



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการจัดการเศษซากพืชในระบบการทำฟาร์ม
เพื่อฟื้นฟูดินเสื่อมโทรมและเพิ่มการเก็บกักคาร์บอน

Management of organic residues in farming systems for rehabilitating
degraded soils and increasing soil carbon sequestration

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ปัทมา วิตยากร และคณะผู้วิจัย
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
กันยายน 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการจัดการเศษซากพืชในระบบการทำฟาร์ม
เพื่อฟื้นฟูดินเสื่อมโทรมและเพิ่มการเก็บกักคาร์บอน

Management of organic residues in farming systems
for rehabilitating degraded soils
and increasing soil carbon sequestration

คณะผู้วิจัย

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| 1. รศ.ดร.ปัทมา วิทยากร | หัวหน้าโครงการ |
| 2. รศ.ดร.วิทยา ตริโลเกศ | นักวิจัย |
| 3. ผศ.ดร.ชุลีมาศ บุญไทย อีวาย | นักวิจัย |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความคิดเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

คำนำ

เป็นที่ยอมรับในวงวิชาการว่าการฟื้นฟูดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถทำได้โดยการจัดการทางอินทรีย์ ได้แก่ การจัดการที่จะเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ หรืออินทรีย์คาร์บอนในดิน และงานศึกษาด้านอินทรีย์วัตถุในดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ดำเนินการมาในภาครัฐทั้งในมหาวิทยาลัยขอนแก่น และกรมที่เกี่ยวข้องในกระทรวงเกษตรฯ ได้แก่ กรมวิชาการเกษตร และกรมพัฒนาที่ดิน มากกว่า 4 ทศวรรษ ปัญหาสำคัญอันหนึ่งที่พบคือ การที่ดินทรายเหล่านี้มักไม่สะสมอินทรีย์วัตถุได้อย่างยั่งยืน หลังจากทำการปรับปรุงโดยใส่สารอินทรีย์ ซึ่งมักให้เหตุผลกันในหมู่นักวิชาการว่าการสลายตัวที่เป็นไปอย่างรวดเร็วในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และในดินเนื้อทราย ทำให้ไม่เกิดการสะสม อย่างไรก็ตามการศึกษาในเชิงลึกในระดับงานวิจัยพื้นฐาน (basic research) เพื่อให้เข้าใจกลไกของการสะสมอินทรีย์วัตถุ และปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมดังกล่าวในดินทรายยังมีน้อย จึงเป็นแรงผลักดันอันหนึ่งของการเกิดโครงการวิจัยนี้ โดยมีฝ่ายวิชาการ สกว. เป็นองค์กรสนับสนุนที่เหมาะสม เนื่องจากองค์กรนี้มีวัตถุประสงค์สนับสนุนงานวิจัยพื้นฐาน ที่จะเป็พื้นฐานทางวิชาการที่จะนำองค์ความรู้ใหม่ไปประยุกต์ใช้ต่อไป ในช่วงหลังปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้เพิ่มความรุนแรงขึ้น ทำให้เป็นหลักการและเหตุผลเพิ่มเติมของการดำเนินการวิจัยของโครงการ เพื่อให้ดินทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนอินทรีย์หรืออินทรีย์วัตถุไว้ เป็นการลดคาร์บอนในบรรยากาศ ซึ่งก๊าซที่มีคาร์บอนในบรรยากาศเป็นสาเหตุให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น การศึกษาวิจัยเป็นระยะเวลา 3 ปีในโครงการนี้ได้สร้างองค์ความรู้พื้นฐานตามที่ได้วางเป้าหมายไว้ ได้แก่ ทำให้เข้าใจกลไกที่ทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินทราย และเข้าใจปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสะสม ได้แก่ ปัจจัยธรรมชาติหรือคุณสมบัติของสารอินทรีย์เอง (ซึ่งในเล่มรายงานนี้เราใช้คำว่า คุณภาพหรือองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์) และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดินด้วยการไถพรวน จากองค์ความรู้พื้นฐานนี้ทำให้สามารถนำไปใช้ในการเลือกสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาปรับปรุงดินทราย และการจัดการต่อเนื่องไป เพื่อให้มีอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังต้องการความรู้ด้านปัจจัยย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินทั้งสัตว์และจุลินทรีย์ดิน ที่ถึงแม้จะยังเป็นองค์ความรู้ในระดับต้นอยู่ แต่เป็นการปูพื้นฐานที่จะทำวิจัยต่อยอดต่อไป ซึ่งเป็นความตั้งใจของกลุ่มวิจัยนี้ที่จะทำวิจัยสร้างองค์ความรู้เพิ่มเติมต่อไป

เราหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิจัยนี้จะช่วยเผยแพร่ข้อมูลที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นประโยชน์แก่วงวิชาการการเกษตร สิ่งแวดล้อมและผู้เกี่ยวข้องรวมทั้งสาธารณชนทั่วไป และคณะผู้วิจัยโครงการและกลุ่มวิจัยอินทรีย์วัตถุในดินยินดีรับฟังข้อคิดเห็นและแลกเปลี่ยนความรู้ รวมทั้งข้อเสนอแนะจากผู้อ่าน

รองศาสตราจารย์ ดร.ปัทมา วิตยากร

กันยายน 2554

รหัสโครงการ : DBG 5180007

ชื่อโครงการ : การจัดการเศษซากพืชในระบบการทำฟาร์มเพื่อฟื้นฟูดินเสื่อมโทรม
และเพิ่มการเก็บกักคาร์บอน

ชื่อนักวิจัย : รศ.ดร. ปัทมา วิทยากร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.วิทยา ตริโลเกศ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ. ดร. ชุติมาศ บุญไทย อีวาย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E- mail Address : patma@kku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 3 ปี (1 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 – 30 เมษายน พ.ศ. 2554)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะศึกษาวิธีการทางอินทรีย์ผ่านทางการใช้เศษซากพืชที่หาได้ในระบบฟาร์มที่จะฟื้นฟูดินความอุดมสมบูรณ์ของดินทรายที่เสื่อมโทรม โดยให้สามารถมีเกณฑ์ในการคัดเลือกสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการฟื้นฟู ทั้งในระยะสั้น คือการให้ธาตุอาหารแก่พืช และในระยะยาวคือการสะสมอินทรีย์วัตถุ (SOM) หรืออินทรีย์คาร์บอน (SOC) ในดิน และมีผลพลอยได้ในการเก็บกักคาร์บอนไว้ในดิน เพื่อลดคาร์บอนในบรรยากาศ การศึกษานี้จึงเน้นศึกษาการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีคุณภาพหรือองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจน สารประกอบที่ต้านทานการสลายตัว ได้แก่ ลิกนิน และโพลีฟีนอลส์ และเซลลูโลส รวมทั้งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ลิกนินต่อไนโตรเจน โพลีฟีนอลส์ต่อไนโตรเจน และ (ลิกนิน+ โพลีฟีนอลส์) ต่อไนโตรเจน นอกจากปัจจัยคุณภาพของสารอินทรีย์แล้ว ยังศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการย่อยสลายอื่น ๆ ได้แก่ ปัจจัยสิ่งมีชีวิตผู้ย่อยสลาย (สัตว์และจุลินทรีย์) และปัจจัยสภาพแวดล้อม เน้นที่การจัดการดินโดยการรบกวนดินหรืออีกนัยหนึ่งเลียนแบบการไถพรวน ในบทคัดย่อนี้จะมีผลการศึกษาหลักที่ได้รับการตีพิมพ์แล้วในวารสารนานาชาติ 2 เรื่องและวารสารระดับชาติ 1 เรื่อง ส่วนผลการศึกษาอื่น ๆ ที่ยังคงดำเนินการและ/หรือจะได้นำไปตีพิมพ์ต่อไปจะได้ระบุโดยย่อ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินทรายที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ (ฟางข้าว ซากถั่วลิสง ใบพลวงร่วง และใบ-ก้านมะขามร่วง) อย่างต่อเนื่องยาวนานกว่า 10 ปี มีสูงที่สุดในสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพระดับปานกลาง ซึ่งในการศึกษานี้คือ ใบมะขามร่วง ซึ่งจะส่งเสริมให้มีการสะสม SOM ได้มาก การที่ใบมะขามส่งผลให้เกิดเม็ดดินขนาดเล็ก หรือ small macroaggregates (0.25-2 มม.) เป็นปริมาณมาก แสดงว่า small macroaggregates เป็นแหล่งหลักแหล่งหนึ่งของการสะสม SOM สารอินทรีย์คุณภาพต่ำประเภทที่มี N ต่ำแต่ลิกนินและโพลีฟีนอลส์สูง เช่น ใบพลวงร่วง จะมี SOM ในรูปเป็นชิ้น (particulate organic matter-POM) สะสมอยู่มาก POM นี้ยังรอสลายตัวต่อไป และสารอินทรีย์คุณภาพต่ำไม่เอื้อให้เกิดการสะสมใน small macroaggregate แต่กลับทำให้มี large macroaggregate (> 2 มม.) มาก อย่างไรก็ตาม large macroaggregate มีเป็น

สัดส่วนที่น้อย (น้อยกว่า 5%) ในดินทราย ทำให้ไม่เป็นส่วนที่จะช่วยสะสมคาร์บอนไว้ได้ ส่วนสารอินทรีย์คุณภาพต่ำประเภทที่มีทั้ง N, ลิกันินและโพลีฟีนอลส์ต่ำ แต่มีเซลลูโลสสูง เช่น ฟางข้าว ไม่เอื้อให้เกิดการสะสม SOM เพราะไม่มีสารประกอบที่จะนำไปสู่การสร้างสารชีวโมเลกุลที่จะสะสมอยู่ในดินได้ ฟางข้าวมีปริมาณ large และ small macroaggregates ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่ศึกษา การสะสม SOM มีความสอดคล้องกับกิจกรรมและประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการใช้สารประกอบคาร์บอนจากกระบวนการสลายตัว ดินที่ได้รับสารอินทรีย์คุณภาพปานกลาง (ใบมะขามร่วง) มีกิจกรรมจุลินทรีย์โดยพิจารณาจากค่าการปลดปล่อย $\text{CO}_2\text{-C}$ ก่อนข้างต่ำ (โดยมีการปลดปล่อย $\text{CO}_2\text{-C}$ เพียง 33% ของคาร์บอนที่ใส่) ซึ่งต่ำกว่าของฟางข้าว (71 %) ในขณะที่ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์มีสูงที่สุดในกรรมวิธีใบมะขาม โดยดูจากค่า metabolic quotient (qCO_2) ที่ต่ำที่สุด กระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถอธิบายเชิงคณิตศาสตร์โดยใช้ double pool decomposition model ซึ่งอธิบายการสลายตัวเป็นสองช่วง โดยในช่วงแรกของการสลายตัว (8 สัปดาห์แรก) มีอัตราการสลายตัวที่สูง โดยฟางข้าวมีอัตราการสลายตัวสูงที่สุด รองลงมาคือ ชากถั่วลิสง มะขามและพลวง อัตราการสลายตัวได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ ได้แก่ความเข้มข้นของไนโตรเจน (N) โดยมีสหสัมพันธ์ในทางลบ โดย N เป็นตัวชี้สารประกอบที่สลายตัวง่าย (labile compounds) การสลายตัวในช่วงหลัง (หลังจาก 8 สัปดาห์) ถูกจำกัดโดยสารประกอบคาร์บอนที่สลายตัวยาก ได้แก่ ลิกันิน และโพลีฟีนอลส์ ทำให้อัตราการสลายตัวลดต่ำลงมาก โดยใบพลวงมีอัตราการสลายตัวต่ำที่สุดและฟางข้าวสูงที่สุด การสะสม SOM ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าดินที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ ได้แก่ ดินมีปริมาณเม็ดดินมากขึ้นและขนาดเม็ดดินเฉลี่ยใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง และดินมีการซึมน้ำดีขึ้น ส่งผลถึงการระบายน้ำและอากาศที่ดีขึ้น คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ การเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารที่เป็นไอออนประจําบวก (effective cation exchange capacity – ECEC) ซึ่งมีค่าสูงที่สุดในกรรมวิธีใบมะขามร่วง ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาอื่น ๆ ในโครงการนี้ที่กำลังดำเนินอยู่ และ/หรือจะได้นำผลไปเขียนเป็นบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติต่อไป ประกอบด้วย การศึกษาบทบาทของสัตว์ในดิน (fauna) และจุลินทรีย์ดินในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ซึ่งได้ผลการศึกษาเบื้องต้นแล้ว การศึกษาสัตว์ได้ผลความหลากหลายทางชีวภาพ และชนิดสัตว์ตัวเด่นในกรรมวิธีทดลองที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ส่วนบทบาทจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ได้ศึกษาเอนไซม์ 4 ชนิด ได้แก่ อินเวอร์เตส เบตาไกลูโคซิเดส เปอร์ออกซิเดส และฟีนอลออกซิเดส ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายองค์ประกอบอินทรีย์ที่ด้านทานการย่อยสลายได้ต่างกัน ในสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ทั้งในสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไปใหม่และในอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่เดิมในดินอยู่แล้ว ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์เหล่านี้อย่างต่อเนื่องยาวนาน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเพื่อวินิจฉัยชนิดและปริมาณพืชพรรณธรรมชาติ (วัชพืช) ที่เจริญเติบโตในระบบนิเวศที่มีดินที่ได้รับ

สารอินทรีย์ต่างคุณภาพ และปัจจัยสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (การรบกวนดิน) ที่มีผลต่อการสลายตัวของสารอินทรีย์ด้วย ในด้านการศึกษาการเก็บกักคาร์บอน ทางโครงการได้ประเมินปริมาณคาร์บอนในดินที่มีการใช้ที่ดินต่าง ๆ ในพื้นที่ทำการเกษตรทั้งพืชไร่ และนา รวมทั้งป่าในสภาพภูมิประเทศลูกคลื่นลอนลาดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อศึกษาการเก็บกักคาร์บอนในดินเหล่านี้ที่ความลึกถึง 1 เมตร ซึ่งพบว่าดินยังมีการสะสมคาร์บอนในดินชั้นล่าง ดังนั้นการศึกษาศักยภาพในการเก็บกักคาร์บอนของดินจึงควรศึกษาในดินชั้นล่างลึกลงไปไม่ต่ำกว่า 1 เมตร นอกจากนี้ยังศึกษาปริมาณและการเคลื่อนที่แนวดิ่งในหน้าตัดดินของอินทรีย์วัตถุส่วนที่ละลายน้ำ (dissolved organic matter – DOM) ที่มีแหล่งมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์คุณภาพสูง ในสภาพจำลองของแท่งดิน (soil column) ทำให้ได้ข้อมูลว่า DOM เคลื่อนที่ตามน้ำไปสะสมตัวในชั้นดินที่ลึกลงไป ที่มีความเหนียวเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอนุภาคดินเหนียวดูดยึด DOM ไว้

Project code: DBG 5180007

Project title: Management of organic residues in farming systems for rehabilitating degraded soils and increasing soil carbon sequestration

Investigator: Assoc. Prof. Dr. Patma Vityakon
Faculty of Agriculture, Khon Kaen University
Assoc. Prof. Dr. Vidhaya Trelo - ges
Faculty of Agriculture, Khon Kaen University
Asst. Prof. Dr. Chuleemas Boonthai Iwai
Faculty of Agriculture, Khon Kaen University

E- mail Address : patma@kku.ac.th

Project Period: 3 year (1 May 2009 – 30 April 2011)

Abstract

The research project had the goal of investigating ways to restoring fertility of degraded sandy soils by organic means through the use of plant residues locally available in farming systems. Further goal was to produce criteria to select organic residues that had appropriate quality to restore soil fertility both in the short (providing nutrients) and long term (accumulation of soil organic matter - SOM or carbon - SOC). The associated outcome of increasing SOC or in other words, increasing soil C sequestration is reducing atmospheric C. As such, this research emphasized investigating decomposition of organic residues differing in quality or chemical composition including contents of nitrogen (N), resistant to decomposition compounds, i.e., lignin and polyphenols, cellulose and ratios of C to N and those of resistant compounds to N. In addition to residue quality factor, the research also investigated other factors regulating decomposition including decomposer organisms (fauna and microorganisms) and physical environment as modified by soil management notably, soil disturbance which imitate ploughing. This abstract contains the main results which have been published in two papers in international journals and one paper in a national journal. As for other research results which are still under investigation and/or are to be later published are mentioned briefly. It was shown that SOM accumulation in sandy soils which had received different quality organic residues (i.e., rice straw, groundnut stover, dipterocarp leaf litter, and tamarind leaf-petiole litter) continuously for more than 10 years, was highest under tamarind. Tamarind litter is considered a medium quality

organic residue. The high quantity of small macroaggregates (size 0.25-2 mm) formed indicated that it was a main location of SOM accumulation. Meanwhile, low quality organic residue which had low N but high lignin and polyphenols, such as dipterocarp leaf litter, had high SOM in particulate organic matter (POM) form. POM was still decomposing. This type of low quality residue did not lead to SOM accumulation in small macroaggregates but had large quantity of large macroaggregates (> 2 mm). However, the large macroaggregates constituted only a small proportion of soil weight (< 5%) in the sandy soils, and therefore, did not contribute to SOM accumulation. As for another type of low quality organic residue which had low N, lignin and polyphenols but had high cellulose contents, such as rice straw, did not lead to SOM accumulation. This was because there were little precursors for synthesis of humic substances (a stable pool of SOM which can persist in soils.) Rice straw had the lowest quantities of large and small macroaggregates among various organic residues studied. SOM accumulation was closely related to microbial activities and efficiency in utilizing carbonaceous compounds associated with decomposition process. Soil applied with medium quality organic residues (tamarind leaf litter) had low microbial activity (as indicated by low CO_2 -C evolution) (33% of C applied) which was lower than that of the rice straw (71%). Meanwhile, microbial efficiency in utilizing C in decomposition was the highest under tamarind as indicated by the lowest metabolic quotient ($q\text{CO}_2$). Decomposition of the different quality organic materials studied could fit into a double pool decomposition mathematical model which separated decomposition into two phases. The early phase (first 8 weeks) had high decomposition rate which the highest was found in rice straw followed by groundnut stover, tamarind and dipterocarp in a decreasing order. Decomposition rate was influenced by chemical composition of organic residues. Nitrogen content had negative correlation with decomposition. Nitrogen represented labile compounds constituents of organic residues. Decomposition in the later phase (after 8 weeks) was limited by compounds resistant to decomposition, i.e., lignin and polyphenols, resulting in much lower rates than that of the first phase. Dipterocarp leaf litter had the lowest decomposition rate of the later phase, while rice straw had the highest. SOM accumulation resulted from organic residue application brought about improvement in soil physical properties over the soil not treated with residues. The former soils had higher quantities and larger average size of aggregates which led to lower bulk density and higher infiltration rates than the latter soil. The major improvement in soil chemical property was with regard to

increasing nutrient retention as indicated by higher effective cation exchange capacity (ECEC) which was highest under tamarind litter. These improvements in soil properties led to increased soil fertility.

Other activities of the research project have been in progress and/or some results are in preparation for publication in international or national journals. These include investigation on the roles of soil fauna and microorganisms in decomposition of different quality organic residues which have produced some preliminary results. Biodiversity and prominent species of soil fauna under different quality organic residues have been identified. Meanwhile, investigation has been underway on 4 microbial enzymes including invertase, β -glucosidase, peroxidase and phenoloxidase which play important roles in decomposing organic compounds differing in resistance to decomposition in various organic residues, both newly added residues and in indigenous SOM, in soil treated with the residues continuously in the long term. In addition, data have been generated pertaining to identifying and quantifying natural vegetation (weeds) in ecosystems receiving applications of different quality organic residues and effects of physical environment factor (as modified by soil disturbance) on decomposition of different quality organic residues. As for the investigation into soil C sequestration, the project has evaluated soil C contents under different land uses in agricultural fields (upland field crops, paddies and reserved forest in agricultural landscape) situated in a typical undulating terrain of the Northeast. This was to evaluate soil C sequestration potential in soil profiles down to 1 meter. Results have shown that C accumulation could be found in subsoils which indicated that evaluation of the potential of soil to sequester C should be done down to at least 1 meter soil depth. In addition, the project investigated vertical movement of SOM resulted from application of a high quality organic residue in profiles of a sandy textured soil employing soil profile model (soil columns). The results showed that dissolved organic matter (DOM) moved vertically along with water to accumulate in finer textured subsoils which could adsorb the DOM due to increased clay contents.

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	i
กิตติกรรมประกาศ	iii
บทคัดย่อภาษาไทย	v
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ix
สารบัญตาราง	xvii
สารบัญภาพ	xix
สารบัญภาคผนวก	xxiii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การสะสมและการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดินที่ได้รับอิทธิพลจาก สารอินทรีย์ต่างคุณภาพ	5
2.1.1 คุณภาพและระบบการจำแนกสารอินทรีย์ที่ใช้ปรับปรุงดิน	5
2.1.2 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมดินและการจัดการดินที่มีต่อการสลายตัวและ การปลดปล่อยธาตุอาหารของสารอินทรีย์	6
2.1.3 การศึกษาระยะยาวเกี่ยวกับอิทธิพลของสารอินทรีย์ที่มีต่อการ เปลี่ยนแปลงและการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน	7
2.1.4 บทบาทของจุลินทรีย์ดินในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ	9
2.1.5 บทบาทของสัตว์ในดินในการย่อยสลายสารอินทรีย์	10
2.2 แหล่งและกลไกการสะสมหรือกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อทราย	12
2.2.1 บทบาทของอินทรีย์วัตถุของดินในการเก็บกักคาร์บอนและผลต่อผลิตภาพ และการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	12
2.2.2 การประเมินการเก็บกักคาร์บอนของดินในประเทศไทย	13
2.2.3 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าไม้มาเป็นการเกษตรต่อ อินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่ลูกคลื่นของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	13
2.2.4 ปัจจัยที่ควบคุมปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน	14
2.2.5 กลไกการเกิดเสถียรภาพของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.5.1 กลไกการป้องกันหรือทำให้เกิดเสถียรภาพทางกายภาพ (physical protection and stabilization mechanisms)	15
2.2.5.2 กลไกการป้องกันหรือทำให้เกิดเสถียรภาพทางเคมี (chemical protection and stabilization mechanisms)	15
2.2.5.3 กลไกการป้องกันและทำให้เกิดเสถียรภาพทางชีวภาพ (biological protection and stabilization mechanisms)	16
2.2.6 การกระจายของถ่านในดินในพื้นที่ต่างๆ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	17
2.2.7 อิทธิพลของถ่านที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันต่อความอุดมสมบูรณ์ของส่วนของดิน (soil fractions) ที่เป็นแหล่งสะสมถ่าน	18
2.2.7.1 ถ่านที่อยู่อย่างอิสระในดิน	19
2.2.7.2 ถ่านที่ถูกป้องกันไว้โดยโครงสร้างของเม็ดดิน	20
2.2.7.3 ถ่านที่ทำปฏิกิริยากับอนุภาคดิน	21
2.2.8 อิทธิพลของถ่านต่อความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกและปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน	21
2.2.9 การเคลื่อนที่ของธาตุคาร์บอนในดินจากการกักตร่อนดิน	23
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	27
3.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุและการเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร	27
3.1.1 การทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและสะสมอินทรีย์วัตถุในดินในระยะยาว	27
3.1.1.1 การดำเนินการทดลองภาคสนาม	27
3.1.1.2 การศึกษาอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์	30
3.1.1.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน	31
3.1.1.4 การศึกษาอิทธิพลของคุณภาพสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของส่วนที่เสถียรของอินทรีย์วัตถุ (stable pool of SOM) ได้แก่สารฮิวมัส	33
3.1.1.5 การศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ได้รับสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่องมากกว่า 13 ปี	35
3.1.1.6 การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ในดิน (macroorganisms) ที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นเวลานาน	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1.7 บทบาทของจุลินทรีย์ดินในการสะสมและแลกเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุในดิน	36
3.1.1.8 การศึกษาการปกคลุมแปลง ความหนาแน่น และการเจริญเติบโตของ พืชที่ได้รับสารอินทรีย์คุณภาพต่างกันในสภาพดินไร่เนื้อทราย	40
3.1.2 การทดลองในสภาพควบคุมเพื่อศึกษาปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์และปัจจัย สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการรบกวนดินต่อการสลายตัวของสารอินทรีย์	41
3.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มที่ตั้งอยู่ในภูมิภาค คลื่นต่อการกักเก็บและการเคลื่อนย้ายอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อทราย	44
3.2.1 การศึกษาการเก็บกักคาร์บอนในดินในลุ่มน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ลูกคลื่น	44
3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มในพื้นที่ลูกคลื่นต่อ การเคลื่อนที่ย้ายและเก็บกักคาร์บอนในดิน	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	51
4.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง อินทรีย์วัตถุและการเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร	51
4.1.1 การศึกษาการสะสมและการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดิน ที่ได้รับ อิทธิพลจากสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในระยะยาว	51
4.1.1.1 การสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic carbon; SOC)	51
4.1.1.2 การสลายตัวของสารอินทรีย์ (residue decomposition)	52
4.1.1.3 การศึกษาการกระจายตัวของเม็ดดิน (water stable aggregate size distribution)	56
4.1.1.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของคุณภาพสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง ของส่วนที่เสถียรของอินทรีย์วัตถุ (stable pool of SOM)	60
4.1.1.5 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน: ความหนาแน่นรวม (bulk density) การแทรกซึมน้ำของดิน (infiltration) และความสามารถใน การแลกเปลี่ยนประจุบวกเชิงประสิทธิผล (ECEC)	61
4.1.1.6 ผลการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ในดิน (macroorganisms) ที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นเวลานาน	66
4.1.1.7 บทบาทของจุลินทรีย์ดินในการสะสมและเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุใน ดิน: การศึกษาอิทธิพลของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพต่อกิจกรรมจุลินทรีย์	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1.8 การศึกษาการปกคลุมแปลง ความหนาแน่น และการเจริญเติบโต ของวัชพืชในดินทรายที่ได้รับสารอินทรีย์คุณภาพต่างกัน	76
4.1.2 ผลการศึกษาในสภาพควบคุมเพื่อศึกษาปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์และ สภาพแวดล้อมจากการรบกวนดินต่อการสลายตัวของสารอินทรีย์	80
4.1.2.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนสุทธิ (Net N mineralization and immobilization) จากสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในดินที่มีการจัดการต่างกัน	80
4.1.2.2 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เชิงสะสม (Cumulative CO ₂ -C mineralization)	82
4.1.2.3 มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดิน (microbial biomass C and N – MBC and MBN)	82
4.1.2.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเซลล์จุลินทรีย์ (MBC/MBN ratio)	83
4.1.2.5 ประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนรูปคาร์บอน (metabolic quotient: qCO ₂)	86
4.1.2.6 การสะสมอินทรีย์วัตถุหรืออินทรีย์คาร์บอนในดิน	86
4.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มที่ตั้งอยู่ในภูมิภาค ลูกคลื่นต่อการกักเก็บและการเคลื่อนย้ายอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อทราย	88
4.2.1 การศึกษาการเก็บกักคาร์บอนในดินในลุ่มน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ลูกคลื่น	88
4.2.2 ผลการศึกษาการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของคาร์บอนอินทรีย์ในการใช้ ประโยชน์ที่ดินแบบต่างๆ กันของพื้นที่ลูกคลื่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	91
4.2.2.1 อัตราการสลายตัวของไบโอแอสต	91
4.2.2.2 ปริมาณคาร์บอนในดินตามหน้าตัดดิน	92
4.2.2.3 ความชื้นของดิน	94
4.2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดินกับปริมาณคาร์บอนในดิน	95
บทที่ 5 บทสรุป	97
บรรณานุกรม	103
ผลงาน output ของโครงการ	115
ภาคผนวกที่ 1 ผลงานวิชาการจากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.	119
ภาคผนวกที่ 2 ภาพการดำเนินการวิจัย	199

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณ SOC ของดินTerra preta และดิน Oxisols ที่ความลึก 0-10 และ 30-40 เซนติเมตร ในลุ่มน้ำอะเมซอน	18
ตารางที่ 3.1 กรรมวิธีทดลองของการทดลองภาคสนามในสถานีทดลอง	29
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ใส่ในปี การทดลองที่ 10(a) และปีที่ 13(b) ที่ใช้บ่งชี้คุณภาพ	30
ตารางที่ 3.3 กรรมวิธีทดลองบทบาทของจุลินทรีย์ดินในการสะสมและแลกเปลี่ยน อินทรีย์วัตถุในดิน: การศึกษาผลของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในดิน ทรายภายใต้สภาวะการบ่ม	39
ตารางที่ 3.4 ปริมาณดินและตัวชี้วัดที่ทำการวิเคราะห์ภายหลังเก็บตัวอย่างดินในแต่ละช่วงเวลาของการบ่ม	40
ตารางที่ 3.5 ชนิดของสารอินทรีย์และอัตราที่ใช้ในการทดลอง	42
ตารางที่ 3.6 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้บ่งชี้คุณภาพ	43
ตารางที่ 4.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีของ สารอินทรีย์กับอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์, อินทรีย์คาร์บอน (SOC), อินทรีย์ไนโตรเจน (SON) และอัตราส่วนระหว่างอินทรีย์ คาร์บอนกับไนโตรเจนทั้งหมด (C/N ratio) ของดินที่ได้รับสารอินทรีย์ ต่างๆ ในสัปดาห์ที่ 52	55
ตารางที่ 4.2 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดินที่คงทนต่อการร่อนในน้ำ (water stable aggregates) ที่ได้รับอิทธิพลจากสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ	57
ตารางที่ 4.3 ค่าวิกฤตของตัวชี้วัดองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่จะทำให้เกิด ปริมาณ small macroaggregate เป็นปริมาณสูงสุด (50-60% น้ำหนัก ดิน)	60
ตารางที่ 4.4 ปริมาณคาร์บอนในสารฮิวมิกในดินที่ได้รับสารอินทรีย์คุณภาพต่าง ๆ ที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร ในสภาพไร่ ในปลายปีที่ 5 ของการทดลอง ระยะยาว	61
ตารางที่ 4.5 ค่าความหนาแน่นรวมของดินหลังจากใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน ในสัปดาห์ที่ 52 (การทดลองปีที่ 14)	63
ตารางที่ 4.6 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินในช่วงต่าง ๆ หลังจากใส่สารอินทรีย์	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4.7	สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินกับการปกคลุมแปลง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ของวัชพืชที่ระยะเวลาก่อนใส่สารอินทรีย์และที่ 2, 4, 8, 12, 16, 20, 25, 29, 36 และ 44 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์ปีที่ 16	80
ตารางที่ 4.8	ปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) จากการได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพที่มีการรบกวนและไม่รบกวนดินในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์	85
ตารางที่ 4.9	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในมวลชีวภาพจุลินทรีย์ (MBC/MBN) จากการได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพที่มีการรบกวนและไม่รบกวนดินในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์	85
ตารางที่ 4.10	ประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนรูปคาร์บอน (qCO_2) จากการได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในสภาพที่มีการรบกวนและไม่มีการรบกวนดินในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์	87
ตารางที่ 4.11	การสะสมอินทรีย์คาร์บอน (ขนาด < 1 มม.) ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในช่วง 112 วันหลังใส่สารอินทรีย์	88
ตารางที่ 4.12	คุณสมบัติของดินในแต่ละโปรไฟล์ที่ทำการพรรณาน้ำตักดินในลุ่มน้ำขนาดเล็ก อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดขอนแก่น	90
ตารางที่ 4.13	คาร์บอนอินทรีย์ที่ละลาย (dissolved organic carbon; DOC) หลังจากใส่สารอินทรีย์	96

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 สภาพภูมิอากาศ (ปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์ และอุณหภูมิเฉลี่ยรายสัปดาห์) ในการศึกษารอบปีที่ 16 ตั้งแต่วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2553 ถึง 25 มีนาคม พ.ศ. 2554	28
ภาพที่ 3.2 ภาพตัดขวางของสภาพพื้นที่การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ลูกคลื่น ที่เป็นสถานที่ศึกษา อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น แสดงลักษณะการใช้ที่ดิน ตำแหน่งการทำการพรวนนาโปรไฟล์ดินและเก็บตัวอย่างดิน 4 ตำแหน่ง	46
ภาพที่ 3.3 หน้าตัดดิน (soil profile) ชุดดินน้ำพอง (Ng series)	47
ภาพที่ 3.4 การติดตั้งหน่วยทดลอง	47
ภาพที่ 3.5 ไบแอสต ตัดให้มีขนาด 1 ตารางเซนติเมตร	48
ภาพที่ 3.6 การใส่ไบแอสต และทำการคลุกให้เข้ากับดินความลึก 10 เซนติเมตร	49
ภาพที่ 4.1 น้ำหนักแห้งที่ปราศจากเถ้า(% ของน้ำหนักเริ่มต้น) ในถุงตาข่าย (litter bags) ในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน	53
ภาพที่ 4.2 น้ำหนักแห้งที่ปราศจากเถ้า (%ของน้ำหนักเริ่มต้น) ของสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน ในช่วงเวลาต่างๆ หลังจากที่ดินได้รับสารอินทรีย์ เส้นประแสดงถึงรูปแบบการสลายตัวโดยใช้สมการ single pool model	54
ภาพที่ 4.3 ไตอะแกรมของความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง (polynomial relations) ระหว่าง small macroaggregates กับค่าตัวชี้วัดคุณภาพสารอินทรีย์: C/N (a), C (b), โพลีฟีนอลส์ (c), และ (ลิกนิน+โพลีฟีนอลส์)/ N (d).	59
ภาพที่ 4.4 อัตราการแทรกซึมน้ำ (cm min^{-1}) ในดินทรายหลังจากการใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน	64
ภาพที่ 4.5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเชิงประสิทธิผล (ECEC) ของดินหลังจากใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน	65
ภาพที่ 4.6 การกระจายของสัตว์ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพที่ช่วงต่าง ๆ หลังการใส่สารอินทรีย์	68
ภาพที่ 4.7 กิจกรรมของเอนไซม์ อินเวอเรส (ก) และ เบตาไกลูโคซิเดส (ข) ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (14 ปี)	70
ภาพที่ 4.8 กิจกรรมของฟีนอลออกซิเดส (สีทึบ) และเปอร์ออกซิเดส (เส้นประ) ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (14 ปี)	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (microbial biomass, MB-C) (a) และมวล ชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (microbial biomass, MB-N) (b) หลังจากใส่สารอินทรีย์(R) ลงไปใหม่เป็นระยะเวลา 56 วัน ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (16 ปี) (N) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (C)	73
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของการหายใจ ($\text{CO}_2\text{-C}$ evolution) หลังจากใส่สารอินทรีย์ (R) ลงไปใหม่เป็นระยะเวลา 56 วัน ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (16 ปี) (N) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (C)	73
ภาพที่ 4.11 กิจกรรมของเอนไซม์ อินเวเตส (ก) และ เบตากลูโคซิเดส (ข) หลังจากใส่สารอินทรีย์(R) ลงไปใหม่เป็นระยะเวลา 56 วัน ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (16 ปี) (N) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (C)	75
ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบกิจกรรมของเปอร์ออกซิเดส (ก) และฟีนอลออกซิเดส (ข) หลังจากใส่สารอินทรีย์(R) ลงไปใหม่เป็นระยะเวลา 56 วัน ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (16 ปี) (N) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (C)	75
ภาพที่ 4.13 การปกคลุมแปลงของวัชพืชที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ	77
ภาพที่ 4.14 การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดของวัชพืชที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ	78
ภาพที่ 4.15 การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งของวัชพืชที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ	78
ภาพที่ 4.16 ความชื้นของดินในปีที่ 16	79
ภาพที่ 4.17 การปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนสุทธิ (net N mineralization/ immobilization) ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ในสภาพที่มีการรบกวน (disturbed – d) และไม่มีการรบกวนดิน (non-disturbed-n) ในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.18 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสม (Cumulative CO ₂ -C mineralization) ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ในสภาพที่มีการรบกวน (disturbed – d) และไม่มีการรบกวนดิน (non-disturbed – nd) ในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์	83
ภาพที่ 4.19 ปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (microbial biomass carbon) ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ในสภาพที่มีการรบกวน (disturbed – d) และไม่มีการรบกวนดิน (non-disturbed – nd) ในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์	84
ภาพที่ 4.20 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินป่า (a), ที่ตำแหน่งที่ 2 (b), ที่ดอนตำแหน่งที่ 3 (c), และนาข้าวตำแหน่งที่ 4 (d) ของลุ่มน้ำขนาดเล็ก อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัด ขอนแก่น	91
ภาพที่ 4.21 ความชื้นของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ	92
ภาพที่ 4.22 ลักษณะของซากใบแคสดที่เหลือที่เวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน	92
ภาพที่ 4.23 ปริมาณคาร์บอนในดินตามหน้าตัดดิน	93
ภาพที่ 4.24 ความชื้นของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ	94
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดินกับปริมาณคาร์บอนในดิน	95

สารบัญภาคผนวก

		หน้า
ภาพภาคผนวกที่ 1	สภาพแปลงทดลองและการใส่สารอินทรีย์ที่มีต่างคุณภาพปีละครั้ง ช่วงปลายเดือนเมษายน ถึงต้นเดือนพฤษภาคม (ในภาพเป็นการใส่สารอินทรีย์ในรอบปี 16 เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2553)	201
ภาพภาคผนวกที่ 2	ขั้นตอนการแยกขนาดเม็ดดินโดยวิธี Wet sieving (การวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน)	202
ภาพภาคผนวกที่ 3	การวิเคราะห์ปริมาณสารฮิวมิก และคาร์บอนในสารฮิวมิก	203
ภาพภาคผนวกที่ 4	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ (การวัดอัตราการแทรกซึมน้ำในดินโดยวิธี Double ring) ในแปลงทดลองการศึกษาสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในระยะยาวที่ทำพระ	204
ภาพภาคผนวกที่ 5	การสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินพื้นที่แปลงการศึกษาสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในแปลงระยะยาวที่ทำ และการจำแนกสิ่งมีชีวิตในห้องปฏิบัติการ	205
ภาพภาคผนวกที่ 6	การศึกษากิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในดินภายใต้สภาวะการบ่ม	206
ภาพภาคผนวกที่ 7	การศึกษาการปกคลุมแปลง ความหนาแน่นและการเจริญเติบโตของวัชพืชที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในสภาพดินไร้น้ำ	207
ภาพภาคผนวกที่ 8	การศึกษาปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์และปัจจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมโดยการรบกวนดิน	208
ภาพภาคผนวกที่ 9	พื้นที่ศึกษาการเก็บกักคาร์บอนในดินในลุ่มน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ลูกคลื่น (ตั้งอยู่ ณ บ้านคำม่วง อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น)	209
ภาพภาคผนวกที่ 10	การเก็บตัวอย่างดินหน่วยทดลอง โดยใช้ท่อPVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.3 เซนติเมตร ตอกลงไปตามหน้าตัดดิน	210

