

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อินทรีย์วัตถุมีบทบาทและความสำคัญต่อการเพาะปลูกเป็นอย่างมาก เช่น เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจน ดินบางแห่งพืชได้รับฟอสฟอรัสและกำมะถันส่วนใหญ่จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ ดังนั้นการทราบปริมาณอินทรีย์วัตถุจึงทำให้สามารถประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อย่างคร่าว ๆ เช่น การที่เกษตรกรทราบว่าดินสีเข้มนักมีความอุดมสมบูรณ์ของดินมากกว่าดินที่มีสีจาง เนื่องจากธาตุคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon, OC) เป็นธาตุที่ไม่สามารถคงรูปอยู่ได้ในดิน กล่าวคือมีการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปอยู่ตลอดเวลาภายหลังจากที่มีการใส่อินทรีย์วัตถุลงไปในดิน อันเนื่องมาจากกิจกรรมจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดิน เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม จุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายเศษซากพืช ซากสัตว์แบบใช้ก๊าซออกซิเจน (oxygen decomposition) อย่างรวดเร็วและมีการเคลื่อนที่ลงไปในหน้าตัดดินกับน้ำชลประทาน ระบบการเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตั้งอยู่ในลักษณะภูมิประเทศแบบลุ่มน้ำขนาดเล็ก (KKU-Ford Cropping Systems Research Project, 1982) ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดให้เกษตรกรมีการจัดการที่ดินที่แตกต่างกันออกไปตามระดับความลาดชันของพื้นที่ เช่น มันสำปะหลัง การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้มาเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของดิน เนื่องจากในพื้นที่เกษตรนั้นดินจะถูกรบกวนอยู่เสมอ อีกทั้งลักษณะของพื้นที่ที่มีลักษณะลาดเอียงจึงเป็นเหตุให้เกิดกระบวนการกร่อนดิน (soil erosion) ซึ่งนำเอาอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter, SOM) ในพื้นที่ระดับสูงกว่าเคลื่อนที่ลงไปตามระดับต่ำสุดของกลุ่มน้ำขนาดเล็กนี้ นอกจากการสูญเสีย SOM ออกไปยังผิวหน้าดินไปกับน้ำไหลบ่าไปตามผิวหน้าดิน (surface runoff) แล้ว ยังสามารถเกิดการสูญเสียละลายไปกับน้ำในดินที่ไหลลงจากผิวหน้าดินไปตามหน้าดินที่ลึกลงไปได้ (deep percolation water)

#### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ทั้งแนวตั้งและแนวราบของอินทรีย์วัตถุที่ละลายน้ำได้ (Dissolve Organic Carbon, DOC) ในแปลงมันสำปะหลังของเกษตรกร

#### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงการเคลื่อนที่ทั้งในแนวตั้งและแนวราบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินไปยังบริเวณอื่น ๆ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันภายหลังจากมีการให้ปุ๋ยอินทรีย์บริเวณผิวหน้าดิน โดยมีน้ำเป็นตัวการที่สำคัญ และสามารถให้การจัดการดินและปุ๋ยกับแปลงมันสำปะหลังได้อย่างถูกต้อง

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

เริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึง ธันวาคม 2554 โดยทำการศึกษาที่แปลงมันสำปะหลังของเกษตรกรที่ บ้านหนองฮี ต.กุเหล็ก อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น

#### บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 กระบวนการเคลื่อนที่ของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

กระบวนการเคลื่อนที่ของอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter, SOM) สามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะคือ

1. การเคลื่อนที่ตามแนวราบ (lateral movement) เช่น SOM ที่เคลื่อนไปกับน้ำไหลบ่าไปตามผิวหน้าดิน และกระบวนการกร่อนดิน (soil erosion) เป็นต้น
2. การเคลื่อนที่ตามแนวตั้ง เช่น อินทรีย์วัตถุที่ละลายน้ำได้ (Dissolved organic matter; DOM) ที่เคลื่อนที่ลงไปตามหน้าตัดดิน เป็นต้น

