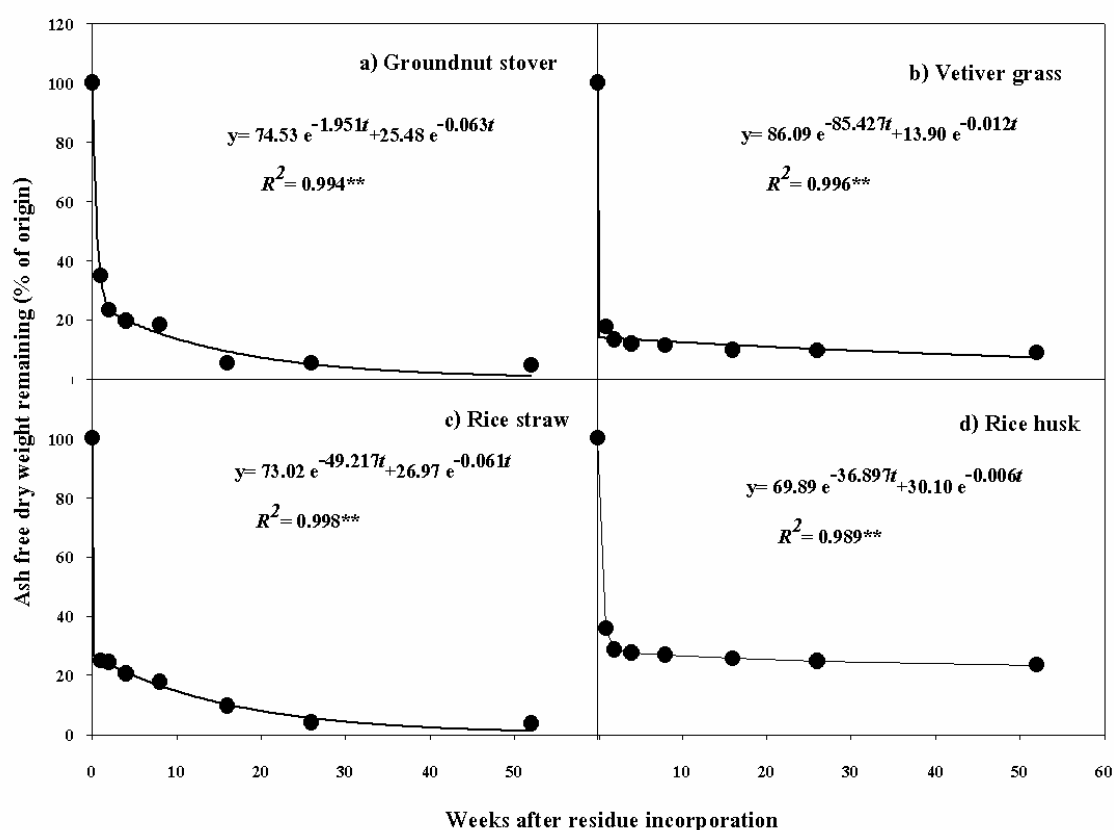


Figure 2 Dry weight remaining (% of origin) of different organic residue chemical composition after Incorporation

Table 4 Pearson correlation coefficients (*r*) between decomposition rate and residues chemical compositions

Decomposition rate	C	N	Lignin	Cellulose	C/N
- k_1 (ช่วงแรก)	-0.906**	0.595	-0.439	0.332	0.063
- k_2 (ช่วงหลัง)	0.250	-0.582	0.593	0.596	0.729*

*, ** = significantly different at $p < 0.05$, 0.01 , respectively

นอกเหนือจากอัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีแล้ว ส่วนหนึ่งยังขึ้นอยู่กับสมบัติของดิน จะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสลายตัวในช่วงแรก k_1 กับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการ (Table 5) พบว่า ค่าคงที่ของการสลายตัวในช่วงแรกมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความชื้นในดินในสัปดาห์ที่ 26 มีความชื้นอยู่ในช่วง 7.76 – 8.95% ปริมาณไนโตรเจนตั้งแต่ครั้งแรกที่ใส่วัสดุอินทรีย์ในดิน โพแทสเซียมในสัปดาห์ที่ 8 โซเดียมในสัปดาห์ที่ 1 และ 4 มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวเร็วในช่วงแรก ส่วนแมกนีเซียมในสัปดาห์ที่ 1, 8 และ 16 มีผลต่ออัตราการสลายตัวในช่วงแรกข้างลง นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการสลายตัวในช่วงหลัง k_2 มีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าการนำไฟฟ้าของดิน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสตั้งแต่ครั้งแรกที่ใส่วัสดุอินทรีย์ลงไปดิน และในสัปดาห์ที่ 4 และ 26 ส่งผลต่ออัตราการสลายตัวช่วงหลังให้เร็วขึ้น รวมถึงความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าการนำไฟฟ้าของดินในสัปดาห์ที่ 16 ไนโตรเจนในสัปดาห์ที่ 2 และ 8 และโพแทสเซียมในสัปดาห์ที่ 2 มีอิทธิพลทำให้อัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในช่วงหลังข้างลง ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ที่เหลืออยู่บางส่วนเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่นานขึ้น สุดท้ายแล้วจะเหลืออยู่ในรูปที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ซับซ้อนต้องใช้จุลินทรีย์ที่มีความจำเพาะเจาะจงลงไปในกระบวนการย่อยสลายอีกครั้ง ทั้งนี้ในช่วงหลังพบความสัมพันธ์ทางบวกของไนโตรเจน และโพแทสเซียม ซึ่งอาจเนื่องมาจากการตายลงของจุลินทรีย์ในดินซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในเซลล์จุลินทรีย์เป็นส่วนมากจึงทำให้เกิดกิจกรรมจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอีกครั้ง สอดคล้องกับ อรรถพล (2559) กล่าวว่า เนื่องจากการสลายตัวในช่วงแรกนั้นมีความสัมพันธ์กับภูมิอากาศและปริมาณของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์เป็นองค์ประกอบในเศษซากพืชและโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตในขณะที่การสลายตัวในช่วงหลังได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นของสารต้านการสลายตัวตัวอย่างลิกนินทำให้สารอินทรีย์มีการสลายตัวล่าช้า ทั้งนี้ปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลที่เป็นองค์ประกอบอยู่สูงทำให้ชะลออัตราการสลายตัวของเศษซากสารอินทรีย์ทั้งในระยะแรกและระยะสุดท้ายของการสลายตัว

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ปัจจัยการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์นอกจากคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์เป็นตัวกำหนดแล้ว ปัจจัยสภาวะแวดล้อมภายนอกอาจจะเข้ามามีอิทธิพลได้กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินดำเนินไปภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านี้ย่อมส่งต่อการดำเนินไปของจุลินทรีย์ดิน

Table 5 Pearson correlation coefficients (*r*) between decomposition rate and some soil properties at before and after residue incorporation

Period (Week)	Soil moisture (%)	EC (dS/m)	N (g/kg)	P (mg/kg)	K -----	Ca -----	Mg -----	Na -----
Decomposition rate (k_1) at early stage								
0	0.009	0.162	0.792*	0.258	0.451	-0.050	-0.595	-0.385
1	-0.451	0.127	0.211	-0.159	0.110	-0.307	-0.765*	0.741*
2	0.094	0.395	-0.109	-0.484	-0.213	-0.255	-0.250	0.156
4	-0.012	-0.690	-0.690	0.226	0.005	0.100	-0.683	0.856**
8	0.252	-0.522	-0.258	-0.074	0.450*	-0.337	-0.746*	0.176
16	0.505	-0.385	-0.085	-0.316	0.093	-0.669	-0.752*	0.447
26	0.710*	-0.094	0.021	0.447	0.291	-0.521	0.103	0.066
52	0.029	-0.450	0.063	0.147	0.083	-0.466	-0.537	-0.305
Decomposition rate (k_2) at later stage								
0	0.188	-0.718*	-0.897*	-0.710*	-0.152	-0.203	-0.049	-0.411
1	0.495	0.636	-0.088	-0.055	0.640	0.653	0.490	-0.545
2	0.139	-0.194	0.787*	-0.282	0.916*	0.468	0.617	-0.432
4	0.392	0.559	0.440	-0.886*	0.294	-0.163	0.492	-0.633
8	-0.078	0.512	0.853*	-0.650	-0.117	0.552	0.581	-0.418
16	0.152	0.951**	-0.076	0.593	0.199	0.254	0.309	-0.410
26	-0.014	0.568	0.102	-0.796*	0.523	0.583	0.326	-0.015
52	0.089	0.575	-0.338	-0.492	-0.097	0.287	0.110	0.383