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการทำฟาร์มของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตั้งอยู่ในภูมิประเทศที่มีลักษณะลูกคลื่น ซึ่งเป็นปัจจัยกำหนดการใช้พื้นที่ทำการเกษตร นั่นคือ การทำนาในที่ลุ่ม และการทำพืชไร่ในที่ดอน นอกจากนี้ลักษณะภูมิประเทศดังกล่าวยังทำให้เกิดระบบนิเวศเกษตรเรียกว่า ‘ลุ่มน้ำขนาดเล็ก’ (KKU-Ford Cropping Systems Research Project, 1982) ซึ่งมีการใช้ที่ดินการเกษตร ดังที่กล่าวข้างต้น ทำให้ระบบการทำฟาร์มสามารถแบ่งเป็นระบบย่อยได้ 2 ระบบหลัก คือระบบนา และระบบไร่ ในพื้นที่ลูกคลื่นดังกล่าวมีดินเนื้อทรายเป็นหลัก เนื่องจากสารต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำเก่า (old alluvium) จากหินทราย ดินเนื้อทรายเหล่านี้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในยุคหนึ่งศตวรรษที่ผ่านมาจากป่าไม้เป็นการเกษตร (ปัทมา และคณะ 2547) ได้ทำให้ดินเสื่อมโทรมความอุดมสมบูรณ์ลง (สมญาและปัทมา 2547) การปรับปรุงทรัพยากรดินของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะดินทราย โดยใช้ระบบอินทรีย์เป็นวิธีการที่มีผลการศึกษายอมรับว่าจะปรับปรุงดินที่เสื่อมโทรมให้กลับมีผลผลิตและสภาพ (ความยั่งยืน) ได้ นอกจากนี้การใช้วิธีการอินทรีย์ยังช่วยลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร ได้แก่ ปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพราะดินที่อุดมสมบูรณ์ช่วยให้พืชต้านทานการเข้าทำลายของศัตรูพืชได้ดีขึ้น การลดการใช้สารเคมีทำให้อลดปัญหาการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม การใช้วิธีการอินทรีย์ ซึ่งในที่นี้หมายถึงการใช้สารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่หาได้ในท้องถิ่น ได้แก่ ส่วนของพืชเกษตรที่ไม่ได้เก็บเกี่ยวไป พืชปุ๋ยสดต่าง ๆ และสารอินทรีย์จากไม้ยืนต้น จึงนับว่าเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาดินและสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมเนื่องจากการใช้ที่ดินการเกษตร อย่างไรก็ตามสารอินทรีย์หลายประเภทเหล่านี้มีคุณภาพต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน คุณภาพดังกล่าวนี้ได้แก่ องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการสลายตัว การปลดปล่อยธาตุอาหารและการเกิดการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน สารอินทรีย์ที่สลายตัวง่ายมักมีประโยชน์ในแง่การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชและเป็นประโยชน์แก่พืชได้ในระยะสั้น แต่สารอินทรีย์ที่สลายตัวยากเพราะมีองค์ประกอบที่สลายตัวยาก เช่น ลิกนิน (lignin) และโพลีฟีนอล (polyphenols) อยู่มาก มักนำไปสู่การสะสมอินทรีย์วัตถุในดินในระยะยาว นอกจากคุณภาพสารอินทรีย์แล้ว สภาพแวดล้อมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมกระบวนการสลายตัว สภาพแวดล้อมหมายถึง ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อกระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ซึ่งได้แก่ ความชื้นดิน, การระบายอากาศในดิน, อุณหภูมิดิน และความเป็นกรดต่างของดิน รวมทั้งการจัดการดินที่มีผลเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายนอกเหล่านี้ เช่น การบดดินโดยการไถพรวน, การกำจัดวัชพืช, การใส่ปุ๋ยเคมี และปูน เป็นต้น ดังนั้นสารอินทรีย์จึงสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารรวมทั้งทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้นได้ต่างกัน สภาพแวดล้อม และการจัดการดินที่แตกต่างกัน

ในการศึกษาการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน รูปของอินทรีย์วัตถุที่สะสมคือ รูปที่เสถียร รูปที่สำคัญได้แก่ สารฮิวมิก (humic substances) การวินิจฉัยบริเวณที่มีการสะสม (storage location) ในระบบดิน จะทำให้ได้องค์ความรู้เชิงลึกเกี่ยวกับแหล่งและกลไกการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน เป็นที่ทราบกันว่าอินทรีย์วัตถุรูปที่เสถียรสามารถสะสมอยู่ได้ภายในเม็ดดิน (soil aggregate) และสามารถทำพันธะเคมีกับอนุภาคดินเหนียว (clay colloid) ในคอลลอยด์ดิน ซึ่งทำให้มีความคงทนอยู่ในดิน เพราะจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายไม่ได้ การสะสมอินทรีย์วัตถุนี้เป็นปรากฏการณ์เดียวกับการเก็บกักคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration) นั้นเอง แต่ปรากฏการณ์อันหลังนี้เป็นมุมมองบทบาทดินในการช่วยลดคาร์บอนในบรรยากาศ ซึ่งอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือมีเทน

การศึกษาที่ทำให้สามารถแบ่งประเภทของสารอินทรีย์ตามคุณภาพ รวมทั้งตามความสามารถที่จะสลายตัวได้ในสภาพแวดล้อมต่างกันจึงจะทำให้ได้องค์ความรู้ที่จะนำไปสู่การใช้สารอินทรีย์ที่เหมาะสมในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งนี้เพราะระบบการทำฟาร์มของภาคตะวันออกเฉียงเหนือประกอบด้วยระบบย่อยต่าง ๆ ที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน ได้แก่ ระบบไร่และระบบนา ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และในระบบเหล่านี้สภาพแวดล้อมต่างกัน เช่น ความชื้นดิน, เนื้อดิน และปฏิภานดิน เป็นต้น และมีการปฏิบัติจัดการที่ต่างกัน เช่น ระบบการทำไร่ไถหรือมันสำปะหลังมีวิธีการจัดการดิน เช่น การไถพรวน, การทำวัชพืช และการใส่ปุ๋ยเคมี เป็นต้น ที่ต่างกัน

กระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางกายภาพ, เคมีและชีวภาพของดิน ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญต่อกลไกการเก็บกักคาร์บอนในดินด้วย อย่างไรก็ตาม การศึกษาปัจจัยทางชีวภาพที่เกิดจากกิจกรรมของสัตว์ในดินมีน้อย ทั้ง ๆ ที่สัตว์ในดินมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสลายตัวและเก็บกักคาร์บอนในดิน เพื่อช่วยลดและแก้ไขปัญหามลพิษจากปรากฏการณ์โลกร้อน จะเห็นได้ว่า ความสำคัญของสัตว์ในดิน ในฐานะที่เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทสำคัญยิ่งในระบบนิเวศวิทยานานัปการ โดยเฉพาะการเป็นผู้ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ทำให้เกิดการหมุนเวียนสารอาหารและการถ่ายทอดพลังงานในระบบห่วงโซ่อาหาร เป็นทรัพยากรชีวภาพที่สำคัญยิ่งต่อระบบนิเวศดินและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การศึกษาด้านสัตว์ในดินยังเป็นประโยชน์ในการนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินสภาวะแวดล้อมเพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงผลกระทบจากกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่อทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อมได้ด้วย อีกทั้งเป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์ความหลากหลายทางชีวภาพอย่างยั่งยืน

การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในระบบการทำฟาร์มในพื้นที่ลูกคลื่น ได้รับอิทธิพลอย่างสำคัญจากสภาพภูมิประเทศที่มีความลาดเอียง (ประมาณ 2-5 %) ถึงแม้จะไม่ถึงกับชัน อย่างไรก็ตามก็มักเกิดการกร่อนดิน (soil erosion) โดยมีน้ำเป็นตัวกลางเป็นปริมาณมากในฤดูฝนใน

ดอนที่ทำการเกษตร (ปัทมา และวิทยา 2547; บุปผาและวิทยา 2549) และสารจากการกร่อนดิน (ทั้งน้ำไหลบ่าและตะกอน) บางส่วนจะไหลลงสู่ที่ลุ่ม การกร่อนดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ อินทรีย์วัตถุในดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินในที่ดอนลดลง ในขณะที่ในที่ลุ่มที่ตั้งอยู่ต่อเนื่อง ลงมาในลุ่มน้ำขนาดเล็ก ได้รับสารจากการกร่อนดินมาสะสมไว้ เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ ได้ ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์ของพื้นที่ดอนและที่ลุ่มที่อยู่ต่อเนื่องกันในระบบ การทำฟาร์มในลุ่มน้ำขนาดเล็กของพื้นที่ลูกคลื่น

การจัดการและฟื้นฟูแก้ไขปัญหาคือการเชื่อมโยงความเสื่อมโทรมความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรดิน และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการลดคาร์บอนในบรรยากาศ จึงมีความสำคัญและจำเป็น ที่จะต้องหาองค์ความรู้เกี่ยวกับการสลายตัวของสารอินทรีย์คุณภาพต่าง ๆ ที่หาได้ในท้องถิ่นที่จะ นำมาปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งในระยะสั้น โดยเน้นที่การผลิตอาหารพืช และ ระยะยาวโดยเน้นที่การสะสมอินทรีย์วัตถุหรืออินทรีย์คาร์บอนในดินอย่างยาวนาน และ การศึกษาบทบาทของสัตว์ในดินจะเป็นการขยายองค์ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการ สลายตัวของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จากการศึกษาปัจจัยทางด้านกายภาพ, เคมี และจุลชีววิทยาที่ ได้ทำมามากกว่า นอกจากนี้อีกองค์ความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของคาร์บอนในดินในพื้นที่ลูก คลื่นที่เป็นฟาร์มจะทำให้เกิดความเข้าใจกลไกการสะสมและการลดลงของอินทรีย์คาร์บอนหรือ อินทรีย์วัตถุในดินในส่วนต่าง ๆ ของระบบการทำฟาร์มในพื้นที่ลูกคลื่นได้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแหล่งและกลไกการเก็บกักคาร์บอนในดินเนื้อทราย
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยคุณภาพ (องค์ประกอบทางเคมี) ของสารอินทรีย์ และปัจจัยการจัดการดิน (โดยการรบกวนดิน) กับการสลายตัวและการเก็บกักคาร์บอนในดิน
3. เพื่อศึกษาบทบาทสัตว์และจุลินทรีย์ในดินต่อการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุและการเก็บ กักคาร์บอนในดิน
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มในภูมิภาคลูกคลื่น กับการกักเก็บคาร์บอนในดิน
5. เพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายคาร์บอนโดยน้ำในหน้าตัดดิน

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

2.1 การสะสมและการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดินที่ได้รับอิทธิพลจากสารอินทรีย์ต่าง
คุณภาพ

2.2 แหล่งและกลไกการสะสมหรือกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อทราย

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่าดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้น มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยดัชนีที่สามารถใช้ในการชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ คือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (soil organic matter; SOM) หรืออินทรีย์คาร์บอน (soil organic carbon; SOC) ในดิน (Tangtrakarnpong and Vityakon, 2002) โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.9-2.0 เปอร์เซ็นต์ (เพิ่มพูน, 2527) ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นการเพิ่มหรือการหมุนเวียน SOC กลับคืนสู่ดินจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตของดินได้ อย่างไรก็ตาม SOC ส่วนใหญ่ที่สลายไปในดิน จะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว อันมีสาเหตุมาจากปัจจัยทางด้านวัตถุดิบกำเนิดดิน สภาพภูมิอากาศ และกิจกรรมทางการเกษตร

2.1 การสะสมและการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดินที่ได้รับอิทธิพลจากสารอินทรีย์
ต่างคุณภาพ

2.1.1 คุณภาพและระบบการจำแนกสารอินทรีย์ที่ใช้ปรับปรุงดิน

สารอินทรีย์ที่หาได้ในระบบฟาร์มของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ส่วนเหลือจากการเก็บเกี่ยวของพืชเกษตรหลัก เช่น ตอซังข้าว ใบ ตอและรากอ้อย, ใบและต้นมันสำปะหลัง และส่วนต้นของถั่วลิสง รวมทั้งซากใบไม้จากต้นไม้ที่ขึ้นในไร่นา และสารอินทรีย์ที่ได้รับการส่งเสริมให้ใช้เป็นปุ๋ยพืชสดโดยกรมพัฒนาที่ดินหลายชนิด เช่น ปอเทือง ถั่วมะแฮะ ถั่วพุ่ม โสนอัฟริกัน โสนคางคก โสนอินเดีย และแอสซิโนมีน เป็นต้น สารอินทรีย์เหล่านี้มีคุณภาพ (ส่วนประกอบทางเคมี) ต่างกัน (Vityakon and Dangthaisong, 2005)

ได้มีเสนอระบบการจำแนกสารอินทรีย์ในด้านศักยภาพที่จะสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจนโดยใช้เกณฑ์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ในโตรเจน อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ลิคินิน และโพลีฟีนอล (Palm et al., 2001) ระบบนี้แบ่งสารอินทรีย์เป็น 4 ประเภท และได้เสนอแนะการจัดการสารอินทรีย์ที่เหมาะสมควบคู่ไปกับสารอินทรีย์แต่ละประเภทด้วย ดังต่อไปนี้

- 1) สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงสุดเป็นสารอินทรีย์ที่มี N สูง ($> 25 \text{ g/kg}$) มีลิกันนินต่ำ ($< 150 \text{ g/kg}$) และมีโพลีฟีนอลต่ำ ($< 40 \text{ g/kg}$) ซึ่งสามารถใส่ในดินได้เพื่อให้ปลดปล่อย N ได้อย่างรวดเร็ว
- 2) พวกที่มี N สูง, แต่ลิกันนินและโพลีฟีนอลสูงด้วย แนะนำให้ผสมกับปุ๋ยหรือสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงก่อนใส่ลงดิน
- 3) พวกที่มี N ต่ำ และมีลิกันนินต่ำ ให้ผสมกับปุ๋ยหรือทำปุ๋ยหมัก
- 4) สารอินทรีย์คุณภาพต่ำที่สุด ได้แก่ พวกที่มี N ต่ำ และลิกันนินสูง ซึ่งแนะนำให้ใส่คลุมดินเพื่อป้องกันการกร่อนดิน

2.1.2 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมและการจัดการดินที่มีต่อการสลายตัวและการปลดปล่อยธาตุอาหารของสารอินทรีย์

ระบบจำแนกสารอินทรีย์ที่กล่าวข้างต้นไม่ได้คำนึงถึงสภาพแวดล้อมและการจัดการดินที่มีผลต่อการปลดปล่อย N อย่างสำคัญด้วย ยกตัวอย่างเช่น งานของ Vityakon และ Dangthaisong (2005) ที่แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์บางชนิดเช่น ใบไม้ร่วงจากต้นจามจุรี ประดู่ เต็ง และมะขาม มีการปลดปล่อย N ที่ต่างกันในสภาพน้ำขังและสภาพระบายอากาศปกติ ทำให้ถูกจัดเป็นสารอินทรีย์คนละประเภทในสภาพทั้งสอง

การสลายตัวของสารอินทรีย์และการปลดปล่อยไนโตรเจนขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณของสารอินทรีย์ สภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นและอุณหภูมิดิน การจัดการที่เปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น การไถพรวน และปัจจัยจำเพาะของดิน เช่น เนื้อดิน แร่ธาตุของดิน (mineralogy) ความเป็นกรดเป็นด่าง กิจกรรมทางชีวภาพ และปริมาณธาตุอาหารอื่น ๆ ในดิน (Myers et al., 1994) ได้มีรายงานว่าในดินที่มีแร่ดินเหนียวที่มีความจุในการแลกเปลี่ยนสูง การสลายตัวเกิดได้ช้า (Lynch and Cotnoir, 1965; Sorrensen, 1975 อ้างตาม Thonissen et al., 2000) และการระบายอากาศในดินเนื้อละเอียด (ดินเหนียว) มีน้อยลง ทำให้อัตราการย่อยสลายของซากพืชเป็นไปได้ช้ากว่าในดินร่วน (Thonissen et al., 2000) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน หรือค่า pH มีผลต่อการสลายตัวของซากอินทรีย์และการปลดปล่อยไนโตรเจน เพราะ pH มีอิทธิพลต่อกิจกรรมและชนิดของประชากรจุลินทรีย์ โดยทั่วไปที่ความเป็นกรดน้อยหรือใกล้เป็นกลางมักมีแบคทีเรีย ในขณะที่สภาพความเป็นกรดมาก (pH ต่ำ) เชื้อราจะมีกิจกรรมสูงกว่าแบคทีเรีย (Paul and Clark, 1989) ความชื้นดินทั้งปริมาณและการกระจายความชื้นมีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยไนโตรเจน Cassman และ Munns (1980) ทำการศึกษาในดินเนื้อร่วน (silty loam) โดยทดลองที่ tension ของความชื้นดิน (0.3-15 bar) พบว่าการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงสุดที่ความชื้นดิน 0.3 bar (หรือ field capacity) และการปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงในอัตราสูงที่ความชื้นระหว่าง 0.3-2 bar นอกจากนี้เขาพบปฏิสัมพันธ์ที่นัยสำคัญระหว่างความชื้นและอุณหภูมิ โดยการปลดปล่อยไนโตรเจนมีสูงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 15-30 °C

การจัดการดินที่มีการรบกวนดิน เช่น การไถพรวน การกำจัดวัชพืชและการใส่ปุ๋ย เป็นต้น ทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินลดลง สมญา (2545) พบว่าแปลงมันสำปะหลังในดินทรายมีอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าแปลงป่าไม้ที่อยู่ติดกัน คาดว่าสาเหตุหนึ่งเพราะแปลงมันสำปะหลังมีการรบกวนดินมากกว่าป่าไม้ การรบกวนดินมีผลต่อการสะสมและการกระจายของคาร์บอนอินทรีย์ (Hussain et al., 1999) Paustian และคณะ (1997) ได้รวบรวมข้อมูลจากนักวิจัยหลายกลุ่มที่ทำการศึกษเปรียบเทียบผลของการไถพรวนกับไม่ไถพรวนในระยะยาว ซึ่งสรุปได้ว่าคาร์บอนอินทรีย์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อไม่มีการไถพรวน เนื่องจากการไม่ไถพรวนลดอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เมื่อเทียบกับมีการไถ Hussain และคณะ (1999) อ้างตาม สมญา (2545) รายงานว่าเมื่อมีการไถพรวนจะพบเชื้อราแบบที่เรียเป็นจุลินทรีย์เด่นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ขณะที่เมื่อไม่ไถพรวนจะพบเชื้อราเป็นจุลินทรีย์เด่นในการย่อยสลาย ซึ่งเชื้อราต้องการพลังงานในการดำรงชีวิตน้อยกว่าแบคทีเรีย ทำให้การย่อยสารอินทรีย์ต่ำส่งผลให้คาร์บอนอินทรีย์สะสมอยู่ในดินมาก

2.1.3 การศึกษาระยะยาวเกี่ยวกับอิทธิพลของสารอินทรีย์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน

นอกจากการปลดปล่อยไนโตรเจนแล้ว การสลายตัวของสารอินทรีย์ยังนำไปสู่การสะสมอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งเป็นประโยชน์ในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่ยาวนาน ดังนั้นการศึกษาอินทรีย์วัตถุในดินที่สามารถทำอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ยาวนาน เป็นแบบที่ 1 หรือสามารถเปรียบเทียบการสะสมอินทรีย์วัตถุที่ระยะเวลาต่าง ๆ (แบบที่ 2) ได้จะทำให้ได้ข้อมูลเหล่านี้ที่มีประโยชน์มาก เช่น บัทมา (2534) ทำการศึกษาในแบบที่ 2 คือ ศึกษาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินทรายในระบบการใช้ที่ดินต่าง ๆ ที่มีการให้กลับคืนอินทรีย์วัตถุในปริมาณและระยะเวลาที่ต่างกัน เช่น ระบบป่าไม้ ระบบพืชไร่ (มันสำปะหลัง) และระบบพืชผัก เป็นต้น ผลการศึกษาแสดงว่าระบบการใช้ที่ดินหรือระบบนิเวศที่ได้รับอินทรีย์วัตถุกลับคืนสม่ำเสมอ เช่น ดินป่าไม้ หรือดินในระบบที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างต่อเนื่องจะมีอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินที่มีการให้กลับคืนสารอินทรีย์น้อยกว่า พัทรี และคณะ (2536) พบว่าดินเนื้อทรายต่าง ๆ ได้แก่ ดินนาซุด ร้อยเอ็ด (Aeric Paleauult), ดินซุดคำบง (Udic Paleustalf) ในป่าดิบแล้ง และดินทุ่งหญ้าซึ่งเป็นดินซุดโคราช (Oxic Paleustult) ที่ได้รับอินทรีย์วัตถุกลับคืนต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปีทำให้ปริมาณ C ในดินเพิ่มขึ้น Kanchikerimath และ Singh (2001) ศึกษาในอินเดีย ในแบบที่ 1 ถึงการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุและคุณสมบัติทางชีวภาพในดิน Cambisol ที่มีเนื้อดิน sandy clay ที่ได้รับอิทธิพลจากการใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมีในระยะยาว (26 ปี) ในระบบการปลูกพืชข้าวโพด-ข้าวสาลี-ถั่วพุ่ม เขาพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกอย่างสมดุลจะทำให้มีการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินและกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน (โดยพิจารณาจากเอนไซม์ยูรีเอส ฟอสเฟเตส และดีไฮโดรจีเนส) ซึ่งอินทรีย์วัตถุและกิจกรรมจุลินทรีย์ดินซึ่งมีความสำคัญต่อการหมุนเวียนธาตุอาหารและผลิต

ภาพในระยะยาวของดิน ได้รับอิทธิพลจากการใส่ธาตุอาหารและปุ๋ยอินทรีย์อย่างสมดุล Zhang และ He (2004) ศึกษาในประเทศจีนในแบบที่ 2 ถึงการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์คาร์บอนในดิน Typic Plinthudults ซึ่งเป็นดินนาที่เปลี่ยนแปลงมาจากที่ดินที่เคยใช้ปลูกพืชไร่ โดยศึกษาในช่วงเวลา 2-100 ปีหลังการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เขาพบว่าคาร์บอนอินทรีย์, N ทั้งหมด และ P ในชั้นไทรพรวนเพิ่มขึ้นในช่วง 30-40 ปีแรกของการเปลี่ยนมาทำนา ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการทำนาในระยะยาวช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยพิจารณาจากการลดลงของความเป็นกรดของดิน การเพิ่มของความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก คาร์บอนอินทรีย์ และอัตราส่วนกรดฮิวมิกต่อกรดฟัลวิก อย่างไรก็ตามการทำนาระยะยาวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ลงของอินทรีย์คาร์บอน (C), N และ P ซึ่งอาจมีผลต่อสิ่งแวดล้อมได้

การศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพของอินทรีย์วัตถุของดินในระยะยาวนั้นสามารถทำได้ในหลายแง่มุมด้วยกัน อย่างไรก็ตามแง่มุมหนึ่งที่สำคัญคือ การศึกษาคุณสมบัติของส่วนของอินทรีย์วัตถุ (SOM pool) ที่เป็นชิ้น (particulate organic matter – POM) และอินทรีย์วัตถุส่วนที่เสถียร (stable pool of SOM) ซึ่งส่วนที่เสถียรนั้นได้แก่ สารฮิวมิก และบางส่วนของ POM ที่สามารถคงอยู่ในดินได้อย่างยาวนานและจะเป็นส่วนที่ปรับปรุงคุณสมบัติทางด้าน buffering capacity เช่น CEC ของดิน และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน เช่น ทำให้โครงสร้าง (เม็ดดินหรือ soil aggregate) ดีขึ้น สมญา (2545) ศึกษาเปรียบเทียบดินทราย (ชุดโคราช) ที่อยู่ในพื้นที่ป่าไม้ และดินชนิดเดียวกันที่ปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง พบว่านอกจากดินป่าไม้จะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (หรืออินทรีย์ C) โดยรวมมากกว่าดินที่ปลูกมันสำปะหลังแล้ว ยังมีปริมาณ C ในส่วนที่เป็นสารฮิวมิกและ POM มากกว่าด้วย แสดงว่าระบบป่าไม้ที่มีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบดินอย่างต่อเนื่องและดินไม่ถูกรบกวน ทำให้เกิดการสะสมอินทรีย์วัตถุในส่วนดังกล่าว ในขณะที่ดินที่ปลูกมันสำปะหลังมีสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยและมีการรบกวนดิน เช่น ด้วยการไถพรวนอยู่เสมอ นอกจากนี้สมญา (2545) ยังพบว่าดินป่าไม้มีขนาดเม็ดดิน (aggregate size) ใหญ่กว่าและความคงทนของเม็ดดิน (aggregate stability) สูงกว่าดินที่ปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ดีจากการมีอินทรีย์วัตถุในดินสูง Vityakon (2005) ได้แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ดินมีอิทธิพลต่อการสะสมอินทรีย์วัตถุด้วย กล่าวคือ ในการวิเคราะห์ข้อมูลของ Adulprasertsuk และคณะ (1997) เขาพบว่าสารอินทรีย์ที่สลายตัวช้า กล่าวคือมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต้านทานการสลายตัว เช่น ลิกนิน อยู่มาก เช่น ไบร่งของพลวง จะทำให้เกิดสารฮิวมิกที่มีการพัฒนาตัวไปไกลกว่าสารอินทรีย์ที่สลายตัวเร็วกว่า เช่น ไบร่งของจามจุรี โดยศึกษาจากคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของสารฮิวมิก การศึกษาคุณสมบัติของสารฮิวมิกที่จะให้ข้อมูลในรายละเอียดถึงโครงสร้างสารฮิวมิกอีกวิธีหนึ่งคือ วิธีใช้แสงช่วงคลื่นอินฟราเรด (infrared หรือ IR spectrometry) อย่างไรก็ตามจะต้องอาศัยเครื่องมือ IR spectrometer ซึ่งมีราคาแพงและมีผู้เชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือ

การศึกษากลไกการเก็บกักอินทรีย์วัตถุเสถียรเป็นทางหนึ่งที่ทำให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับศักยภาพของดินในการเป็น sink หรือแหล่งเก็บคาร์บอนไว้ ทำให้ลดปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศช่วยแก้ปัญหาภาวะเรือนกระจกและโลกร้อนได้ทางหนึ่ง ในระยะหลังจึงมีผลงานวิจัยด้านการกักเก็บคาร์บอนของดินที่มีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกดังกล่าว เช่น ที่ปริทัศน์ไว้โดย Goh (2004)

การศึกษาอินทรีย์วัตถุระยะยาวทำให้เราสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านนิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ดินได้ ทำให้เกิดความเข้าใจในกลไกการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดินได้ลึกซึ้งขึ้น เช่น การวิเคราะห์โปรไฟล์ของ phospholipids fatty acid (PLFA) จะเป็นตัวชี้ทางชีวภาพ (biomarker) ของชนิดของประชากรจุลินทรีย์ในดินได้ ซึ่งนำไปสู่ความเข้าใจถึงอิทธิพลของชนิดสารอินทรีย์และสภาพแวดล้อมที่มีต่อนิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ดินที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น งานวิจัยในลักษณะนี้เช่น การศึกษาในสหรัฐถึงการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในระบบการปลูกข้าวสาลีที่ได้รับสารอินทรีย์ได้แก่ ฟางข้าวสาลี และเปรียบเทียบดินที่มีการไถและไม่ไถ เขาพบว่าตัวชี้ชีวภาพ PLFA มีความแตกต่างกันระหว่างเชื้อรากับแบคทีเรีย ซึ่งแสดงว่าสามารถใช้เป็นตัวชี้ชนิดของจุลินทรีย์ได้ดี (Petersen et al., 2002)

2.1.4 บทบาทของจุลินทรีย์ดินในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ

มีงานศึกษาเป็นจำนวนมากที่ชี้ให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่มีผลต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินที่วัดจากการปลดปล่อย CO_2 และเอนไซม์จุลินทรีย์ (exoenzymes) เป็นต้น ระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ออกมาซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากการวัดการหายใจ (respiration) ดังนั้นมวลชีวภาพจุลินทรีย์และปริมาณก๊าซ CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจึงมีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่นงานของ Allison และ Vitousek (2005) ที่ศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารอาหารต่อการหายใจและการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดิน พบว่าสารอาหารที่มีโครงสร้างอย่างง่าย (simple substrate) คือ แอมโมเนียม, ฟอสเฟต, และอะซิเตต ส่งผลให้การหายใจและมวลชีวภาพจุลินทรีย์สูงกว่าสารอาหารที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน (complex substrate) คือ เซลลูโลส และคอลลาเจน โดยกรรมวิธีทดลองที่มีการใส่อะซิเตตมีมวลชีวภาพคาร์บอนสูงกว่าทุกกรรมวิธีทดลอง เนื่องจากอะซิเตตเป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ง่ายต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ในขณะที่กรรมวิธีทดลองที่มีการใส่แอมโมเนียมและฟอสเฟตส่งผลให้มวลชีวภาพไนโตรเจนและมวลชีวภาพฟอสฟอรัสสูงสุด เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้แอมโมเนียมและฟอสเฟตเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสตามลำดับ งานศึกษาของกลุ่มวิจัยนี้ในการศึกษาระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงและการสะสม SOM ในดินทรายที่ได้รับการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพทุกปีอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 13 ปี พบว่าการปลดปล่อย CO_2 สะสมตลอดช่วงการย่อยสลาย 1 ปี มีสูงที่สุด (70-90 % ของ C ในสารอินทรีย์ที่ใส่) ในสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบเป็นสารประกอบต้านทานการย่อยสลาย (ลิกนินและโพลีฟีนอล) ต่ำ ได้แก่ ชากต้น

ถั่วลิสง และฟางข้าว แต่การปลดปล่อยมีต่ำ (38%) ในสารอินทรีย์ที่มีลิกนินและโพลีฟีนอลสูง ได้แก่ ใบพลวงร่วงและใบมะขามร่วง (Puttaso et al., 2011) ดังนั้นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนยากแก่การย่อยสลายจึงลดกิจกรรมจุลินทรีย์

คุณภาพของสารอินทรีย์แต่ละชนิดกระตุ้นและส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ได้แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะต่อ substrate แต่ละชนิด จุลินทรีย์จะหลั่งเอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กหรือสลายตัวได้ง่ายก่อน เช่น น้ำตาล เป็นต้น แต่เมื่ออาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์มีจำกัด จุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ที่มีความจำเพาะเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุล โครงสร้างซับซ้อนที่เหลือยู่ เช่น ลิกนิน (lignin) และโพลีฟีนอล (polyphenol) เป็นต้น ซึ่งการย่อยสลายโมเลกุลที่ซับซ้อนนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และกลายเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดสารฮิวมิก (Harder and Dijkhuizen, 1983)

2.1.5 บทบาทของสัตว์ในดินในการย่อยสลายสารอินทรีย์

สัตว์ในดินชนิดต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบของลูกโซ่อาหารที่ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีบทบาทหลักทำให้เกิดการหมุนเวียนเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ที่มีแหล่งที่มาจากพืชทั้งส่วนเหนือดินและใต้ดิน (Bardgett, 2005) ถึงแม้ว่าจุลินทรีย์ เช่น เชื้อรา และแบคทีเรียจะเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการหมุนเวียนธาตุอาหาร แต่จุลินทรีย์ก็ได้รับอิทธิพลจากสัตว์ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เดียวกัน สัตว์ในดินมีอิทธิพลต่อกระบวนการสลายตัว ทั้งโดยตรงโดยการทำให้ซากอินทรีย์มีขนาดเล็กลง และโดยอ้อมโดยการที่ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนหน้าที่ของจุลินทรีย์จากการที่สัตว์กินจุลินทรีย์ และจากการขับถ่ายมูลที่มีสารอาหาร (Petersen and Luxton, 1982; Cole and Bardgett, 2002) นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของสัตว์ในดินยังมีผลต่อการแพร่กระจายของส่วนที่ใช้ในการสืบพันธุ์เช่น สปอร์ โดยติดไปกับพื้นผิวร่างกายของสัตว์ หรือผ่านลำไส้ของสัตว์ (Visser, 1985) ถึงแม้สัตว์ทุกชนิดในดินมีส่วนในกระบวนการสลายตัวและการเปลี่ยนรูป (mineralization) ธาตุอาหารในดิน กลไกที่สัตว์เอื้อให้เกิดการย่อยสลายจะขึ้นกับขนาดร่างกายของสัตว์นั้น ๆ เป็นที่เชื่อกันว่าสัตว์ที่มีขนาดใหญ่และเคลื่อนที่ได้มาก เช่น ไส้เดือนมีอิทธิพลมากที่สุดต่อการย่อยสลาย โดยทำหน้าที่ผสมคลุกเคล้าเศษซากอินทรีย์ในโปรไฟล์ดิน นับว่าเป็นบทบาททางนิเวศวิศวกรรม (ecosystem engineering) แบบหนึ่ง (Jones et al., 1994) ในทางตรงกันข้ามกิจกรรมของสัตว์ขนาดเล็กจะเป็นไปในด้านผลกระทบทางอ้อมกับโครงสร้างและหน้าที่ประชากรจุลินทรีย์ เพราะสัตว์เหล่านี้กินจุลินทรีย์เป็นอาหารโดยการเลือกกิน (selective grazing) (Newell, 1984 a, b; Klironomos and Kendrick, 1996)

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วว่าดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้น มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยดัชนีที่สามารถใช้ในการวัดความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ คือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (soil organic matter; SOM) หรืออินทรีย์คาร์บอน (soil organic carbon; SOC) ในดิน

(Tangtrakarnpong and Vityakon, 2002) โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.9-2.0 เปอร์เซ็นต์ (เพิ่มพูน, 2527) ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นการเพิ่มหรือการหมุนเวียน SOC กลับคืนสู่ดินจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตภาพของดินได้ อย่างไรก็ตาม SOC ส่วนใหญ่ที่ใส่ลงไปในดิน จะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว อันมีสาเหตุมาจากปัจจัยทางด้านวัตถุดิบกำเนิดดิน สภาพภูมิอากาศ และกิจกรรมทางการเกษตร

อย่างไรก็ตาม มีการพบว่าถ่านที่ถูกคลุกเคล้าลงไปในดินสามารถเพิ่มผลผลิตภาพของดินได้ และสามารถอยู่ในดินได้เป็นเวลานานนับพันปี ในประเด็นนี้ Sombroek (1966) ผู้ซึ่งศึกษาดินแถบลุ่มน้ำอะเมซอน ได้พบว่ามีดินชนิดหนึ่งชื่อ Terra preta de indio หรือ Terra preta หรือดินดำอินเดียน ดินดังกล่าวนี้มีสีดำอันเนื่องมาจากสีของถ่าน และเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ทั้งที่เป็นดินในอันดับออกซิโซล (Oxisols) และแร่ประกอบดินส่วนใหญ่เป็นคาโอลิไนท์ (kaolinite) และอยู่ในเขตร้อนชื้น ขณะนี้ประเด็นดังกล่าวกำลังเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก เนื่องจากการใส่ถ่านในดินจะเพิ่มผลผลิตภาพของดินแล้วยังสามารถช่วยชะลอปัญหาโลกร้อนได้

การศึกษาความสำคัญของคาร์บอนที่เก็บกักไว้ในรูปของถ่าน (charcoal carbon – CC) ในดิน เพื่อให้ทราบอิทธิพลของถ่านต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินหรือแม้แต่ในแง่ของการชะลอปัญหาโลกร้อนนั้น จะต้องทำความเข้าใจก่อนว่า ปริมาณ CC ในดิน แต่ละพื้นที่นั้น มีอยู่มากน้อยเพียงใด แต่ในปัจจุบันนี้ วิธีวิเคราะห์ปริมาณ CC ยังไม่มีวิธีการใดที่เป็นมาตรฐานที่นักวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปให้การยอมรับ เนื่องจากยังเป็นประเด็นใหม่ที่กำลังเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ ค่า CC ที่วิเคราะห์ได้ยังมีความแปรปรวนสูง เห็นได้จากการทดลองของ Schmidt และคณะ (2001) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณ CC จำนวน 6 วิธี โดยใช้ตัวอย่างดินจากประเทศออสเตรเลียจำนวน 8 ตัวอย่าง ทั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบวิธีการเดียวกันระหว่างห้องปฏิบัติการด้วย พบว่า ปริมาณ CC มีความแตกต่างกันสูงสุดถึง 571 เท่า

ขณะนี้ยังไม่มีวิธีการที่เป็นมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ CC แต่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบหลักการและความก้าวหน้าในวิธีการวิเคราะห์แบบต่างๆ เพื่อที่จะสามารถนำวิธีการต่างๆ เหล่านั้น มาพิจารณาและเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้วิธีการที่สามารถทำได้ง่าย ประหยัดเวลา ใช้ต้นทุนในการดำเนินการต่ำ และที่สำคัญคือ ต้องเป็นวิธีการที่มีความถูกต้องแม่นยำ

2.2 แหล่งและกลไกการสะสมหรือกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อทราย