##### 2.1.1 การเคลื่อนที่ตามแนวราบของอินทรีย์วัตถุในดิน

การเคลื่อนที่ของอินทรีย์วัตถุในแนวราบ เกิดจากกระบวนการกร่อนดิน (soil erosion) และน้ำไหลบ่าไปตามผิวหน้าดิน (surface runoff) ลักษณะภูมิประเทศที่เหมาะสมต่อการกร่อนดินและการไหลบ่าของน้ำ คือภูมิประเทศที่มีความลาดเอียง ซึ่งความรุนแรงของกระบวนการทั้ง 2 กระบวนการ (การกร่อนดินและน้ำไหลบ่า) ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความลาดชันของพื้นที่ ชนิดของดิน โครงสร้างของดิน และสิ่งปกคลุมผิวหน้าดิน เป็นต้น Lal (2008) กล่าวว่า ในทางฟิสิกส์ของดิน กลไกการกร่อนดินจะเกี่ยวข้องกับงาน (work) ในการกัดเซาะ (detachment) และเคลื่อนย้าย (transport) ของอนุภาคดินโดยพลังงานที่ก่อให้เกิดงานในการกร่อนดินนั้นมาจากแรงปะทะของเม็ดฝน (rain drop impact) น้ำไหลบ่าไปตามผิวหน้าดิน ลม และแรงโน้มถ่วงของโลก อย่างไรก็ตามการไหลบ่าของน้ำและการกร่อนของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้น ปัจจัยหลักมาจากน้ำเป็นตัวการที่สำคัญ โดยกระบวนการชะล้างพังทลายที่มีน้ำเป็นตัวการสำคัญนั้น ประกอบด้วย 3 กระบวนการย่อย คือ 1. กระบวนการแตกกระจายของเม็ดดิน (detachment process) 2. กระบวนการพัดพาหรือขนย้าย (transportation process) และกระบวนการทับถม (deposition process) ซึ่งกระบวนการทั้ง 3 นี้ จะเกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับขั้นต่อเนื่องกันขาดกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งไม่ได้ สมเจตน์ (2532) กล่าวว่า ตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน และสิ่งอื่นๆ โดยมีน้ำเป็นตัวการสำคัญนั้น คือเม็ดฝนที่ตกลงมาปะทะกับผิวหน้าดิน และน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดิน ในการเกิดการชะล้างพังทลายของดินนั้น จะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ 1 ส่วนที่ทำให้เกิดเม็ดดินแตกกระจาย และเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในของเหลวที่กำลังเคลื่อนที่ และ 2 ส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคดิน และอินทรีย์วัตถุในดิน ได้แก่ น้ำในดินนั่นเอง

ส่วนที่ทำให้เม็ดดินแตกประกอบด้วยแรง 3 ชนิด คือ แรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหล (flowing fluid) แรงที่เกิดจากอนุภาคของแข็ง (solid particle) และแรงที่เกิดจากเม็ดฝนที่ตกลงมา (falling raindrop) ดังนั้นการแตกกระจายของเม็ดดินนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางศาสตร์ของของไหล (hydraulic properties) และความทนทานของเม็ดดินที่ทนทานต่อแรงต่างๆ ที่จะทำให้เกิดการแตกกระจายของเม็ดดิน

2) ส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเม็ดดินและอินทรีย์วัตถุในดิน แรงในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางศาสตร์ของของไหล (hydraulic properties) และลักษณะของบริเวณผิวดินและของไหลที่ต่อกัน (soil-fluid boundary)

เมื่ออนุภาคดินถูกเคลื่อนย้ายจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำของกลุ่มน้ำ และในที่สุดจะสะสมอยู่แหล่งน้ำนั้น ระยะทางในการเคลื่อนที่ของอนุภาคขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอนุภาค และความเร็วของน้ำ โดยอนุภาคที่มีขนาดเบาเช่น DOC และอนุภาคดินเหนียว (clay) จะถูกนำพาไปได้ในระยะทางที่ไกลกว่าอนุภาคที่มีขนาดหนักกว่าเช่น อนุภาคทรายแป้ง (silt) อนุภาคทราย (sand) และกรวดหิน (gravel) เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้ว DOC จะมีอยู่อย่างเข้มข้นที่บริเวณชั้นดินบน (0-20 ซม.) ซึ่งที่ระดับดังกล่าวจะได้รับอิทธิพลอย่างมากจากกระบวนการกร่อนดิน ซึ่งในช่วงแรก น้ำไหลป่าผิวน้ำดิน (surface runoff) จะพัดพาเอาอินทรีย์วัตถุส่วนที่เป็นชิ้น (particulate organic matter; POM) ออกไปได้ง่าย เนื่องจาก POM จัดว่าเป็น light fraction และเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ (DOC) ซึ่งการพัดพาเอา POM ไปพร้อมกับตะกอนดินนั้นทำให้ค่า C:N ratio ของตะกอนดินเพิ่มขึ้นประมาณ 1-5 เท่าของ C:N ratio ในดินเดิม