*,** = significantly different at $p < 0.05$ and < 0.01 , respectively

กิจกรรมจุลินทรีย์ในดินที่ได้รับการใส่วัสดุอินทรีย์

การศึกษากิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์บ่งชี้ถึงลักษณะและกลไกการเปลี่ยนแปลงส่วนอินทรีย์วัตถุในดินได้ โดยประเมินการวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือการหายใจในดิน นอกจากนี้ ยังประเมินปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์ทั้งมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (MBN) เพื่อสะท้อนการหมุนเวียนและการทำงานของจุลินทรีย์ที่จำเป็นต้องอาศัยพลังงานและธาตุอาหารไนโตรเจนจากดินโดยจะดูใช้ธาตุอาหารเพื่อเพิ่มมวลชีวภาพและปลดปล่อยธาตุอาหารกลับคืนสู่ดินเมื่อจุลินทรีย์ตาย

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 evolution) ในดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน ตลอดระยะเวลา 52 สัปดาห์ ผลพบว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในดินในวันที่ใส่วัสดุอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง $4.62 - 28.63 \text{ mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ โดยพบสูงสุดในดินที่ใส่ซากถั่วลิสง ($28.63 \text{ mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$) รองลงมาคือ แกลบ และใบหญ้าแฝก ตามลำดับต่ำสุดคือ ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ ($4.54 \text{ mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$) และหลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 1 ปริมาณการปลดปล่อยลดลงและพบการปลดปล่อยสูงสุดในดินที่ใส่ซากถั่ว

ลิสงและต่ำสุดในดินที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (Figure 2) หลังจากนั้นการปลดปล่อยลดลงในทุกวัสดุอินทรีย์ และการปลดปล่อยเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งในสัปดาห์ที่ 2 และลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 4 และในช่วงสัปดาห์ที่ 8 พบการปลดปล่อยเพิ่มขึ้นในทุกวัสดุอินทรีย์อีกครั้ง เมื่อระยะเวลาผ่านไปเป็นสัปดาห์ที่ 16 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง หลังจากนั้นช่วงสัปดาห์ที่ 26 และ 52 พบการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ในทุกวัสดุอินทรีย์ จากรูปแบบการปลดปล่อย CO₂ จะเห็นว่า ในช่วงแรกของการสลายตัวที่มีการสลายตัวเร็ว โดยเฉพาะช่วงสัปดาห์ที่ 1-8 ดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์มีการปลดปล่อย CO₂ สูงโดยเฉพาะซากถั่วลิสงและฟางข้าว ซึ่งว่า ส่วนของคาร์บอนในวัสดุอินทรีย์โดยเฉพาะส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย (labile C) ถูกย่อยสลายและปลดปล่อยได้ง่ายเห็นได้จาก สหสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างการปลดปล่อย CO₂ กับคาร์บอนในวัสดุอินทรีย์ในสัปดาห์ที่ 1 ($r = 0.371$) Sorrensen et al. (1996) รายงานว่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สะสมจากการใส่กลูโคสและใบถั่วที่บดละเอียด ซึ่งกลูโคสเป็นส่วนหนึ่งของคาร์บอนที่สลายตัวได้ง่ายและเป็นประโยชน์ต่อการใช้ของจุลินทรีย์จึงทำให้มีการปลดปล่อย CO₂ สะสมได้ (27% ของคาร์บอนที่ใส่) สูงกว่าใบถั่วบดละเอียด (24% คาร์บอนที่ใส่) ในขณะที่ดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ที่สลายตัวยากซึ่งคาร์บอนส่วนใหญ่เป็นรูปที่ต้านทานการสลายตัว (recalcitrant C) อาทิ ลิกนิน เซลลูโลส และปฏิสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนส่งผลต่อการปลดปล่อยในระดับต่ำ ($r = -0.212$ ถึง -0.430) นอกจากนี้ วัสดุอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง (ซากถั่วลิสง) ส่งเสริมต่อการปลดปล่อย CO₂ ด้วย อาจเนื่องจากวัสดุอินทรีย์มีการปลดปล่อยไนโตรเจนซึ่งเป็นอาหารให้กับจุลินทรีย์ในดินทำให้ดำเนินกิจกรรมได้ดีเห็นได้จากสหสัมพันธ์ในสัปดาห์ที่ 1 ($r = 0.723^{**}$, (Table 6) Gachengo et al. (2004) รายงานว่า การปลดปล่อย CO₂ มีความสัมพันธ์ทางบวกกับไนโตรเจนและคาร์บอนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งทั้งไนโตรเจน และคาร์บอนที่ละลายน้ำเป็นตัวชี้สารประกอบที่ย่อยสลายง่าย ผลนี้สะท้อนว่า การใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ส่วนของคาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำหรับดำเนินกิจกรรมได้ดี ทั้งนี้จะเห็นว่าดินที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ไม่มีแหล่งพลังงานและอาหารให้กับจุลินทรีย์จึงทำให้เกิดกิจกรรมได้ต่ำสุดตลอด 8 สัปดาห์ แต่มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบคล้ายกับดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ และเมื่อพิจารณาการสลายตัวในช่วงหลังจากสัปดาห์ที่ 8 - 16 มีการปลดปล่อย CO₂ ลดลงในทุกดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ แม้เป็นช่วงที่มีระดับค่าการนำไฟฟ้าต่ำ แต่พบว่า เป็นช่วงที่มีความชื้นสูง (10.27 – 29.04%) จนอยู่ในระดับที่น้ำแช่ขังหรือสภาพขาดออกซิเจนทำให้จุลินทรีย์ดำเนินกิจกรรมได้ไม่ดี หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 26 มีการปลดปล่อยเพิ่มขึ้นและอยู่ในระดับที่คงที่จนถึงสัปดาห์ที่ 52 ซึ่งปัจจัยคาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์เป็นข้อจำกัดต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน รวมถึงในช่วงดังกล่าวคาร์บอนที่สลายตัวยากถูกใช้ไปคงเหลือส่วนของคาร์บอนส่วนที่สลายตัวยาก จุลินทรีย์จึงใช้คาร์บอนในการดำเนินกิจกรรมได้ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามในช่วงดังกล่าวสภาพความชื้นยังอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถดำเนินกิจกรรมได้ดี (10-20%)

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่าภายหลังจากใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันลงไปในดิน ความชื้นในดินยังคงถูกเก็บรักษาไว้ในดิน แม้จะมีอัตราการระเหยของน้ำในดินเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตามฤดูกาล ทำให้เกลือที่เคลื่อนที่ขึ้นมาสะสมบริเวณหน้าดินลดลงรวมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินยังคงดำเนินอยู่ได้ภายใต้ข้อจำกัด ซึ่งกระบวนการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นจะคงเหลือองค์ประกอบคาร์บอนในส่วนที่ย่อยสลายตัวยาก และมีโครงสร้างที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน จำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์ที่มีความจำเพาะเจาะจงในการย่อยสลาย ดังกล่าว ซึ่ง ธงชัย (2558) กล่าวว่า ความชื้นดินมีความสำคัญในการดำรงชีวิตกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่นการทำงานของเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ปลดปล่อยออกมานอกเซลล์การละลายสารประกอบของธาตุอาหารต่าง ๆ ตลอดจนเป็นที่อยู่อาศัยและช่วยในการเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์ และน้ำยังมีผลต่อการถ่ายเทอากาศในดินด้วย ดังนั้นระดับความชื้นของดินจึงมีความสัมพันธ์กับอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินอย่างใกล้ชิด