2.2.1 บทบาทของอินทรีย์วัตถุของดินในการเก็บกักคาร์บอนและผลต่อผลิตภาพและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter – SOM) หรือส่วนประกอบสำคัญของ SOM คือคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon – SOC) มีบทบาทสำคัญต่อผลิตภาพและสภาพของดิน ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารโดยบทบาทของสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเฉพาะจุลินทรีย์ แต่สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังก็ทำให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการหมุนเวียนธาตุอาหารเช่นกัน ปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก (CEC) แก่ดินทำให้ธาตุอาหารไม่ถูกชะล้างสูญเสียไปได้ง่าย โดยเฉพาะในดินทรายที่มี CEC ต่ำ นอกจากนี้ SOM ยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินได้แก่ ทำให้เกิดการสร้างเม็ดดิน (soil aggregate) ขนาดต่าง ๆ และทำให้เม็ดดินมีความคงทนต่อแรงกระทำ (มีเสถียรภาพ) มากขึ้น (ปัทมา 2547, Wallace, 1994 อ้างตาม Goh, 2004) นอกจากนี้ SOM ยังมีบทบาทต่อการแก้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่กำลังเผชิญมนุษยชาติในปัจจุบัน ได้แก่ ปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศหรือปัญหาโลกร้อน เนื่องจากการมีก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มปริมาณสูงขึ้น ทั้งนี้โดยดินเก็บกักคาร์บอนไว้ในอินทรีย์วัตถุ จึงเป็นการย้ายคาร์บอนจากบรรยากาศมาเก็บไว้ในปฐพีภาค ความรุนแรงของปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทำให้ประชาคมนักวิจัยหันมาพิจารณาศักยภาพของดินในการเก็บกักคาร์บอนมากขึ้น ดังจะเห็นจากงานศึกษาและการปริทัศน์ข้อมูลมากมายหลายงาน ในช่วงเปลี่ยนคริสต์ศตวรรษนี้ เช่น Lal (2004), Goh (2004), Janzen (2004), Guo และ Gifford (2002), Swift (2001), Post และ Kwon (2000), Schlesinger (1999) และ Batjes และ Sombroek (1997) เป็นต้น

การเก็บกักคาร์บอน (carbon sequestration) มักหมายถึง การเก็บกักในช่วงเวลาที่ยาวนานประมาณ 15-50 ปี ในระบบนิเวศบนบก (terrestrial ecosystems) หรือใต้ดินในรูปคาร์บอนเนต (Eswaran et al., 1993) หรือในมหาสมุทร (Goh, 2004) ดินเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญ อำนาจและณัฐพล (2548) เสนอดัชนีเลขจากการปริทัศน์งานต่าง ๆ ที่แสดงว่าดินและพืชเก็บกักคาร์บอนไว้มากกว่าบรรยากาศถึง 3 เท่าตัว นั่นคือ คาร์บอนในดินพืชในระดับโลกประมาณ $2,300 \times 10^{15}$ g (IPCC, 2001) ส่วนคาร์บอนในบรรยากาศมีประมาณ 750×10^{15} g และดินยังมีศักยภาพที่จะเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนได้อีก ซึ่งในแง่ Goh (2004) ได้ปริทัศน์งานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินศักยภาพที่ดินเก็บกักคาร์บอนซึ่งชี้ให้เห็นว่า หากพิจารณาในระดับโลกโดยเฉพาะในพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกาแล้ว ดินยังมีความจุในการเก็บกักคาร์บอนจากบรรยากาศเพิ่มได้อีกมหาศาล และสามารถเก็บกักไว้ในระยะยาวนานพอที่จะลดปริมาณ CO₂ ในบรรยากาศได้ Goh (2004) ได้อ้างถึงงานของ IPCC (1996) ที่ประเมินว่าดินที่ปลูกพืช

เกษตรสามารถเก็บกักคาร์บอนได้ถึง $40-80 \times 10^{15}$ g C ในอีก 50-100 ปีข้างหน้า ที่จะช่วยหักล้างการเพิ่ม CO_2 ในบรรยากาศไปได้อีก 12-24 ปี นอกจากนี้การปรับปรุงดินและการใช้ที่ดินต่าง ๆ จะช่วยเพิ่มการเก็บกักคาร์บอนเพิ่มเติมได้อีก ได้แก่ การฟื้นฟูดินเสื่อมโทรม (ซึ่งคาดว่าจะมีเนื้อที่ถึง 1,965 ล้านเฮกตาร์) การจัดการดินทุ่งหญ้าและป่าไม้ การเปลี่ยนการใช้ที่ดินเกษตรเสื่อมโทรมเป็นทุ่งหญ้าและป่าไม้สามารถช่วยเพิ่มการเก็บกักคาร์บอนได้

2.2.2 การประเมินการเก็บกักคาร์บอนของดินในประเทศไทย

การศึกษาเกี่ยวกับการเก็บกักคาร์บอนในระบบต่าง ๆ ในประเทศไทยส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับระบบป่าไม้ ทั้งป่าธรรมชาติและป่าปลูก (กรมอุทยานแห่งชาติฯ 2548) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาบางเรื่องที่เปรียบเทียบการเก็บกักคาร์บอนในพื้นที่ป่าและพื้นที่เกษตร เช่น อำนาจและณัฐพล (2548) ซึ่งศึกษาดินป่าดิบแล้ง ดินสวนป่า (กระถินเทพา 16 ปี) และดินเกษตร (ข้าวโพด) บริเวณป่าสะแกราษ จังหวัดนครราชสีมา เขาพบว่ามากกว่า 50% ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดอยู่ในชั้นดิน 0-20 เซนติเมตร ดินป่าไม้มีการเก็บกักคาร์บอนมากที่สุด และดินเกษตรมีน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามการปลูกกระถินเทพาช่วยเพิ่มคาร์บอนได้ 10 ตันต่อเฮกตาร์เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เกษตร ดังนั้นการปลูกป่าจะช่วยฟื้นฟูดินเกษตรที่เสื่อมโทรมและเพิ่มการเก็บกักคาร์บอนได้

ในด้านของการประเมินปริมาณคาร์บอนที่เก็บกักอยู่ในดิน Moncharoen และคณะ (2002) ได้ทำการประเมินเบื้องต้นถึงปริมาณคาร์บอนที่เก็บกัก (carbon stock) ในดินอันดับ (order) และกลุ่มดิน (great group) ต่าง ๆ ที่มีในประเทศไทย และสรุปว่า ดินในประเทศไทยมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (soil organic carbon – SOC) มากกว่าดินในพื้นที่อื่น ๆ ของเขตร้อน (tropics) เนื่องจากยังมีดินในระบบป่าไม้อยู่มาก การทำนาที่มีสภาพน้ำขังช่วยในการเพิ่มการเก็บกักคาร์บอน และมีพื้นที่น้ำขังได้แก่ หนอง บึง เหลืออยู่มาก ซึ่งพื้นที่เหล่านี้เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอน จึงเห็นได้ว่า ‘การใช้ที่ดิน’ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเก็บกักคาร์บอน

2.2.3 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าไม้มาเป็นการเกษตรต่ออินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่ลูกคลื่นของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่ในสภาพภูมิประเทศเป็นลูกคลื่น ส่วนพื้นที่เกษตรที่เป็นพื้นที่ลุ่มแม่น้ำ (flood plain) หรือที่ลาดชันมีน้อยกว่า ระบบนิเวศเกษตรที่พบในพื้นที่ลูกคลื่นคือ ลุ่มน้ำขนาดเล็ก (mini watershed) ซึ่งเป็นปัจจัยกำหนดประเภทของการทำการเกษตร (KKU-Ford Cropping Systems Research Project, 1982) นั่นคือ มีการทำนาในที่ต่ำ และพืชไร่ในที่ดอน นอกจากนี้ในบางลุ่มน้ำอาจยังคงมีป่าไม้เดิมได้รับการอนุรักษ์ไว้ในบางส่วนของลุ่มน้ำ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในยุคหนึ่งศตวรรษที่ผ่านมาเป็นการเปลี่ยนจากป่าไม้มาเป็นที่เกษตร (ปัทมา และคณะ 2547) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ทำให้ดินเสื่อมโทรมลง โดยเฉพาะอินทรีย์วัตถุในดินที่ลดลง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุใน

ลุ่มน้ำขนาดเล็กตัวแทนพื้นที่ลักษณะเดียวกันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ให้ผลดังข้างต้น (สมญาและปัทมา 2547) กล่าวคือ SOM มีสูงที่สุดในพื้นที่ป่าไม้ รองลงมาเป็นนาข้าว และต่ำที่สุดในพื้นที่ไร่ การศึกษาดังกล่าวมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลผลิตภาพ (productivity) และ ภาวะภาพ (sustainability) ของดินที่ถูกเปลี่ยนจากป่ามาทำการเกษตร ซึ่งเน้นที่ดินชั้นไทรพรวน (0-15 เซนติเมตร) แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาเพื่อประเมินการเก็บกักคาร์บอนในดิน ซึ่งควรศึกษาในดินตลอดความลึกของโปรไฟล์ หรือลึกขึ้น เช่นการศึกษาของอำนาจและณัฐพล (2548) ที่กล่าวก่อนหน้านั้นในหัวข้อ 9.2 ข้างบน ที่ศึกษาในความลึกเพิ่มขึ้นทุก 5 เซนติเมตร จนถึง 20 เซนติเมตร และทุก 10 เซนติเมตร จนถึง 50 เซนติเมตร จากการศึกษาของสมญาและปัทมา (2547) ทำให้อนุมานได้ว่าในลุ่มน้ำขนาดเล็กการเก็บกักคาร์บอนมีสูงในการใช้ที่ดินป่าไม้ มากกว่าที่ดินเกษตร ส่วนในการใช้ที่ดินเกษตรด้วยกันเอง นาข้าวมีการเก็บกักคาร์บอน มากกว่าพื้นที่ปลูกพืชไร่

2.2.4 ปัจจัยที่ควบคุมปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

ปัจจัยที่ทำให้มีการเก็บกักหรือการสะสมคาร์บอนต่างกันในระบบการใช้ที่ดินต่าง ๆ ได้แก่ ปัจจัยปริมาณการให้กลับคืนซากอินทรีย์ คุณภาพซากอินทรีย์ คุณสมบัติของดิน (เนื้อดิน โครงสร้างดิน ความชื้นดิน pH และอุณหภูมิดิน เป็นต้น) สิ่งมีชีวิตในดิน (สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และจุลินทรีย์) ปัจจัยการเกิดไฟป่า ปัจจัยการมีน้ำท่วมขังในพื้นที่นาและพื้นที่สระและปัจจัยการจัดการ (การไถพรวน ใส่ปุ๋ย การทำวัชพืช และการเผา เป็นต้น) ข้อสรุปของปัจจัยที่ควบคุม ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินดังกล่าวมาจากการศึกษาในดินที่มีสภาพระบายอากาศปกติ (aerobic conditions) อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับการเก็บกักและการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในพื้นที่น้ำขัง (Rabenhorst, 1995 และ Goh, 2001 อ้างตาม Goh, 2004) ดินในที่ลุ่มตมามีน้ำขังมีศักยภาพในการเก็บกักคาร์บอนมากกว่า ดินที่ดอน ทั้งนี้เพราะสภาพขาดอากาศ (anaerobic conditions) ทำให้การสลายตัวของคาร์บอนลดลง (Goh, 2004) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ดินนามีอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินไร่ในการศึกษาในลุ่มน้ำขนาดเล็กตัวแทนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (สมญาและปัทมา 2547)

2.2.5 กลไกการเกิดเสถียรภาพของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

กลไกการเกิดเสถียรภาพของคาร์บอน (carbon stabilization) ในดินแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (Goh, 2004) คือ กลไกการป้องกันคาร์บอนทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ หรือกลไกที่เป็นผลรวมของกลไกทั้งสาม

2.2.5.1 กลไกการป้องกันหรือทำให้เกิดเสถียรภาพทางกายภาพ (physical protection and stabilization mechanisms)

กลไกประเภทนี้เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ SOC กับแร่ธาตุของดินซึ่งมีพันธะทางเคมีที่แข็งแกร่ง หรือเกิดจากการที่ SOC ได้รับการป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายหรือเอนไซม์เข้าถึงได้ กลไกเหล่านี้ป้องกัน SOC ไว้ถึงประมาณครึ่งหนึ่งของ SOC ทั้งหมด (Elliott et al., 1996 อ้างตาม Goh, 2004)

อินทรีย์วัตถุในดินสามารถทำปฏิกิริยากับแร่ดินเหนียว (clay) ได้ ซึ่งมี 2 กลไกหลัก (ปีธมา 2547: 79-84, Stevenson, 1994) คือ

1) การดูดซับแบบเคมี-กายภาพของคาร์บอนที่ผิวแร่ดินเหนียว (physico-chemical sorption) เช่น การแลกเปลี่ยนแคตไอออนและแอนไอออน การที่ไอออนบวกหลายวาเลนซ์ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อม (polyvalent cation bridging) และพันธะไฮโดรเจน (H-bonding) เป็นต้น

2) การเกิดเสถียรภาพทางกายภาพ จากการที่อินทรีย์วัตถุแทรกตัวเข้าไปในหลืบของ 2:1 clay ที่ขยายตัว ทำให้อินทรีย์วัตถุเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างแร่ดินเหนียวและถูกห่อหุ้มไว้ ทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์เข้าไม่ถึง

กลไกการป้องกันทางกายภาพอีกอันหนึ่งที่มีการศึกษากันภายหลัง และเป็นกลไกประเภทห่อหุ้มอินทรีย์วัตถุไว้เช่นกันได้แก่ การเกิดเม็ดดิน เม็ดดินเป็นการรวมตัวกันของอนุภาคดินและจัดว่าเป็นโครงสร้างดิน เราแบ่งขนาดเม็ดดินอย่างกว้าง ๆ เป็น 2 ขนาดคือ เม็ดดินขนาดเล็ก (micro-aggregate) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-250 ไมโครเมตร (μm) และเม็ดดินขนาดใหญ่ (macro-aggregate) $> 250 \mu\text{m}$ สารที่มาเชื่อมอนุภาคดินให้เกิดเม็ดดินขนาดเล็กเป็นสารที่คงทนไม่สลายตัวง่าย เช่น สารฮิวมิก หรือโลหะที่มีวาเลนซ์สูง ส่วนสารที่มีคุณสมบัติไม่ถาวร เช่น โพลีแซคคาไรด์ หรือคาร์โบไฮเดรต รากพืชหรือเส้นใยของรา (fungal hyphae) เชื่อมหรือผูกมัดเม็ดดินขนาดเล็กเข้าด้วยกันเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ (Goh, 2004; Piccolo, 1996; Vityakon, 2003: 63) รากพืช จุลินทรีย์และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่างก็ขับสารออกมาซึ่งช่วยเชื่อมอนุภาคดินเข้าด้วยกัน (Goh, 2004)

2.2.5.2 กลไกการป้องกันหรือทำให้เกิดเสถียรภาพทางเคมี (chemical protection and stabilization mechanisms)

กลไกนี้หมายถึงการเกิดถ่าน หรือคาร์บอนดำ (black carbon) จากไฟ และสารที่มีคุณสมบัติเชิงชีวภาพที่เฉื่อยหรือต้านทานการสลายตัวหรือสลายตัวช้ามาก ได้แก่ สารฮิวมิก และสารอินทรีย์บางชนิด เช่น ไขมัน (เช่น ขี้ผึ้ง [waxes], คิวติน [cutins] และซูเบอร์ิน [suberins])

เป็นต้น) รวมทั้งสารไคติน (chitin) ที่เกิดจากพืช สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดิน และจุลินทรีย์ (Goh, 2004) สารเหล่านี้มีโครงสร้างที่มีเสถียรภาพสูง โดยเฉพาะโครงสร้างอัลคิล (alkyl structures) ทำให้ต้านทานการสลายตัวทางชีวเคมี (Goh, 2004)

บทบาทของถ่านในการเป็นแหล่งคาร์บอนรูปที่เสถียรในดินได้รับความสนใจมากขึ้นเมื่อไม่นานมานี้ทั้งในออสเตรเลีย ยุโรปและบราซิล (Goh, 2004) ในบราซิลและพื้นที่แถบลุ่มน้ำอะเมซอนได้มีการค้นพบ 'ดินดำของคนอินเดีย (Indian dark earth) หรือ terra preta do Indio ซึ่งเกิดจากการจัดการดินโดยใช้ถ่านในปริมาณมาก (15-60 ตันต่อเฮกตาร์) ลงในดิน oxisol โดยคนในแถบนี้ตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ โดยถ่านเป็นสารปรับปรุงดินที่คงอยู่อย่างยาวนาน ดินดำดังกล่าวมีความลึก 40-60 เซนติเมตร และมีกระจายหลายตำแหน่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดกว่า 10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำอะเมซอน (ประมาณพื้นที่ประเทศฝรั่งเศส) (Antal and Uehara, 2007) เสถียรภาพของถ่านในดินเป็นกุญแจสำคัญที่ทำให้ถ่านเป็นสารที่เก็บกักคาร์บอนได้ในระยะยาว ดังเห็นได้จากดินดำแห่งลุ่มน้ำอะเมซอนที่คงอยู่นับพันปี ดินอันโดโซลส์ (Andosols) ของญี่ปุ่นเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลอย่างยาวนานจากมนุษย์ในการเผาและการเกิดไฟตามธรรมชาติเช่นเดียวกัน การเกิดไฟใหม่นี้ทำให้เกิดชั้นฮิวมัสสีดำขึ้นหรือที่เรียกว่าเป็นกรดฮิวมิก type A (Kumada 1987 อ้างตาม Goh, 2004)

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีถ่านเป็นองค์ประกอบในดินมากเช่นกัน เนื่องจากการเกิดไฟป่าในป่าเต็งรังในฤดูแล้งทุกปี และการเผาในการทำเกษตร เช่น การเผาตอซังข้าว และการเผาอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเพื่อประเมินปริมาณถ่านในดินของภูมิภาคนี้

2.2.5.3 กลไกการป้องกันและทำให้เกิดเสถียรภาพทางชีวภาพ (biological protection and stabilization mechanisms)

กลไกเหล่านี้ได้แก่ แบบจำลองการเกิดเม็ดดินที่เสนอว่าเม็ดดินขนาดใหญ่เกิดจากการรวมตัวกันของเม็ดดินขนาดเล็กกว่าโดยมีรากและ/หรือ เส้นใยเชื้อรา (fungal hyphae) และ/หรือ สารประกอบที่ไม่คงทน (เช่น โพลีแซคคาไรด์) มาผูกมัดหรือเชื่อมไว้ (Goh, 2004) นอกจากนี้ยังมีผู้เสนอบทบาทของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดิน ซึ่งที่มศึกษากันมากได้แก่ ไส้เดือนดิน (สัตว์ขนาดใหญ่หรือ macrofauna) ในการทำให้เกิดเสถียรภาพแก่คาร์บอนในดินโดยเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดเม็ดดิน (Davidson and Grieve, 2006; Scullion and Malik, 2000) Bossuyt และคณะ (2005) รายงานว่าไส้เดือนดินมีบทบาทในการป้องกันคาร์บอนในดินในเม็ดดินขนาดเล็ก (microaggregates) ซึ่งอยู่ภายในเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggregates) ซึ่งช่วยให้เกิดเสถียรภาพแก่คาร์บอนในดิน นอกจากนี้ไส้เดือนดินแล้วสัตว์หน้าดินขนาดเล็กลงมาก็มีบทบาทในดินด้วยเช่นกัน เช่น งานของ Davidson และ Grieve (2006) ศึกษาไส้เดือน พร้อมไปกับสัตว์ขนาดกลาง (mesofauna) ได้แก่ ไส้เดือนเอนโคตราเอด (enchytraeid worms), collembola

และ acari และสัตว์ขนาดเล็ก (microfauna) เช่น โปรโตซัว และไส้เดือนฝอย (nematodes) พบว่าสัตว์เหล่านี้มีอิทธิพลต่อโครงสร้างดิน สิ่งขับถ่ายของสัตว์เหล่านี้ โดยเฉพาะของไส้เดือน และ enchytraeids เป็นองค์ประกอบหลักของอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนและดินชั้นล่างในดินทุ่งหญ้าของ สก๊อตแลนด์ สิ่งขับถ่ายของสัตว์หน้าดินทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินกับจุลินทรีย์โดยแบคทีเรียเข้ามาย่อยสลายสิ่งขับถ่าย อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของแบคทีเรียมีต่างกันในเรื่องสิ่งขับถ่ายต่าง ๆ ซึ่งแสดงว่าสัตว์หน้าดินมีบทบาททางนิเวศวิทยาที่ไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม Goh (2004) กล่าวว่ากลไกที่ได้รับการเสนอเหล่านี้ยังอยู่ในขั้นการทดลองจึงยังไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะพิสูจน์ได้ในขณะนี้

2.2.6 การกระจายของถ่านในดินในพื้นที่ต่าง ๆ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

การสะสมคาร์บอนในรูปถ่านในดินนั้นมีสาเหตุมาจากการที่มนุษย์ตั้งใจใส่ถ่านลงไปบนดินโดยตรง หรือเกิดจากกระบวนการที่มนุษย์ไม่ได้ตั้งใจใส่ถ่านลงไปบนดินโดยตรง เช่น ไฟป่า การเผาอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว หรือการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น การเผาตอซัง เป็นต้น

ในกรณีการใส่ถ่านลงไปบนดินโดยตรงนั้น จากการศึกษาของ Sombroek (1966) ได้พบว่าการใส่ถ่านลงไปบนดินของชาวอินเดียนในแถบลุ่มน้ำอะเมซอน เพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน อย่างไรก็ตามการค้นพบดังกล่าวก็ไม่ได้เป็นที่สนใจมากนัก จนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้ Glaser และคณะ (2000) ได้ศึกษาคาร์บอนที่สะสมในถ่านของดินอะเมซอน โดยเปรียบเทียบกับดิน terra preta กับดินอื่นๆ ซึ่งเป็นดินในอันดับออกซิโซล (Oxisols) (ตารางที่ 2.1) ซึ่งพบว่าดิน terra preta มี SOC สูงกว่าดินออกซิโซลโดยทั่วไป ต่อมา Glaser และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดิน (total soil carbon; TOC) terra preta มีปริมาณมากกว่าดินอื่น ที่อยู่รอบๆ ถึง 70 เท่า

นอกจากนี้ในพื้นที่อื่นก็มีการศึกษาถ่านในดินเช่นกัน แต่เป็นถ่านที่เกิดจากกระบวนการที่มนุษย์ไม่ได้ตั้งใจใส่ลงไปในดินโดยตรง เช่น ไฟป่าและการเผาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น Skjemstad และคณะ (2002) ได้ศึกษาปริมาณคาร์บอนของถ่านในดินเกษตร 5 แห่งในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นดิน Aquic Glossudalfs พบว่าปริมาณคาร์บอนในถ่านที่มีขนาดเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร มีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.8-13.6 กรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมดิน ซึ่งทั้งหมดคิดเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ของ TOC ในฝรั่งเศสก็มีการศึกษาเช่นกัน โดย Quénéa และคณะ (2006) พบว่า คาร์บอนจากถ่าน (charcoal carbon – CC) ในดินป่ามี 4.6 เปอร์เซ็นต์ของ TOC ส่วนพื้นที่เกษตรมี CC อยู่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของ TOC

ในแถบเอเชียอาคเนย์ ก็เคยมีการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ โดย Rumpel และคณะ (2006) ได้ศึกษาถ่านในพื้นที่ที่มีความลาดเทของประเทศไทย ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมีการเกษตรแบบทำไร่เลื่อนลอย พบว่ามี CC อยู่ในช่วง 3 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ของ TOC

ตารางที่ 2.1 ปริมาณ SOC ของดิน Terra preta และดิน Oxisols ที่ความลึก 0-10 และ 30-40 เซนติเมตร ในลุ่มน้ำอะเมซอน

ดิน	อินทรีย์คาร์บอนในดิน (กรัม/กิโลกรัม)	
	0-10 ซม.	30-40 ซม.
Terra Preta	44.9±26.1	22.4±16.1
Oxisols	21.4±11.9	6.4±3.9
F-test	23.5*	15.7*

* ความแตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$

ที่มา: ดัดแปลงจาก Glaser et al. (2000)

ส่วนปริมาณถ่านที่สะสมในดินของประเทศไทยนั้น ยังไม่มีการศึกษา อย่างไรก็ตาม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคอื่นๆ ของประเทศไทย เช่น ภาคตะวันออกและภาคใต้ ได้มีการเผาถ่านทั้งในระดับการใช้ในครัวเรือนและการทำเป็นอุตสาหกรรม ดังที่ Panya และ Lovelace (1988) ได้รายงานว่ามีการผลิตถ่านเพื่อใช้ในครัวเรือนและผลิตเพื่อการค้าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ชาวชนบทในบางพื้นที่มีการเทถ่านลงไปบนดินด้วย นอกจากนี้ ในฤดูร้อนจะเกิดไฟป่าเป็นประจำทุกปี ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือเกิดจากการตั้งใจและไม่ตั้งใจของมนุษย์ในการเผาป่า ตลอดจนมีการเผาก่อนการเก็บเกี่ยวและการเผาวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร อยู่เป็นประจำ ซึ่งเราไม่อาจที่จะปฏิเสธได้ว่าไม่มีการสะสมของคาร์บอนในรูปของถ่านในดิน

ดังนั้น จึงเห็นได้ว่าการสะสมคาร์บอนในรูปถ่านมีการกระจายอยู่ทั่วโลกเลยทีเดียว ซึ่งมีอีกหลายพื้นที่ ที่ยังไม่มีการศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

2.2.7 อิทธิพลของถ่านที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันต่อความอุดมสมบูรณ์ของส่วนของดิน (soil fractions) ที่เป็นแหล่งสะสมถ่าน

เม็ดดินเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของดินประการหนึ่งที่มีบทบาทต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินที่มีโครงสร้างดินดีหรือมีการเกิดเป็นเม็ดดินมาก จะทำให้มีช่องว่างในดินมากขึ้น ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้การที่อินทรีย์วัตถุ (รวมทั้งถ่านด้วย) ซึ่งเป็นสารเชื่อม (binding agent) แร่ในดินให้เกิดเป็นเม็ดดินขนาดเล็ก (microaggregate) และที่เชื่อมเม็ดดินขนาดเล็กเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggregate) (Edwards and Bremner, 1967; Tisdall and Oades, 1982; Six et al., 2000) จะถูกป้องกันเอาไว้โดยโครงสร้างของเม็ดดินไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่าย คาร์บอนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์นี้จะสะสมไว้ในเม็ดดิน ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลาย ที่จะปลดปล่อยไปสู่บรรยากาศลด

น้อยลง ซึ่งการเก็บกักอินทรีย์คาร์บอนไว้ในเมื่อดิน เป็นส่วน (pool) หนึ่งของวัฏจักรคาร์บอนในระบบชีวภาค (biosphere) ซึ่งมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการลดปัญหาโลกร้อน

การทำความเข้าใจเกี่ยวกับแหล่งของการสะสมถ่านในดิน จะทำให้ทราบว่าจริงๆ แล้ว ถ่านมีอิทธิพลต่อการเกิดเป็นเมื่อดินหรือไม่ และยังช่วยให้สามารถอธิบายได้ว่า การที่ถ่านสามารถสะสมในดินได้เป็นระยะหลายพันปีนั้น (Masiello, 2004; Preston and Schmidt, 2006) เกิดจากคุณสมบัติของถ่านที่เอื้อต่อการทำปฏิกิริยา หรือเกิดจากการที่ถ่านถูกป้องกันไว้โดยเมื่อดิน หรือมีสาเหตุจากทั้งสองประการ

ถ่านที่สะสมในเมื่อดิน สามารถจำแนกได้ 3 แหล่ง คือ ถ่านที่อยู่อย่างอิสระในดิน ถ่านที่ถูกป้องกันไว้ในโครงสร้างของเมื่อดิน และถ่านที่ทำปฏิกิริยากับแร่และอินทรีย์วัตถุ (Brodowski et al., 2005; Brodowski et al., 2006)

2.2.7.1 ถ่านที่อยู่อย่างอิสระในดิน

ถ่านที่อยู่ในส่วนนี้ เป็นถ่านที่ขวานลอยอยู่ในช่องว่างในดิน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (1) ถ่านที่ไสลลงไปในดินได้ไม่นาน (Brodowski et al., 2005; Brodowski et al., 2006) และ (2) ถ่านที่เอื้อต่อการทำปฏิกิริยา เช่นถ่านที่ผลิตที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการเผาไหม้ (Masiello, 2004)

(1) ถ่านที่ไสลลงไปในดินได้ไม่นาน พวกนี้พื้นผิวจะยังไม่ถูกออกซิไดซ์มาก ทำให้ยังไม่มีความหยาบ (Liang et al., 2006; Liang et al., 2008) ที่จะไปจับกับแร่เพื่อเกิดเป็นดิน ดังนั้นจึงอยู่อย่างอิสระในช่องว่างในดิน

(2) ถ่านเอื้อต่อการทำปฏิกิริยาจากการผลิตที่อุณหภูมิสูง การย่อยสลายของจุลินทรีย์จะทำได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างของถ่านประเภทนี้เปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน (Preston and Schmidt, 2006) ดังนั้น จึงไม่มีความหยาบที่ผิว หรือมีอยู่น้อย จึงยังไม่สามารถทำปฏิกิริยากับแร่ในดิน ดังนั้นจึงแขวนลอยอยู่ในช่องว่างในดิน เช่นเดียวกับถ่านที่มีอายุน้อยๆ ถึงแม้จะเป็นถ่านที่เอื้อต่อการทำปฏิกิริยา แต่ไม่ได้หมายความว่าเอื้อโดยสมบูรณ์ ด้านผิวนอกของถ่านจะยังคงถูกออกซิไดซ์ได้ กระบวนการออกซิไดซ์จะเริ่มที่ผิวด้านนอกก่อน ทำให้ผิวของถ่านมีความหยาบที่ผิวที่สามารถทำปฏิกิริยากับแร่ในดินและอินทรีย์วัตถุในดิน เกิดเป็นโครงสร้างของเมื่อดินต่อไป

2.2.7.2 ถ่านที่ถูกป้องกันไว้โดยโครงสร้างของเม็ดดิน

เมื่อถ่านถูกย่อยสลายเพิ่มขึ้น โดยการย่อยสลายเกิดขึ้นที่ผิวด้านนอกก่อน (Brodowski et al., 2005; Brodowski et al., 2006; Cheng et al., 2006; Liang et al., 2006; Chen et al., 2008; Cheng et al., 2008; Liang et al., 2008) ที่ผิวด้านนอกจากมีหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้น เช่น หมู่คาร์บอกซิล และหมู่ไฮดรอกซิล (Brodowski et al., 2005; Nguyen et al., 2008; Nguyen and Lehmann, 2009) ซึ่งสามารถเกิดพันธะเคมีกับแร่และอินทรีย์วัตถุเกิดเป็นเม็ดดิน ซึ่งกลไกที่ถ่านถูกป้องกันไว้ในเม็ดดินนั้น ขณะนี้ยังไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนนัก อาจเป็นกลไกเดียวกับอินทรีย์วัตถุอื่นในดิน ที่จับกับแร่ในดินเกิดเป็นเม็ดดิน ตามทฤษฎีการเกิดเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่จากการดูดยึดกันของเม็ดดินขนาดเล็กโดยมีอินทรีย์วัตถุทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมเม็ดดินขนาดเล็กเข้าด้วยกัน หรือที่เรียกว่าทฤษฎีลำดับชั้น (hierarchical theory) (Edwards and Bremner, 1967; Tisdall and Oades, 1982) หรือทฤษฎีการเป็นเม็ดดินใหญ่จากการที่เม็ดดินขนาดเล็กล้อมรอบอินทรีย์วัตถุเอาไว้ โดยที่อินทรีย์วัตถุจะทำหน้าที่เป็นแกนกลางของเม็ดดินขนาดใหญ่ หรือที่เรียกว่าทฤษฎีแกนกลาง (concentric หรือ core theory) (Santos et al., 1997) ในที่นี้อินทรีย์วัตถุที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมหรือเป็นแกนกลางของเม็ดดินขนาดใหญ่คือ ถ่านนั่นเอง Brodowski และคณะ (2006) ได้อธิบายเอาไว้ว่าการที่ถ่านถูกป้องกันไว้ในเม็ดดิน อาจเกิดจากการที่มีเม็ดดินขนาดเล็กห่อหุ้มถ่านเอาไว้ ลักษณะเช่นเป็นไปตามทฤษฎีแกนกลางของ Santos และคณะ (1997)

การที่ถ่านถูกป้องกันไว้ในเม็ดดินจะทำให้จุลินทรีย์เข้าถึงได้ยาก ทำให้อัตราการย่อยสลายของถ่านลดลง (Lützow et al., 2006) Liang และคณะ (2008) ได้ศึกษาพลวัตของถ่านในดินดำอินเดียน ในระยะเวลา 532 วัน พบว่าอัตราการย่อยสลายจะสูงในช่วงหนึ่งวันแรก หลังจากนั้นในวันที่สองอัตราการย่อยสลายจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นหนึ่งสัปดาห์ของการทดลองอัตราการย่อยสลายค่อนข้างคงที่ และจะคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งเขาอธิบายว่าการที่ช่วงแรกมีการย่อยสลายสูง เนื่องจากถ่านอยู่อย่างอิสระในดิน ทำให้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายได้ง่าย หลังจากนั้นเมื่อผิวของถ่านถูกออกซิไดซ์ ทำให้หมู่ฟังก์ชันต่างๆ เกิดขึ้น หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับแร่และอินทรีย์วัตถุในดินเกิดเป็นเม็ดดิน หรือถูกห่อหุ้มไว้ในเม็ดดิน ทำให้จุลินทรีย์เข้าถึงได้ยาก อัตราการย่อยสลายจึงลดลงในวันที่สอง ตั้งแต่วันที่เจ็ดจนสิ้นสุดการทดลอง คือวันที่ 532 อัตราการย่อยสลายจะคงที่ ด้วยเหตุนี้ถ่านจึงสามารถถูกเก็บกักในดินได้เป็นระยะเวลานาน เนื่องจากมีกลไกการป้องกันไว้โดยโครงสร้างของเม็ดดิน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการทดลองนี้ทำในดินที่ไม่มีการรบกวน แต่หากมีการรบกวนดินอัตราการย่อยสลายอาจเพิ่มขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป

นอกจากถ่านที่อยู่อย่างอิสระ และถ่านที่ถูกป้องกันไว้โดยเม็ดดินแล้ว ยังมีถ่านอีกรูปหนึ่งคือ ถ่านที่ทำพันธะกับอนุภาคดิน ซึ่งยังไม่ได้มีการพัฒนาไปเป็นเม็ดดิน ซึ่งนับเป็นส่วน (fraction) ที่มีความสำคัญเช่นกัน

2.2.7.3 ถ่านที่ทำปฏิกิริยากับอนุภาคดิน

เมื่อผิวของถ่านถูกออกซิไดซ์จะมีหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่คาร์บอกซิล และหมู่ไฮดรอกซิล เป็นต้น ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับอนุภาคดิน ได้ทั้งอนุภาคทราย (sand particle), อนุภาคทรายแป้ง (silt particle) และอนุภาคดินเหนียว (clay particle) การที่ถ่านสามารถดูดซับที่ผิวของอนุภาคทรายได้อาจเกิดจากแรงทางฟิสิกส์ ส่วนกรณีที่ถ่านดูดซับที่ผิวของอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียวนั้นอาจเกิดจากแรงทางเคมี ทั้งนี้ยังไม่สามารถอธิบายได้ชัดเจนนัก ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไป (Brodowski et al., 2005)

Brodowski และคณะ (2005) ได้ทำการแยกส่วนดิน (soil fractionation) พบว่าถ่านที่มีขนาดใหญ่จะดูดซับอยู่กับอนุภาคทรายแป้ง อนุภาคดินเหนียว และอนุภาคแร่ออกไซด์ ส่วนถ่านที่มีขนาดเล็กจะไปดูดซับที่ผิวของอนุภาคทราย ซึ่งการดูดซับกันระหว่างถ่านกับอนุภาคดินนี้สามารถป้องกันถ่านจากการถูกย่อยสลายได้

2.2.8 อิทธิพลของถ่านต่อความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกและปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน

จากผลการทดลองหลายงานทดลองได้ชี้ว่า ถ่านมีอิทธิพลอย่างมากในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Glaser et al., 2001; Lehmann, 2006; Lehmann et al., 2006; Steiner, 2006; Lehmann, 2007; Steiner et al., 2007) อย่างไรก็ตาม ถ่านไม่ได้มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเพิ่มธาตุอาหารในแกดิน ยกเว้นโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที (Lehmann et al., 2003; Kimetu et al., 2008) ในความเป็นจริงแล้วถ่านมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกในดิน (cation exchange capacity; CEC) เนื่องจากมีโครงสร้างที่มีรูพรุนมาก (Ishimaru et al., 2001; Kercher and Nagle, 2003; Ishimaru et al., 2007a; Ishimaru et al., 2007b; Ishimaru et al., 2007c) ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ทั้งภายนอกและภายในโครงสร้างถ่าน (Liang et al., 2006) ซึ่งจะช่วยให้ CEC ให้แกดิน ซึ่งจะแสดงออกอย่างชัดเจนในดินที่มีความเสื่อมโทรมมาก Kimetu และคณะ (2008) พบว่าถ่านจะมีบทบาทสำคัญในการเพิ่ม CEC ให้แกดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ มากกว่าในดินที่อินทรีย์วัตถุสูงอยู่แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากในดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง จะได้รับอิทธิพลจากการอิ่มตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic carbon saturation) กล่าวคือ ในดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงอยู่แล้ว (อินทรีย์วัตถุในที่นี้จะรวมถึงถ่าน ซึ่งถือว่าเป็นอินทรีย์วัตถุในดินชนิดหนึ่ง) ถึงแม้ดินจะได้รับอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น เมื่อถึงระดับหนึ่งปริมาณอินทรีย์วัตถุและ CEC จะไม่เพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากเกิดจากการอิ่มตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน (Six et al., 2002)

ในการเพิ่ม CEC ให้แกดินนั้น ในช่วงแรก CEC ของดินจะไม่ได้เพิ่มขึ้นทันที เนื่องจากต้องมีการย่อยสลายที่ผิวของถ่านก่อน (Brodowski et al., 2005; Brodowski et al., 2006; Cheng et al., 2006; Liang et al., 2006; Chen et al., 2008; Cheng et al., 2008; Liang et

al., 2008) ซึ่งจะทำให้ที่ผิวของถ่านมีหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งหมู่ฟังก์ชันนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่ม CEC ให้แก่ดิน

การที่ถ่านเพิ่ม CEC ให้แก่ดิน Liang และคณะ (2006) ได้อธิบายว่า เกิดจาก 2 กระบวนการ คือ (1) อิทธิพลจาก CEC ที่ผิวของถ่านโดยตรง และ (2) มีอินทรีย์วัตถุไปดูดซับที่ผิวของถ่าน ซึ่งจะยิ่งทำให้ CEC ของดินเพิ่มสูงขึ้นมาก โดยกลไกการดูดซับที่กันระหว่างถ่านกับอินทรีย์วัตถุนั้น ยังไม่ทราบแน่ชัด ซึ่งอาจจะเป็นการดูดซับแบบ

1. การดูดซับที่มีไอออนประจุบวกเป็นสะพานเชื่อมเช่น Char-M-OM เมื่อ Char = ถ่าน, M = ไอออนประจุบวก เช่น Ca^{2+} , K^+ เป็นต้น, และ OM = อินทรีย์วัตถุในดิน (Liang et al., 2006)