ในการเกิดกระบวนการกร่อนดินนั้น อัตราการกร่อนดินจะมีมากหรือน้อยเพียงใด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ พลังในการชะล้างพังทลายของฝน ลักษณะและปริมาณพืชคลุมดิน และรูปแบบการจัดการที่ดิน ส่วนคุณสมบัติของดินดั้งเดิมนั้นมีผลต่อการกร่อนดินน้อยมาก อย่างไรก็ตามหากดินต่างชนิดกัน เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน อัตราการกร่อนดินจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของดินนั่นเอง (วันเลิศ, 2532) อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้ว ไม่ได้เป็นผลมาจากปัจจัยเดียว แต่เกิดจากหลายปัจจัยรวมกัน ดังที่กล่าวข้างต้น ทั้งนี้ พิชัย (2532) ได้อ้างถึงการประเมินการชะล้างพังทลายของดิน โดยการใช้สมการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation, USLE) เพื่อใช้ในการสำรวจศึกษาและทำแผนที่แสดงสภาพการกร่อนดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยสมการที่ใช้ คือ

$$A = RKLSCP$$

โดยที่ A คือ การสูญเสียดินรายปีต่อหน่วยของพื้นที่, R คือ ดัชนีพังทลายของดินที่เกิดจากน้ำฝน, K คือ สมรรถนะการพังทลายของดิน, L คือ ดัชนีความยาวของแนวลาดเท, S คือ ดัชนีของความลาดเท, C คือ ดัชนีการจัดการพืช, P คือ ดัชนีของการปฏิบัติการป้องกันการชะล้างพังทลาย

### 2.1.2 การเคลื่อนที่ตามแนวตั้งของอินทรีย์วัตถุในดิน

การเคลื่อนที่ของ DOC ไปตามหน้าตัดดิน (soil profile) หรือการเคลื่อนที่ในแนวตั้งนั้น สาเหตุมาจากหลายกระบวนการที่แตกต่างกันออกไป เช่น การרבกวนตะกอน กระบวนการซาบซึมลึก (deep percolation, deep drainage) ของ DOC และ organo-mineral colloid เป็นกระบวนการเคลื่อนที่ของอินทรีย์วัตถุขนาดใหญ่ (particulate organic matter) ไปตามช่องว่างขนาดใหญ่ในดิน (macropore) และการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการไถพรวนดิน (Amundson and Baisden, 2009) การרבกวนตะกอน (bio-turbation) เป็นกระบวนการเคลื่อนที่ของ DOC จากชั้นดินบนลงสู่ชั้นดินล่างที่เกิดจากกิจกรรมของพืช (flora) และสัตว์ในดิน (fauna) เช่น ไส้เดือนดิน ปลวก มด หนู (Wilkinson and Humphreys, 2007) ส่วนกระบวนการซาบซึมลึก (deep percolation) ของ DOC และ organo-mineral colloid เมื่อระบบดินได้รับน้ำ ไม่ว่าจะมาจากน้ำฝนหรือการชลประทานก็ตาม น้ำจะเคลื่อนที่แทรกซึมเข้าไปในดินลงสู่ด้านล่างของหน้าตัดดิน พร้อมกันนี้จะละลายสารประกอบที่ละลายน้ำได้ลงไปด้วย ซึ่งรวมทั้ง DOC ด้วย กระบวนการนี้จะมีความสำคัญมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำในดิน (soil moisture content) คุณสมบัติทางเคมีของอินทรีย์วัตถุและคุณสมบัติของดิน คาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป Qualls and Haines (2006) ได้จำแนก DOC ออกเป็น 6 ส่วน (fractions) (ตารางที่ 1) ได้แก่ 1. ส่วนไม่ชอบน้ำที่เป็นกลาง (hydrophobic neutrals) 2. ส่วนไม่ชอบน้ำที่เป็นกรดอ่อน (weak/phenolic hydrophobic acid) 3. ส่วนไม่ชอบน้ำที่เป็นกรดแก่ (strong/ carboxylic hydrophobic acid) 4. ส่วนชอบน้ำที่เป็นกรด (hydrophilic acid) 5. ส่วนชอบน้ำที่เป็นกลาง (hydrophilic neutral) และ 6. ส่วนชอบน้ำที่เป็นด่าง (hydrophilic base)

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของ DOC ในแนวตั้งของ Qualls and Haines (1996) ซึ่งได้ทำการทดลองในดินที่ลำดับ Ultisols และ Inceptisols ในป่าของเทือกเขาแอพพาลาเชียน (Appalachian mountain) พบว่า hydrophobic fraction จะมีความเข้มข้นลดลงเมื่อดินมีความลึกมากขึ้น ในขณะที่ hydrophilic fraction จะมีความเข้มข้นมากขึ้นตามความลึกของดิน แหล่งของ DOC ที่สำคัญนั้นมาจาก 3 แหล่ง คือ ใบไม้ที่ร่วงใหม่ มวลชีวภาพจุลินทรีย์ และสารฮิวมิก (McCollr et al., 2008) ซึ่งการเคลื่อนที่ของ DOC จะมากน้อยเพียงใดนั้นบางส่วนจะสะสมอยู่ตามชั้นดินต่าง ๆ ที่อยู่ลึกลงไป ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งสามารถที่จะเคลื่อนที่ลงไปสะสมอยู่ในแหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งส่วนนี้จะเคลื่อนที่ไปสะสมอยู่ตามห้วย หนอง คลอง บึง ที่อาจจะเป็ผลเสียต่อระบบนิเวศที่ DOC นั้นไปสะสมอยู่