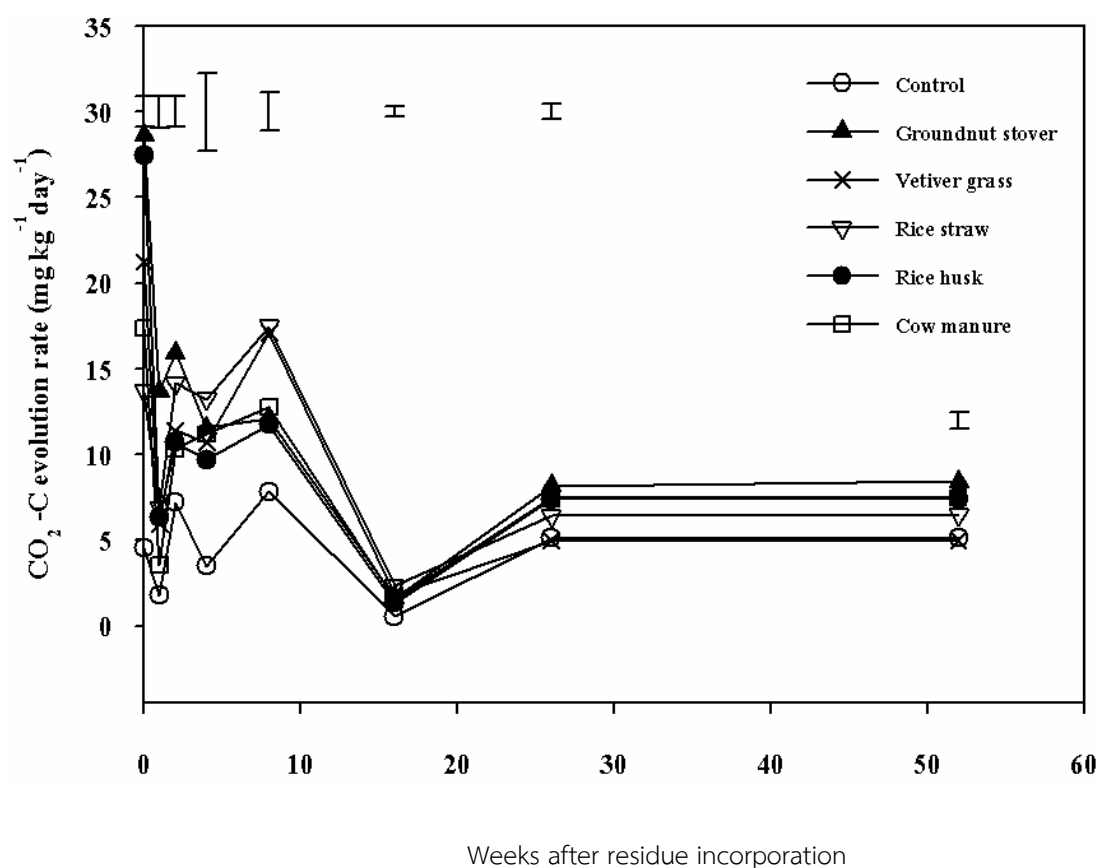


Figure 3 Carbon dioxide (CO₂-C) evolution (mg kg⁻¹ day⁻¹) as affected by different organic residue incorporation

Table 6 Pearson correlation coefficient (*r*) between carbon dioxide (CO₂-C) evolution after residue incorporation and organic residues chemical compositions

Period (Week)	C	N	Lignin	Cellulose	C/N	Lignin/N
0	0.244	0.459	0.771**	-0.130	-0.067	0.466
1	0.371	0.723**	0.088	-0.430	-0.302	-0.212
2	0.136	0.242	-0.106	-0.168	-0.112	-0.183
4	0.015	0.041	-0.215	-0.052	-0.051	-0.195
8	0.321	-0.170	-0.562	-0.344	0.175	-0.404
16	0.155	-0.042	-0.403	-0.150	0.056	-0.312
26	-0.303	0.254	0.291	0.318	-0.243	0.154
52	-0.289	0.305	0.293	0.286	-0.275	0.133

มวลชีวภาพจุลินทรีย์

1) มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน

จากผลการศึกษาการเกิดมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) เมื่อการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันที่ได้ใส่ดำเนินไปในดินที่มีสภาพเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่ การเปลี่ยนแปลง MBC สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่1) คือ หลัง

ใส่วัสดุอินทรีย์จนถึงสัปดาห์ที่ 8 เป็นช่วงที่ปริมาณ MBC เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด และช่วงที่ 2) เริ่มตั้งแต่ 16 – 52 สัปดาห์หลังใส่วัสดุอินทรีย์เป็นช่วงที่ปริมาณ MBC ส่วนใหญ่มีค่าต่ำ โดยช่วงที่ 1 ปริมาณ MBC เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 4 ถึง 8 สูงสุดคือฟางข้าว รองลงมาคือ แกลบ ปุ๋ยคอก ชากถั่วลิสง และหญ้าแฝก ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณ MBC ในช่วงดังกล่าวเกิดจากการที่จุลินทรีย์มีการดูดใช้คาร์บอนจากดิน ซึ่งในช่วงแรกของการย่อยสลายจุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงง่ายเพื่อนำไปใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ ส่วนในช่วงที่ 2 ปริมาณ MBC ส่วนใหญ่ลดต่ำลงในสัปดาห์ที่ 16 สาเหตุอาจเนื่องมาจากการที่จุลินทรีย์ได้ตายลงไป ซึ่งอาจเกิดจากช่วงชีวิตของจุลินทรีย์สั้น และอีกส่วนเนื่องมาจากช่วงเวลาดังกล่าวความชื้นในดินส่วนใหญ่สูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าว คือ อยู่ระหว่าง 20.77 – 29.04 % อีกทั้งการที่ MBC ส่วนใหญ่มีค่าต่ำในช่วงที่ 2 เนื่องจากสารประกอบคาร์บอนที่เป็นสารอาหารส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนที่ย่อยสลายยากจากพวกลิกนิน ดังนั้นความเป็นประโยชน์ของคาร์บอนต่อจุลินทรีย์จึงลดลงเนื่องจากกระบวนการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ดัง Figure 4

จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง MBC และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน พบว่า ในช่วง 52 สัปดาห์ $r = -0.6829^*$ (Table 7) หลังใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน MBC มีความสัมพันธ์ทางลบกับไนโตรเจน ซึ่งอาจแสดงว่าไนโตรเจนที่เป็นสารอาหารเริ่มหมดลง ประกอบกับการการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ในช่วงหลังมีคุณภาพไม่เอื้ออำนวยเนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีพันธะแข็งแรงของลิกนิน เซลลูโลส จึงทำให้จุลินทรีย์ขาดแคลนไนโตรเจนที่จะนำมาใช้สำหรับสร้างเซลล์ สอดคล้องกับ Paul and Clark (1989) รายงานว่า ธาตุอาหารที่ละลายได้ง่าย เช่น sugar, amino sugar, organic acid และ amino acid จะถูกปลดปล่อยจากพืชอย่างรวดเร็ว และสิ่งเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ทันที หลังจากสารอาหารที่ละลายได้ง่ายหมดลงองค์ประกอบที่ละลายได้ยากกว่า เช่น เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส จะเริ่มย่อยสลาย เช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกว้าง และปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสจะเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ดินในช่วงหลัง

2) มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในไนโตรเจน

การศึกษาการเกิดมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในไนโตรเจน (MBN) ระหว่างกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันในดิน พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลง 2 ช่วง คือช่วงที่ 1) ปริมาณ MBN เพิ่มขึ้นในช่วง 1-4 สัปดาห์ หลังใส่วัสดุอินทรีย์ลงในระบบดิน พบปริมาณ MBN สูงสุดคือชากถั่วลิสง รองลงมาคือ ฟางข้าว (สัปดาห์ที่ 4) หญ้าแฝก แกลบ (สัปดาห์ที่ 2) และปุ๋ยคอก (สัปดาห์ที่ 1) เนื่องจากถั่วลิสงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูงกว่าวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ จึงส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมามากกว่าวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น และช่วงที่ 2 ปริมาณ MBN เริ่มต่ำในช่วง 8-52 สัปดาห์หลังใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันในดิน ซึ่งอาจจะมีสาเหตุเช่นเดียวกับมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) กล่าวคือเมื่อวัสดุอินทรีย์ถูกนำไปในระบบดินมาระยะหนึ่งแล้วการย่อยสลายจะเหลือองค์ประกอบทางเคมีที่ต้านทานการย่อยสลายเป็นส่วนใหญ่จึงส่งผลให้ปริมาณ MBN มีน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Neely et al. (1991) ที่พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อรา และแบคทีเรีย ลดลงเมื่อใส่เศษซากพืชที่มีองค์ประกอบของลิกนิน อัตราส่วน C/N และลิกนิน/ไนโตรเจนสูง ซึ่งในช่วงระยะเวลาการย่อยสลายที่ยาวนานขึ้นวัสดุอินทรีย์โดยส่วนใหญ่จะคงเหลือองค์ประกอบทางเคมีในส่วนที่ย่อยสลายยาก ซึ่งต้องใช้จุลินทรีย์กลุ่มที่มีความจำเพาะเจาะจงลงไป ซึ่งจะทำให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นอีกครั้งส่งผลให้มีมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนเกิดขึ้นอีก Figure 5

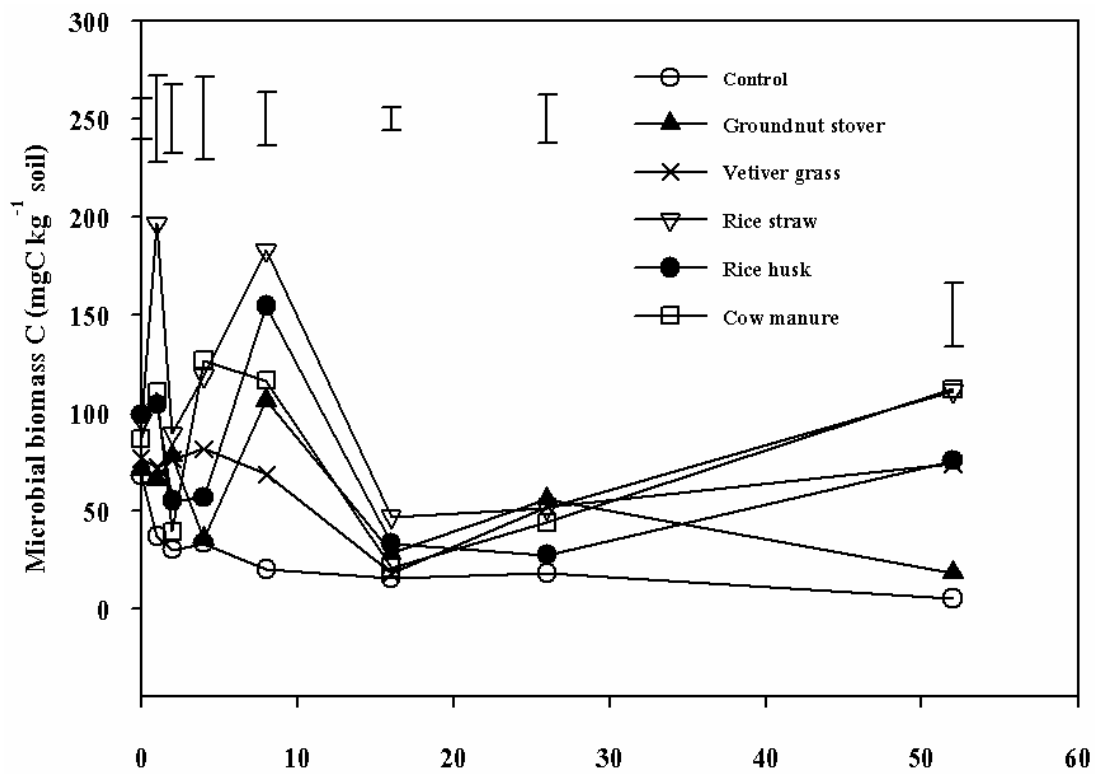


Figure 4 Soil microbial biomass carbon (mgC kg⁻¹ soil) as affected by different organic residue incorporation

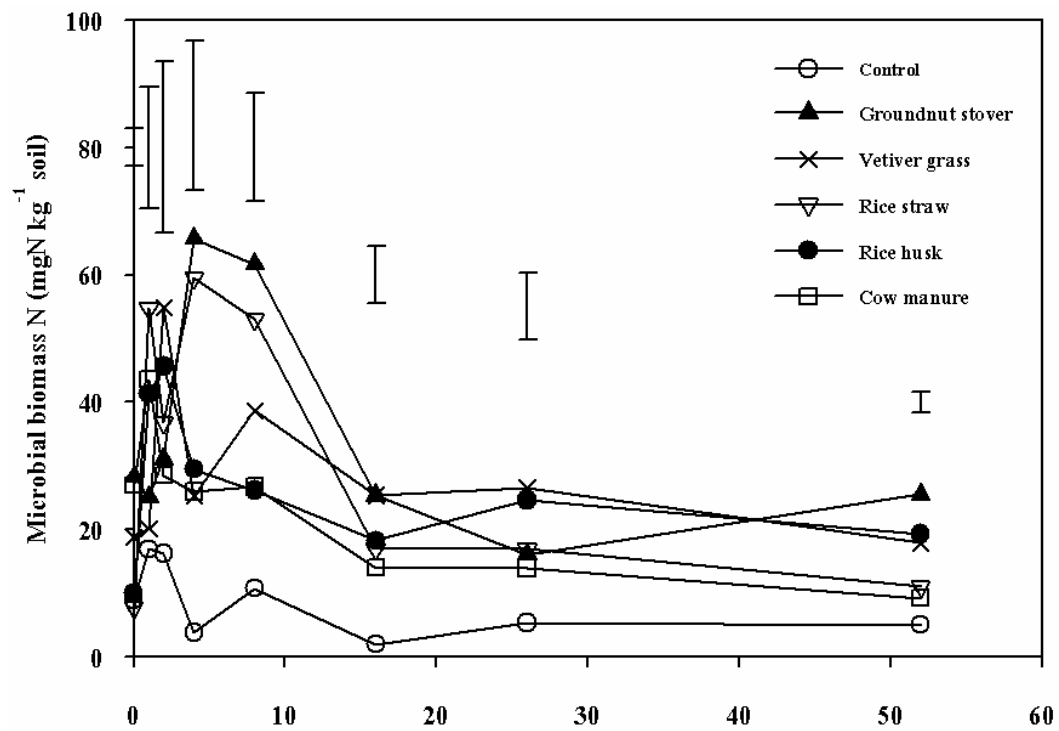


Figure 5 Soi microbial biomass nitrogen (mgN kg^{-1} soil) as affected by different organic residue incorporation

Table 7 Pearson correlation coefficients (r) between residues chemical compositions and microbial biomass C at 52 weeks after residue incorporation

Period (Week)	C	N	Lignin	Cellulose	C/N	Lignin/N
0	-0.053	-0.515	0.087	0.476	0.471	0.330
1	-0.001	-0.406	-0.404	0.298	0.334	-0.127
2	0.463	0.195	-0.282	-0.390	0.074	-0.300
4	-0.363	-0.420	-0.466	0.250	0.022	-0.230
8	0.017	-0.368	-0.044	0.504	0.441	0.186
16	0.268	-0.163	-0.171	0.194	0.384	-0.008
26	0.075	0.275	-0.312	-0.325	-0.264	-0.395
52	-0.335	-0.682*	-0.333	0.445	0.294	0.008