2. การดูดซับที่แบบแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (ligand exchange) (Glaser et al., 2000; Chappell, 2005)

3. การดูดซับแบบอื่นๆ เช่น มีโมเลกุลของน้ำเป็นตัวเชื่อมระหว่างถ่านกับอินทรีย์วัตถุ (Orlov, 1992)

การใส่ถ่านโดยการเพิ่ม CEC ให้แก่ดินนั้น ธาตุไอออนประจุบวก เช่น NH_4^+ และ K^+ เป็นต้น จะสามารถดูดซับที่ผิวของถ่านได้โดยตรง ในขณะที่ไอออนประจุลบ เช่น PO_4^{3-} และ NO_3^- เป็นต้น อาจจะดูดซับโดยการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ ด้วยเหตุนี้ การใช้ถ่านเป็นสารปรับปรุงดิน จึงสามารถรักษาธาตุอาหารพืชไว้ในดินไม่ให้สูญเสียไปกับกระบวนการชะล้าง (erosion) หรือกระบวนการชะล้างลงสู่เบื้องลึกตามหน้าตัดดิน (leaching)

ในการใช้ถ่านเป็นสารปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเลือกคุณสมบัติของถ่านเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องนำไปพิจารณาเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากในถ่านบางชนิดจะมีสารที่ระเหยได้ (volatile matter) ซึ่งสารนี้จะเป็นพิษและสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช

2.2.9 การเคลื่อนที่ของธาตุคาร์บอนในดินจากการกักก่อดิน

การเคลื่อนที่ของคาร์บอนจากการกักก่อดินมีทั้งในส่วนที่เป็นน้ำไหลผ่านดินและส่วนที่เป็นตะกอนดิน

สมการอนุพันธ์ย่อยที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ได้จากการรวบรวมกฎของฟิคกับสมการต่อเนื่อง ทำให้ได้สมการการพา-การกระจาย (Advection-dispersion equation- ADE) (Zheng and Bennett, 2002) ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานโดยสามารถดัดแปลงให้สามารถใช้ได้กับเงื่อนไขต่างๆ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารพืชในการไหลแบบไม่คงตัว และไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsteady-unsaturated flow) ซึ่งยังไม่ปรากฏว่ามีการศึกษาการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารพืชในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวและมีการไหลแบบไม่คงตัว

การคำนวณการเคลื่อนที่ของธาตุอาหาร (nutrient movement) ในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ได้แก่ การคำนวณความเร็วจริง (v) ของธาตุอาหารจาก Richard's equation

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(h) \frac{\partial h}{\partial z} \right) - \frac{\partial K(h)}{\partial z} \quad (1)$$

ซึ่ง $\partial \theta$ คือความชื้นของดินโดยปริมาตร, t = เวลา, Z = ระยะทางในแนวตั้งทิศทางลงเป็นบวก, h = เฮดความดัน, K = สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดิน

โดยกำหนดให้สภาวะขอบเขตล่างอยู่ที่ระดับ water table เฮดความดันเท่ากับศูนย์ สภาวะขอบเขตบนอยู่ที่ผิวดิน เมื่อดินแห้งมากถือว่าอัตราการไหลออกเท่ากับศูนย์ ส่วนสภาวะเริ่มต้นกำหนดจาก linear interpolate จากค่าที่วัดจริง

โดยการใช้สมการของ van Genuchten ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ) กับความดัน (h) ดังนี้ (Gerke and van Genuchten, 1993)

$$\theta = \frac{(\theta_s - \theta_r)}{(1 + |\alpha h|^n)^m} + \theta_r \quad (2)$$

เมื่อ θ_s และ θ_r คือความชื้นอิ่มตัว และความชื้นคงเหลือ ตามลำดับ

α , n , m คือ shape parameters

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ $K(h)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเฮดความดัน h (หรือความชื้น θ) ใช้สมการของ van Genuchten ดังนี้ (Gerke and van Genuchten, 1993)

$$K(S_e) = K_{sat} S_e^1 \left[1 - (1 - S_e^{\ell/m})^m \right]^2 \quad (3)$$

เมื่อ K_{sat} คือ สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ, $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ คือ effective saturation และ ℓ คือ pore connectivity-tortuosity factor ซึ่งมักจะใช้ค่า 0.5

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการคำนวณการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารที่ใช้กันอยู่มี 2 แบบจำลอง ได้แก่ (1) แบบจำลอง advection-dispersion equation (ADE) กับ (2) แบบจำลอง mobile-immobile model (MIM) แบบจำลองทั้งสองต่างกันตรงที่แบบจำลองที่สอง สมมติว่ามีการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารระหว่างน้ำส่วนที่เคลื่อนที่บริเวณผิวหน้าดินกับน้ำส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ (แทรกอยู่ในช่องว่างของดิน) แบบจำลองที่ 1 ADE ไม่คิดแยกส่วนสารละลาย และมีรูปสมการเป็น

$$\frac{\partial \theta c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial v \theta c}{\partial z} \quad (4)$$

ซึ่ง c คือความเข้มข้นของธาตุอาหาร, D คือ สัมประสิทธิ์การกระจาย และ v คือ ความเร็วจริงเฉลี่ย ซึ่งสัมประสิทธิ์การกระจาย อาจเขียนได้ดังนี้ (สมมติให้การแพร่เชิงโมเลกุลมีค่าน้อยมาก)

$$D = \lambda v \quad (5)$$

เมื่อ λ คือ สภาพการกระจาย (dispersivity) ซึ่งเป็นค่าคงที่ของดินและไม่แปรผันตามความเร็วของสารละลาย กรณีแบบจำลองที่ 2 MIM model มีรูปแบบสมการดังนี้ (van Genuchten and Wierenga, 1976)

$$\frac{\partial \theta_m c_m}{\partial t} + \frac{\partial \theta_{im} c_{im}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta_m D \frac{\partial c_m}{\partial z} \right) - \frac{\partial v \theta_m c_m}{\partial z} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \theta_{im} c_{im}}{\partial t} = w (c_m - c_{im}) \quad (7)$$

ซึ่ง θ_m และ θ_{im} คือความชื้นที่มีการเคลื่อนที่ และไม่มีการเคลื่อนที่ตามลำดับ, c_m และ c_{im} คือ ความเข้มข้นของสารละลายในดินที่เคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่ตามลำดับ และ w คือสัมประสิทธิ์แลกเปลี่ยนลำดับที่หนึ่ง

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

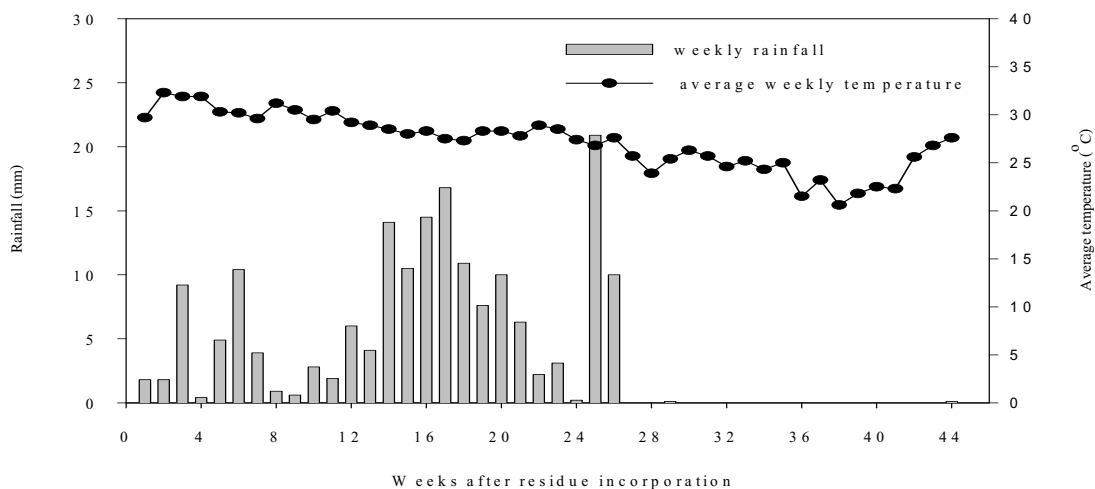
การวิจัยเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสลายตัวและสะสมอินทรีย์วัตถุในดินของสารอินทรีย์ ประกอบด้วยงานหลัก 2 งานคือ 1) อิทธิพลของปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์... และ 2) อิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์ม... ต่อการสลายตัว และการสะสม (การกักเก็บ) อินทรีย์วัตถุในดินเนื้อทราย โดยการศึกษานี้มีทั้งการทดลองภาคสนาม และการทดลองในสภาพควบคุมของห้องปฏิบัติการและเรือนทดลอง

3.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุและการเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร

3.1.1 การทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและสะสมอินทรีย์วัตถุในดินในระยะยาว

3.1.1.1 การดำเนินการทดลองภาคสนาม

เป็นการดำเนินการศึกษาระยะยาว (ปีที่รายงานเป็นปีที่ 10, 13, 14, 15 และ 16) ของการสะสมอินทรีย์วัตถุและการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนจากซากอินทรีย์คุณภาพต่าง ๆ ซึ่งดำเนินการศึกษาในสภาพสถานที่ทดลอง ณ สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดขอนแก่น ตำบลท่าพระ จังหวัดขอนแก่น (ภาคภาพผนวกที่ 1) ประกอบด้วยหน่วยทดลองซึ่งเป็นแปลงทดลองขนาด 4x4 ตารางเมตร ที่ได้รับการวิธีทดลองสารอินทรีย์ต่างคุณภาพชนิดต่าง ๆ สถานที่ทดลองมีดินทรายชุดโคราช (Oxic Paleustults) การศึกษาประกอบด้วยการใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกันปีละครั้ง ในช่วงปลายเดือนเมษายน ถึงพฤษภาคมของ ทุกปี เริ่มมาตั้งแต่ปี 2538 โดยในปีที่ 16 ใส่สารอินทรีย์เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2554 สำหรับสภาพภูมิอากาศของการใส่สารอินทรีย์ในรอบปีที่ 16 แสดงไว้ในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 สภาพภูมิอากาศ (ปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์ และอุณหภูมิเฉลี่ยรายสัปดาห์) ใน การศึกษารอบปีที่ 16 ตั้งแต่วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2553 ถึง 25 มีนาคม พ.ศ. 2554

กรรมวิธีทดลองและแผนการทดลอง

กรรมวิธีทดลองมีทั้งหมด 6 กรรมวิธีทดลองดังมีรายละเอียดและวิธีการปฏิบัติแสดงใน ตารางที่ 3.1 ซากต้นไผ่ถั่วลิสง (groundnut stover) ซึ่งจัดว่ามีคุณภาพสูง กล่าวคือมี N สูงแต่มี ลิกนินและโพลีฟีนอลต่ำ ไผ่ (+ก้าน) มะขามร่วง (tamarind) จัดว่ามีคุณภาพปานกลาง (มี N ลิกนินและโพลีฟีนอลปานกลาง) ไผ่พลวงร่วง (dipterocarp) จัดว่ามีคุณภาพต่ำ (มี N ต่ำ แต่มี ลิกนินและโพลีฟีนอลสูง) ฟางข้าว (rice straw) ซึ่งมีคุณภาพที่แตกต่างออกไป กล่าวคือ มี องค์ประกอบทั้งสามต่ำ แต่มีเซลลูโลสสูงที่สุด (ตารางที่ 3.2) ใส่สารอินทรีย์ปีละครั้ง ในช่วง ปลายเดือนเมษายนถึงต้นเดือนพฤษภาคมของทุกปี สารอินทรีย์ที่ใช้หาได้ในท้องถิ่น ซึ่งเป็น สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงถึงต่ำ โดยเศษซากของถั่วลิสงจะใช้ทั้งต้นและราก โดยสับเป็นท่อน เล็ก ๆ นำไปตากให้แห้ง กรณีไผ่พลวงจะใช้เฉพาะไผ่ที่ร่วงหล่นจากต้นใหม่ เนื่องจากไผ่พลวงมี ขนาดใหญ่จึงต้องนำมาตัดให้ได้ขนาดประมาณ 3 x 5 เซนติเมตร และไผ่มะขามใส่ส่วนไผ่และกิ่ง ร่วง รวบรวมฟางข้าว ถั่วลิสง ไผ่พลวงและไผ่มะขามให้ได้ปริมาณที่ต้องการ นำสารอินทรีย์ที่ได้ ไปใส่ในแปลงทดลองที่มีการสุ่มแล้วโดยใส่ซากพืชโดยโรยบนหน้าดินอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ แปลงทดลองแล้วสับกลบลึกประมาณ 15 เซนติเมตร (ภาพภาคผนวกที่ 1) จากนั้นหาเปอร์เซ็นต์ ความชื้นเพื่อนำมาคำนวณน้ำหนักแห้งที่แท้จริงของสารอินทรีย์ที่ต้องใส่ในแต่ละกรรมวิธีทดลอง

ตารางที่ 3.1 กรรมวิธีทดลองของการทดลองภาคสนามในสถานีทดลอง

กรรมวิธีทดลอง	การทดลองสภาพไร่	อัตรา (ตัน นน. แห้ง ต่อเฮกตาร์ ต่อปี)
1	ไม่ใส่สารอินทรีย์	0
2	ฟางข้าว (ต่ำ)	10
4	ซากต้นใบถั่วลิสง (ต่ำ)	10
5	ฟางข้าว+ซากต้นใบถั่วลิสง	10+10
7	ซากใบพลวง (<i>Dipterocarpus tuberculatus</i>)	10
8	ซากใบมะขาม (<i>Tamarindus indica</i>)	10

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เนื่องจากพื้นที่ทดลองมีความลาดเทเล็กน้อย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละแปลงย่อยมีขนาด 4 x 4 เมตร พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน เท่ากับ 2 x 2 เมตร

การเก็บข้อมูล

การเก็บตัวอย่างดินระดับ 0-15 เซนติเมตร ที่ระยะต่าง ๆ หลังใส่สารอินทรีย์ดังนี้ 1, 2, 4, 8, 16, 26, และ 52 สัปดาห์ โดยตัวอย่างดินที่เก็บมาได้นำมาวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic carbon), อินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC), อินทรีย์ไนโตรเจน (SON), มวลชีวภาพของจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน (microbial biomass C, N), ไนโตรเจนอนินทรีย์ (mineral N) และการหายใจของดิน (soil respiration) ผลการทดลองปีที่ 10 แสดงในผลงานการตีพิมพ์ของ Samahadthai และคณะ (2010) และปีที่ 13 แสดงในผลงานการตีพิมพ์ของ Puttasu และคณะ (2011) (ภาคผนวกที่ 1)

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ใส่ในปีการทดลอง
ที่ 10(a) และปีที่ 13(b) ที่ใช้บ่งชี้คุณภาพ

(a)									
residues	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	C:N	L ^{1/} (g kg ⁻¹)	L:N	Pp ^{2/} (g kg ⁻¹)	Pp:N	(L+Pp) N	Cellulose (g kg ⁻¹)
Rice straw	390	5.6	69.6	19.4	3.5	8.0	1.4	4.9	474
Groundnut stover	415	22.3	18.6	39.1	1.8	12.5	0.6	2.3	372
Dipterocarp	450	6.2	72.6	255.8	41.3	94.4	15.2	56.5	325
Tamarind	439	10.0	43.9	198.0	19.0	50.0	5.0	24.8	356

(b)									
residues	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	C:N	L ^{1/} (g kg ⁻¹)	L:N	Pp ^{2/} (g kg ⁻¹)	Pp:N	(L+Pp) N	Cellulose (g kg ⁻¹)
Rice straw	367	4.7	78.4	28.7	6.1	6.5	1.4	7.5	507
Groundnut stover	388	22.8	17.1	67.6	2.9	12.9	0.6	3.5	178
Dipterocarp	453	5.7	79.5	175.5	30.8	64.9	11.4	42.2	306
Tamarind	427	13.6	31.5	87.7	6.4	31.5	2.3	8.8	143

^{1/} lignin, ^{2/} polyphenol

ที่มา: Samahadthai et al. (2010)(a) และ Puttaso et al. (2011)(b)

3.1.1.2 การศึกษาอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์

การศึกษานี้ใช้เทคนิคถุงตาข่าย (litter bag technique) การเตรียมถุงบรรจุซากสารอินทรีย์ เตรียมสารอินทรีย์เพื่อชั่งน้ำหนักตามกรรมวิธีการทดลองเพื่อบรรจุถุงตาข่ายพลาสติกสีดำ ขนาดถุง 20 x20 เซนติเมตร และขนาดรู 3x3 มิลลิเมตร จำนวน 18 ถุง/แปลง หลังจากเตรียมแปลงทดลองและใส่สารอินทรีย์ นำถุงซึ่งบรรจุสารอินทรีย์ที่เตรียมไว้เข้ามาฝังในแปลงทดลองห่างจากบริเวณริมแปลง 30 เซนติเมตร ภายในพื้นที่ 4x4 เมตร ตามกรรมวิธีการทดลอง โดยฝังลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จากผิวดิน จำนวน 18 ถุง/แปลงทดลอง โดยในจำนวนถุงดังกล่าวมีถุงตาข่ายสำรอง จำนวน 4 ถุง/แปลง

การสุ่มเก็บตัวอย่างมูลตาข่าย หลังจากการฝังเป็นเวลา 1, 2, 4, 8, 16, 26 และ 52 สัปดาห์ เก็บถุงขึ้นกรรมวิธีละ 2 ถุงต่อครั้ง ถ้าหากสุ่มได้ถุงที่ถูกสัตว์ในดินทำลายจะสุ่มใหม่ ถุงตาข่ายที่เก็บได้นำมาแยกส่วนที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ออก และกำจัดเศษดินที่ติดมากับถุง แล้วนำสารอินทรีย์ออกจากถุง litter bags แล้วใช้แปรงขัดเศษดินที่ติดมาจากแปลงโดยพยายามเอาเศษดินออกให้หมดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนในการวิเคราะห์ตัวชี้วัดอื่นๆ หลังจากนั้นนำสารอินทรีย์ไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C ซึ่งและบันทึกน้ำหนักซากสารอินทรีย์ที่เหลือจากการสลายตัวในแต่ละครั้งหลังใส่สารอินทรีย์ แบ่งส่วนหนึ่งของสารอินทรีย์ไว้นำไปบดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอัตราการสลายตัวของซากอินทรีย์จากข้อมูลซากอินทรีย์ที่เหลือ (litter weight remaining) ในแต่ละช่วงเวลามีดังนี้

แบบจำลอง first order kinetic แบบ single pool

$$W_t = W_0 e^{-kt} \dots\dots\dots (1) \text{ (Olsen, 1963)}$$

W_0 คือ น้ำหนักแห้งเมื่อเริ่มต้น, W_t คือ น้ำหนักแห้งซากอินทรีย์ที่เหลือในแต่ละเวลา (t), k คืออัตราการสลายตัวของซากอินทรีย์ตลอดช่วงที่ใส่ในดินเป็นเวลา 52 สัปดาห์ หรือ 1 ปี แบบจำลองนี้ใช้เพื่ออธิบายอัตราการสลายตัวของซากอินทรีย์ตลอดช่วง 52 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังได้ทำการสร้างแบบจำลองใหม่ ซึ่งแบ่งการสลายตัวเป็นสองช่วง ตามองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่สลายเร็วและช้า เรียกว่า double pool model เพื่อให้สามารถอธิบายผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้นคือ

$$W = C_1(1 - e^{-k_1t}) + C_2(1 - e^{-k_2t}) \dots\dots\dots (2)$$

โดย W คือ น้ำหนักแห้งซากทั้งหมด, t คือ เวลาของการสลายตัว, C_1 และ C_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำหนักในช่วงแรกและช่วงหลังของการสลายตัวตามลำดับ ส่วนค่า k_1 และ k_2 คือ อัตราการสลายตัวในช่วงแรกและช่วงหลังของการสลายตัวตามลำดับ

3.1.1.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน

ในปีการทดลองที่ 10 เป็นปีที่เริ่มมีการศึกษาการกระจายตัวของเม็ดดินจึงยังเป็นระยะของการพัฒนาวิธีการเพื่อให้ได้วิธีการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ ซึ่งการวิเคราะห์เม็ดดินนั้น เป็นการวัดการกระจายของเม็ดดินขนาดต่าง ๆ ที่ทนทานต่อแรงปะทะของน้ำ วิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ วิธีใช้ตะแกรงร่อนในน้ำ (wet sieving) ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ได้ประยุกต์จากวิธีการของ สมญา (2545) โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ภาพภาคผนวกที่ 2)

1) นำตัวอย่างดินที่ฝังให้แห้งในที่ร่มมาร้อนผ่านตะแกรงขนาดช่อง 8 มิลลิเมตร ถ้าดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 8 มิลลิเมตร ให้ใช้มือบีบเบาๆ จนกระทั่งดินบางส่วนผ่านตะแกรง นำส่วนที่ค้างบนตะแกรงทิ้งไป และเก็บเศษหิน เศษหญ้า และรากพืชที่ปนมากับดินที่ลอดผ่านตะแกรงทิ้งไป

2) ชั่งตัวอย่างดินที่ร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดช่อง 8 มิลลิเมตร (ข้อ 1) แล้ว 25 กรัม วางลงบนตะแกรงชั้นบนสุดของชุดตะแกรง ประกอบด้วยตะแกรงขนาดช่อง 2, 1, 0.5, 0.25 และ 0.106 มิลลิเมตร ตามลำดับจากบนลงล่าง และบรรจุตะแกรงเข้าเครื่องร่อนในน้ำ (Daiki รุ่น DIK 2000) ซึ่งลักษณะเครื่องประกอบด้วยถังที่ใส่น้ำและชุดใส่ตะแกรง 4 ชุด มีคันโยกสำหรับดึงอยู่ตรงกลางของทั้ง 4 ถัง ดังนั้นในการทดลองหนึ่งครั้งสามารถทำได้ 4 ตัวอย่าง เมื่อบรรจุชุดตะแกรงเข้ากับถังเรียบร้อยแล้วค่อยๆ เติมน้ำลงในถังซึ่งมีชุดตะแกรงบรรจุอยู่ ให้ระดับน้ำสูงกว่าตะแกรงชั้นบนสุดเล็กน้อย ทิ้งไว้ให้น้ำ ซึมเข้าเม็ดดินประมาณ 10 นาที เมื่อครบเวลาเติมน้ำลงไปในถังให้ท่วมตะแกรงบนสุดในระดับที่น้ำยังท่วมตะแกรงเมื่อคันโยกดึงชุดตะแกรงขึ้นไปสูงสุด 3.8 เซนติเมตร เปิดสวิทช์ให้เครื่องทำงานโดยคันโยกจะดึงชุดของตะแกรงขึ้นลง ความถี่ของคันโยก 30 ครั้ง/นาที เป็นเวลา 30 นาทีแล้วปิดสวิทช์

3) นำชุดตะแกรงออกจากเครื่อง และแยกตะแกรงแต่ละขนาดออกจากชุดตะแกรงด้วยความระมัดระวัง ถ่ายเม็ดดินและอนุภาครายจากตะแกรงแต่ละขนาดใส่กระป๋อง (can) (ที่รู้น้ำหนัก) ขณะที่ถ่ายเม็ดดินลงใน can ควรใช้น้ำฉีดจาก wash bottle เพื่อให้แน่ใจว่าได้ดินส่วนที่ค้างบนตะแกรงทั้งหมด แล้วนำ can ไปอุ่นบน hot plate เพื่อช่วยในการระเหยน้ำออกจากเม็ดดิน หลังจากนั้นนำไปอบหาน้ำหนักแห้งของเม็ดดินแต่ละตะแกรงในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 105 °C จนแห้งสนิท ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

4) คำนวณค่าการกระจายของเม็ดดินขนาดต่างๆ ในดิน โดยวิธี mean weight diameter (MWD) คำนวณได้จากสมการดังนี้ (ถนนม, 2528)

$$MWD = \sum \frac{\bar{x}_i w_i}{W}$$

เมื่อ MWD = Mean Weight Diameter (mm)

$\bar{x}_i$ = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยกลุ่มขนาดที่ i (กลุ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8, 2, 1, 0.5, 0.25 และ 0.106 มิลลิเมตร) ที่แยกโดยการร่อนผ่านตะแกรงในน้ำ

w_i = น้ำหนักของเม็ดดินที่ค้างบนตะแกรงกลุ่มขนาดที่ i

W = น้ำหนักดินทั้งหมดที่นำมาร่อน

3.1.1.4 การศึกษาอิทธิพลของคุณภาพสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของส่วนที่เสถียรของอินทรีย์วัตถุ (stable pool of SOM) ได้แก่ สารฮิวมัส

ใช้ดินจากปีที่ 5 หลังจากใส่สารอินทรีย์แล้ว 52 สัปดาห์ ทำการประเมินการสะสมหรือกักเก็บอินทรีย์วัตถุส่วนที่เสถียร ได้แก่ สารฮิวมิก โดยศึกษาวิธีการวิเคราะห์สารฮิวมิกเพื่อนำมาศึกษาการพัฒนาตัวของอินทรีย์วัตถุส่วนดังกล่าวต่อไป

วิธีการวิเคราะห์สารฮิวมิกและคาร์บอนในสารฮิวมิก

การวิเคราะห์ปริมาณสารฮิวมิก สกัดดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช (0.074 มิลลิเมตร) ด้วย 0.1 N NaOH 100 มิลลิตร นำสารละลายที่สกัดได้ไปปรับ pH เพื่อแยกกรดฮิวมิก และกรดฟัลวิกออกมา นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล (Schnitzer, 1982; Stevenson, 1994 อ้างตาม สมญา, 2545) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ปรับวิธีการจากวิธีการเดิมข้างต้น ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้ (ภาพภาคผนวกที่ 3)

I. วิธีการสกัดสารฮิวมิก (humic substance extraction method) (ภาพภาคผนวกที่ 3a)

1. ชั่งตัวอย่างดิน (ที่ร่อนผ่านตะแกรง 200 เมช) 10 g เติม 0.1 N NaOH 100 ml
2. ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 24 ชม.
3. นำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/วินาที เป็นเวลา 10 นาที
4. แยกสารละลายสีดำนอกจากดิน เก็บไว้ในขวดพลาสติก (V1)
5. นำดินที่เหลือมาเติมด้วยน้ำกลั่น 50 ml แล้วนำไป centrifuge อีกครั้งด้วยความเร็วรอบเท่าเดิม สารละลายที่ได้แยกออกจากดินนำไปเก็บรวมกับขวดเดิม (V2)
6. นำสารละลายที่สกัดได้เก็บไว้เพื่อวิเคราะห์ **humic acid และ fulvic acid** ต่อไป

หมายเหตุ: ปริมาตรของสารละลายทั้งหมดประมาณ 150 ml (ส่วนที่ 1 นำไปหา total organic carbon ประมาณ 10-20 ml ส่วนที่ 2 ส่วนที่เหลือนำไปตกตะกอนหา humic acid)

II. วิธีการหา total organic carbon ; TOC ในสารสกัด

1. ดูด aliquot (จากข้อที่ 6) โดยปริมาณที่ใช้ในการวิเคราะห์พิจารณาจาก
 - สารละลาย (aliquot) มีสีเข้มจะดูดใช้ในการวิเคราะห์ประมาณ 2-5 ml
 - สารละลาย (aliquot) มีสีจาง จะดูดใช้ในการวิเคราะห์ประมาณ 10-15 ml (Kononova)
2. ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ **total organic carbon** โดยวิธีสันดาปเปียกของ

Walkley and Black

III. วิธีการหา humic acid และ fulvic acid ในสารสกัด (Schnitzer, 1982)

การแยกส่วนของ humic acid ออกจากสารละลายโดยการตกตะกอน (precipitation) (ภาพภาคผนวกที่ 3b)

1. นำสารละลายที่ได้จากการสกัด (จากข้อที่ 6 และเป็นส่วนที่เหลือจากการวิเคราะห์ในข้อ II)
2. ทำการตกตะกอน humic acid โดยปรับค่า pH ของสารละลายให้มีค่า pH เท่ากับ 2.0 โดยใช้ 2 N HCl และจะสังเกตเห็นสารละลายจะเริ่มตกตะกอน
3. เมื่อค่า pH สารละลายเท่ากับ 2.0 ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ (kononova)
4. เมื่อเกิดการตกตะกอนสมบูรณ์แล้วนำไป centrifuge ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที เวลา 10 นาที
5. เก็บสารละลายที่ได้เก็บไว้ในขวดพลาสติก (จุดบันทึกปริมาตรที่ได้ เพื่อนำไปวิเคราะห์หา E4/E6 ของ Fulvic Acid; ซึ่งสารละลายที่ได้นี้คือ ส่วนของ **fulvic acid**)
6. นำส่วนที่เป็นตะกอนที่ได้ใส่ใน beaker แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. นำตะกอนมาชั่งเพื่อหาน้ำหนัก (ตะกอนที่ได้เป็นตะกอนของ **humic acid**)

IV. วิธีการหาองค์ประกอบคาร์บอนในกรดฮิวมิก (humic acid-carbon (HA-C) ในสารสกัด

1. นำตะกอนที่ได้ (จากข้อ III) โดยชั่งมาประมาณ 0.07-0.12 กรัม
2. วิเคราะห์หาปริมาณ carbon ใน humic acid โดยวิธี Walkley and Black (เช่นเดียวกับการหา TOC) (ภาพภาคผนวกที่ 3c)

V. วิธีการหาคาร์บอนในกรดฟัลวิก (fulvic acid-carbon (FA-C) ในสารสกัด (Kononova)

ปริมาณ fulvic acid-C หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ total organic carbon และ humic acid-C ดังสมการ คือ

$$\begin{array}{ccccc} \text{Total Organic Carbon (TOC)} & = & \text{Humic Acid-C} & + & \text{Fulvic Acid-C} \\ \text{(จากข้อ II)} & & \text{(จากข้อ IV)} & & \text{(X)} \end{array}$$

3.1.1.5 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ได้รับสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่องมากกว่า 13 ปี

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ (การแทรกซึมน้ำ) และเคมี (ECEC และ pH) ของดินหลังได้รับสารอินทรีย์เป็นเวลา 13 ปี โดยสารอินทรีย์ที่ได้รับจะมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ตามกรรมวิธีทดลองในตารางที่ 3.1

(ก) การวัดอัตราการแทรกซึมน้ำในดิน

วัดอัตราการแทรกซึมของน้ำในดินที่เวลา 52 สัปดาห์ หลังใส่สารอินทรีย์โดยวิธี Double ring (ภาพภาคผนวกที่ 4) ซึ่งมีวงแหวนโลหะ 2 ตัว คือ วงแหวนโลหะตัวใน (inner ring) เป็นตัวที่ใช้วัดความสูงของระดับน้ำที่เวลาต่างๆ และวงแหวนโลหะวงนอก (outer ring) เพื่อควบคุมการไหลของน้ำของวงแหวนโลหะตัวในให้อยู่ในแนวดิ่ง โดยไม่ให้ไหลในแนวราบ ทำการวัดความสูงระดับน้ำ(เซนติเมตร) ในทุกกรรมวิธีทดลองที่เวลา 0, 0.5, 1, 2, 5, 10, 30, 60, 90 และ 120 นาทีตามลำดับ และนำค่าที่ได้จากระดับความสูงของผิวน้ำที่เวลาต่างๆ มาคำนวณหา ค่าอัตราการแทรกซึมของน้ำในดิน (cm min^{-1})

(ข) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเชิงประสิทธิผลในดิน (Effective cation exchange capacity, ECEC)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเชิงประสิทธิผลในดิน (ECEC) หาได้จากผลรวมของแคตไอออนทั้งหมด ที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณประจุบวกที่เป็นด่าง (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) โดยวิธีการชะล้างด้วย 1 N NH_4OAc (pH 7.0) แล้ววัดปริมาณเบสแคตไอออนโดยวิธี Atomic Adsorption Spectrophotometry (AAS) และวิเคราะห์หาปริมาณ Total acidity (Al^{3+} , H^+)

(ค) ปฏิกิริยาของดิน (pH)

ใช้อัตราส่วนดิน: น้ำ เท่ากับ 1:2.5 คือ ดิน 10 กรัมต่อน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร คนเป็นครั้งคราวระหว่างที่ตั้งไว้จนครบเวลา 30 นาที แล้ววัดด้วยค่าด้วยเครื่อง pH meter

3.1.1.6 การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ในดิน (macroorganisms) ที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นเวลานาน

ทำการสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดิน (soil invertebrate biodiversity) ในแปลงทดลอง (ภาพภาคผนวกที่ 3) โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งในเดือนมิถุนายน (ต้นฤดูฝน), กันยายน (ปลายฤดูฝน) 2551 และกุมภาพันธ์ 2552 (ฤดูแล้ง) ซึ่งเป็นระยะเวลา 6, 18, และ 40 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์ ตามลำดับ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้ การสำรวจสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินขนาดใหญ่ วัดพื้นที่ศึกษาขนาด 1x1 เมตร ทำการตรวจหาสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินบนผิวดิน ตามซากพืช ใต้ใบไม้ และในดินโดยขุดดินลึก 5-7 เซนติเมตร ไล่ไปที่ละด้าน ตลอดพื้นที่ขนาด 1x1 เมตร ภายในเวลา 30 นาที เก็บตัวอย่างทุกชนิดที่พบ นำใส่ขวดที่มีแอลกอฮอล์ 70 % แล้วจำแนกชนิดและนับจำนวน การสำรวจสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินขนาดกลาง เก็บตัวอย่างดินในทุกพื้นที่ศึกษา โดยใช้พู่แก้วมือขุดดินขนาด 20x20 เซนติเมตร ลึก 5-10 เซนติเมตร จำนวน 0.5 กิโลกรัม ใส่ถุง แล้วนำตัวอย่างดินใส่ใน berlese funnel ที่ด้านบนของ funnel อัดด้วยหลอดไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ ด้านล่างรองรับด้วยบีกเกอร์ที่มีแอลกอฮอล์ 70 % ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ นำมาตรวจหาสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดิน ด้วยกล้องจุลทรรศน์ 2 ตา เพื่อจำแนกชนิดและนับจำนวน (ภาพภาคผนวกที่ 5)

การหาดัชนีความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดิน (index of species diversity) โดยการคำนวณค่า shannon - wiener diversity index (H)

$$\text{จาก } H = - \sum P \log P_1$$

$$\text{เมื่อ } P_1 = n_1 / N$$

$$n = \text{จำนวนตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินแต่ละชนิด}$$

$$N = \text{จำนวนตัวของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินทุกชนิดรวมกัน}$$

3.1.1.7 บทบาทของจุลินทรีย์ดินในการสะสมและแลกเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุในดิน

(ก) การศึกษากิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในดิน

ทำการเก็บดินจากการแปลงทดลองที่มีกรรมวิธีทดลองต่าง ๆ (ตารางที่ 3.1) ซึ่งเป็นดินที่ได้รับสารอินทรีย์ทุก ๆ ปี ๆ ละครั้ง มาเป็นเวลา 14 ปี โดยช่วงเวลาที่เก็บเป็นช่วงใกล้สิ้นสุดของปีที่ 14 (วันที่เก็บดิน คือ 28 เมษายน 2552) หลังใส่สารอินทรีย์ 52 สัปดาห์ โดยเก็บ

ดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร นำดินมาตากให้แห้ง แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนการนำไปวิเคราะห์เอนไซม์ นำดินมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 ° C สองสามวันก่อนการวิเคราะห์เอนไซม์

การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์ในดินจากกรรมวิธีทดลองต่าง ๆ ทำ 3 ซ้ำ โดยเอนไซม์ที่วิเคราะห์เป็น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสลายตัวและหมุนเวียนคาร์บอน ได้แก่ เบตา-กลูโคซิเดส (β -glucosidase) วัดโดยวิธีของ Tabatabai (1982); Eivazi and Tabatabai (1988 อ้างตาม Alef and Nannipieri, 1995), อินเวอร์เตส (invertase) วัดโดยวิธีของ Schinner and Von Mersi 1990 (อ้างตาม Alef and Nannipieri, 1995) และฟีนอลออกซิเดส (phenoloxidase) และเปอร์ออกซิเดส (peroxidase) วิเคราะห์โดยวิธีของ Hendel et al. (2005) โดยแสดงค่ากิจกรรมเอนไซม์เหล่านี้บนฐานของน้ำหนักดินอบแห้ง (ดินอบแห้งที่ 105 ° C)

(ข) การศึกษากิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในดินภายใต้สภาวะการบ่ม

การวัดกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งทำการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของสารอินทรีย์และการหมุนเวียนคาร์บอนในดินจากการทดลองปีที่ 15 (เก็บดินเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2552) ได้แก่ Invertase, β -glucosidase, phenoloxidase, และ peroxidase งานทดลองนี้ได้ดำเนินการทดลองที่ห้องบ่มที่มีการเฝ้าติดตามวัดอุณหภูมิ (incubation room) ของสาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ภาพภาคผนวกที่ 6) โดยรายละเอียดของการทดลองมีดังนี้คือ

1) นำตัวอย่างดินจากแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์ (control soil หรือ C soil) อย่างต่อเนื่องเป็นปีที่ 15+16 นำมาใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 4 ชนิดลงไปใหม่ ได้แก่ rice straw (C+RS), groundnut (C+GN), dipterocarp (C+DP) และ tamarind (C+TM)

2) นำตัวอย่างดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่สารอินทรีย์คุณภาพแตกต่างกัน (native soil หรือ N soil) ซึ่งเป็นดินในปีการทดลองที่ 15 (เก็บดินเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2552) จำนวน 4 ชนิด นำมาใส่สารอินทรีย์ลงไปใหม่ ได้แก่ native rice straw soil + rice straw (NRS+RS), native groundnut soil + groundnut (NGN+GN), native dipterocarp soil + dipterocarp (NDP+DP), และ native tamarind soil + tamarind (NTM+TM)

3) มีดื่บทดลอง รวมทั้งสิ้นจำนวน 13 ดื่บทดลอง (ตารางที่ 3.3) จำนวนครั้งที่สุ่มเก็บตัวอย่าง 6 ครั้ง ในวันที่ 0, 3, 7, 14, 28, และ 56 วัน หลังการใส่สารอินทรีย์ มีดื่บการทดลองจำนวน 3 ดื่บการทดลอง คิดเป็นจำนวนหน่วยทดลองทั้งสิ้น 234 หน่วยทดลอง ในแต่ละหน่วยทดลองทำการบ่มดินปริมาณ 600 กรัม (air dried soil) ร่วมกับสารอินทรีย์แต่ละชนิดใน