ประสิทธิภาพจุลินทรีย์

ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) เป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพความสามารถของจุลินทรีย์ในการนำคาร์บอนมาใช้สร้างมวลชีวภาพ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในดิน ($q\text{CO}_2$) ในแต่ละช่วงเวลาหลังใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ กับปริมาณคาร์บอนที่ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เพื่อสร้างมวลชีวภาพตนเอง (MBC) ซึ่งประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่ดีเกิดจากจุลินทรีย์มีความสามารถนำเอาคาร์บอนไปใช้เพื่อสร้างเป็นมวลชีวภาพได้ในสัดส่วนที่สูงกว่าสูญเสียไปในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ และหลังจากการใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน พบว่ารูปแบบ $q\text{CO}_2$ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงในแต่ละช่วงของการศึกษา ซึ่งตลอดระยะเวลา 52 สัปดาห์ (Table 8) พบว่า ซากถั่วลิสง มีค่า $q\text{CO}_2$ สูงกว่าทุกวัสดุอินทรีย์ ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 2 และช่วงสัปดาห์ที่ 8 - 26 ซึ่งเห็นว่าจุลินทรีย์นำคาร์บอนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานและปลดปล่อยไปในรูปคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่านำมาเพื่อใช้สร้างเซลล์ สำหรับความสามารถของจุลินทรีย์ในการนำคาร์บอนมาสะสมในมวลชีวภาพจุลินทรีย์ พบว่า พางข้าว มีค่า $q\text{CO}_2$ ต่ำกว่าทุกวัสดุอินทรีย์เกือบทุกช่วง ยกเว้นช่วงสัปดาห์ที่ 2 - 8 และสัปดาห์ที่ 16 ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของจุลินทรีย์ในการนำคาร์บอนมาใช้สร้างเป็นมวลชีวภาพได้มากกว่าการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศจากการหายใจ แสดงให้เห็นว่าภายใต้การใส่วัสดุอินทรีย์พางข้าวในพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือที่มีเนื้อหยาบ มีแนวโน้มหรือศักยภาพในการนำคาร์บอนมาใช้เพื่อสร้างเป็นมวลชีวภาพได้มีประสิทธิภาพสูงสุด แต่การศึกษาของ Puttaso et al. (2011) พบว่าดินที่มีการใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีคาร์บอนส่วนที่ยากต่อการย่อยสลายต่ำ ได้แก่ พางข้าว ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีคาร์บอนยากต่อการย่อยสลายสูง ได้แก่ ใบพลวง ดินที่มีการใส่พางข้าวจึงมีคาร์บอนสะสมต่ำกว่าดินที่ใส่ใบพลวง และเมื่อพิจารณาเรื่องความชื้นในดินต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินประกอบการศึกษาเพิ่มเติม พบว่า ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2-4 ซึ่งความชื้นในดินเพิ่มขึ้น (19.33 - 25.51%) ส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน และในสัปดาห์ที่ 8 (ความชื้นในดิน 10.27 - 13.78%) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติอีกครั้ง ในสัปดาห์ที่ 16 ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น (20.77 - 29.04%) และสัปดาห์ที่ 26 ความชื้นในดินลดลง (7.19 - 10.18%) ส่งผลให้ค่า $q\text{CO}_2$ ในช่วงดังกล่าว ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันที่ใส่ลงในดิน ซึ่ง พางข้าว มีค่า $q\text{CO}_2$ ต่ำสุด ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ดังกล่าวถูกจุลินทรีย์นำคาร์บอนมาสะสมเพื่อใช้สร้างเซลล์มากกว่านำมาเป็นแหล่งพลังงานแล้วปลดปล่อยเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

Table 8 Metabolic quotient (qCO_2) in soil after incorporation of different organic residue

Treatment	Metabolic quotient (qCO_2) (mg CO_2 -C g^{-1} MBC d^{-1})							
	0	1	2	4	8	16	26	52
Control	0.073c	0.041b	0.421	0.082	0.445a	0.032	0.241	0.829a
Groundnut stover	0.410a	0.258a	0.324	0.399	0.163bc	0.078	0.157	0.601a
Vetiver grass	0.271ab	0.096b	0.206	0.165	0.216b	0.122	0.142	0.084b
Rice straw	0.156bc	0.037b	0.278	0.202	0.089c	0.033	0.214	0.060b
Rice husk	0.276ab	0.079b	0.270	0.121	0.088c	0.048	0.397	0.098b
Cow manure	0.198bc	0.038b	0.375	0.067	0.099c	0.104	0.172	0.064b
LSD?	0.067*	0.041*	0.175	0.086	0.038**	0.033	0.179	0.177*
C.V. (%)	29.14	44.64	55.96	49.79	20.78	47.89	81.09	61.24

Mean in the same column followed by the same lower-case letters are not significantly different ($p>0.05$), LSD.

SED = standard error of the difference

*, ** = significantly different at $p<0.05$, <0.01 , respectively.

การเปลี่ยนแปลงสมบัติดินบางประการ

ความหนาแน่นรวมของดิน

จากผลการศึกษาความหนาแน่นรวมของดินก่อนและหลังใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน พบว่า หลังใส่วัสดุอินทรีย์เป็นระยะเวลา 52 สัปดาห์ ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงอยู่ในช่วง 1.54-1.63 ก./ลบ.ซม. เมื่อเทียบกับดินก่อนใส่วัสดุอินทรีย์ (1.71-1.83 ก./ลบ.ซม.) ซึ่งพบความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มต่ำสุดในดินที่ใส่แกลบ และใบหญ้าแฝก (1.54 ก./ลบ.ซม.) (Figure 6) ผลนี้สะท้อนว่า การใส่วัสดุอินทรีย์ในดินช่วยส่งเสริมทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้น ไม่แน่นทึบ ทั้งนี้ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และมีชั้นส่วนของวัสดุอินทรีย์ซึ่งมีบทบาทในการเป็นสารเชื่อมของการเกาะตัวเป็นเม็ดดินซึ่งทำให้เกิดช่องว่างในดิน ดินมีโครงสร้างร่วนซุย