อัตรา 10 ต้นต่อเฮกตาร์ วางแผนการทดลอง randomized complete block design (RCBD) จำนวน 3 block ทำการเก็บตัวอย่างดิน (หน่วยทดลอง) แต่ละช่วงการบ่ม นำมาวัดตัวชี้วัดต่อไปนี้ (ตารางที่ 3.4)

1. CO₂-C evolution
2. Microbial biomass carbon
3. Microbial biomass nitrogen
4. Mineralized nitrogen (NH₄⁺ และ NO₃⁻)
5. Soil moisture
6. Enzyme activities (invertase, β -glucosidase, phenoloxidase, และ peroxidase)

และนำดินส่วนหนึ่งไป freeze dry เพื่อที่ในอนาคตจะทำการวัดตัวชี้วัดทางชีวภาพต่อไปนี้

7. Microbial community (fungal community) โดยการเพิ่มจำนวน DNA ที่สนใจ (interested DNA) จากชิ้นส่วน DNA ที่เพิ่มจำนวนโดยใช้เทคนิค 16s rDNA และ 18s rDNA โดยใช้เทคนิค PCR (Polymerase chain reaction) ร่วมกับเทคนิค DGGE (denaturing gradient gel electrophoresis) และ/หรือ T-RFLP (Terminal- Restriction Fragment Length Polymorphism) ในการแสดงความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ที่ตอบสนองต่อการใส่สารอินทรีย์ลงในดิน

8. พิจารณาการแสดงออกของยีน (gene expression) ที่ควบคุมการสังเคราะห์เอนไซม์ phenoloxidase ได้แก่ lac gene ซึ่งเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนที่ต้านทานต่อการย่อยสลาย (recalcitrant) คือ lignin

โดยตัวชี้วัด 7 และ 8 มีแผนนำไปทำการวิเคราะห์ที่ University of Hohenheim ประเทศเยอรมนี

ตารางที่ 3.3 กรรมวิธีทดลองบทบาทของจุลินทรีย์ดินในการสะสมและแลกเปลี่ยนอินทรีย์วัตถุในดิน: การศึกษาผลของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในดินทรายภายใต้สภาวะการบ่ม

ลำดับ	กรรมวิธีทดลอง ^{1/}
1	ดินจากแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์ (C)
2	ดินจากแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์ + ฟางข้าว (C+RS)
3	ดินจากแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์ + ชากต้นไถั่วลิสง (C+GN)
4	ดินจากแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์ + ชากใบพลวง (C+DP)
5	ดินจากแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์ + ชากใบมะขาม (C+TM)
6	ดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ฟางข้าว (NRS)
7	ดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ฟางข้าว + ฟางข้าว (NRS+RS)
8	ดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ชากต้นไถั่วลิสง (NGN)
9	ดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ชากต้นไถั่วลิสง + ชากต้นไถั่วลิสง (NGN+GN)
10	ดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ชากใบพลวง (NDP)
11	ดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ชากใบพลวง + ชากใบพลวง (NRDP+DP)
12	ดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ชากใบมะขาม (NTM)
13	ดินจากแปลงทดลองที่มีการใส่ชากใบมะขาม + ชากใบมะขาม (NTM+TM)

^{1/}C = control soil (C soil), RS = rice straw, GN = groundnut, DP = dipterocarp, TM = tamarind, N = native soil (N soil)

ตารางที่ 3.4 ปริมาณดินและตัวชี้วัดที่ทำการวิเคราะห์ภายหลังเก็บตัวอย่างดินในแต่ละช่วงเวลาของการป๋ม

ลำดับ	ตัวชี้วัด	วันภายหลังการเก็บตัวอย่าง						น้ำหนักดิน (กรัม) ^{1/}
		0	3	7	14	28	56	
		ครั้งที่เก็บตัวอย่าง						
		0	1	2	3	4	5	
1	CO ₂ -evolution	*	*	*	*	*	*	-
2	Microbial biomass C	*	*	*	*	*	*	50
3	Microbial biomass N	*	*	*	*	*	*	50
4	Min –N (NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻)	*	*	*	*	*	*	50
5	Moisture content	*	*	*	*	*	*	50
6	Soil enzymes (bulk soil)	*	*	*	*	*	*	50
7	Soil microbial community	*	*	*	*	*	*	50
น้ำหนักรวมของดินที่เก็บตัวอย่าง								300
น้ำหนักรวมของดินในหน่วยทดลอง								600

3.1.1.8 การศึกษาการปกคลุมแปลง ความหนาแน่น และการเจริญเติบโตของวัชพืชที่ได้รับสารอินทรีย์คุณภาพต่างกันในสภาพดินไร่เนื้อทราย

ดำเนินการเก็บตัวอย่างวัชพืชที่ขึ้นอยู่ในแปลงทดลองก่อนใส่สารอินทรีย์และหลังใส่สารอินทรีย์ปีที่ 16 (ภาพภาคผนวกที่ 7) โดยสุ่มเก็บวัชพืชในบริเวณที่มีวัชพืชขึ้นอยู่อย่างสม่ำเสมอในแปลง ซึ่งในแต่ละแปลงได้ทำการสุ่มเก็บวัชพืชจำนวน 2 ซ้ำ ใช้ quadrat ขนาด 1 เมตร × 1 เมตร เพื่อหาข้อมูลการปกคลุมแปลง (weed coverage) และข้อมูลส่วนที่อยู่เหนือดินของวัชพืชที่อยู่ใน quadrat หลังจากนั้นนำข้อมูลส่วนที่อยู่เหนือดินของวัชพืชมาห่าน้ำหนักสด (fresh weight) และน้ำหนักแห้ง (dry weight)

วิธีการเก็บข้อมูลการปกคลุมแปลงและข้อมูลส่วนที่อยู่เหนือดินของ วัชพืช

การปกคลุมแปลงของวัชพืช

ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ quadrat ขนาด 1 เมตร × 1 เมตร สุ่มวางลงในบริเวณที่มีวัชพืชสม่ำเสมอในแปลงขนาด 4 เมตร × 4 เมตร ซึ่งวาง quadrat ถัดจากขอบแปลงเข้ามาด้านในแปลงประมาณ 0.5 เมตร โดย quadrat ขนาด 1 เมตร × 1 เมตร ภายในมีช่องทั้งหมด 100

ช่อง โดยในแต่ละช่องมีขนาด 10 เซนติเมตร x 10 เซนติเมตร ซึ่งในแต่ละช่องกำหนดให้คะแนนเต็ม 1 คะแนน สำหรับวิธีการหาการปกคลุมแปลงของวัชพืชใช้วิธีการคาดคะเนด้วยสายตาว่ามีการปกคลุมแปลงของวัชพืชคิดเป็นสัดส่วนเท่าใด ตัวอย่างเช่น ถ้ามีวัชพืช 2 ชนิด คือ ก และ ข ขึ้นอยู่ในช่องขนาด 10 เซนติเมตร x 10 เซนติเมตร โดยวัชพืชชนิด ก มีการปกคลุมแปลงเท่ากับ 0.3 และวัชพืชชนิด ข มีการปกคลุมแปลงเท่ากับ 0.7 ดังนั้นการปกคลุมแปลงของวัชพืชทั้ง 2 ชนิดเป็น $0.3 + 0.7 = 1$

การเก็บข้อมูลส่วนที่อยู่เหนือดินของวัชพืช

เพื่อนำมาชั่งหาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสำหรับวิธีการเก็บข้อมูลใช้กรรไกรตัดส่วนที่อยู่เหนือดินของวัชพืชที่อยู่ใน quadrat ซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับที่ได้ทำการเก็บข้อมูลการปกคลุมแปลงของวัชพืชไปแล้ว นำวัชพืชส่วนที่ถูกตัดออกมาใส่ในถุงพลาสติกแล้วปิดปากถุงให้สนิททันทีเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ และนำวัชพืชดังกล่าวมาชั่งหาน้ำหนักสดในห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นนำวัชพืชส่วนนี้ไปอบที่อุณหภูมิ $65-70^{\circ}\text{C}$ จนน้ำหนักแห้งคงที่ แล้วนำวัชพืชไปชั่งหาน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลวัชพืช แบบ 2-way ANOVA ตามแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีการทดลองโดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรม Statistix version 8.0 (Analytical software, 2003)

3.1.2 การทดลองในสภาพควบคุมเพื่อศึกษาปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์และปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการรบกวนดินต่อการสลายตัวของสารอินทรีย์

สถานที่ศึกษาและทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

การทดลองนี้เป็นการทดลองบ่มดินที่ผสมสารอินทรีย์ในภาชนะ (jar incubation experiment) ในสภาพควบคุมในเรือนทดลอง (ภาพภาคผนวกที่ 8) การทดลองบ่มดินเริ่มดำเนินการเมื่อวันที่ 30 เดือน พฤศจิกายน 2551-วันที่ 23 มีนาคม 2552 รวมระยะเวลา 112 วัน โดยเก็บตัวอย่างที่ช่วงเวลาต่างๆ

กรรมวิธีการทดลองและการวางแผนการทดลอง

จัดกรรมวิธีทดลองแบบ Factorial โดยปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของสารอินทรีย์ 5 ระดับ และปัจจัยการจัดการดิน 2 ระดับ ดังนั้นจึงมีกรรมวิธีการทดลอง 10

กรรมวิธี คือ ไม้ใส่สารอินทรีย์ แคน (*Sesbania grandiflora*) ครามขน (*Indigo hirsute*) พलग (*Dipterocarpus tuberculatus*) ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis*) และการจัดการดิน โดยรบกวนและไม่รบกวนดิน ซึ่งแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้ คือ ชนิดของสารอินทรีย์ 5 ระดับ ได้แก่ ไม้ใส่สารอินทรีย์ แคน ครามขน พलग และยูคาลิปตัส โดยส่วนของสารอินทรีย์และอัตราที่ใส่ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.5 และปัจจัยการจัดการดิน 2 ระดับ ได้แก่ รบกวนดิน และไม่รบกวนดิน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 4 ซ้ำ

ตารางที่ 3.5 ชนิดของสารอินทรีย์และอัตราที่ใช้ในการทดลอง

ระดับ ปัจจัย	ชนิดของ สารอินทรีย์	ส่วนของ สารอินทรีย์	t DW* ha ⁻¹	t DW* rai ⁻¹	g FW*/500 g soil	g DW/ 500 g soil
1	ไม้ใส่ สารอินทรีย์	-	-	-	-	-
2	แคนบ้าน	ใบสด	10	1.6	9.014	1.67
3	ครามขน	ใบสด	10	1.6	7.382	1.67
4	พलग	ใบร่วงใหม่	10	1.6	2.376	1.67
5	ยูคาลิปตัส	ใบร่วงใหม่	10	1.6	2.390	1.67

*DW = Dry weight, FW = Fresh weight

การดำเนินการทดลอง

ดิน: ดินที่ศึกษาเป็นดินชุดโคราช (Kt, Oxic Paleustults) เนื้อดินร่วนปนทราย (sandy loam)

สารอินทรีย์: สารอินทรีย์ที่ใช้มีชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 เป็นสารอินทรีย์ต่างคุณภาพหรือมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.6 (ภาพภาคผนวกที่ 8) แคนบ้าน (*sesbania*) จัดว่าเป็นสารอินทรีย์

ตารางที่ 3.6 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้บ่งชี้คุณภาพ

Residues	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	C:N	L ^{1/} (g kg ⁻¹)	L:N	Pp ^{2/} (g kg ⁻¹)	Pp:N	(L+Pp): N	cellulose (g kg ⁻¹)
Sesbania	429	43.7	9.8	173	4.0	9.2	0.2	4.2	138.3
Indigo	441	41.1	10.7	177	4.3	29.8	0.7	5.0	101.2
Dipterocarp	460	8.2	56.1	203	24.8	71.2	8.7	33.4	267.4
Eucalyptus	470	9.7	48.5	126	13.0	109.6	11.3	24.3	151.3

^{1/} lignin, ^{2/} polyphenol

คุณภาพสูงเพราะมี N สูง, C/N ต่ำและมีลิกนินและโพลีฟีนอลส์ต่ำ ส่วนครามชน (indigo) จัดว่ามีคุณภาพปานกลางถึงสูง เนื่องจากถึงแม้จะมีตัวชี้วัดคุณภาพ N, C/N และลิกนินใกล้เคียงกับแค แต่ครามชนมีโพลีฟีนอลส์ (30 g kg⁻¹) สูงกว่าแค (9 g kg⁻¹) มาก ส่วนใบพลวงร่วงและใบยูคาลิปตัสร่วงจัดว่าเป็นสารอินทรีย์คุณภาพต่ำ เพราะมี N ต่ำ, อัตราส่วน C/N, ลิกนินและโพลีฟีนอลส์สูง อย่างไรก็ตามพลวงมีลิกนินสูงกว่ายูคาลิปตัส ส่วนยูคาลิปตัสมี โพลีฟีนอลส์สูงกว่าพลวง นอกจากนี้พลวงมีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดในบรรดาสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ศึกษา รองลงมาคือยูคาลิปตัสและแค

การเตรียมหน่วยทดลอง ชั้ดินที่ตากแห้งแล้ว 500 g บรรจุลงในขวดโหลแก้ว ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm สูง 15 cm ขนาดบรรจุ 1 ลิตร ซึ่งดิน 500 g ที่บรรจุในขวดโหลแก้วมีความสูงจากก้นขวดโหลประมาณ 4.3 cm จากนั้นจึงใส่สารอินทรีย์ในอัตราที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันและปรับความชื้นดิน (ภาพภาคผนวกที่ 8)

การรบกวนดินใช้ส่วนมือขนาดเล็กความเร็ว 4,500 รอบ/นาที เป็นเครื่องมือในการรบกวนดิน ทำการดัดแปลงเครื่องมือโดยติดตั้งใบพัดที่ปลายของดอกสว่าน ซึ่งลักษณะของใบพัดมี 7 แฉก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 3.80 เซนติเมตร (ภาพภาคผนวกที่ 8) รบกวนดินโดยให้ใบพัดอยู่ ณ จุดศูนย์กลางของขวดโหล และให้แนวการเคลื่อนที่ของใบพัดขณะทำการรบกวนดินเป็นเส้นทะแยงตัดกัน (คล้ายเครื่องหมายกากบาท) และทำการรบกวนดินเป็นเวลา 15 วินาที ต่อหน่วยทดลอง โดยการรบกวนดินแบ่งช่วงเวลาตามการเก็บตัวอย่างดิน คือ ในช่วง 0, 3, 7, 14, 28, 56 และ 112 วันหลังใส่สารอินทรีย์ โดยในช่วง 0 ถึง 7 วันหลังใส่สารอินทรีย์ ทำการรบกวนดินทุกวัน ในช่วง 7 ถึง 14 วันหลังใส่สารอินทรีย์ทำการรบกวนดินวันเว้นวัน ในช่วง 14 ถึง 28 วันหลังใส่สารอินทรีย์ทำการรบกวนดินวันเว้นสองวันจนในช่วง 28 ถึง 56 วันหลังใส่สารอินทรีย์ทำการรบกวนดินสัปดาห์เว้นสัปดาห์ และช่วง 56 วัน ถึง 112 วัน (สิ้นสุดงานทดลอง) รบกวนดินสัปดาห์เว้นสองสัปดาห์

การควบคุมดูแลตลอดงานทดลองในการทดลองบ่มดิน ซึ่งต้องรักษาระดับความชื้นที่ 70% ความชื้นภาคสนาม (field capacity) (9.2 % soil dry wt.)

การเก็บตัวอย่างดิน ทำการเก็บตัวอย่างดินในระหว่างการทดลอง 7 ระยะ คือ ในช่วง 0, 3, 7, 14, 28, 56 และ 112 วันหลังใส่สารอินทรีย์ เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ตัวชี้วัดในตัวอย่างดินที่เก็บที่ช่วงเวลาต่าง ประกอบด้วย

pH, อินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนียม+ไนเตรต), มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน (microbial biomass carbon and nitrogen) โดยวิธีรมแล้วตามด้วยการบ่ม (fumigation-extraction technique) และการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์-คาร์บอน ($\text{CO}_2\text{-C}$ evolution)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากค่าวิเคราะห์ตัววัดต่างๆ ในดิน วิเคราะห์หาความแปรปรวนทางสถิติแบบ 2 ปัจจัย (two-way ANOVA) เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยหลัก ได้แก่ ชนิดของสารอินทรีย์ (Q) การจัดการดินคือ การรบกวนดิน (M) และปฏิสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัยหลักได้แก่ $M \times Q$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey Honest Significant Difference (Turkey HSD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับปัจจัยโดยวิธี t-test ($|P| < 0.05$)

3.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มที่ตั้งอยู่ในภูมิประเทศลูกคลื่นต่อการกักเก็บและการเคลื่อนย้ายอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อทราย

การศึกษาในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาในระบบการทำฟาร์มในพื้นที่ลูกคลื่น (undulating terrain) ซึ่งเป็นระบบนิเวศเกษตรลุ่มน้ำขนาดเล็ก (mini-watershed) ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในพื้นที่บ้านคำม่วง อำเภอสวนแก้ว จังหวัดขอนแก่น

3.2.1 การศึกษาการเก็บกักคาร์บอนในดินในลุ่มน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ลูกคลื่น

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็ก ซึ่งถือว่าเป็นระบบนิเวศเกษตรอย่างหนึ่ง ตั้งอยู่ที่บ้านคำม่วง อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น ($16^{\circ}48'-16^{\circ}49'$ N and $102^{\circ}52'-102^{\circ}53'$ E) ความชันของพื้นที่อยู่ในแนวทิศเหนือและทิศใต้ มีความชันโดยเฉลี่ย 2.8% และมีระดับความสูง

จากระดับน้ำทะเล 190-208 เมตร (Tangtrakarnpong and Vityakon, 2002) การใช้ที่ดินของพื้นที่นี้ประกอบด้วย ป่า ตั้งอยู่ในตำแหน่งสูงสุดของพื้นที่ และพื้นที่เกษตร ซึ่งประกอบด้วย ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ตั้งอยู่บนที่ดอน และนาข้าว (*Oryza sativa*) ตั้งอยู่ในตำแหน่งต่ำสุดของพื้นที่ (ภาพที่ 3.2, ภาพภาคผนวกที่ 9)

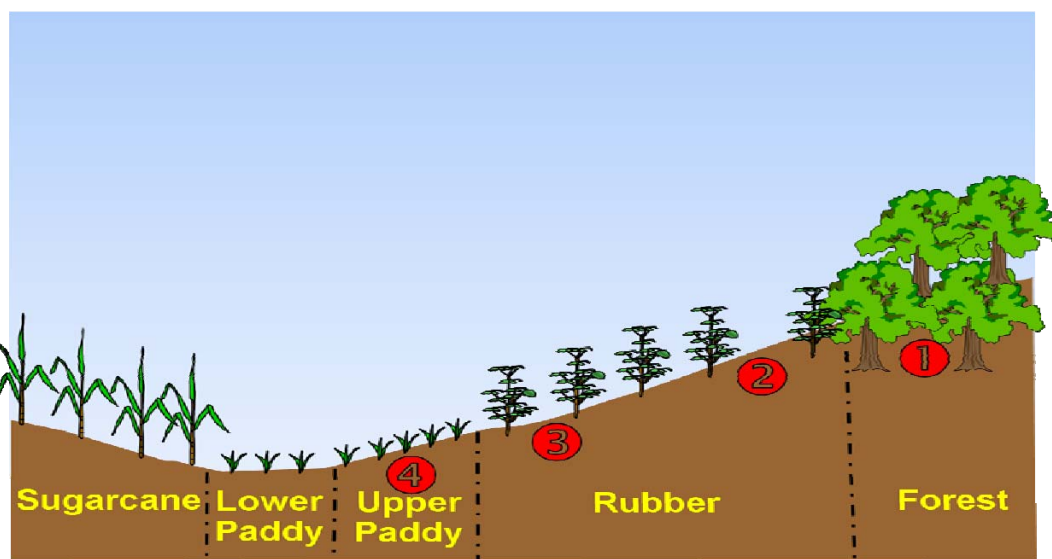
พืชพรรณในป่า ส่วนใหญ่เป็นไม้เต็งรัง เช่น พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*), เต็ง (*Shorea obtusa*), มะกอกเลื่อม (*Canarium kerrii*), และพืชตระกูลหญ้า เช่น หญ้าเพ็ก (*Arundinaria pusillia*) เป็นต้น

การพรรณนาหน้าตัดดินและการเก็บตัวอย่างดิน

ในการพรรณนาหน้าตัดดินใช้ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Geographic positioning system; GPS) เพื่อระบุตำแหน่งที่ตั้งของโปรไฟล์ดินที่ชัดเจนในการพรรณนาโปรไฟล์หรือหน้าตัดดิน (ภาพภาคผนวกที่ 9) กลุ่มน้ำขนาดเล็กที่ทำการศึกษแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ บริเวณสูงสุดของกลุ่มน้ำ (ป่า), บริเวณความสูงระดับกลางซึ่งเป็นที่ยอด (ยางพารา), และบริเวณที่ลุ่ม (นาข้าว) (ภาพที่ 3.2) ทำการพรรณนาหน้าตัดดินทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ ป่า (ตำแหน่งที่ 1), ที่ดอน (ตำแหน่งที่ 2), ที่ดอน (ตำแหน่งที่ 3), และนาข้าว (นาดอน) (ตำแหน่งที่ 4) (ภาพที่ 3.2) ทำการเทียบสีดินโดยใช้สมุดเทียบสีของมันเชล (Munsell's color chart) และหาเนื้อดินโดยใช้วิธี feel method (Brady, 1990) ประเมินเปอร์เซ็นต์รากโดยใช้วิธีประเมินด้วยสายตา (visual method) ทำการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละชั้นที่ได้ทำการจำแนกแล้วใส่ถุงพลาสติก เพื่อนำไปวิเคราะห์ pH และหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่อไป

การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

นำตัวอย่างดินไปผึ่งให้แห้งในสภาพห้อง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ pH และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนตามลำดับ โดยทำการวิเคราะห์ pH ด้วย pH meter โดยใช้สัดส่วนระหว่าง ดิน:น้ำ เป็น 1:2.5 และวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยใช้วิธีการสันดาปเปียกของ Walkley and Black (Anderson and Ingram, 1993)



ภาพที่ 3.2 ภาพตัดขวางของสภาพพื้นที่การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ลูกคลื่น ที่เป็นสถานที่ศึกษา อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น แสดงลักษณะการใช้ที่ดิน ตำแหน่งการทำ การพรรณนาโปรไฟล์ดินและเก็บตัวอย่างดิน 4 ตำแหน่ง

3.2.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มในพื้นที่ลูกคลื่นต่อการเคลื่อนที่ย้ายและเก็บกักคาร์บอนในดิน

ดินที่ศึกษาและเก็บตัวอย่างดิน

ชุดดินที่ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ดินเนื้อทรายชุดดินน้ำพอง (Ng series, loamy-Arenic Grossarenic Haplustalfs) ภาพหน้าตัดดินแสดงดังภาพที่ 3.3 เก็บตัวอย่างดินแบบไม่ทำลายโครงสร้างของดิน (undisturbed soil sample) โดยใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.3 เซนติเมตร ตอกลงไปตามหน้าตัดดิน (ภาพภาคผนวกที่ 10) โดยเก็บตัวอย่างดินจนถึงระดับความลึก 100 เซนติเมตร จากผิวหน้าดิน และเก็บตัวอย่างดินอีกส่วนหนึ่งเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้นของดินขณะนั้น ๆ ความหนาแน่นรวมของดิน และปริมาณความชื้นของดินที่ความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity, FC)



ภาพที่ 3.3 หน้าตัดดิน (soil profile) ชุดดินน้ำพอง (Ng series)

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 2 กรรมวิธี สำหรับการใส่ซากพืชจำนวน 2 ซ้ำ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ซากพืช 2) ใส่ไบโอบีโอสตในอัตรา 10 ตันต่อเฮกตาร์ โดยกรรมวิธี Control ไม่มีซ้ำ และกรรมวิธีที่ใส่ไบโอบีโอสต มี 2 ซ้ำ

การเตรียมหน่วยทดลอง

นำตัวอย่างหน้าตัดดินที่เก็บได้ในท่อ PVC มารองด้วยผ้าในส่วนด้านล่างของท่อ PVC แล้วปิดด้วยฝาพลาสติกอีกครั้งเพื่อป้องกันการหลุดร่วงของดิน หลังจากนั้นนำไปทำการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับศึกษาทำการทดลองดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การติดตั้งหน่วยทดลอง

การเตรียมตัวอย่างซากพืช

ซากพืชที่ใช้ในการทดลองคือใบแคสต (ภาพที่ 3.5) โดยเก็บใบแคสตแล้วนำมาทำการตัดเป็นท่อนเล็กๆ ให้มีขนาด 1 ตารางเซนติเมตร แบ่งตัวอย่างพืชส่วนหนึ่งเพื่อไปวัดหาปริมาณความชื้นที่แน่นอนโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เพื่อคำนวณหาปริมาณของน้ำหนักพืชที่ใส่ในดิน ปริมาณความชื้นของใบแคสตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.53 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 3.5 ใบแคสต ตัดให้มีขนาด 1 ตารางเซนติเมตร

การทดลองในท่อเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของคาร์บอนจากซากใบแค

(1) ปรับระดับความชื้นดินในท่อให้มีความชื้นระดับความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity, FC) โดยเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่อยๆ ใส่น้ำแล้วให้น้ำซึมลงสู่ชั้นดินล่าง โดยปล่อยให้ น้ำไหลในดินเป็นเวลา 7 วัน

(2) การใส่ใบแคสต โดยทำการโรยบนหน้าดิน แล้วทำการกลบลึกประมาณ 10 เซนติเมตร (ภาพที่ 3.6)

(3) การให้น้ำ ให้น้ำในทุกกรรมวิธีการทดลองเท่ากันทุกวัน ซึ่งการให้น้ำนั้นคิดเทียบจากฐานข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี คือปี พ.ศ. 2521 ถึง พ.ศ. 2551 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,237 มิลลิเมตร โดยกำหนดช่วงเวลาที่ทำการทดลองเป็น 3 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ปริมาณน้ำที่ให้น้ำในแต่ละวันจะคิดจากค่าปริมาณน้ำฝน 1,237 มิลลิเมตรต่อปี โดยใช้ช่วงวันที่เก็บตัวอย่างหารด้วยปริมาณน้ำฝนต่อปี ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาณน้ำที่ต้องเติมในแต่ละวันของแต่ละกรรมวิธี



ภาพที่ 3.6 การใส่โขไบแคสส และทำการคลุกให้เข้ากับดินความลึก 10 เซนติเมตร

การเก็บตัวอย่างดิน และซากพืช

ทำการเก็บตัวอย่างดินในท่อที่เวลา 3, 7, 14 และ 28 วันหลังใส่โขไบแคสส โดยใช้การวัดช่วงแต่ละชั้นด้วยตลับเมตรในชั้นหน้าตัดดินทุกๆ 10 เซนติเมตรจากผิวดิน รวมทั้งหมด 10 ชั้น ภายใน 100 เซนติเมตร ใส่ในภาชนะไว้ หลังจากนั้นแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 สำหรับนำไปวิเคราะห์หาความชื้นดินในแต่ละชั้นๆ ละ 2 ซ้ำ และส่วนที่ 2 สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนในดินในแต่ละชั้นๆ ละ 3 ซ้ำ และในส่วนดินบน (10 เซนติเมตรจากผิวดิน) ทำการแยกส่วนของซากพืชที่เหลือในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างดิน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C ชั่งและบันทึกน้ำหนัก

การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน และซากพืช

การวิเคราะห์คาร์บอนในดิน

นำดินตัวอย่างดินสดมาทำสกัดด้วยสารสกัด 1 M KCl ในอัตราส่วน 1:5 (ดิน: สารสกัด) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในสิ่งสกัดโดยวิธีการ wet oxidation ด้วย 0.5 N $K_2Cr_2O_7$ (Walkley and Black)

ความชื้นของดิน

ทำการวิเคราะห์หาความชื้นของดินตัวอย่างในแต่ละชั้น โดยไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C แล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่ได้ ซึ่งความชื้นดังกล่าวนำไปคำนวณหาปริมาณคาร์บอนในดิน

ปริมาณน้ำหนักรากของเศษซากพืชที่เหลือ

นำเอาซากใบแคสแตที่เหลือที่เวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน มาทำความสะอาดโดยกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ซากพืชออกไป แล้วนำซากที่เหลือไปทำการอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นระยะเวลา 3 วัน หลังจากนั้นชั่งและบันทึกน้ำหนักซากที่เหลือ และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance)) แบบ ANOVA ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีการทดลองโดยใช้วิธี Least Significant Difference (LSD) ค่า Standard Error of Mean (SEM) และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างปัจจัย โดยใช้โปรแกรม Statistix version 8.0 (Analytical software, 2003)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิจัยประกอบด้วยงานหลัก 2 เรื่องคือ 1. อิทธิพลของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ และอิทธิพลของการใช้ที่ดินในระบบการทำฟาร์มต่อการสลายตัว และ 2. การสะสม (การกักเก็บ) อินทรีย์วัตถุในดินเนื้อทราย

4.1 การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุ และการเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร

4.1.1 การศึกษาการสะสมและการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดิน ที่ได้รับอิทธิพลจากสารอินทรีย์ต่างคุณภาพในระยะยาว

4.1.1.1 การสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic carbon; SOC)

การสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน หมายถึงการประเมินปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (soil organic carbon-SOC) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน(soil organic nitrogen-SON) ที่เป็นองค์รวมที่ขนาดอนุภาค <1 มิลลิเมตร ผลการทดลองแสดงในผลงานการตีพิมพ์ของ Puttaso และคณะ (2011) (ภาคผนวกที่ 1) โดยมีผลการศึกษาโดยสรุปดังนี้

ปริมาณการสะสมของ C และ N ในดินที่เพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณ C และ N จากสารอินทรีย์ที่ใส่โดยเห็นได้จากผลของซากผสมระหว่างฟางข้าวกับซากถั่วลิสงซึ่งมีปริมาณของการสะสมของ C (7.6 t ha^{-1}) และ N (0.28 t ha^{-1}) สูงที่สุด (ข้อมูลไม่ได้แสดง) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่สารอินทรีย์เดี่ยวทั้ง 4 ชนิดจะเห็นว่าปริมาณของ C สูงที่สุดในดินที่ใส่ใบมะขาม รองลงมาคือ ซากถั่วลิสง ใบพลวงและฟางข้าว ทั้งนี้จากปริมาณของ C ในใบพลวงที่ใส่ในดินซึ่งสูงกว่าเมื่อเทียบกับใบมะขาม แต่พบว่าปริมาณที่สะสมในดินกลับต่ำกว่าเนื่องจากว่าปริมาณของ C บางส่วนของใบพลวงยังคงอยู่ในส่วนของเศษซากอินทรีย์ (soil litter) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งในดินที่ใส่ใบพลวงจะพบปริมาณของซากเหลือมากกว่าสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่ 52 สัปดาห์ (จากผลการศึกษา litter bag) ในขณะที่เดียวกันฟางข้าวมีปริมาณการสะสมของ C ต่ำที่สุดซึ่งสอดคล้องกับปริมาณที่ใส่ให้กับดินที่ต่ำที่สุดเช่นกันและนอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของเซลลูโลสมีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณของ C ในดินแสดงว่าสารอินทรีย์ที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงอาจทำให้มีปริมาณ C ที่สะสมในดินต่ำ ส่วนปริมาณ N ที่สะสมในดินจะพบว่าสูงที่สุดในดินที่ใส่ซากถั่วลิสง รองลงมาคือ ใบมะขามและต่ำที่สุดคือฟางข้าว ซึ่งปริมาณการสะสมของ N ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณ N จากสารอินทรีย์ที่ใส่ในดินเช่นกัน

นอกจากนี้ปริมาณการสะสมของ C ในดินยังขึ้นอยู่กับปริมาณของ C ที่สูญเสียไปในรูปของ CO_2 โดยจากผลการหาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเพิ่มขึ้นของ C ในดินกับ CO_2 สะสม

(cumulative CO₂) ($r = -0.869^{***}$) พบว่า ปริมาณของ CO₂ ที่ถูกปลดปล่อยสะสมมีสูงส่งผลให้มีปริมาณ C ที่คงเหลือและสะสมในดินต่ำ ซึ่งจะเห็นว่าในดินที่ใส่ใบมะขามมีการปริมาณ cumulative CO₂ ต่ำที่สุด (33% ของ C ที่ใส่) รองลงมาคือ ใบพลวง (41% ของ C ที่ใส่) ซึ่งเหตุผลดังกล่าวสนับสนุนผลของปริมาณของ C ในดินที่ใส่ใบมะขามซึ่งสูงกว่าดินที่ใส่ใบพลวง ส่วนซากถั่วลิสงมีปริมาณ cumulative CO₂ สูงที่สุด (91%) แต่มีปริมาณ C จากการใส่ปานกลาง จึงทำให้ปริมาณ C ที่สะสมในดินอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ส่วนฟางข้าวมีการสูญเสีย C ในรูป CO₂ 71% ของ C ที่ใส่ นับว่าสูงรองลงมาจากซากถั่วลิสง แต่กลับมีการสะสม C ต่ำที่สุด คาดว่าฟางข้าวมีการสูญเสีย C ในรูปสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (dissolved organic carbon) ด้วย โดยสรุปกล่าวได้ว่าปริมาณ C สะสมในดินขึ้นอยู่กับปริมาณการใส่และการสูญเสียในรูปของ CO₂ และรูปอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีปริมาณของซากสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในดินที่ 52 สัปดาห์โดยเฉพาะในดินที่ใส่ใบพลวงซึ่ง C ส่วนหนึ่งยังคงอยู่ใน soil litter (>1 มม) ซึ่งส่งผลให้ในดินที่ใส่ใบพลวงมีปริมาณของ C (< 1 มม) ที่เหลือในดินต่ำ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของ soil litter นี้จะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณ SOM ในดินทรายได้ Mapfumo et al. (2007) และ Vityakon et al. (2007) รายงานว่าสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่ำ (มีองค์ประกอบที่เป็นสารต้านทานการสลายตัวสูง) ส่งผลต่อการเพิ่ม particulate organic matter (POM) ในดินทราย จึงเป็นแหล่งของ C ในดินแหล่งหนึ่ง (Urquiga et al., 1998)

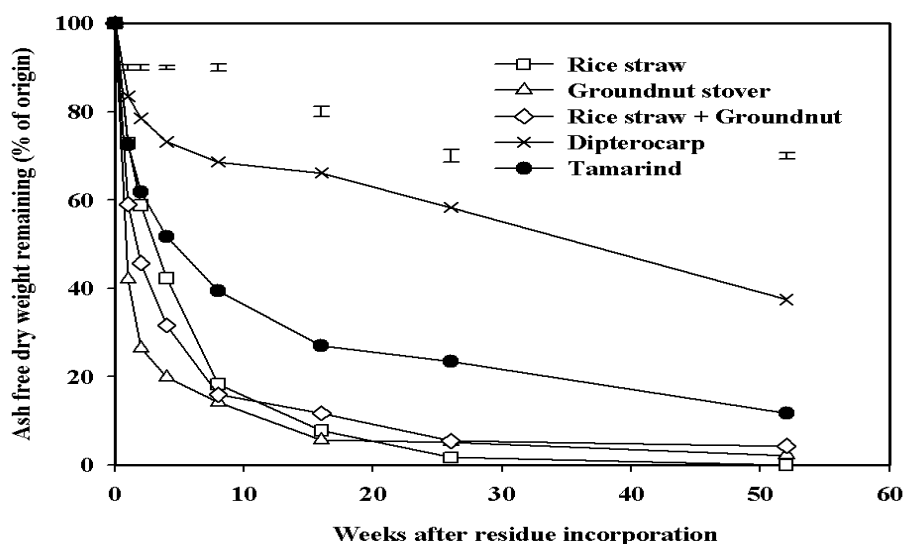
การสะสมของ C และ N ในดินส่งผลให้อัตราส่วนของ C/N ของดินลดลงในดินที่ใส่สารอินทรีย์เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ใส่สารอินทรีย์ โดยเฉพาะในดินที่ใส่สารอินทรีย์ที่มี N เป็นองค์ประกอบสูงเช่น ซากถั่วลิสงเช่นเดียวกับที่ Wang et al. (2007) พบว่าในดินที่ใส่สารอินทรีย์พวกตระกูลถั่วส่งผลให้เพิ่มปริมาณ N ทำให้อัตราส่วน C/N ของดินลดลง และนอกจากนี้มวลชีวภาพจุลินทรีย์ในดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่สะท้อนถึงคุณภาพของดินและเป็นตัวชี้วัดถึงแนวโน้มการสะสมของ SOM ในระยะยาว (Ocio et al., 1991)

4.1.1.2 การสลายตัวของสารอินทรีย์ (residue decomposition)

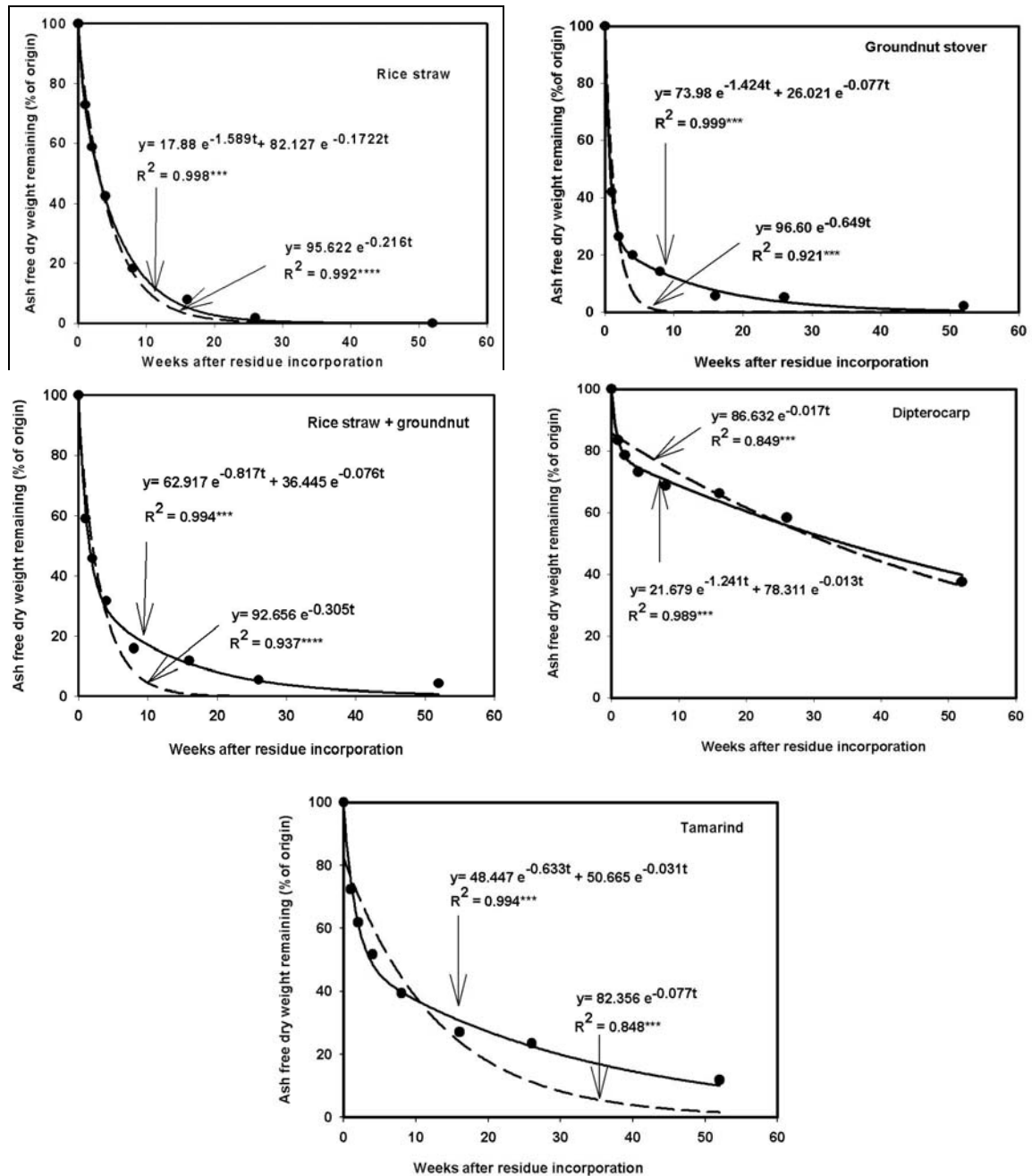
สารอินทรีย์ทุกชนิดมีอัตราการสลายตัว (decomposition rate, k) ที่สูง โดยน้ำหนักลดลงรวดเร็วในช่วง 4 สัปดาห์แรกหลังใส่สารอินทรีย์ ซากถั่วลิสงมีอัตราการสลายตัวโดยดูจากปริมาณของน้ำหนักสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่คิดเป็น 19 % ของน้ำหนักเริ่มต้น ในขณะที่ซากผสมระหว่างฟางข้าวกับซากถั่วลิสง ฟางข้าวและใบมะขามมีปริมาณน้ำหนักที่เหลืออยู่เท่ากับ 31.6%, 42.3% และ 51.7% ตามลำดับ ส่วนใบพลวงมีปริมาณการลดลงต่ำที่สุดโดยมีปริมาณน้ำหนักสารอินทรีย์ที่เหลือสูงที่สุด (73.2%) (ภาพที่ 4.1) ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-52 สัปดาห์พบว่าสารอินทรีย์ทุกชนิดมีรูปแบบการสลายตัวเหมือนกันโดยมีอัตราการสลายตัวลดลงเมื่อเทียบจากช่วง 4 สัปดาห์แรก และที่ 52 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์พบว่า ใบพลวง มะขาม ซากผสม และ

ซากถั่วลิสง มีปริมาณน้ำหนักรากที่เหลืออยู่จากน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 37.5%, 11.8%, 4.3% และ 2.2% ตามลำดับ แต่ไม่พบปริมาณของซากฟางข้าวเหลืออยู่เลย

เมื่อนำเอา double pool model มาใช้เพื่อทำนายอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดพบว่า อัตราการสลายตัวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง (ภาพที่ 4.2) คือ ช่วงที่ 1 มีอัตราการสลายตัวเร็ว (k_1) โดยในช่วงแรกดินที่ใส่ฟางข้าวมีอัตราการสลายตัวสูงที่สุด รองลงมาคือ ซากถั่วลิสง มะขามและใบพลวง ส่วนช่วงที่ 2 มีอัตราการสลายตัวลดลง (k_2) เมื่อเทียบจากช่วงแรก ซึ่งในช่วงนี้ใบพลวงมีอัตราการสลายตัวต่ำที่สุดและสูงที่สุดคือ ฟางข้าว น้ำหนักแห้งซากสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่มีสหสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณของไนโตรเจน (N) เริ่มต้นของสารอินทรีย์ โดยเฉพาะช่วง 4 สัปดาห์แรก (r มีค่าระหว่าง -0.745** ถึง -0.899****) และมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N) ปริมาณลิกนิน (lignin) และโพลีฟีนอล (polyphenol) ส่วนในช่วง 8-52 สัปดาห์พบว่าปริมาณน้ำหนักรากที่เหลืออยู่มีสหสัมพันธ์สูงในทางบวกกับปริมาณคาร์บอน (C) ลิกนิน โพลีฟีนอล และอัตราส่วนระหว่างลิกนินและโพลีฟีนอลต่อไนโตรเจน (r มีค่าระหว่าง 0.905** ถึง 0.989****) (ข้อมูลไม่ได้แสดง) เช่นเดียวกับอัตราการสลายตัวโดยรวม (ตลอด 52 สัปดาห์) (k) ที่พบว่า มีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับ N แต่มีสหสัมพันธ์ในทางลบกับ C, C/N, lignin, polyphenol และอัตราส่วนระหว่าง lignin และโพลีฟีนอลกับ N (r มีค่าระหว่าง -0.502 ถึง -0.648*) นอกจากนี้อัตราการสลายตัวในช่วงหลัง (ค่า k_2) มีสหสัมพันธ์ในทางลบกับ C, lignin, polyphenol (r มีค่าระหว่าง -0.814** ถึง -0.930****) แต่ทั้ง k_1 และ k_2 มีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณเซลลูโลส (cellulose) ของสารอินทรีย์ (ตารางที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 น้ำหนักแห้งที่ปราศจากเถ้า(% ของน้ำหนักเริ่มต้น) ในถุงตาข่าย (litter bags) ในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน
เส้นตรงในแนวดิ่งคือ standard error of the differences between mean (SED).



ภาพที่ 4.2 น้ำหนักแห้งที่ปราศจากเถ้า (%ของน้ำหนักเริ่มต้น) ของสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน ในช่วงเวลาต่างๆ หลังจากที่ดินได้รับสารอินทรีย์ เส้นประแสดงถึงรูปแบบการสลายตัวโดยใช้สมการ single pool model
เส้นทึบแสดงผลที่ได้จากการใช้สมการ double pool model.

ตารางที่ 4.1 สมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์กับอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์, อินทรีย์คาร์บอน (SOC), อินทรีย์ไนโตรเจน (SON) และอัตราส่วนระหว่างอินทรีย์คาร์บอนกับไนโตรเจนทั้งหมด (C/N ratio) ของดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างๆ ในสัปดาห์ที่ 52

Parameters	C	N	C/N	^{1/} L	^{2/} Pp	L/N	Pp/N	L+Pp/N	Cellulose
Decomposition rate (<i>k</i>) ^{3/}	-0.616*	0.795**	-0.642*	-0.502	-0.648*	-0.624*	-0.634*	0.632*	0.212
Decomposition rate ^{4/}									
- <i>k</i> ₁	-0.609*	-0.147	0.378	-0.310	-0.374	-0.024	-0.083	-0.071	0.698*
- <i>k</i> ₂	-0.930****	-0.206	0.246	-0.845***	-0.814**	-0.551	-0.601*	-0.591*	0.747**
Soil properties (52 weeks)									
- Soil organic C	0.629*	0.468	-0.616*	0.396	0.385	0.013	0.076	0.063	-0.915***
- Soil organic N	0.080	0.630*	-0.606*	0.046	-0.044	-0.211	-0.185	-0.190	-0.582*
- Soil C/N ratio	0.050	-0.298	0.198	0.224	0.295	0.232	0.245	0.242	-0.012

^{1/}L = Lignin, ^{2/}Pp = Polyphenol, ^{3/}k value was expressed by the first order kinetic model (Olson, 1963), ^{4/}k₁ and k₂ were fitted to a double exponential equation (2 pools model).

*, **, ***, **** = significantly different at *p* < 0.05, 0.01, 0.001, 0.0001

4.1.1.3 การศึกษาการกระจายตัวของเม็ดดิน (water stable aggregate size distribution)

ขนาดของเม็ดดินใช้ค่า mean weight diameter (MWD) เป็นดัชนีในการเปรียบเทียบ ผลการศึกษาของดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่อเนื่องเป็นปีที่ 10 พบว่า ค่า MWD ของการทดลองนี้อยู่ในช่วง 0.25-0.44 มิลลิเมตร จัดว่ามีขนาดเล็กมาก (<0.5 มิลลิเมตร) เนื่องจากการเชื่อมโดยอนุภาคดินเหนียว (clay) มีน้อยเพราะมี clay ต่ำ (ตารางที่ 4.2) มาตรฐานขนาดของ MWD ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช คือ > 0.5 มิลลิเมตร โดย Rynasiewicz (1995) อ้างตาม สมญา, 2545 กล่าวว่า MWD ที่มีขนาด > 0.5 มิลลิเมตร จะมีสหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างยิ่งกับผลผลิตของหัวหอม ($r = 0.99$) กล่าวคือ เมื่อดินมี MWD ขนาด > 0.5 มิลลิเมตร ปริมาณมากจะทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามค่า MWD ในการศึกษาครั้งนี้มากกว่าค่า 0.2 มิลลิเมตร ที่รายงานในดินที่ปลูกมันสำปะหลังและอ้อยในงานเดียวกันนี้ (Tangtrakarnpong, 2002) ค่า MWD เฉลี่ยที่สูงในกรรมวิธีไบโมะขามร่วงนั้น เป็นผลมาจากการกระจายขนาดเม็ดดิน กล่าวคือกรรมวิธีไบโมะขามร่วงมีปริมาณ small macroaggregate (SMA) สูงที่สุด (50.9%) ตามมาด้วยซากถั่วลิสง (45.3%) นอกจากนี้ซากอินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้ยังเพิ่มปริมาณ SMA ได้อย่างสูงที่สุด (21.5 และ 15.9%, ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับกรรมวิธี control อีกด้วย (ตารางที่ 4.2)

ส่วนปริมาณ (น้ำหนัก) สัมพัทธ์ของเม็ดดินขนาดเล็ก หรือ microaggregate (Mi) (0.106-0.25 มม.) (เทียบกับกรรมวิธี control) ของกรรมวิธีไบโมะขามร่วงลดลง (13.8%) มากกว่าของกรรมวิธีซากถั่วลิสง ที่ลดลงเพียง 4.7% อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.2) แสดงว่า Mi ที่เชื่อมตัวเข้าด้วยกันเป็น SMA มีเป็นปริมาณมากในกรรมวิธีไบโมะขามร่วง กว่าในกรรมวิธีซากถั่วลิสง ผลนี้เป็นไปตามทฤษฎีลำดับขั้นของการเกิดเม็ดดิน (hierarchical theory of aggregate formation) ของ Tisdall และ Oades (1982) ซึ่งเสนอว่าเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggregates) เกิดจากเม็ดดินขนาดเล็ก (Mi) ถูกเชื่อมเข้าด้วยกันโดยมีสารเชื่อม (cementing agent) ส่วนกรรมวิธีฟางข้าวมีปริมาณสัมพัทธ์ Mi ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกรรมวิธี control (12.1 %) แต่ปริมาณ SMA กลับไม่เพิ่มขึ้นมากเท่ากรรมวิธีที่ได้รับสารอินทรีย์อื่น ๆ นอกจากกรรมวิธีไบพลวง ผลนี้ชี้ให้เห็นว่ากรรมวิธีฟางข้าวอาจยังมีเม็ดดินและอนุภาคดินอยู่ในขนาดเล็กกว่า 0.106 มิลลิเมตร ดังเห็นได้จากค่าผลรวมของเม็ดดินทั้งหมด (ขนาด >0.106 มิลลิเมตร) เพียง 67% ซึ่งต่ำกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ (ตารางที่ 4.2)

กรรมวิธีซากถั่วลิสง ไบโมะขามร่วงและไบพลวงร่วง มีปริมาณเม็ดดินทั้งหมดที่ >0.106 มิลลิเมตร มากกว่าในกรรมวิธีฟางข้าวซึ่งมีใกล้เคียงกับกรรมวิธี control (ตารางที่ 4.2) ผลนี้แสดงว่าซากถั่วลิสง ไบโมะขามร่วงและไบพลวงร่วงทำให้เกิดการสร้างเม็ดดิน แต่ซากฟางข้าวไม่

เอื้อให้เกิดการสร้างเม็ดดินเพิ่มมากขึ้นกว่ากรรมวิธี control ผลวิจัยนี้เน้นให้เห็นอิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีของซากพืชที่มีต่อการเกิดเม็ดดินและการกระจายตัวของเม็ดดินขนาดต่าง ๆ

กรรมวิธีไบพลวงร่วงมีการลดลงของ Mi น้อยที่สุด (1.5%) และมีการเพิ่มขึ้นของ SMa น้อยที่สุด (4.5%) เช่นกัน เมื่อเทียบกับกรรมวิธี control อย่างไรก็ตามซากไบพลวงร่วงตามมาด้วยซากใบมะขามร่วง มีปริมาณ LMa (large macroaggregates) มากที่สุด และมีการเพิ่มของเม็ดดินขนาดนี้เมื่อเทียบกับกรรมวิธี control สูงที่สุดด้วย (ตารางที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าซากอินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถสูงที่สุดและสูงรองลงมาในการทำให้เกิดการสร้าง LMa ซากพืชทั้งสองมีปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลส์ที่สูง ซึ่งน่าจะเป็นปัจจัยทำให้เกิดการสร้าง LMa โดยอาศัยกลไก 2 ชนิดด้วยกัน คือ การที่โพลีฟีนอลส์เหนียวน้ำให้เกิดประชากรเชื้อราขึ้น เส้นใยของเชื้อรา ซึ่งจัดว่าเป็นสารผูกเชื่อมแบบชั่วคราว (temporary binding agent) (Tisdall and Oades, 1982) ทำการเชื่อม Mi ทำให้เกิดเป็น LMa อีกกลไกหนึ่งคือ การเกิดสารฮิวมิกจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่มีลิกนินและโพลีฟีนอลส์เป็นองค์ประกอบมาก สารฮิวมิกจัดเป็นสารเชื่อมที่คงทนถาวร (permanent binding agent) ส่วนกรรมวิธีฟางข้าวมีปริมาณ LMa ต่ำรวมทั้งการเพิ่มขึ้นเหนือกรรมวิธี control ก็ต่ำที่สุดด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดินที่คงทนต่อการร่อนในน้ำ (water stable aggregates) ที่ได้รับอิทธิพลจากสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ

กรรมวิธีทดลอง	MWD (mm)	ปริมาณเม็ดดินที่ขนาดต่าง ๆ (% w/w) ^{a/} (การเปลี่ยนแปลงปริมาณเม็ดดินสัมพันธ์กับกรรมวิธี control- % w/w) ^{b/}			
		Large macroaggregate (LMa) (≥ 2 mm)	Small macroaggregate (SMa) (0.25-2 mm)	Microaggregate (Mi) (0.106-0.25 mm)	Total aggregates (0.106 -≥ 2 mm)
Control	0.25 d	0.3 b (na) ^{c/}	29.4 c (na) ^{c/}	39.4 a (na) ^{c/}	69.1cd (na) ^{c/}
ฟางข้าว	0.35 c	1.1 ab (0.87 A)	38.5 b (9.1 BC)	27.3 c (- 12.1 B)	66.9 d (-2.2 B)
ซากถั่วลิสง	0.49 a	1.4 ab (1.12 A)	45.3 a (15.9 AB)	34.5 b (- 4.7 A)	81.2 a (12.1 A)
ไบพลวงร่วง	0.37 c	2.1 a (1.85 A)	33.9 bc (4.5 C)	38.0 ab (- 1.5 A)	74.0bc(4.9AB)
ใบมะขามร่วง	0.44 b	1.9 a (1.66 A)	50.9 a (21.5 A)	25.6 c (- 13.8 B)	78.4ab (9.3 A)

^{a/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($|p| \leq 0.05$, LSD)

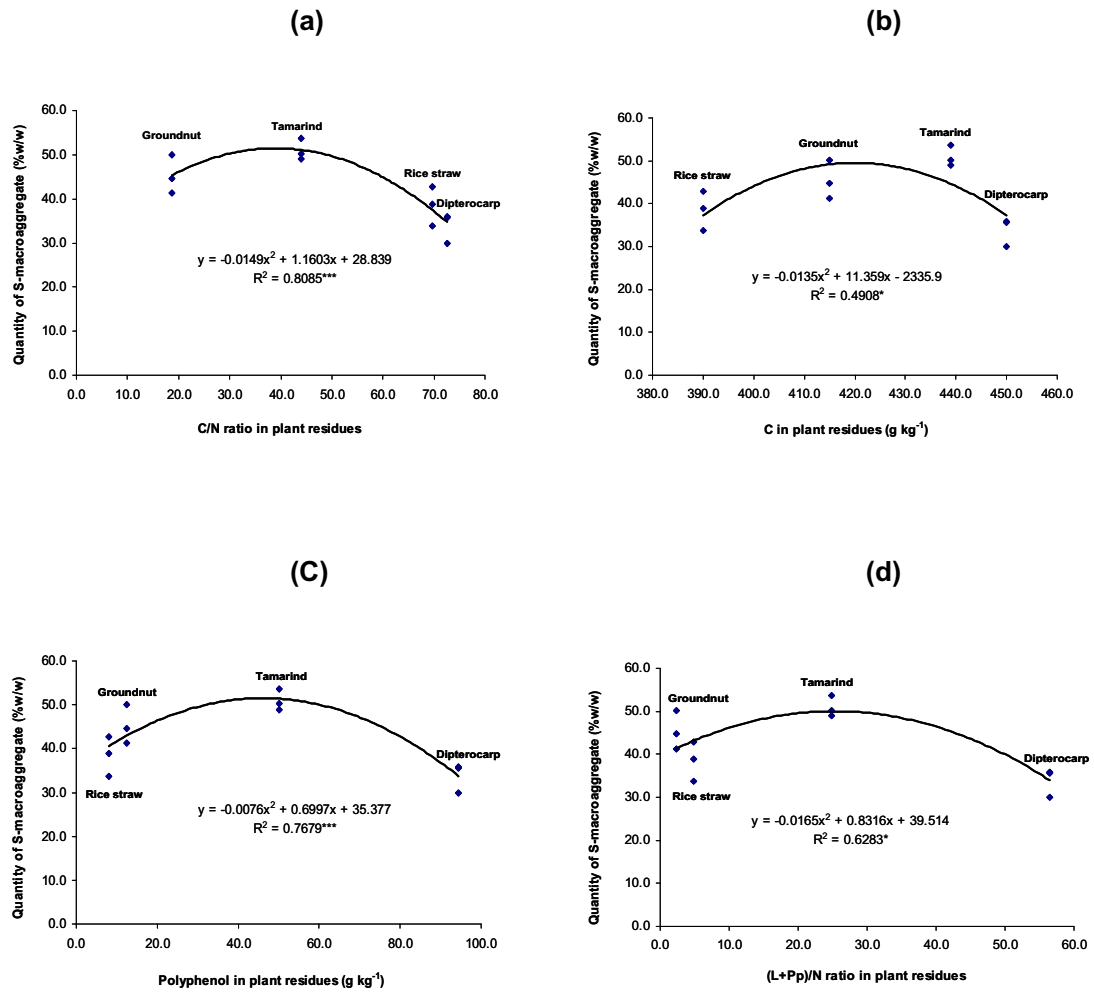
^{b/} ค่าเฉลี่ยในวงเล็บในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($|p| \leq 0.05$, LSD)

^{c/} na = not applicable

MWD มีสหสัมพันธ์ที่สูงและมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วน C/N ($r = -0.90$, $|p| < 0.001$) และ ปริมาณ N ($r = 0.86$, $|p| < 0.001$) ในซากพืช ดังนั้นซากอินทรีย์ที่มีอัตราส่วน C/N ต่ำถึงปานกลาง และมี N ปานกลางถึงสูง ในการศึกษาครั้งนี้คือ ซากถั่วลิสงและใบมะขามร่วง ทำให้ได้ค่า MWD ที่สูง เนื่องจากการเกิด SMA

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ SMA กับองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์สามารถพิเคราะห์กับสมการเส้นโค้ง (ภาพที่ 4.3) ตามฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์โพลีโนเมียล เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ SMA กับ C/N (ภาพที่ 4.3 a), และ N ($R^2 = 0.69$, $|p| < 0.01$) ในซากพืช และกับองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของซากพืชได้แก่ C (ภาพที่ 4.3 b), ลิกนิน ($R^2 = 0.82$, $|p| < 0.001$), โพลีฟีนอลส์ (ภาพที่ 4.3 c), อัตราส่วนลิกนิน/ N ($R^2 = 0.64$, $|p| < 0.01$), โพลีฟีนอลส์/ N ($R^2 = 0.60$, $|p| < 0.05$) และ (ลิกนิน+โพลีฟีนอลส์)/ N (ภาพที่ 4.3 d) ผลนี้แสดงให้เห็นว่าซากอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติปานกลาง กล่าวคือมีองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้อยู่ในระดับปานกลาง ได้แก่ ใบมะขามร่วง ทำให้เกิด SMA ปริมาณมากส่งผลให้มี MWD ที่มีค่าสูงจากค่าสมการโพลีโนเมียลในภาพที่ 4.3 ทำให้หาค่าวิกฤตของตัวชี้วัดองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิด SMA เป็นปริมาณสูงสุด (50-60% น้ำหนักดิน) ได้ (ตารางที่ 4.3) ในบรรดาค่าตัวชี้วัดคุณภาพของสารอินทรีย์เหล่านี้ ยกเว้น N และลิกนิน กรรมวิธีใบมะขามร่วงมีค่าเหล่านี้ที่ทำให้เกิดการสร้าง SMA ในปริมาณสูงสุด สำหรับซากถั่วลิสงมี N สูงกว่าค่าวิกฤตซึ่งไม่เอื้อให้เกิดการสร้าง SMA ปริมาณมากได้ ได้มีการศึกษาที่ให้ผลว่า ปริมาณ N อินทรีย์ที่มากในดินจะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งลดปริมาณสารที่มาจากมัดหรือเชื่อมให้เกิดเม็ดดิน คือเส้นใยเชื้อรา (mycelia) (Bossuyt et al., 2001) นอกจากนี้ซากถั่วลิสงมีสารต้านทานการย่อยสลายน้อยกว่า ในขณะที่ใบพลวงร่วงมี N น้อยกว่าค่าวิกฤต ทำให้ไม่เอื้อต่อการสร้าง SMA สำหรับฟางข้าวมีทั้งสารประกอบที่ต้านทานการย่อยสลายและ N น้อยกว่าค่าวิกฤต ทำให้มีปริมาณ SMA ต่ำ



ภาพที่ 4.3 ไตอะแกรมของความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง (polynomial relations) ระหว่าง small macroaggregates กับค่าตัวชี้วัดคุณภาพสารอินทรีย์: C/N (a), C (b), โพลีฟีนอลส์ (c), และ (ลิกนิน+โพลีฟีนอลส์)/ N (d).

ตารางที่ 4.3 ค่าวิกฤตของตัวชี้วัดองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ที่จะทำให้เกิดปริมาณ small macroaggregate เป็นปริมาณสูงสุด (50-60% น้ำหนักดิน)

ตัวชี้วัดองค์ประกอบทางเคมี สารอินทรีย์	ปริมาณ S _{Ma} สูงสุด (%) น้ำหนักดิน)	ค่าวิกฤต
C	50	422 g kg ⁻¹
N	55	16 g kg ⁻¹
C/N	50	43
Lignin	58	130 g kg ⁻¹
Polyphenols	51	50 g kg ⁻¹
Lignin/ N	50	20
Polyphenols/ N	50	6
(Lignin+polyphenols)/ N	50	25

นอกจากนี้ กรรมวิธีไบโมาซารวมมี L_{Ma} เป็นปริมาณสูงเป็นที่ยอมรับจากกรรมวิธีไบพลวงร่วม (แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ) ซึ่งให้เห็นว่าสารอินทรีย์ที่ต้านทานการย่อยสลายอย่างสูงเอื้อให้เกิดการสร้าง L_{Ma} เห็นได้จากสหสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างปริมาณ L_{Ma} กับลิกนิน ($r = 0.53$, $|p| < 0.08$), โพลีฟีนอลส์ ($r = 0.50$, $|p| < 0.09$) สำหรับไบพลวงร่วมได้ผลที่แตกต่างจากไบโมาซารวม ในด้านที่ว่าถึงแม้ไบพลวงร่วมทำให้ได้มีปริมาณ L_{Ma} มากแต่ไม่ได้ทำให้ได้ MWD ที่สูง เนื่องจากไบพลวงร่วมมี C/N ที่สูงกว่าและมี N ที่ต่ำกว่าค่าวิกฤต ซึ่งไม่เอื้อต่อการเกิด S_{Ma} ในปริมาณที่สูง งานวิจัยช่วงต่อมา (ปีที่ 13) ของการศึกษานินทรีย์วัตถุระยะยาวเดียวกันนี้ พบว่าการสะสม SOC ขึ้นอยู่กับคุณภาพสารอินทรีย์ ที่ให้สารอาหารที่มีพลังงานสูงแก่จุลินทรีย์ ได้แก่ การมีสารประกอบ N และสารประกอบที่ต้านทานการย่อยสลายในปริมาณที่เพียงพอ (Puttaso et al., 2011)

4.1.1.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของคุณภาพสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงของส่วนที่เสถียรของอินทรีย์วัตถุ (stable pool of SOM)

สารฮิวมิกจัดเป็นอินทรีย์วัตถุส่วนที่เสถียรหรือมีความคงทน สามารถอยู่ในดินได้อย่างยาวนานในดินไรคาร์บอน (C) ในสารฮิวมิก (humic substances) ของดินที่ได้รับกรรมวิธีทดลองสารอินทรีย์คุณภาพต่าง ๆ มีแนวโน้มตอบสนองต่อกรรมวิธีทดลองคล้ายปริมาณสารฮิวมิก กล่าวคือ มีต่ำที่สุดในกรรมวิธีที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ และมีต่ำในกรรมวิธีฟางข้าว และสูงที่สุดในไบพลวงร่วม (ตารางที่ 4.4) กรดฮิวมิก (humic acid) มีแนวโน้มตอบสนองต่อกรรมวิธีทดลองในทางเดียวกันกับสารฮิวมิก ซึ่งสามารถอธิบายผลได้ว่าสารอินทรีย์ที่สลายตัวยาก มักมีการ

สะสมสารฮิวมิกมากกว่าสารอินทรีย์ที่สลายตัวง่ายกว่า ซึ่งลิกนินเป็นองค์ประกอบที่มีมากในสารอินทรีย์ที่สลายตัวยาก และลิกนินเป็นสารตั้งต้นของการสร้างสารฮิวมิก ส่วนกรดฟัลวิก (fulvic acid) ในดินไร้มีปริมาณน้อยกว่ากรดฮิวมิก ทำให้อัตราส่วน HA-C/FA-C มากกว่า 1 (ตารางที่ 4.4) กรดฮิวมิกเป็นองค์ประกอบของสารฮิวมิกที่มีพัฒนา การของกระบวนการ humification ไปสูงกว่ากรดฟัลวิก นั่นคือมีโมเลกุลที่ใหญ่กว่าและมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า, มีวงแหวนอะโรมาติกมากกว่าและมีการเกิด condensation ของโครงสร้างมากกว่ากรดฟัลวิก ดังนั้นการที่ดินไร้มีกรดฮิวมิกมากกว่ากรดฟัลวิกแสดงถึงพัฒนาการของการสร้างสารฮิวมิกว่าไม่ได้อยู่ในระดับเริ่มต้น

ตารางที่ 4.4 ปริมาณคาร์บอนในสารฮิวมิกในดินที่ได้รับสารอินทรีย์คุณภาพต่าง ๆ ที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร ในสภาพไร่ ในปลายปีที่ 5 ของการทดลองระยะยาว

Organic residues	C in humic substance ^{1/, 3/}	C in humic acid ^{1/}	C in fulvic acid ^{1/}	C in humic substance ^{1/}	HA-C/FA-C ratio ^{1/}
	(g C kg ⁻¹ soil)	(g C kg ⁻¹ soil)	(g C kg ⁻¹ soil)	(% total C)	
No addition	1.13 ± 0.06	0.96 ± 0.07	0.18 ± 0.05	81.5 ± 6.2	5.92 ± 2.39
Rice straw	1.60 ± 0.20	1.22 ± 0.15	0.38 ± 0.28	93.5 ± 25.1	4.48 ± 2.59
Groundnut stover	1.66 ± 0.15	1.51 ± 0.15 ^{2/}	0.09 ± 0.01 ^{2/}	77.6 ± 9.3	12.47 ± 9.81
Rice straw+ groundnut stover	2.03 ± 0.06	1.53 ± 0.12	0.50 ± 0.11	68.0 ± 7.2	3.20 ± 0.90
Dipterocarp	2.06 ± 0.06	1.61 ± 0.17	0.45 ± 0.13	101.0 ± 6.2	3.85 ± 1.59
Tamarind	2.01 ± 0.32	1.55 ± 0.16	0.65 ± 0.44 ^{2/}	76.8 ± 17.7	3.15 ± 2.45 ^{2/}

^{1/} Values following the ± sign are standard deviation (n =3 unless otherwise specified.)

^{2/} n = 2

^{3/} C in humic substance = C in humic acid + C in fulvic

4.1.1.5 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน: ความหนาแน่นรวม (bulk density) การแทรกซึมน้ำของดิน (infiltration) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเชิงประสิทธิผล (ECEC)

การใส่สารอินทรีย์ต่างชนิดทำให้ความหนาแน่นรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธี control ในปลายปีที่ 13 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.5) ความหนาแน่นรวมมีสหสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วน C/N ($r = 0.71^*$) และมีสหสัมพันธ์ทางลบกับ N ($r = -0.69^*$) ของสารอินทรีย์ แสดงว่าสารอินทรีย์ที่มี C/N สูง ทำให้ค่าความ

หนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น (ดังเห็นได้จากกรรมวิธีฟางข้าวและไบพลวงร่วง) ในขณะที่สารอินทรีย์ที่มีระดับ N สูงทำให้ความหนาแน่นรวมลดลง ความหนาแน่นรวมมีสหสัมพันธ์ในทางลบกับ SOC ($R^2 = 0.49^{**}$) การที่ปริมาณเม็ดดินของกรรมวิธีซากถั่วลิสงและไบพลวงร่วงมีสูงกว่าฟางข้าว ทำให้ความหนาแน่นรวมของสองกรรมวิธีทดลองแรกลดลงมากกว่ากรรมวิธีหลัง (ฟางข้าว) ในทางตรงกันข้ามในกรรมวิธีไบพลวงร่วงซึ่งมีเม็ดดินที่มี MWD ค่าสูง แต่ไม่ได้ทำให้ความหนาแน่นรวมลดลงต่ำกว่ากรรมวิธีฟางข้าว (ตารางที่ 4.5) เพราะกรรมวิธีไบพลวงร่วงมี LMa (>2 มม.) เป็นปริมาณมากที่สุด แต่มี Mi (0.053-0.25 มม.) เป็นปริมาณต่ำที่สุดในบรรดากรรมวิธีที่ได้รับสารอินทรีย์ต่าง ๆ (อรรถนพ พุทธโส การติดต่อบริษัท) การที่ความหนาแน่นรวมลดลงอาจเป็นผลมาจากการเกิด Mi ซึ่งมีปริมาณถึง 60% ของน้ำหนักดินแห้ง ในขณะที่ LMa มีปริมาณเพียง <2.5% (อรรถนพ พุทธโส การติดต่อบริษัท) ถึงแม้ว่าผลการศึกษาของเราชี้ให้เห็นว่าการที่ความหนาแน่นรวมลดลงสอดคล้องกับ MWD เห็นได้จากสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความหนาแน่นรวมและ MWD ($R^2 = 0.42^{**}$) ผลนี้ชี้ให้เห็นถึงบทบาทของ Mi ในการลดความหนาแน่นดิน

อัตราการซาบซึมน้ำ (infiltration rates-IR) มี 2 ระยะ คือ ระยะแรก (initial stage) ซึ่งมีอัตราสูง และระยะหลัง (later stage) ซึ่งมีอัตราต่ำ (เข้าสู่สภาพคงตัวหรือ steady state) (ภาพที่ 4.4) การใส่สารอินทรีย์ให้ดินอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 13 ปี เพิ่มอัตราการซาบซึมน้ำในระยะแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธี control (ตารางที่ 4.4) IR ในระยะแรกสูงที่สุดในกรรมวิธีฟางข้าว ตามมาด้วยกรรมวิธีไบมะขามร่วง ซากถั่วลิสงและไบพลวงร่วง IR ระยะแรกมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ SOC ($R^2 = 0.29^*$) แต่มีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูงยิ่ง ($R^2 = 0.82^{***}$) เมื่อตัดฟางข้าวออกไป แสดงว่าในกรรมวิธีที่ได้รับสารอินทรีย์ช่วยเพิ่ม SOC ในดินชั้นบน ซึ่งปรับปรุงโครงสร้างดินจากการเพิ่มการเกิดเม็ดดินเห็นได้จากค่า MWD ที่เพิ่มขึ้น และความหนาแน่นรวมที่ลดลง ฟางข้าวให้ผลที่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์อื่น ๆ เพราะให้ค่า IR ระยะแรกที่สูง ทั้ง ๆ ที่มี SOC ต่ำ ผลนี้อาจเนื่องมาจากกรรมวิธีฟางข้าวให้ปริมาณ Mi สูงที่สุด (Puttaso, 2011 Thesis) ในกรรมวิธีที่ได้กับสารอินทรีย์ Mi อาจทำให้มีการกระจายของรูดินขนาดต่าง ๆ และความต่อเนื่องของรูดินดีขึ้น ผลของอัตราการแทรกซึมที่สูงในช่วงแรก และลดลงในช่วงหลังจนกระทั่งมีอัตราการแทรกซึมเริ่มเข้าใกล้ศูนย์ เหตุผลส่วนหนึ่งนอกเหนือจากการใส่สารอินทรีย์แล้วอัตราการแทรกซึมของน้ำยังสัมพันธ์ไปกับเนื้อดิน โดยการวัดค่าการแทรกซึมของน้ำในดินเป็นเวลาทั้งหมด 120 นาที จะเห็นว่าน้ำจะแทรกซึมผ่านสู่ดินตลอดทั้งหน้าตัดดินแต่ที่พบว่าอัตราการแทรกซึมเร็วในช่วงแรก และช้าในช่วงหลัง เพราะว่าดินที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร นั้นมีเนื้อดินอยู่ในกลุ่มเนื้อดินทรายทำให้น้ำสามารถแทรกซึมเข้าสู่ดินได้ดีเมื่อเทียบกับดินที่มีเนื้อดินเหนียว ส่วนในช่วงหลังที่ไหลช้าเพราะว่า ชั้นดินที่ความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร นั้นเนื้อดินจะมีความเหนียว หรือ เปอร์เซ็นต์อนุภาคดินเหนียวเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้น้ำไหลผ่านในชั้นดังกล่าวช้าเมื่อเทียบกับช่วงแรก (ภาพที่ 4.4)

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนาแน่นรวมของดินหลังจากใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกันในปี
สัปดาห์ที่ 52 (การทดลองปีที่ 14)

Treatments	Bulk density* (g cm ⁻³)	Infiltration rates (cm min ⁻¹)	
		Initial stage	Later stage
Control (no residue addition)	1.61 a*	0.968 c	0.011
Rice straw	1.57 b	2.866 a	0.017
Groundnut stover	1.55 b	1.542 bc	0.009
Dipterocarp	1.58 ab	1.965 ab	0.019
Tamarind	1.56 b	2.359 ab	0.112
	0.02*	0.375**	0.027 ns

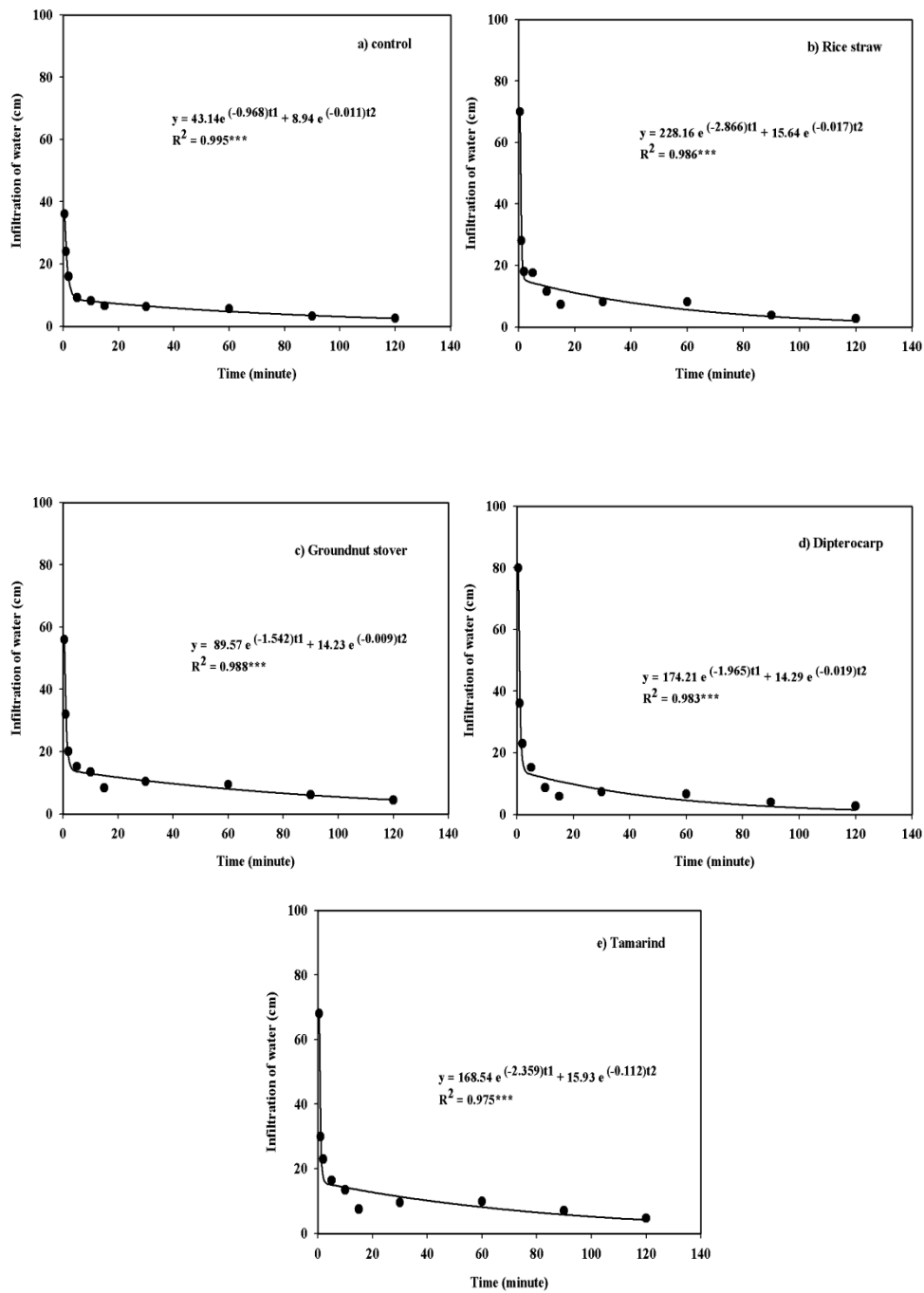
*ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($|p| \leq 0.05, 0.01$, SED = standard error of the difference between means)