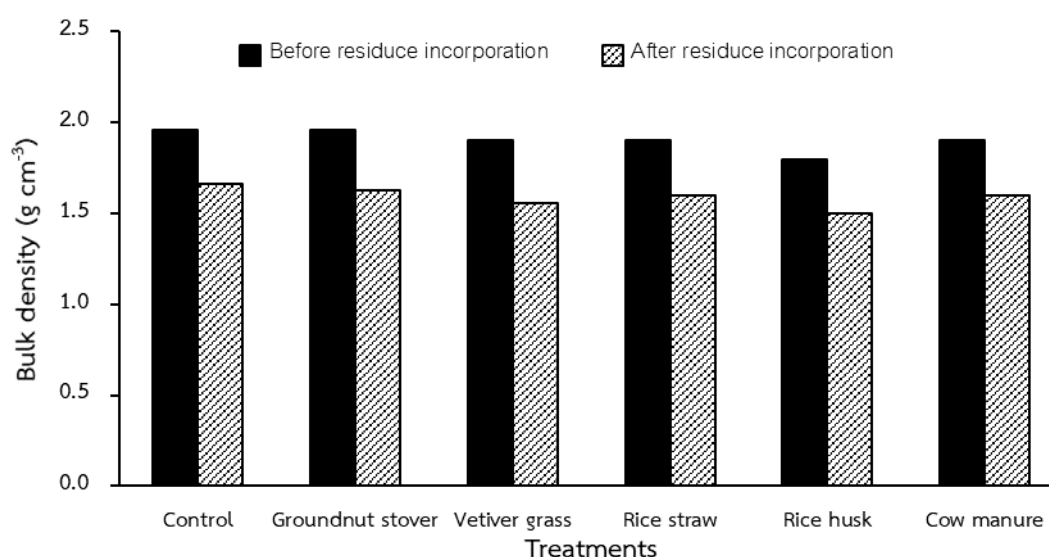


Figure 6 Bulk density at before and after organic residue incorporation

ความชื้นในดิน

จากผลการติดตามสภาพความชื้นในดินภายหลังใส่วัสดุอินทรีย์ในดิน พบว่า ในสัปดาห์ที่ 1 – 2 ความชื้นในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ ยกเว้น ดินที่ใส่ขากถั่วลิสงที่มีปริมาณความชื้นลดลง (Table 8) หลังจากนั้น พบว่าความชื้นในดินมีค่าลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 8 ยกเว้น พางข้าวที่มีปริมาณความชื้นในดินเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 4 และลดลงในสัปดาห์ที่ 8 ในสัปดาห์ที่ 16 ดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ทุกชนิดมีความชื้นเพิ่มขึ้นและสูงสุดในดินที่ใส่พางข้าว (29%) รองลงมาคือ ดินที่ใส่ใบหญ้าแฝก (26%) และเมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 26 พบการลดลงของความชื้นในดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ทุกชนิดอีกครั้งซึ่งมีความแตกต่างในแต่ละชนิด และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 52 พบว่า ดินที่มีการใส่วัสดุอินทรีย์ทุกชนิดมีความชื้นในดินเพิ่มขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงความชื้นดังกล่าว จะเห็นว่า ส่วนหนึ่งสัมพันธ์กับกับปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละช่วงตลอด 52 สัปดาห์ (Figure 1) นอกจากนี้ สภาพความชื้นในดินส่วนหนึ่งเกิดจากการใส่วัสดุอินทรีย์ซึ่งการใส่วัสดุอินทรีย์ในดินส่งผลทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดี และเศษซากวัสดุอินทรีย์ที่เหลือจากการสลายตัว (weight remaining) ในแต่ละช่วงเวลาเป็นอีกปัจจัยที่เพิ่มพื้นที่ผิวให้กับดินในการดูดซับน้ำไว้ในดินทำให้ช่วยรักษาและควบคุมระดับความชื้นไว้ในดินได้ดีกว่าดินที่ไม่ใส่อะไรเลย นอกจากนี้ การใส่วัสดุอินทรีย์ช่วยให้ดินมีการจับตัวกันเป็นโครงสร้างเม็ดดินเกิดเป็นช่องว่างในดินขนาดต่าง ๆ เป็นแหล่งสำหรับเก็บกักน้ำไว้ในดิน สมพล และคณะ (2542) รายงานว่าการใส่วัสดุอินทรีย์ทำให้เพิ่มช่องว่างในดินและการหมุนเวียนอากาศในดิน รวมถึงทำให้การเคลื่อนที่ของเกลือที่ผสมอยู่ในสารละลายดินขึ้นมาสะสมที่ผิวดินดินลดลง การระเหยน้ำออกจากดินช้าลงหรือชะลอการระเหยน้อยลง ดินสามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชปลูกเพิ่มมากขึ้น

Table 8 Soil moisture in soil under different organic residue at 52 weeks after residue incorporation

Treatment	Soil Moisture (%) at weeks after different organic residue incorporation							
	0	1	2	4	8	16	26	52
Control	12.67	17.95	19.49	19.33	11.39	20.77	7.19c	15.17
Groundnut stover	15.99	22.63	21.25	20.47	10.27	23.11	7.76bc	19.90
Vetiver grass	15.93	20.76	21.52	19.56	12.83	26.81	8.95ab	19.98
Rice straw	16.57	20.74	22.15	25.51	13.78	29.04	8.72abc	21.34
Rice husk	15.94	20.08	20.98	20.03	12.33	23.59	7.69bc	20.12
Cow manure	14.49	20.93	21.23	21.21	11.44	23.34	10.18a	17.51
SED	1.12	1.20	2.03	3.53	4.31	2.40	0.64*	1.92
C.V. (%)	7.39	5.87	9.64	16.81	35.90	9.83	7.63	10.12

Mean in the same column followed by the same lower case letters are not significantly different

($p>0.05$), LSD. SED = standard error of the difference * = significantly different at $p<0.05$

ค่าการนำไฟฟ้าของดิน

จากผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของดินที่มีการใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันตลอด 52 สัปดาห์ พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (1:5, ดิน:น้ำ) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03-0.80 มิลลิซีเมนต์/ซม. โดยหลังใส่วัสดุอินทรีย์ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงสัปดาห์ที่ 8 (เดือนสิงหาคม 2559) ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยลดลงอาจส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินสูงขึ้นโดยเฉพาะดินที่ไม่ได้ใส่วัสดุอินทรีย์ ในขณะที่ดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ชนิดอื่นพบค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการใส่วัสดุอินทรีย์ในดิน

ทำให้ดินสามารถรักษาความชื้นไว้ในดินได้ทำให้เมื่อสภาพแห้งแล้งหรือฝนทิ้งช่วงทำให้ความชื้นคงอยู่ในระดับหนึ่ง อีกทั้งช่วยรักษาระดับความชื้นไว้ในดินไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างฉับพลันซึ่งอาจส่งผลต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ในดินได้ (Figure 6)

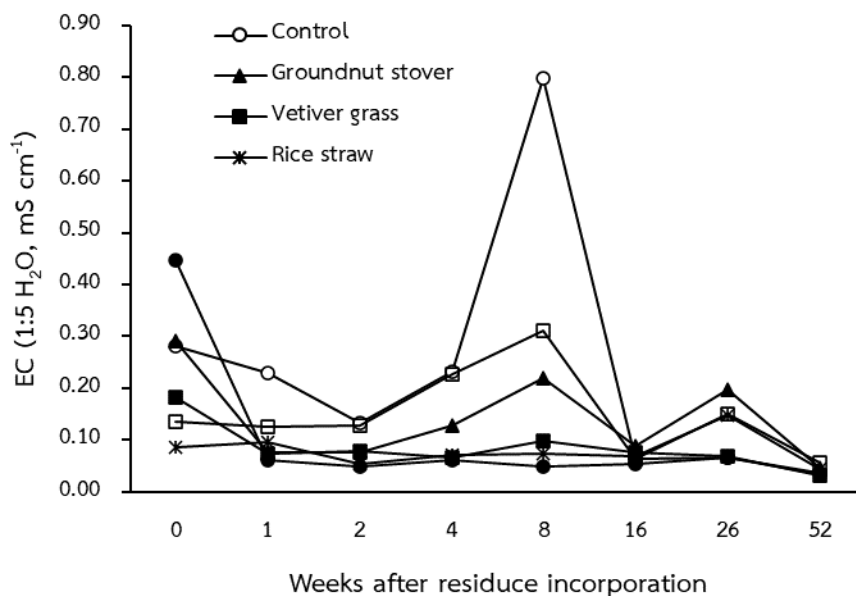


Figure 6 Electrical conductivity (1:5 H₂O, mS cm⁻¹) after organic residue incorporation

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของดินกับความชื้นในดิน จะเห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้ามีสหสัมพันธ์ทางลบกับความชื้นดินในช่วง 1 สัปดาห์ (2 กรกฎาคม 2559) ซึ่งในสภาพดินที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงส่วนหนึ่งเกิดจากปริมาณฝนที่ตกในช่วงดังกล่าวและเกิดสภาพน้ำท่วมขังในช่วงสั้นๆ สอดคล้องกับ Topark-ngarm et al. (1990) พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ความลึก 4 ระดับ คือ 0-5 ซม. 5-10 ซม. 10-20 ซม. และ 20-30 ซม. จะมีค่าลดลงในฤดูฝน เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์จะถูกชะล้างและไหลลงสู่ดินชั้นล่างตามปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา นอกจากนี้ ในช่วงสัปดาห์ที่ 26 (24 ธันวาคม 2559) พบสหสัมพันธ์ทางบวกระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับความชื้นในดิน (7.19-10.18%) ซึ่งเป็นช่วงที่เนื่องจากการระเหยน้ำออกจากดินสูง โดยเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างขนาดเล็กขึ้นสู่ดินชั้นบน (Table 9)

Table 9 Pearson correlation coefficients (r) between soil properties and soil moisture content after residue incorporation