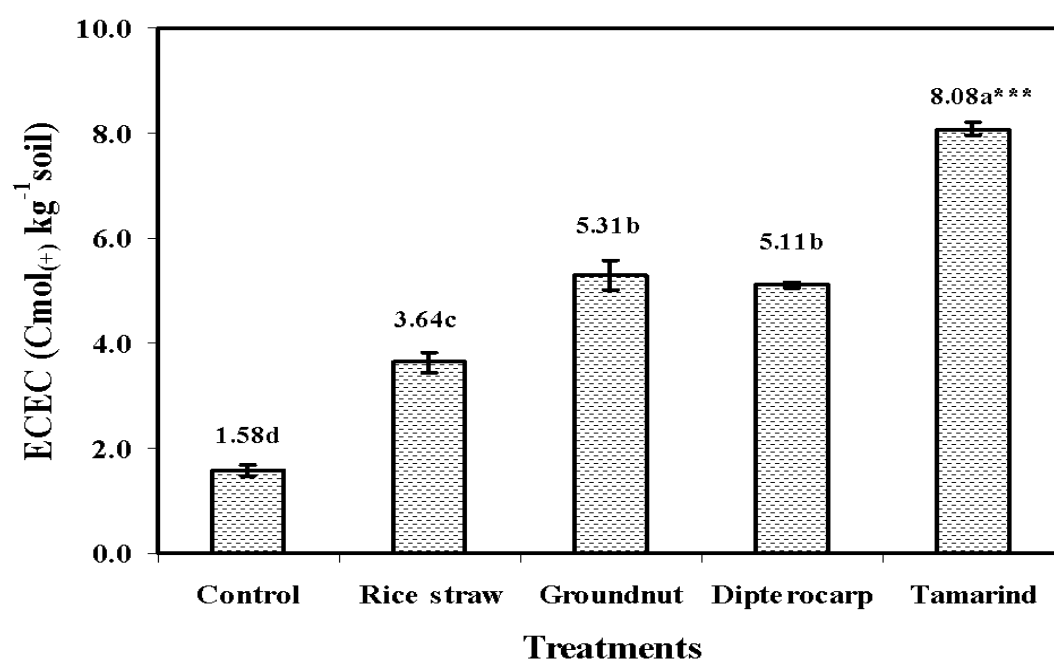
ns = not significantly different at $|p| \leq 0.05$

ค่า ECEC ของดินในช่วงปลายปีที่ 13 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($|p| \leq 0.001$) ในกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์เมื่อเทียบกับกรรมวิธี control (1.6 cmol kg⁻¹) (ภาพที่ 4.5) ECEC มีค่าสูงที่สุดในกรรมวิธีใบมะขามร่วง (8.1 cmol kg⁻¹) ตามมาด้วยกรรมวิธีซากถั่วลิสง และใบพลวงร่วง ในขณะที่ ECEC มีค่าต่ำที่สุดในกรรมวิธีฟางข้าว องค์ประกอบทางเคมีของซากอินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการเพิ่ม ECEC เราพบว่าสามารถฟิตสมการเส้นโค้ง (curvilinear regression) ระหว่าง ECEC กับตัวชี้วัดต่าง ๆ ขององค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ ได้แก่ C ($R^2 = 0.89^{***}$), N ($R^2 = 0.94^{***}$), ลิกลิน ($R^2 = 0.74^{**}$), โพลีฟีนอลส์ ($R^2 = 0.91^{**}$) และอัตราส่วน C/N ($R^2 = 0.88^{**}$) ผลการศึกษานี้แสดงว่าสารอินทรีย์ที่มีลิกลิน โพลีฟีนอลส์, N และอัตราส่วน C/N ในระดับปานกลางช่วยเพิ่ม ECEC ได้อย่างมากที่สุด ลิกลินและโพลีฟีนอลส์เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สารฮิวมิก ซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุของดินส่วนที่เสถียร เมื่อถูกดูดซับอยู่กับคอลลอยด์ดินช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวที่ไวปฏิกิริยาเคมีในการดูดซับไอออนบวก เช่น Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, H⁺ และ Al³⁺ เป็นต้น) นอกจากนี้เรายังพบสหสัมพันธ์เชิงบวกที่มีนัยสำคัญสูงยิ่งระหว่าง ECEC และ SOC ($R^2 = 0.89^{***}$) ผลนี้ช่วยตอกย้ำว่าการเพิ่ม SOC หรืออินทรีย์วัตถุของดินจะนำไปสู่การเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ผลการศึกษานี้แสดงว่าเมื่อเพิ่ม SOC 1% จะทำให้ ECEC เพิ่ม 2.5 cmol kg⁻¹

ซึ่งนับว่าต่ำกว่าการเพิ่มขึ้นถึง 7 cmol kg⁻¹ ต่อ 1% SOC ที่เพิ่มขึ้นในดินทรายของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Vityakon, 1991)



ภาพที่ 4.4 อัตราการแทรกซึมน้ำ (cm min^{-1}) ในดินทรายหลังจากการใส่สารอินทรีย์ที่มี
 คุณภาพต่างกัน



ภาพที่ 4.5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเชิงประสิทธิผล (ECEC) ของดิน หลังจากใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน
เส้นในแนวตั้งคือ (vertical bars) คือค่า Standard error

4.1.1.6 ผลการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ในดิน (macroorganisms) ที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นเวลานาน

ค่าความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน (biodiversity Index) ของพื้นที่ที่ศึกษา ในแต่ละกรรมวิธีมีความแตกต่างกัน พบว่า ในการเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตครั้งที่ 1 แปลงทดลองที่ใส่ฟางข้าว+ซากถั่วลันเตามีค่าความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินมากที่สุด ตามมาด้วย แปลงทดลองที่ใส่ซากถั่วลันเตา แปลงทดลองที่ใส่ฟางข้าว แปลงทดลองที่ใส่มะขาม และแปลงทดลองที่ใส่พลวง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

กรรมวิธีผสมฟางข้าวและถั่วลันเตามีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่ากรรมวิธีอื่น (20 ตัน/เฮกตาร์) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีดัชนีความหลากหลายที่สูง นอกจากนี้ทั้งถั่วลันเตาและฟางข้าวเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย ทำให้มีสัตว์หลายชนิดที่เข้ากินสารอินทรีย์ประเภทนี้ได้ ในขณะที่พลวงและมะขามซึ่งเป็นสารอินทรีย์คุณภาพต่ำ ย่อยสลายยาก เนื่องจากมีลิกนินและโพลีฟีนอลปานกลางถึงสูง ทำให้สัตว์ที่จะเข้าย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทนี้ได้มีความจำเพาะในความสามารถที่จะเข้ากินสารอินทรีย์ประเภทนี้ จึงมีน้อยชนิดกว่า ค่าความหลากหลายของถั่วลันเตาและฟางข้าวเดี่ยวที่สูงกว่าใบพลวงและมะขามก็ยืนยันในเหตุผลนี้

ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 (18 สัปดาห์ หลังใส่สารอินทรีย์) ค่าความหลากหลายของสารอินทรีย์คุณภาพต่ำ (ใบพลวงและใบมะขามร่วง) สูงขึ้นเกือบสองเท่าตัวจากการเก็บครั้งแรก แสดงว่าสารที่ต้านทานการย่อยสลายถูกย่อยให้เป็นสารที่ย่อยสลายง่ายขึ้น และมีสารประกอบที่ย่อยสลายง่ายถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้มีสัตว์หลายชนิดขึ้นที่เข้ามากินซากอินทรีย์เหล่านี้ได้ ส่วนในการเก็บครั้งสุดท้าย (40 สัปดาห์ หลังใส่สารอินทรีย์) ความหลากหลายลดลงต่ำที่สุดใน การเก็บทุกครั้ง และไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในกรรมวิธีทดลองต่าง ๆ แสดงว่าสารอินทรีย์ส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายหมดลง ทำให้ไม่มีสารอาหารให้สัตว์เข้ากิน ประกอบกับเป็นฤดูแล้ง การจำกัดของความชื้นทำให้มีความหลากหลายต่ำลง

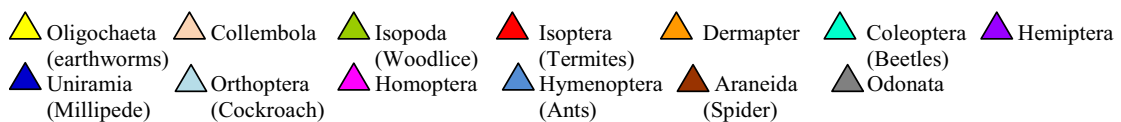
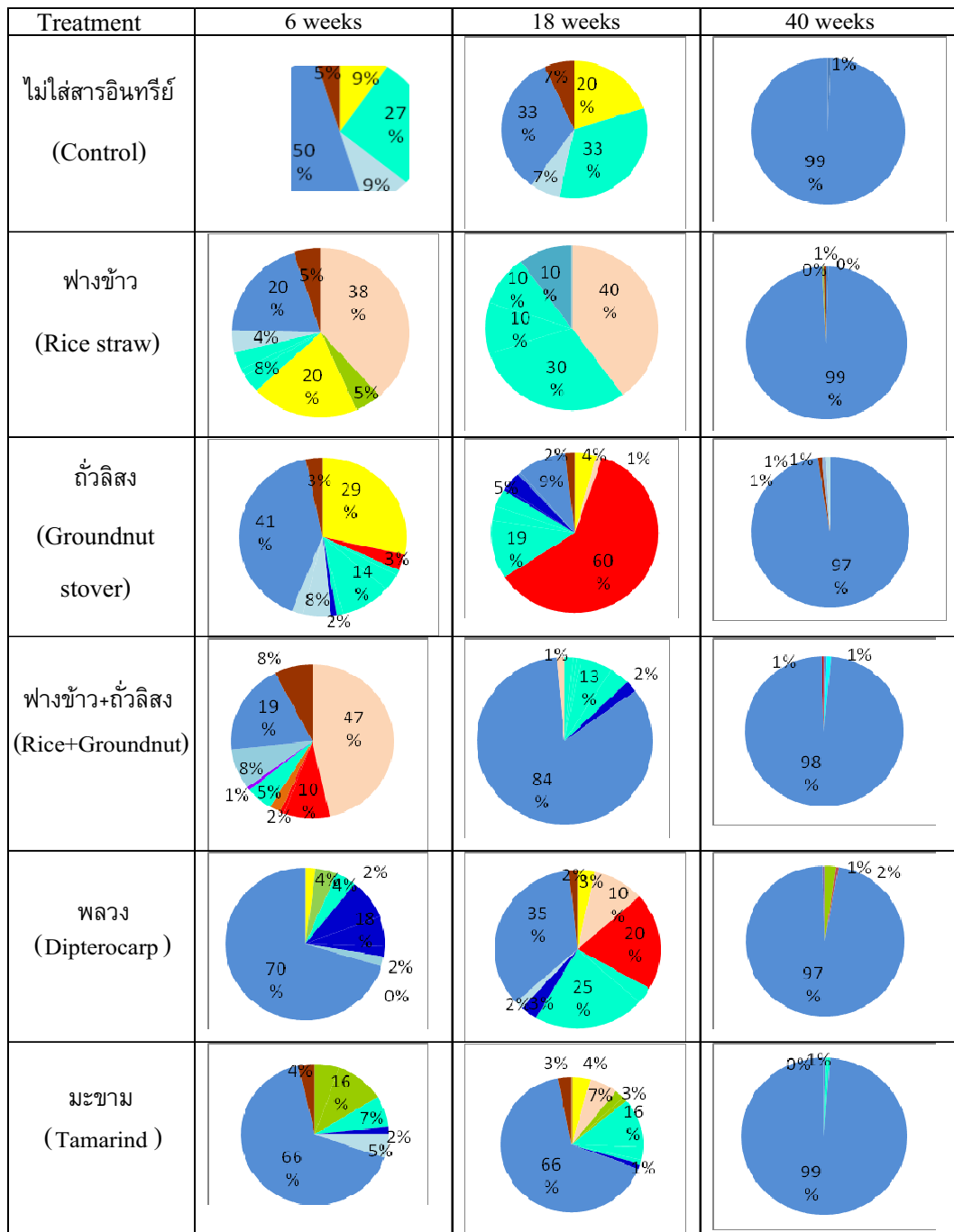
ค่าความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน (biodiversity index) ของพื้นที่ที่ศึกษา และจำนวนและชนิดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินที่พบในแต่ละพื้นที่ศึกษา มีค่าแตกต่างกันไป ตามแต่ละลักษณะของพื้นที่และการจัดการและการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ ปัจจัยที่สำคัญเรื่องชนิดของสารอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในแต่ละแปลงมีผลต่อค่าความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน รวมทั้งชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏในแต่ละพื้นที่นั้น ๆ ด้วยและพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการปลดปล่อย CO₂ (ตัวชี้วัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน) และความหลากหลายทางชีวภาพมีความสัมพันธ์ในทางบวก ($r = 0.877$) แสดงว่าค่าความหลากหลายมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับกิจกรรมการย่อยสลายของสัตว์และจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้ ชนิดและจำนวนของสิ่งมีชีวิตในดินที่เข้ามามีบทบาทในการย่อยสลายก็แตกต่างกันในแต่ละระยะเวลาและชนิดของสารอินทรีย์ โดยพบว่าในสารอินทรีย์ที่มีการย่อยสลายง่าย จะมีค่าความ

หลากหลายลดลงตามระยะเวลาของการใส่สารอินทรีย์ ส่วนในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก จะพบว่าในช่วงแรก (6 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์) ของการสลายตัวค่าความหลากหลายทางชีวภาพมีค่าต่ำกว่าในช่วง 18 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์ ส่วนในช่วงหลัง (40 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์) พบว่าค่าความหลากหลายทางชีวภาพในทุกกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าต่ำกว่าใน 2 ช่วงแรก (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินในช่วงต่าง ๆ หลังจากใส่สารอินทรีย์

กรรมวิธีการทดลอง	Biodiversity Index		
	6 สัปดาห์ (15 มิ.ย. 2551)	18 สัปดาห์ (14 ก.ย. 2551)	40 สัปดาห์ (28 ก.พ. 2552)
1. ไม่ใส่สารอินทรีย์ (control)	0.39 ± 0.03	0.43 ± 0.04	0.079 ± 0.14
2. ฟางข้าว (rice straw)	0.63 ± 0.02	0.61 ± 0.07	0.245 ± 0.06
3. ชากถั่วลิสง (groundnut stover)	0.69 ± 0.04	0.68 ± 0.04	0.154 ± 0.14
4. ฟางข้าว+ชากถั่วลิสง (rice straw+groundnut)	0.74 ± 0.04	0.67 ± 0.02	0.201 ± 0.25
5. พลวง (dipterocarp)	0.42 ± 0.10	0.75 ± 0.02	0.229 ± 0.24
6. มะขาม Tamarind	0.45 ± 0.04	0.76 ± 0.05	0.208 ± 0.12

นอกจากนี้ ชนิดและจำนวนของสิ่งมีชีวิตในดินที่เข้ามามีบทบาทในการย่อยสลายก็แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของการย่อยสลายและชนิดของสารอินทรีย์ โดยพบว่า มด (ants) เป็นสัตว์หน้าดินที่พบโดยส่วนใหญ่ในทุกกรรมวิธีทดลอง และพบมากในทุกช่วงของการสลายตัวของสารอินทรีย์ (ภาพที่ 4.6) แสดงว่ามดสามารถใช้สารอาหารได้ทุกช่วง คือ สารอาหารที่ย่อยสลายง่ายในช่วงแรกและสารอาหารที่ย่อยสลายยากในช่วงหลัง ในช่วงแรกของการย่อยสลาย (6 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์) ความหลากหลายของสัตว์หน้าดินจะสูง ซึ่งจะพบสัตว์หน้าดินชนิดอื่นๆ ที่พบเป็นส่วนใหญ่ที่นอกเหนือจากมด โดยพบว่า ในกรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่สารอินทรีย์) ส่วนใหญ่จะพบแมลงเต่าทอง (beetles) ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ฟางข้าว, ชากถั่วลิสง, ชากผสมระหว่างฟางข้าวกับถั่วลิสง ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย จะพบแมลงหางดีด (colembola) ไส้เดือนดิน (earthworms) และแมลงเต่าทองเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในกรรมวิธีที่ใส่ใบพลวงและใบมะขาม ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก จะพบกิ้งกือ (millipede) และแมงกะปิ (woodlice) เป็นส่วนใหญ่ ตามลำดับ ส่วนในช่วงหลัง (40 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์) พบว่ามดเป็นสัตว์หน้าดินที่พบมากที่สุด (ภาพที่ 4.6)



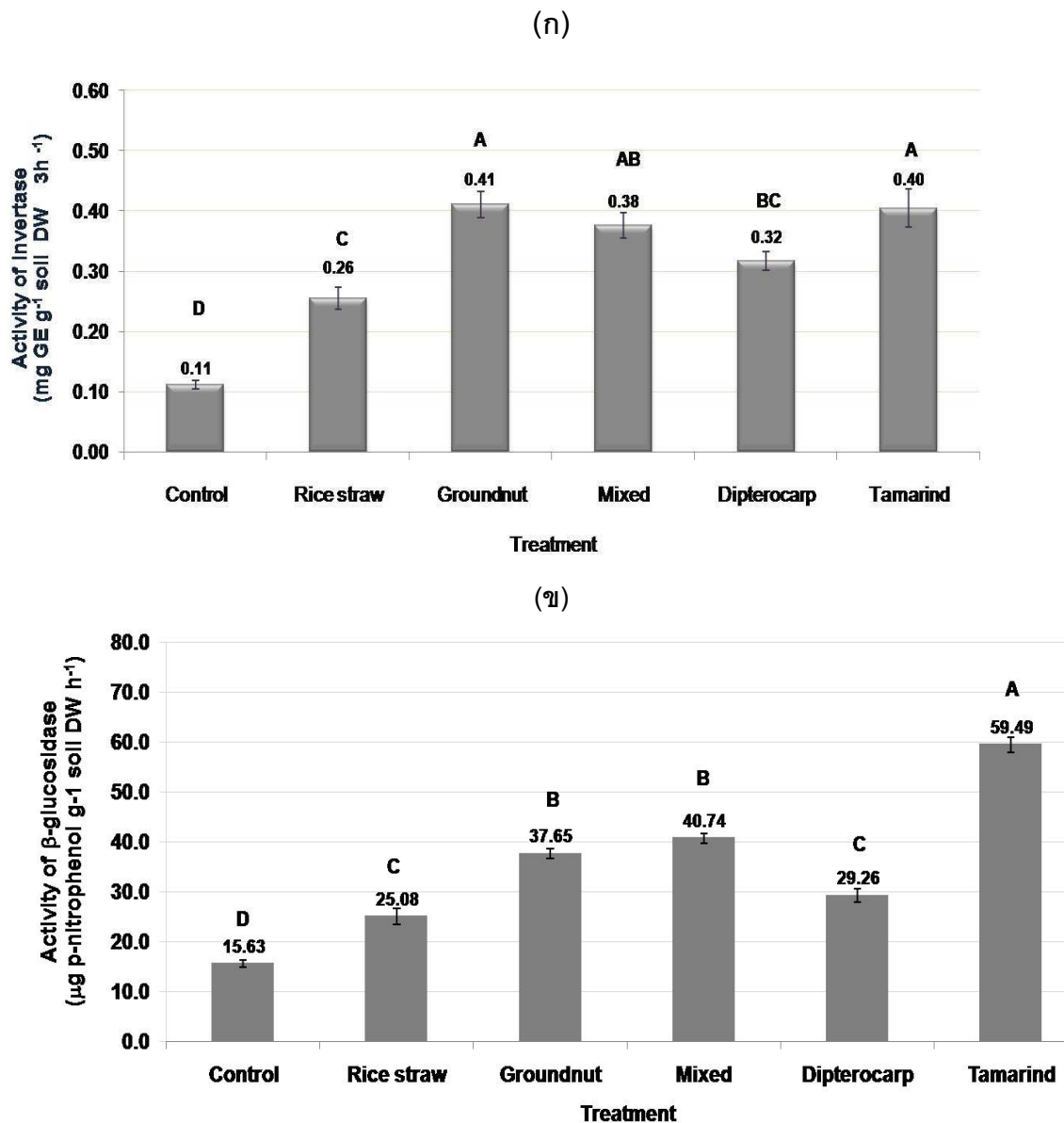
ภาพที่ 4.6 การกระจายของสัตว์ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพที่ช่วงต่าง ๆ หลังการใส่สารอินทรีย์

4.1.1.7 บทบาทของจุลินทรีย์ดินในการสะสมและเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุในดิน: การศึกษาอิทธิพลของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพต่อกิจกรรมจุลินทรีย์

(ก) กิจกรรมเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนหลังจากได้รับสารอินทรีย์ เป็นเวลา 52 สัปดาห์

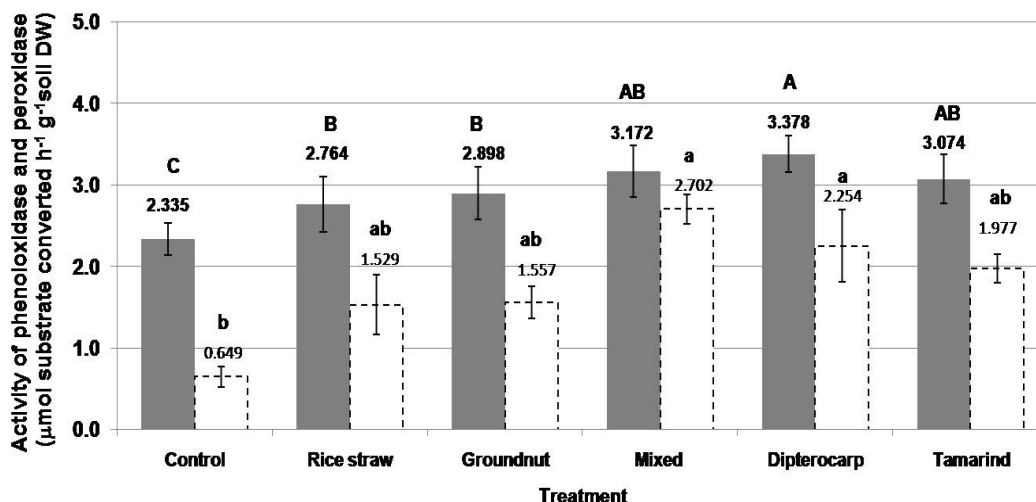
ทำการศึกษากิจกรรมจุลินทรีย์ โดยการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวและการหมุนเวียนคาร์บอนในดินจากการทดลองการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพในปีที่ 14 ในตัวอย่างหลังจากใส่สารอินทรีย์ไปแล้ว 52 สัปดาห์ เอนไซม์ที่ศึกษา ได้แก่ Invertase, β -glucosidase, phenoloxidase, และ peroxidase พบว่าในทุกกรรมวิธีที่มีการใส่สารอินทรีย์มีกิจกรรมของเอนไซม์ อินเวอเรส เบตาไกลูโคซิเดส และฟีนอลออกซิเดส สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กิจกรรมของอินเวอเรสมีค่าสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ใส่ถั่วลิสง ตามด้วยกรรมวิธีใบมะขามมีค่าเท่ากับ $0.41 (\pm 0.04)$ และ $0.40 (\pm 0.11) \text{ mg GE g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7ก) กิจกรรมของเอนไซม์ที่มีค่าสูงในกรรมวิธีดังกล่าว อาจเนื่องจากการหลงเหลือของน้ำตาลซูโครสในเศษซากพืช (soil litter) หรืออินทรีย์วัตถุส่วนที่ยังคงความเป็นชิ้น (particulate organic matter - POM) เนื่องจากซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน (C) ที่เป็น substrate ของเอนไซม์อินเวอเรส Samahadthai และคณะ (2010) ทำงานทดลองของปีที่ 10 ของงานทดลองระยะยาวเดียวกับงานนี้ พบว่าปริมาณ C ใน POM ในกรรมวิธีซากถั่วลิสง ใบพลวง และใบมะขาม มีค่าสูงอยู่ในช่วง $0.20\text{-}0.23 \text{ g kg}^{-1} \text{ soil}$ ซึ่งมีสูงกว่าในฟางข้าว คาร์บอนที่พบอาจเป็นแหล่งของสารอาหาร (substrate) แก่เอนไซม์ หรือเอนไซม์อาจถูกกักเก็บ (entrapped) ในส่วนนี้ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีฟางข้าวมีกิจกรรมของอินเวอเรสต่ำสุด ($0.26 \pm 0.04 \text{ mg GE g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ภายหลัง 52 สัปดาห์ของการใส่สารอินทรีย์ Puttaso และคณะ (2011) พบว่าฟางข้าวมีอัตราการย่อยสลายที่สูง โดย C อินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็น CO_2 และ C ที่ละลายน้ำ

สำหรับที่กิจกรรมของเอนไซม์เบตาไกลูโคซิเดสมีสูงที่สุดในกรรมวิธีใบมะขาม ($59.49 \pm 1.49 \text{ g } p\text{-nitrophenol g}^{-1} \text{ soil DW h}^{-1}$) (ภาพที่ 4.7ข) การคงเหลืออยู่ของเอนไซม์ภายหลังการใส่สารอินทรีย์เป็นระยะเวลา 52 สัปดาห์อาจเนื่องมาจากการถูกเก็บกักของเอนไซม์ไว้กับส่วนต่างๆ (fractions) ของดิน เช่น เม็ดดิน (aggregate) หรือ POM เป็นต้น Samahadthai และคณะ (2010) พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ใบมะขาม มีปริมาณเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggregate) สูงสุด (52.8% w/w) และยังพบว่าปริมาณ C ใน POM มีค่าสูงเท่ากับ 0.50 g kg^{-1} ซึ่งคาดว่า C ที่พบเป็นแหล่งอาหารสำคัญของเอนไซม์ในดิน ส่วนฟางข้าวมีกิจกรรมของเบตาไกลูโคซิเดสต่ำที่สุดในบรรดากรรมวิธีที่ได้รับสารอินทรีย์



ภาพที่ 4.7 กิจกรรมของเอนไซม์ อินเวอเรส (ก) และ เบตากลูโคซิเดส (ข) ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (14 ปี)
ค่าที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 (LSD); เส้นตรงในแนวดิ่งคือ standard error of mean (SEM)

กิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดสสูงที่สุดในกรรมวิธีไบพลวงตามด้วยกรรมวิธี ส่วนผสมฟางข้าว+ซากถั่วลิสงและมะขาม มีค่าเท่ากับ $3.38 (\pm 0.23)$, $3.17 (\pm 0.32)$ และ $3.07 (\pm 0.30)$ $\mu\text{mol substrate converted h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ soil DW}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8) ขณะที่กิจกรรมของเปอร์ออกซิเดสสูงที่สุดในกรรมวิธีส่วนผสม ตามด้วยกรรมวิธีไบพลวงและไบมะขามมีค่าเท่ากับ $2.7 (\pm 0.18)$, $2.25 (\pm 0.45)$ และ $1.98 (\pm 0.17)$ $\mu\text{mol substrate converted h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ soil DW}$ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 กิจกรรมของฟีนอลออกซิเดส (สีทึบ) และเปอร์ออกซิเดส (เส้นประ) ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลานาน (14 ปี)
 ค่าบนกราฟแท่งเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (LSD); เส้นตรงในแนวดิ่งคือ standard error of mean (SEM)

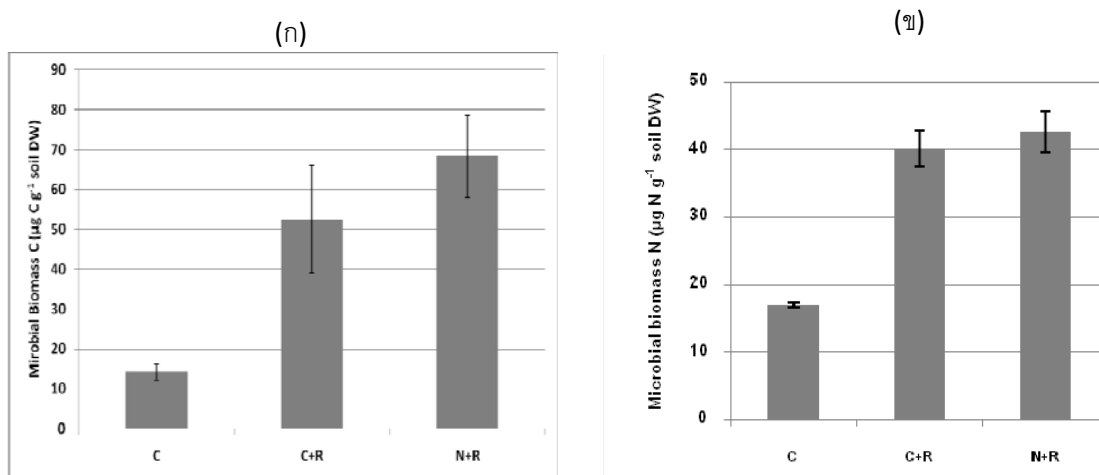
กิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มสูงในกรรมวิธีที่ใส่ใบพลวง เนื่องจากใบพลวงมีปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสูง (256 และ 94.4 g kg⁻¹ ตามลำดับ) (Samahadthai และคณะ, 2010) ซึ่งเป็นสารอาหาร (substrate) ที่สำคัญของเอนไซม์นี้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ากรรมวิธีซากผสมของฟางข้าวกับถั่วลิสงมีปริมาณลิกนิน และโพลีฟีนอลที่ต่ำกว่า แต่มีปริมาณที่ใส่สูงเป็น 2 เท่า (20 ตัน/ เฮกตาร์) จึงส่งผลให้เอนไซม์ที่ผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ในกรรมวิธีดังกล่าวมีกิจกรรมที่สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ในขณะที่ใบมะขามมีลิกนิน และโพลีฟีนอลปานกลางทำให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองสูงรองลงมา และในกรรมวิธีฟางข้าวมีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองต่ำที่สุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติจากถั่วลิสง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าคุณภาพ (องค์ประกอบทางเคมี) ของสารอินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญที่เหนี่ยวนำให้จุลินทรีย์ในดินผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายอย่างจำเพาะ โดยสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูง ย่อยสลายง่าย (ถั่วลิสง) และปานกลาง (มะขาม) มีกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เตสสูง เนื่องจากสารอินทรีย์เหล่านี้ทำให้มีซูโครสตกค้างอยู่ในดินมาก ในขณะที่สารอินทรีย์คุณภาพต่ำย่อยสลายยาก (ใบพลวง) ทำให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส และเปอร์ออกซิเดสสูง เนื่องจากมีลิกนิน และโพลีฟีนอลซึ่งเป็นสารอาหารให้เอนไซม์นี้สูง ซึ่งสารที่ต้านทานการสลายตัวเหล่านี้ยังคงตกค้างอยู่ในดินหนึ่งปีหลังใส่สารอินทรีย์ ใบมะขามซึ่งมีคุณภาพปานกลางนอกจากทำให้มีเอนไซม์อินเวอร์เตส และฟีนอลออกซิเดสสูงแล้วยังมีกิจกรรมของเบตาไกลูโคซิเดสสูงที่สุดด้วย ในขณะที่ฟางข้าวส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ทุกชนิดต่ำที่สุดในบรรดากรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์ ผลนี้สอดคล้องกับผล

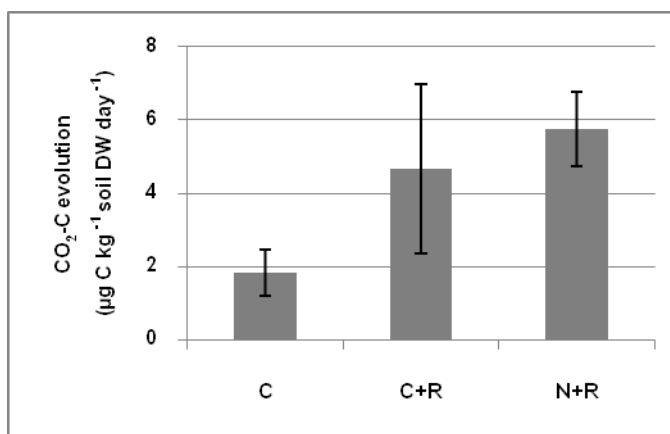
ก่อนหน้าที่ไม่มะขามส่งผลให้มีการสะสมอินทรีย์คาร์บอน (SOC) หรือ SOM สูงที่สุด ส่วนฟางข้าว ทำให้มีการสะสม SOM ต่ำที่สุด (Samahadthai และคณะ 2010) เราจึงจะทำการศึกษาต่อไป ถึงกลไกทางจุลชีววิทยา โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของจุลินทรีย์ที่ทำให้มะขามส่งผลให้มีการสะสม SOM แต่ฟางข้าวทำให้มีการสะสมต่ำในดินทราย การศึกษานี้ทำให้ได้ข้อมูลกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์คุณภาพต่างกันได้ดีขึ้น เพื่อให้ได้องค์ความรู้พื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพเหมาะสมในดิน เพื่อให้ดินมีศักยภาพในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ไว้ได้อย่างยั่งยืน

(ข) ผลการศึกษาตัวชี้วัดทางชีวภาพในกระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพภายใต้สภาวะการบ่ม

ในปีการทดลองที่ 16 ผลจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดระหว่าง control soil (C-soil), control soil + residues (C+R soils) (C+RS, C+GN, C+DP และ C+TM), และ native soil + residues (N+R soils) (NRS+RS, NGN+GN, NDP+DP และ NTM+TM) พบว่า หลัง 56 วันของการบ่ม กรรมวิธี N+R มีมวลชีวภาพจุลินทรีย์ (microbial biomass, MB) และการหายใจ ($\text{CO}_2\text{-C evolution}$) สูงกว่ากรรมวิธี C soils โดยตัวชี้วัด MB-C, MB-N, และ $\text{CO}_2\text{-C}$ สูงสุด (ภาพที่ 4.9) ในกรรมวิธี N+R มีค่าเท่ากับ $68.26 (\pm 20.65) \mu\text{g C g}^{-1} \text{ soil DW}$, $42.64 (\pm 6.17) \mu\text{g N g}^{-1} \text{ soil DW}$ และ $5.75 (\pm 2.03)$ (ภาพที่ 4.10) ตามลำดับ โดย MB-C และ MB-N ที่มีค่าสูงสุดในกรรมวิธี N+R ได้มาจากกรรมวิธี NTM+TM หรือกรรมวิธี native soil ที่ใส่ใบมะขามร่วงทั้งนี้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ของการหายใจในกรรมวิธี C+R แสดงให้เห็นว่าใน C soils ที่มีการใส่สารอินทรีย์ลงไปใหม่มีการตอบสนองต่อสารอินทรีย์แต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างชัดเจน ขณะที่ค่า SD ในกรรมวิธี N+R ที่มีช่วงแคบกว่าแสดงให้เห็นว่าผลจากการใส่สารอินทรีย์ลงไปใหม่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินน้อยกว่า (ภาพที่ 4.10) มวลชีวภาพจุลินทรีย์ และการหายใจ ที่สูง อาจเนื่องจากประชากรจุลินทรีย์ใน N-soils มีการปรับตัวภายหลังจากการใส่สารอินทรีย์ในดินเป็นระยะเวลายาวนานกว่า 16 ปี และมีการตอบสนองในการเพิ่มมวลชีวภาพและกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่อการใส่สารอินทรีย์ลงไปใหม่ได้อย่างรวดเร็วและชัดเจนกว่าดินที่ไม่มีการใส่สารอินทรีย์เป็นระยะเวลานาน (C soil) และที่มีการใส่สารอินทรีย์ลงไปใหม่ (C+R soils) สอดคล้องกับ Puttaso และคณะ (2011) ที่ศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินทรายที่มีการใส่สารอินทรีย์ทุกปีเป็นปีที่ 13 พบว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ดินมีความว่องไวต่ออินทรีย์ในโตรเจนในดินที่มีอยู่ดั้งเดิม (indigenous soil organic nitrogen, SON) ($R^2=0.782^{**}$) นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ใบมะขาม (NTM+TM) ติดต่อกันเป็นระยะเวลานานกว่า 13 ปี ส่งเสริมให้มีการสะสมอินทรีย์คาร์บอน (SOC) สูงสุดมีค่าเท่ากับ 8.41 mg ha^{-1}



ภาพที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (microbial biomass, MB-C) (a) และมวลชีวภาพจุลินทรีย์ไนโตรเจน (microbial biomass, MB-N) (b) หลังจากใส่สารอินทรีย์(R) ลงไปใหม่เป็นระยะเวลา 56 วัน ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลานาน (16 ปี) (N) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (C) เส้นตรงในแนวดิ่งคือ standard deviation (SD)

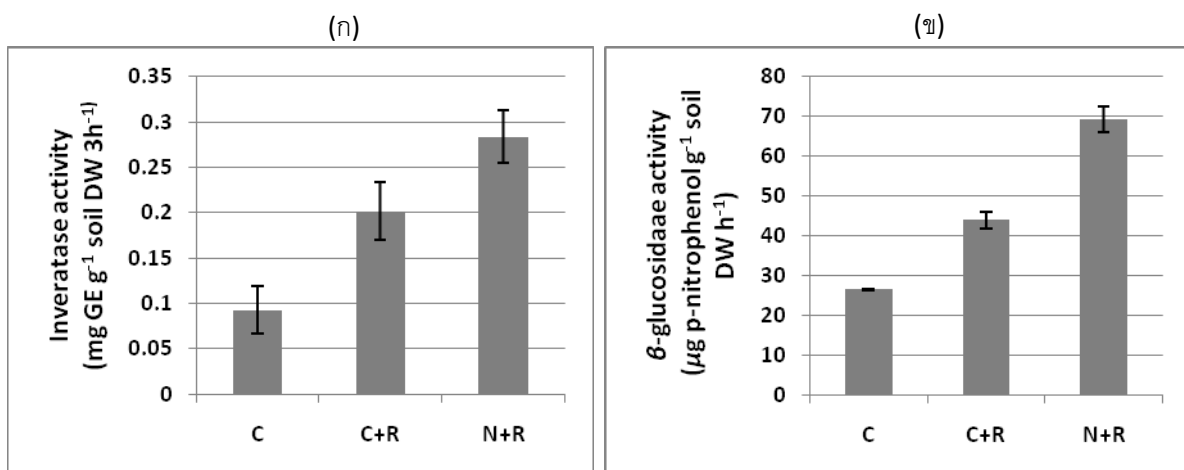


ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของการหายใจ ($\text{CO}_2\text{-C evolution}$) หลังจากใส่สารอินทรีย์(R) ลงไปใหม่เป็นระยะเวลา 56 วัน ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลานาน (16 ปี) (N) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (C) เส้นตรงในแนวดิ่งคือ standard deviation (SD)

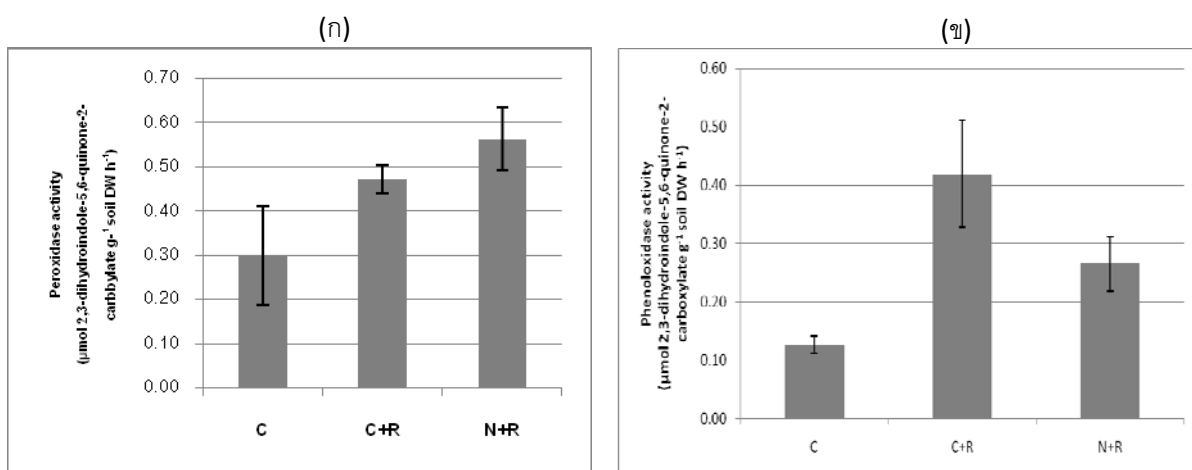
กิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดได้แก่ invertase, β -glucosidase, และ peroxidase มีค่าสูงสุดในกรรมวิธี N+R (ภาพที่ 4.11ก, 4.11ข, 4.12ก) มีค่าเท่ากับ $0.28 (\pm 0.06) \text{ mg GE g}^{-1} \text{ soil DW } 3\text{h}^{-1}$, $69.36 (\pm 8.62) \text{ g } p\text{-nitrophenol g}^{-1} \text{ soil DW h}^{-1}$, และ $0.56 (\pm 0.14) \mu\text{mol } 2,3\text{-dihydroindole-5,6-quinone-2- carboxylate g}^{-1} \text{ soil DW h}^{-1}$ ตามลำดับ โดยกิจกรรมของอินเวเตสมีค่าสูงที่สุดในกรรมวิธี NTM+TM ตามด้วยกรรมวิธี NGN+GN มีค่าเท่ากับ $0.36 (\pm 0.03)$ และ $0.30 (\pm 0.06) \text{ mg GE g}^{-1} \text{ soil DW } 3\text{h}^{-1}$ ตามลำดับ ขณะที่กิจกรรมของอินเวเตสต่ำสุดพบในกรรมวิธี NRS+RS (ภาพที่ 4.11ก) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีค่าสูงในกรรมวิธี NTM+TM และ NGN+GN อาจเนื่องจากการหลงเหลือของน้ำตาลซูโครสในเศษซากพืช (soil litter) หรืออินทรีย์วัตถุส่วนที่ยังคงความเป็นชิ้น (particulate organic matter, POM) เนื่องจากซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน (C) ที่เป็น substrate ของเอนไซม์อินเวเตส Samahadthai และคณะ (2010) ทำงานทดลองระยะยาวเกี่ยวกับงานนี้ในปีที่ 10 พบว่าปริมาณ C ใน POM ในกรรมวิธีซากถั่วลิสง และใบมะขาม มีค่าอยู่ในช่วง $0.20\text{-}0.23 \text{ g kg}^{-1} \text{ soil}$ ซึ่งมีสูงกว่าในฟางข้าว และ C ที่พบอาจเป็นแหล่งของ substrate สำหรับเอนไซม์ หรือเอนไซม์อาจถูกกักเก็บ (entrapped) ในส่วนนี้ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีฟางข้าวมีกิจกรรมของอินเวเตสต่ำสุด ($0.23 \pm 0.05 \text{ mg GE g}^{-1} \text{ soil DW } 3\text{h}^{-1}$) ภายหลัง 56 วันของการบ่ม

กิจกรรมของเอนไซม์เบตาไกลูโคซิเดสที่สูงในกรรมวิธี N+R พบว่าค่าสูงสุดมาจากกรรมวิธี NTM+TM ตามด้วย NGN+GN เช่นเดียวกันกับกิจกรรมของอินเวเตส มีค่าเท่ากับ 79.84 ± 17.7 และ $73.02 \pm 17.18 \text{ g } p\text{-nitrophenol g}^{-1} \text{ soil DW h}^{-1}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.11ข) การคงเหลืออยู่ของเอนไซม์ภายหลังการใส่สารอินทรีย์เป็นระยะเวลา 56 วัน อาจเนื่องมาจากการถูกเก็บกักของเอนไซม์ในส่วนต่างๆ (fractions) ของดิน เช่น เม็ดดิน (aggregate) หรือ POM ที่พบใน NTM และ NGN soils เป็นต้น Samahadthai และคณะ (2010) พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ใบมะขาม มีปริมาณเม็ดดินขนาดใหญ่ (macroaggregate) สูงสุด ($52.8\% \text{ w/w}$) และยังพบว่าปริมาณ C ใน POM มีค่าสูงเท่ากับ 0.50 g kg^{-1} ซึ่งคาดว่า C ที่พบเป็นแหล่งอาหารสำคัญของเอนไซม์ในดิน

ขณะที่กรรมวิธี NDP+DP มีกิจกรรมของเบตาไกลูโคซิเดสต่ำที่สุดในบรรดากรรมวิธีที่ได้รับสารอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม Puttaso และคณะ (2011) รายงานว่าใบพลวงมีปริมาณเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูงเป็นอันดับสองรองจากฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 306 และ 507 g kg^{-1} ตามลำดับ ขณะเดียวกันใบพลวงมี C/N ratio และ (L+Pp)/N สูงสุดเท่ากับ 79.5 และ 42.2 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่านอกจาก substrate เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเหนี่ยวนำให้จุลินทรีย์ดินสร้างเอนไซม์เบตาไกลูโคซิเดสแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นคือคุณภาพของสารอินทรีย์ที่ส่งผลต่อมวลชีวภาพและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินเช่นกัน



ภาพที่ 4.11 กิจกรรมของเอนไซม์ อินเวอร์เตส (ก) และ เบตากลูโคซิเดส (ข) หลังจากใส่สารอินทรีย์(R) ลงไปใหม่เป็นระยะเวลา 56 วัน ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (16 ปี) (N) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (C) เส้นตรงในแนวดิ่งคือ standard deviation (SD)



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบกิจกรรมของเปอร์ออกซิเดส (ก) และฟีนอลออกซิเดส (ข) หลังจากใส่สารอินทรีย์(R) ลงไปใหม่เป็นระยะเวลา 56 วัน ในดินที่มีการใส่สารอินทรีย์ต่างคุณภาพเป็นระยะเวลายาวนาน (16 ปี) (N) และดินที่ไม่ได้ใส่สารอินทรีย์ (C) เส้นตรงในแนวดิ่งคือ standard deviation (SD)

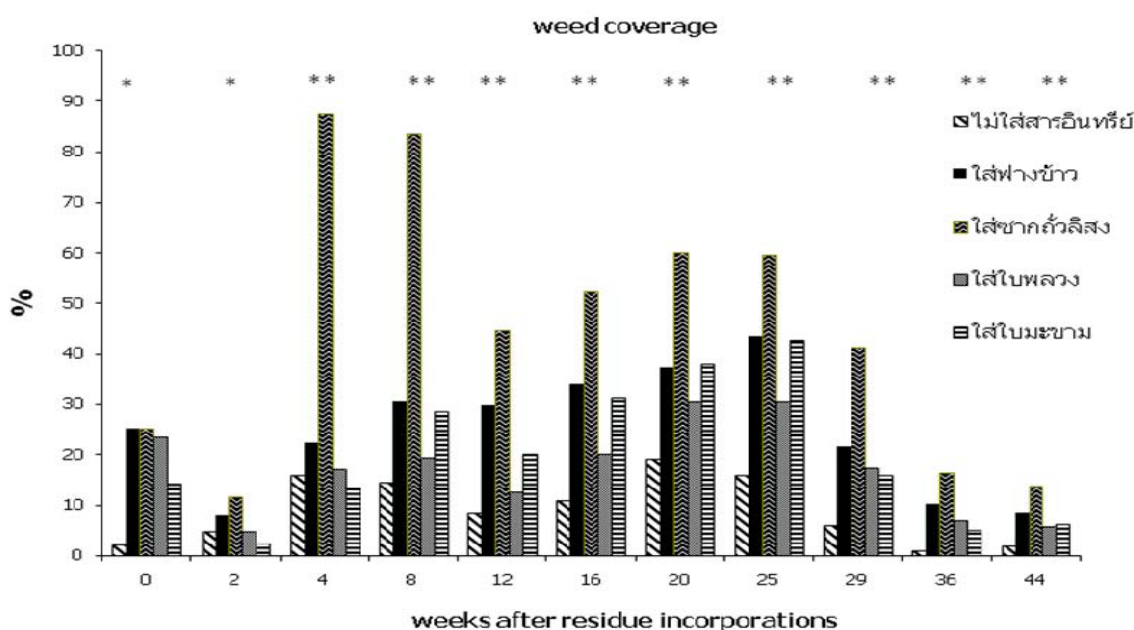
กิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายลิกลินสูงที่สุดในกรรมวิธี N+R (ภาพที่ 4.12) โดยพบว่ากรรมวิธี NGN+GN มีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ $0.73 (\pm 0.19) \mu\text{mol } 2,3\text{-dihydroindole-5,6-quinone-2- carboxylate g}^{-1} \text{ soil DW h}^{-1}$ ขณะที่กิจกรรมของฟีนอลออกซิเดสสูงสุดในกรรมวิธี C+R (ภาพที่ 4.12) โดยผลของคุณภาพสารอินทรีย์ต่อกิจกรรมของฟีนอลออกซิเดสสูงสุดในกรรมวิธี C+DP มีค่าเท่ากับ $0.67 (\pm 0.15) \mu\text{mol } 2,3\text{-dihydroindole-5,6-quinone-2- carboxylate g}^{-1} \text{ soil DW h}^{-1}$ โดยกิจกรรมของเอนไซม์ที่สูงในกรรมวิธีดังกล่าวอาจเนื่องจากจุลินทรีย์ดินใน C soil มีการตอบสนองต่อโพลีฟีนอลที่พบในใบพลวงอย่างชัดเจน ในทางตรงกันข้ามจุลินทรีย์ดินใน N soil มีแนวโน้มในการตอบสนองน้อยกว่าและไม่ชัดเจนเท่ากับ C soil ดังนั้นเพื่อหาคำตอบในเชิงลึกต่อไปว่า เหตุใดมวลชีวภาพและกิจกรรมของจุลินทรีย์เหล่านั้นในกรรมวิธี C+R จึงมีรูปแบบ (pattern) ที่คล้ายกับ N+R ถึงแม้ว่ากรรมวิธี N+R จะมีแนวโน้มมีค่าสูงกว่าในกรณีเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และเหตุใดการออกซิเดชันสารประกอบโพลีฟีนอลจึงสูงในกรรมวิธี C+DP แต่กลับมีค่าต่ำกว่าในกรรมวิธี N+DP ดังนั้นกลุ่มวิจัยจึงจะทำการศึกษาในขั้นต่อไปคือการนำเทคนิคทางชีวโมเลกุลมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกประชากรจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องและมีบทบาทสำคัญในการออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์ที่พบในสารอินทรีย์ที่ใส่ลงในดิน ซึ่งได้แก่การใช้เทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) คือ 16s rDNA และ 18s rDNA ในการเพิ่มชิ้นยีน (gene) ของประชากรแบคทีเรียและรา ตามลำดับ และใช้เทคนิค Terminal-Restriction Fragment Length Polymorphism (T-RFLP) ในการจำแนกชนิดของกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงชนิดและหน้าที่ของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันที่พบในดิน

4.1.1.8 การศึกษาการปกคลุมแปลง ความหนาแน่น และการเจริญเติบโตของวัชพืชในดินทรายที่ได้รับสารอินทรีย์คุณภาพต่างกัน

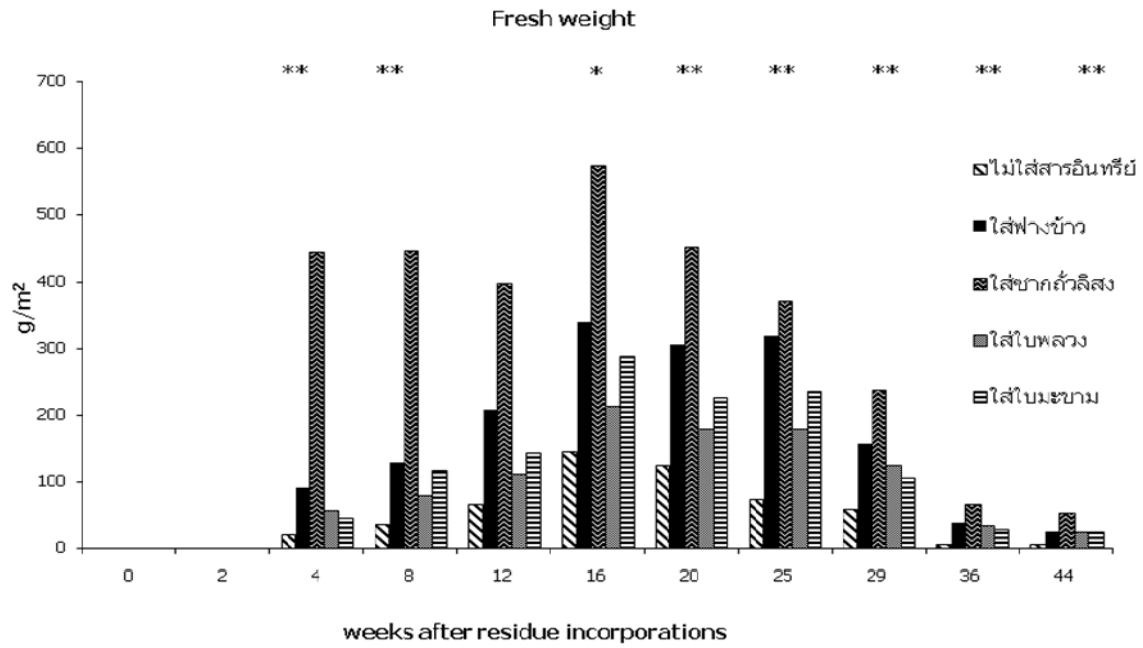
การปกคลุมแปลง และการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของวัชพืช

วัชพืชสามารถเป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เป็นผลจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างคุณภาพที่ใส่ในดินได้ และการศึกษานี้ได้วิเคราะห์การปกคลุมแปลงและการเจริญเติบโต (น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง) ของวัชพืช โดยก่อนใส่สารอินทรีย์ปีที่ 16 (สัปดาห์ที่ 0) พบว่า ทุกกรรมวิธีมีการปกคลุมแปลงและการเจริญเติบโตของวัชพืชค่อนข้างต่ำ (ภาพที่ 4.13, 4.14, 4.15) การที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากช่วงนี้มีปริมาณความชื้นในดินค่อนข้างต่ำ (ภาพที่ 4.16) ประกอบกับธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในดินมีค่อนข้างต่ำ ซึ่งความชื้นดินและธาตุอาหารจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของวัชพืช เมื่อสิ่งเหล่านี้ถูกจำกัดจึงส่งผลให้วัชพืชมีการปกคลุมแปลงและการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ ขณะที่ในช่วงสัปดาห์ที่ 4-29 พบว่า ทุกกรรมวิธีการทดลองมีการปกคลุมแปลงและการเจริญเติบโตของวัชพืชสูง โดยเฉพาะในกรรมวิธีทดลองที่ใส่ซาก

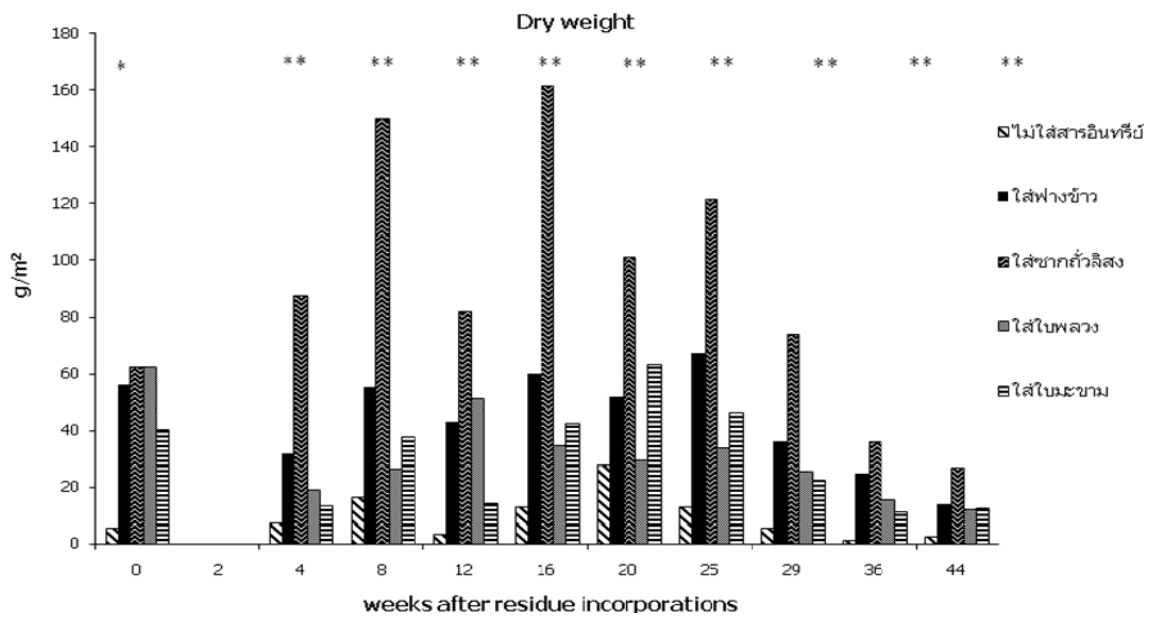
ถั่วลิสง รองลงมาได้แก่ กรรมวิธีการทดลองที่ใส่ฟางข้าว ใส่ใบมะขาม ใส่ใบพลวง และไม่ใส่สารอินทรีย์ ตามลำดับ ซึ่งในช่วงนี้การปกคลุมแปลงและการเจริญเติบโตของวัชพืชเพิ่มสูงขึ้นในทุกกรรมวิธีการทดลอง โดยเฉพาะในกรรมวิธีการทดลองที่ใส่ซากถั่วลิสง เนื่องจากซากถั่วลิสงมีปริมาณไนโตรเจนสูง, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ, ปริมาณลิกนิน และโพลีฟีนอลต่ำ ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินประกอบกับช่วงนี้มีความชื้นในดินสูงทำให้การสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารเกิดขึ้นสูงจึงส่งผลให้การปกคลุมแปลง และการเจริญเติบโตของวัชพืชสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ฟางข้าว ใส่ใบมะขาม ใส่ใบพลวง ซึ่งมีการสลายตัวของสารอินทรีย์และปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อวัชพืชได้ค่อนข้างต่ำ ส่วนในสัปดาห์ที่ 36-44 หลังใส่สารอินทรีย์ พบว่า ทุกกรรมวิธีการทดลองมีการปกคลุมแปลงและการเจริญเติบโตของวัชพืชลดลงอย่างมาก เนื่องจากความชื้นในดินลดลงประกอบกับช่วงนี้การสลายตัวของสารอินทรีย์ต่ำจึงส่งผลให้การปกคลุมแปลง และการเจริญเติบโตของวัชพืชในทุกกรรมวิธีการทดลองลดลง



ภาพที่ 4.13 การปกคลุมแปลงของวัชพืชที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ

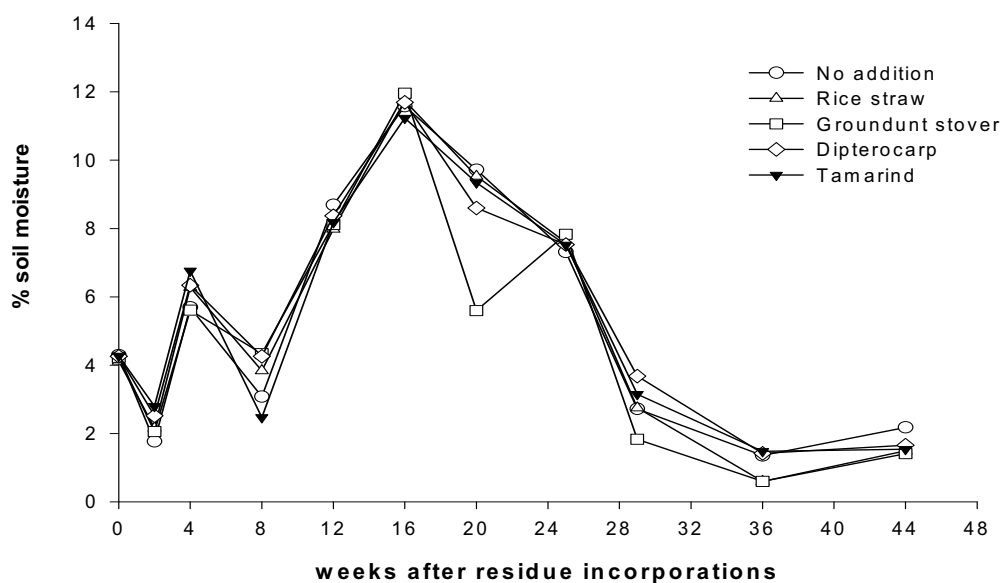


ภาพที่ 4.14 การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดของวัชพืชที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ



ภาพที่ 4.15 การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งของวัชพืชที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ

ความชื้นของดินมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับการปกคลุมแปลง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของวัชพืช (ตารางที่ 4.7) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้การปกคลุมแปลงและการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของวัชพืชเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากความชื้นในดินมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในการย่อยสลายของสารอินทรีย์และการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อวัชพืช



ภาพที่ 4.16 ความชื้นของดินในปีที่ 16

นอกจากนี้ วัชพืชส่วนใหญ่ที่ขึ้นอยู่ในแปลงที่ใส่ซากถั่วลิสงและใส่ฟางข้าวตลอดช่วง 2-44 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์ปีที่ 16 เป็นวัชพืชใบแคบ (narrow leaves) พวกหญ้าแพรก ขณะที่กรรมวิธีการทดลองที่ใส่ใบพลวง, ใส่ใบมะขาม และไม่ใส่สารอินทรีย์ มีวัชพืชขึ้นอยู่ค่อนข้างน้อย วัชพืชที่ขึ้นอยู่ประกอบด้วยหญ้าแพรก, วัชพืชใบกว้าง (broad leaves) (เช่น บานไม่รู้โรยป่า สาบแร้งสาบกา, โขมเปี้ย และกระดุมใบ) และกก (*Fimbristylis sp.*) ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามปริมาณรวมทั้งหมดของวัชพืชในกรรมวิธีการทดลองเหล่านี้ต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่ซากถั่วลิสง และใส่ฟางข้าว ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

ตารางที่ 4.7 สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินกับการปกคลุมแปลง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ของวัชพืชที่ระยะเวลาก่อนใส่สารอินทรีย์และที่ 2, 4, 8, 12, 16, 20, 25, 29, 36 และ 44 สัปดาห์หลังใส่สารอินทรีย์ปีที่ 16

Treatments	Statistical parameter	Weed data		
		Weed coverage	Weed fresh weight	Weed dry weight
Control	r	0.546	0.832	0.413
	lpl	(0.001)	(0.000)	(0.001)
Rice straw	r	0.738	0.837	0.562
	lpl	(0.000)	(0.000)	(0.037)
Groundnut stover	r	0.409	0.795	0.680
	lpl	(0.004)	(0.000)	(0.000)
Dipterocarp	r	0.561	0.793	0.266
	lpl	(0.001)	(0.000)	(0.156)
Tamarind	r	0.592	0.719	0.370
	lpl	(0.000)	(0.000)	(0.044)

Weed coverage, n= 33

Weed fresh weight, n=27

Weed dry weight, n= 30

r= correlation coefficients

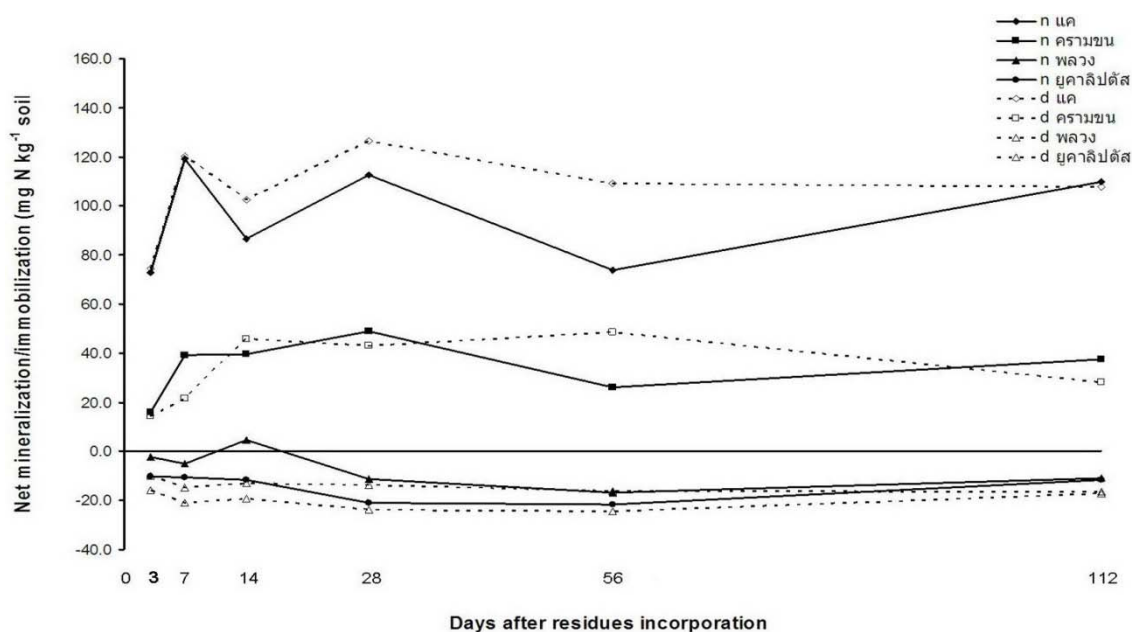
lpl = probability

4.1.2 ผลการศึกษาในสภาพควบคุมเพื่อศึกษาปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์และสภาพแวดล้อมจากการรบกวนดินต่อการสลายตัวของสารอินทรีย์

4.1.2.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนสุทธิ (Net N mineralization and immobilization) จากสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในดินที่มีการจัดการต่างกัน

ปัจจัยคุณภาพหรือองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์มีผลต่อรูปแบบการปลดปล่อยไนโตรเจน โดยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายได้แก่ แคะและครามชนทำให้เกิดการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ (net N mineralization) ในขณะที่สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ได้แก่ พลวงและ

ยูคาลิปตัสทำให้เกิด N immobilization ตลอดช่วงการย่อยสลาย (ภาพที่ 4.17) พบความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดคุณภาพกับการปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ สารอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ และมีองค์ประกอบที่ต้านทานการสลายตัว ได้แก่ ลิกนินและโพลีฟีนอลสูง รวมทั้งอัตราส่วนขององค์ประกอบที่ต้านทานการสลายตัวเหล่านี้ต่อไนโตรเจนต่ำ จะส่งผลให้มีการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนสูงทันทีและตลอดช่วงการย่อยสลาย ในขณะที่สารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนต่ำ แต่องค์ประกอบที่ต้านทานการย่อยสลายสูงทำให้สารอินทรีย์มีการย่อยสลายช้า และทำให้เกิด N immobilization ในช่วงการย่อยสลาย



ภาพที่ 4.17 การปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนสุทธิ (net N mineralization/immobilization) ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ในสภาพที่มีการรบกวน (disturbed – d) และไม่มีการรบกวนดิน (non-disturbed- n) ในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์

ปัจจัยการจัดการดินที่มีการรบกวนและไม่รบกวน มีผลต่ออัตราการย่อยสลายของ จุลินทรีย์ในช่วงแรกของการย่อยสลาย (14 วันแรก) โดยการรบกวนดินทำให้ สารอินทรีย์ที่สลายตัวง่าย (แดและครามขน) ปลดปล่อย N สุทธิมากขึ้น แต่การรบกวนดินทำให้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก (พลวงและยูคาลิปตัส) เกิด net N immobilization มากขึ้น

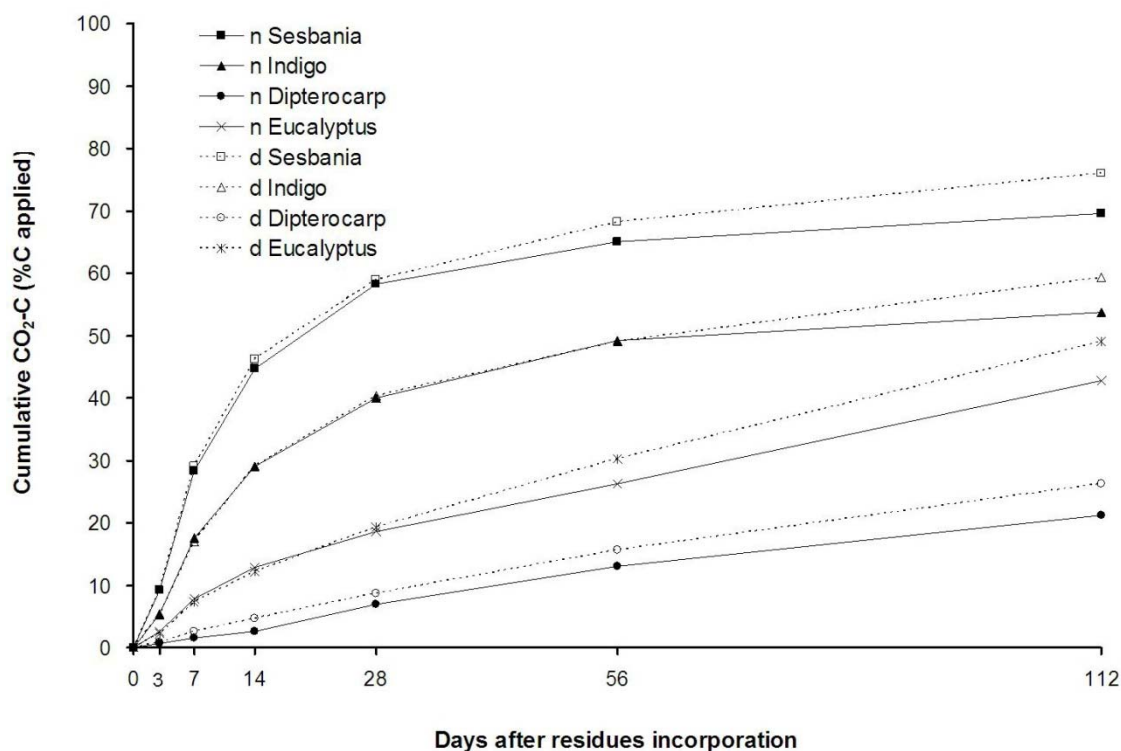
4.1.2.2 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เชิงสะสม (Cumulative CO₂-C mineralization)

ปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยพิจารณาจากการปลดปล่อย CO₂-C ซึ่งมองอีกแง่หนึ่งคือ การหายใจของจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย ได้แก่ แคะ และครามขน มีกิจกรรมของจุลินทรีย์สูงกว่าสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบด้านทานการสลายตัว (พลวงและยูคาลิปตัส) (ภาพที่ 4.18) นอกจากนี้การรบกวนดินมีผลให้จุลินทรีย์มีกิจกรรมการย่อยสลายที่สูงขึ้น ทั้งนี้เพราะการรบกวนดินทำให้สารอินทรีย์ถูกทำให้มีขนาดเล็กลงทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นที่จะถูกจุลินทรีย์เข้าย่อยสลาย แต่การรบกวนดินมีผลเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก (พลวง) น้อยกว่าในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย เช่น แคะและครามขน ทั้งนี้เนื่องจากพลวงมีองค์ประกอบเป็นสารต้านทานการย่อยสลาย (ลิกนินและโพลีฟีนอล) มาก สารที่ต้านทานเหล่านี้ป้องกันส่วนที่ย่อยสลายง่าย (labile compounds) ไว้ประการหนึ่ง อีกประการหนึ่งคือ ไบพลวงมีส่วนที่ย่อยสลายง่ายอยู่น้อยกว่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย

4.1.2.3 มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดิน (microbial biomass C and N – MBC and MBN)

มวลชีวภาพจุลินทรีย์เป็นตัวชี้ปริมาณจุลินทรีย์ในดินที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยวัดจากปริมาณธาตุอาหาร (ในที่นี้คือ C และ N) ในมวลชีวภาพ ซึ่งทั้ง MBC และ MBN มีปริมาณสูงในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย (แคะและครามขน) กว่าในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก (พลวงและยูคาลิปตัส) (ภาพที่ 4.19) ปัจจัยการรบกวนดินมีผลต่อ MBC ภายใต้สารอินทรีย์ต่างคุณภาพต่างกัน และแสดงผลอย่างมีนัยสำคัญหลังจากการสลายตัวดำเนินไปแล้วช่วงหนึ่ง (14 วันไปแล้ว) กล่าวคือ การรบกวนดินจะแสดงผลให้ในสารอินทรีย์ที่สลายยาก (พลวง) มี MBC สูงกว่าดินที่ไม่ถูกรบกวน ในขณะที่ไม่พบผลดังกล่าวในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย เช่น แคะ และครามขน รวมทั้งยูคาลิปตัส จนถึงช่วงสุดท้ายของการสลายตัวจึงพบ (ตารางที่ 4.8) สารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบด้านทานการย่อยสลาย เช่น ในไบพลวง การรบกวนดินมีผลต่อการย่อยสลายเพราะทำให้เกิดการฉีกขาดของสารอินทรีย์ ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่จุลินทรีย์เข้าทำกิจกรรมมากขึ้น และเอื้อต่อปัจจัยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ ก๊าซออกซิเจนและธาตุอาหารในดินมีมากขึ้น สำหรับ MBN มีการตอบสนองต่อการปัจจัยการรบกวนดินในสารอินทรีย์ต่างคุณภาพแตกต่างไปจาก MBC กล่าวคือ มีความอ่อนไหวต่อการถูกรบกวน เพราะเกิดการตายหรือลดปริมาณของ MBN จากการไถพรวนได้ง่าย ซึ่งพบปรากฏการณ์นี้ในสารอินทรีย์ต่างคุณภาพทุกประเภท แต่ที่ระยะการย่อยสลายต่างกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าประชากรจุลินทรีย์ที่พึ่งสารประกอบที่มี N สูง เช่น แบคทีเรีย มีความอ่อนไหวต่อ

การถูกรบกวนมากกว่าจุลินทรีย์ที่พึ่ง N น้อยกว่า เช่น เชื้อรา ซึ่งรายละเอียดในส่วนนี้จะต้องค้นคว้าต่อไป



ภาพที่ 4.18 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสม (Cumulative CO₂-C mineralization) ในดินที่ได้รับสารอินทรีย์ต่างคุณภาพ ในสภาพที่มีการรบกวน (disturbed – d) และไม่มีการรบกวนดิน (non-disturbed – nd) ในช่วงเวลาต่างๆ หลังใส่สารอินทรีย์

4.1.2.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเซลล์จุลินทรีย์ (MBC/MBN ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเซลล์จุลินทรีย์ (MBC/MBN) ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงโครงสร้างประชากรจุลินทรีย์เด่นภายในดิน ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเซลล์จุลินทรีย์ที่มีค่าสูงนั้นแสดงว่าสัดส่วนประชากรของเชื้อรา (fungi) ในดินมีสูงกว่า ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเซลล์จุลินทรีย์ที่มีค่าต่ำแสดงให้เห็นว่ามีสัดส่วนประชากรของแบคทีเรีย (bacteria) มากกว่า โดยทั่วไปในช่วงแรกของการสลายตัว (14 วันแรก) แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์หลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย ในขณะที่เชื้อราเป็นจุลินทรีย์หลักในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก แบคทีเรียเริ่มมีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้เมื่อเข้าสู่ช่วงท้ายของการสลายตัว เป็นเพราะมีสารประกอบที่ย่อยสลายง่ายถูกปลดปล่อยออกมาหลังการย่อยสลายดำเนินไปนานขึ้น ในสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากการรบกวนดินเอื้อต่อการเกิดประชากรจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อราหรือมีเมตาโบลิซึมของ C และ N คล้ายเชื้อรามากกว่าการไม่