Period (Week)	Parameter	EC (dS m ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	P (ppm)	K	Ca	Mg	Na
					----- (cmol _c kg ⁻¹) -----			
0	r	-0.056	0.539	-0.092	-0.058	0.416	0.510	0.539
	lpl	0.862	0.070	0.774	0.857	0.178	0.090	0.070
1	r	-0.648*	0.240	0.281	0.237	0.565	0.586	0.240
	lpl	0.022	0.452	0.376	0.456	0.055	0.044	0.452
2	r	-0.327	0.500	-0.161	0.172	-0.043	0.062	0.500
	lpl	0.298	0.097	0.616	0.591	0.894	0.847	0.097
4	r	-0.227	0.115	-0.205	0.026	0.007	-0.023	0.115
	lpl	0.476	0.721	0.521	0.934	0.980	0.943	0.721
8	r	-0.171	0.208	-0.363	0.085	0.199	0.298	0.208
	lpl	0.594	0.514	0.245	0.792	0.535	0.345	0.514
16	r	0.509	0.058	0.418	0.063	0.136	0.009	0.058
	lpl	0.091	0.857	0.175	0.844	0.671	0.975	0.857
26	r	0.586*	0.618*	0.649*	0.752**	0.607*	0.734**	0.618*
	lpl	0.044	0.032	0.022	0.004	0.036	0.006	0.032
52	r	-0.046	0.086	-0.014	-0.002	0.308	0.231	0.086
	lpl	0.885	0.788	0.965	0.993	0.330	0.469	0.788

lpl = probability

*,** = significantly different at p<0.05, <0.01, respectively

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในดิน

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินหลังใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันตลอด 52 สัปดาห์ พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าดินที่ไม่ใส่อะไรเลยตลอดช่วงการศึกษา โดยมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดช่วงการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ โดยมีค่าที่เพิ่มขึ้นให้เห็นอย่างเด่นชัดจากการใส่ปุ๋ยคอกมีปริมาณมากกว่าวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น และการไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ในสัปดาห์ที่ 4 ยกเว้นแมกนีเซียม และโซเดียม ซึ่งจากการศึกษาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (1 ปี) พบว่าปริมาณธาตุอาหารในดินดังที่กล่าวมาแล้วในช่วงต้นมีแนวโน้มลดลงหลังจากสัปดาห์ที่ 26 ในทุกวัสดุอินทรีย์ ยกเว้นฟอสฟอรัสที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกวัสดุอินทรีย์ (Figure 7) อย่างไรก็ตามสำหรับอิทธิพลของความชื้น พบว่าดินที่มีความชื้นระหว่าง 19.33 – 25.51% (สัปดาห์ที่ 4) มีผลต่อปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม สูงสุดในปุ๋ยคอก ยกเว้น โซเดียมที่มีแนวโน้มลดลงของทุกวัสดุอินทรีย์ที่ความชื้นในช่วงดังกล่าว ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า วัสดุอินทรีย์ประเภทปุ๋ยคอกที่ได้มีกระบวนการหมักผ่านมาระยะหนึ่งก่อนแล้ว รวมถึงช่วงของความชื้นดิน (19.33 – 25.51%) ที่เหมาะสมดังกล่าว ส่งผลทำให้มีปริมาณธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อเป็นประโยชน์ได้สูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 4 หลังจากใส่ลงไปในดินแล้ว Goto et al. (1987) พบว่าปริมาณเบสแคทไอออนในบริเวณพื้นที่ดินเค็มที่มีความเค็มสูงมีปริมาณมากกว่าบริเวณพื้นที่ดินเค็มที่มีความเค็มต่ำกว่า และตรวจพบปริมาณโซเดียมสูงกว่าเบสแคทไอออนตัวอื่น ๆ แต่พบโพแทสเซียมในปริมาณน้อย เบสแคทไอออนที่เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช ได้แก่ แคลเซียม

แมกนีเซียม และโพแทสเซียม แต่โซเดียมไม่ได้จัดว่าเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช ดังนั้นถ้าดินมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง พืชก็จะมีแหล่งอาหารที่สูงด้วย อย่างไรก็ตามพบว่า วัสดุอินทรีย์ที่ให้ไนโตรเจน เช่น ปุ๋ยคอก ชากถั่วลิสง จะเป็นแหล่งไนโตรเจนในดินโดยเฉพาะในระยะแรกของการสลายตัว นอกจากนี้ยังมีการหมุนเวียนและเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารตลอดช่วง 52 สัปดาห์ ซึ่งสะท้อนการใส่วัสดุอินทรีย์ในระบบดินแต่ละชนิดจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพื้นที่ที่ใช้ปลูกข้าวได้

นอกจากนี้ ธาตุอาหารที่ได้จากการใส่วัสดุอินทรีย์แล้ว สมบัติดินโดยเฉพาะความชื้นในดินยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและความ เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินตลอด 52 สัปดาห์ โดยไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับความชื้นดินในช่วงสัปดาห์ที่ 26 (24 ธันวาคม 2559) ซึ่งมีความชื้น ดินอยู่ระหว่าง 7.19-10.18% รวมถึงค่าความจุการแลกเปลี่ยนแคทไอออนของดินมีสหสัมพันธ์กับความชื้นดินทางบวกในช่วง 52 สัปดาห์ (24 มิถุนายน 2560) ดังแสดงใน Table 9

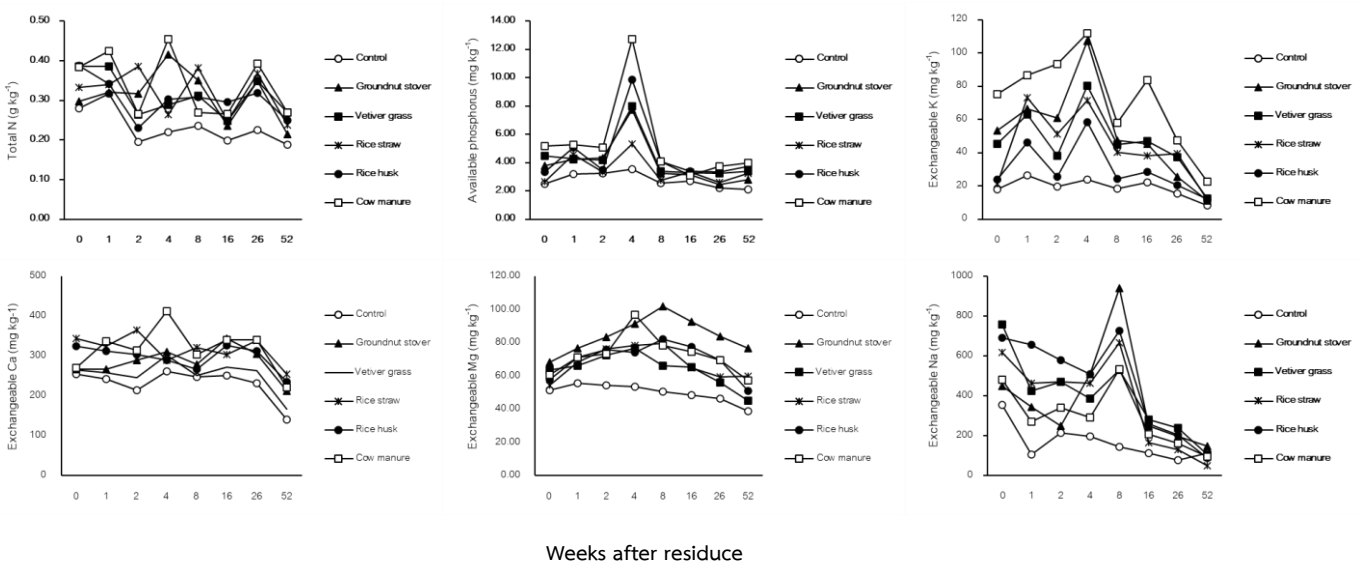


Figure 7 Soil nutrients as affected by different organic residue incorporation

สรุป

จากการศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันต่อการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือเนื่อดินหยาบ ในสภาพดินมีความแน่นที่บสูง ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำถึงปานกลาง ต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุส่งผลต่อการมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น สูงสุดตั้งแต่หลังใส่วัสดุอินทรีย์ในดิน โดยเฉพาะชากถั่วลิสง และแกลบ หลังจากนั้นการปลดปล่อยลดลง และเริ่มมีการปลดปล่อยเพิ่มขึ้น อีกครั้งในช่วงสัปดาห์ที่ 26 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง หลังใส่วัสดุอินทรีย์ในดินแล้ว พบว่า 1) การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากกิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นสูงสุดตั้งแต่หลังใส่วัสดุอินทรีย์ในดินที่ใส่ชากถั่วลิสง และแกลบ หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง และ เพิ่มขึ้นจนเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าใส่ชากถั่วลิสงมีการปลดปล่อยสูงสุด รองลงมาเป็นปุ๋ยคอก และแกลบ รวมถึงพบความสัมพันธ์ ทางบวกกับปริมาณไนโตรเจน และลิกนินในวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกัน 2) อัตราการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ พบว่าเกิดขึ้นเร็วในช่วงแรก ในดินที่ใส่หญ้าแฝก ฟางข้าว และแกลบ ตามลำดับ และการสลายตัวล่าช้าในช่วงหลัง ในดินที่ใส่ฟางข้าว และชากถั่วลิสง 3) การศึกษา กิจกรรมของมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน มีแนวโน้มปลดปล่อยตั้งแต่หลังใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันลงในดิน โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 8 ทุก

วัสดุอินทรีย์มีแนวโน้มปลดปล่อยมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการปลดปล่อยมวลชีวภาพคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นในทุกวัสดุอินทรีย์ ยกเว้นในซากถั่วลิสงที่ลดลง 4) การศึกษากิจกรรมของมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในโตรเจน พบมีแนวโน้มปลดปล่อยตั้งแต่ครั้งแรกที่ใส่วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันลงไปในดินสูงสุด ในซากถั่วลิสง รองลงมาปุยคอก และหญ้าแฝก เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าทุกวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดกันมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นซากถั่วลิสงที่เพิ่มขึ้น 5) ประสิทธิภาพการใช้คาร์บอนของจุลินทรีย์ในช่วงแรกของการสลายตัวใช้เป็นแหล่งพลังงานมากกว่าสะสมเพื่อไว้ใช้สร้างเซลล์ สูงสุดในซากถั่วลิสง และเมื่อระยะเวลาการสลายตัวนานขึ้นปริมาณคาร์บอนลดลง ด้วยจุลินทรีย์นำมาสะสมเพื่อสร้างเซลล์มากกว่าเป็นพลังงาน 6) การเปลี่ยนแปลงสมบัติดินบางประการ ความชื้นในดินการใส่วัสดุอินทรีย์ทำให้ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้นกว่าดินที่ไม่ได้รับวัสดุอินทรีย์ พบความสัมพันธ์ปริมาณค่าการนำไฟฟ้าของดิน ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความจุการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน มีสหสัมพันธ์กับความชื้นดิน ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้ สะท้อนให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้การจัดการวัสดุอินทรีย์

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนวิจัยจากงบประมาณวิจัยประจำปี 2560 กรมพัฒนาที่ดิน ภายใต้แผนการวิจัย การบูรณาการเทคโนโลยีเพื่อฟื้นฟูและพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดินเค็มบริเวณแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร และขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มอบทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ประจำปี 2560

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ อุตตะนันท์, จงรักษ์ จันทรเจริญสุข และสุรเดช จินตกานนท์. 2532. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 393 หน้า.
- ธงชัย มาลา. 2558. อินทรีย์วัตถุและจุลินทรีย์ดินเพื่อการเพาะปลูก. คัมภีร์ดินและปุ๋ยไทย. สมาคมการค้าผู้ผลิตปุ๋ยไทย.
- เพิ่มพูน กิริติกสิกร. 2527. ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ไพรัช พงษ์วิเชียร, พรณี หงส์น้อย และปราโมทย์ แยมคลี. 2544. การใช้วัสดุปรับปรุงดินเพื่อปลูกอินทผลัมในพื้นที่ดินเค็ม. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ภัทรวลัญชัย สามหาดไทย. 2550. การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุและรูปไนโตรเจนในดินไร่เนื้อทรายที่ได้รับซากพืชคุณภาพต่างกันในระยะยาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 151 หน้า.
- สมพล ไวปัญญา, พิสุทธิ สุขเกษม, และเกียรติสุรักษ์ โภคสวัสดิ์. 2542. รายงานผลการวิจัย:สถานะธาตุอาหารพืชที่มีต่อผลผลิตและความเข้มข้นของหญ้าชันกาดในชุดดินบ้านทอน. กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์.
- เสรี จาตุรงค์กุล, เมธี ธรรมประทีป, อุทิศ สุวรรณสมบูรณ์ และจารึก แทนบุญ. 2528. การศึกษาการใช้อินทรีย์วัตถุ (แกลบ) ปรับปรุงโครงสร้างดินเค็มอีสาน. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ. กรมพัฒนาที่ดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In: Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney. (Eds.). Agronomy Monograph Number 9, Part II. (p.p. 831-871). Madison: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

- Anderson, J.M., and J.S.I. Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of methods. CAB international, Wallingford, UK.
- Anderson, T.H., and K.H. Domsch. 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology. Biochemistry.* 25: 393-395.
- Anderson, T.H., and K.H. Domsch. 1986. Carbon link between microbial biomass and soil organic matter, pp. 467-471. *Proceedings of the 4th International Symposium on Microbial Ecology, Ljubljana, Yugoslavia.*
- Amato, M., and J.N. Ladd, 1988. Assay for microbial biomass based on ninhydrin reaction nitrogen in extracts of fumigated soil. *Soil Biology. Biochemistry.* 20: 107-114.
- Arunin, S., A. Yuvaniyama, T. Subhasaram, P. Rungsangchan, and N. Puengpan. 1987f. Changes of organic matters in saline soils (in Thai). Annual Technical Report. Soil and Water Conservation and Management Division., Land Development Department., Bangkok, Thailand. P. 220-227.
- Gachengo, C.N., B. Vanlauwe, and C.A. Palm. 2004. Mineralization patterns of selected organic materials. pp. 54-61. *In* R.J. Delle, and M.E. Probert, (Ed.), *Modeling nutrient management in tropical cropping systems.* ACIAR Proceedings No. 114.
- Goto, I., M. Ninaki, P. Patcharapreecha, and B. Topark-ngarm, 1987. Limiting factors for crop growth in saline soils. *In* Coastal and Inland Salt-Affected Soils in Thailand. Nodai Research Institute. Tokyo University of Agriculture. 280 p.
- Neely, C.L., H. Beare, L. Hargrove, and C. Coleman. 1991. Relationship between fungal and bacterial substrate-induced respiration, biomass and plant residue decomposition. *Soil Biology Biochemistry.* 23: 947-954.
- Olson, J.S. 1963. Energy storage and balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology.* 44: 322-331.
- Paul, E.A., and F.E. Clark. 1989. *Soil microbiology and biochemistry.* Academic Press. San Diego, USA.
- Puttaso, A., P. Vityakon, P. Saenjan, V. Tre-loges, and G. Cadisch. 2011. Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. *Journal of Nutrient Cycling in Agroecosystem.* 89: 159-174.
- Sorensen, P., J.N. Ladd, and M. Amato. 1996. Microbial assimilation of ¹⁴C of ground and unground plant materials decomposing in a loamy sand and clay soil. *Soil Biology. Biochemistry.* 28: 1425-1434.
- Tate, K.R., and C.W. Feltham. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effect of experiment variables and some different calibration procedures. *Soil Biology Biochemistry.* 20: 329-335.
- Topark-ngarm, B. 1988. Studies on increasing productivity of saline Soils. Ph.D Thesis. Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan.
- Topark-ngarm, B., P. Patcharapreecha, I. Goto, and M. Kimura. 1990. Studies on saline soils in Khon Kaen Region, Northeast Thailand. II. Seasonal changes of physical and chemical properties. *Soil Science and Plant Nutrition.* 36: 289-298.
- Van Soest, P.J., and E.H. Wine. 1968. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fibre with

permanganate. *Journal Association of Official Analytical Chemists*. 51: 780-785.

Vance, E.D., P.C. Brookes, and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology Biochemistry*. 19(6): 703-707.

Vityakon, P. 1993. The traditional trees-in-paddy-fields agroecosystem of Northeast Thailand: Its potential for agroforestry development. Working paper No. 34. Program on Environment. Honolulu, Hawaii: East West Center.

Vityakon, P., S. Meepetch, G. Cadisch, and B. Toomsan. 2000. Soil organic matter and nitrogen transformation mediated by plant residues of different quality of sandy acid upland and paddy soil. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 48: 75-90.