**Table 1** some kinds of dissolved organic carbon which are vertical movement into soil profile

Fractions	Compounds
Hydrophobic neutrals	Hydrocarbons, Chlorophyll, Carotenoids, Phospholipids, Humic substances with <1 ionic or phenolic group per 13 C atoms
Weak (phenolic) hydrophobic acids	Tannins, Flavonoids, Other polyphenols (<1 carboxyl group per 13 C atoms), Vanillin
Strong (carboxylic) hydrophobic acids	Fulvic acid and humic acid, Humic-bound amino acids and, peptides, Humic-bound carbohydrates, Aromatic acids (including phenolic, carboxylic acids), Oxidized polyphenols (with > 1 carboxyl group per 12 C atoms), Long-chain fatty acids (>C5)
Hydrophilic acids	Huraic-like substances with lower molecular size and higher COOH/C ratios, Oxidized carbohydrates with COOH groups, Small carboxylic acids, Inositol and other sugar phosphates
Hydrophilic neutrals	Simple neutral sugars, Non-humic-bound polysaccharides, Alcohols (<C4)
Bases	Proteins, Free amino acids and peptides, Aromatic amines, Amino-sugar polymers (such as from microbial cell walls)

ที่มา: Qualls and Haines (1996)

## 2.2 กระบวนการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์วัตถุในดิน

การย่อยอินทรีย์วัตถุและการปลดปล่อยธาตุอาหารออกสู่ดินนั้นมีความสำคัญต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศ โดย 2 กลไกที่สำคัญคือ 1) leaching เป็นกระบวนการทางกายภาพในธรรมชาติ และ 2) กระบวนการย่อยสลาย (decomposition) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีทางธรรมชาติ ซึ่งเป็นกระบวนการหลักในการปลดปล่อยธาตุอาหาร แต่อย่างไรก็ตามก่อนที่จะมีการย่อยสลายเกิดขึ้น การสูญเสียธาตุอาหารจากซากอินทรีย์สารนั้นเกิดจากกระบวนการชะล้างขึ้นก่อน (leaching) ซึ่งเป็นกลไกทางด้านกายภาพ โดยน้ำจะละลายโมเลกุลของสารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้รวมทั้งอินทรีย์สารออกจากซากอินทรีย์วัตถุ การที่ธาตุอาหารเปลี่ยนจากรูปอินทรีย์สารไปอยู่ในรูปอนินทรีย์สารเรียกว่ากระบวนการมินเนอรอลไลเซชัน (mineralization) ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในส่วนของกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ

ระหว่างที่มีการย่อยสลาย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และธาตุอาหารพืชที่สำคัญ เช่น ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส จะถูกปลดปล่อยออกมา (Brady and Weil, 2008) ในระยะแรกจะได้สารประกอบ แอมโมเนียมและซัลไฟด์ออกมาก่อน และจะเปลี่ยนไปเป็น ไนเตรทและซัลเฟตในภายหลัง พร้อมกันนั้น ในการเน่าเปื่อยของซากอินทรีย์สาร แคลไออนอนต่าง ๆ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Mg}^{2+}$  จะถูกปลดปล่อย ไปสู่สารละลายดิน และคอลลอยด์ดิน (soil colloid) จะดูดซับเอาไว้ และหลังจากนั้นจึงค่อย ๆ ปลดปล่อย ออกมาเพื่อให้พืชดูดไปใช้อย่างช้า ๆ (slow release)

### 2.2.1 กระบวนการมินเนอรอลไลเซชัน (mineralization)

กระบวนการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ในซากพืชและอินทรีย์วัตถุในดิน ไปอยู่ใน รูปสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เรียกว่า mineralization (Bockman et al., 1989) โดยที่สารประกอบ คาร์บอนจะสลายตัวและถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ไนโตรเจนที่มากเกินไปความต้องการของ จุลินทรีย์จะถูกปลดปล่อยออกมา แสดงว่ากระบวนการ mineralization ก็คือส่วนหนึ่งของกระบวนการ ย่อยสลายนั่นเอง ระหว่างที่มีกระบวนการ mineralization เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนให้ไป อยู่ในรูปสารอนินทรีย์ คือ  $\text{NH}_3$  หรือ  $\text{NH}_4^+$  โดยจุลินทรีย์ดิน หากสิ่งแวดล้อมเหมาะสม  $\text{NH}_4^+$  จะถูก ออกซิไดซ์ไปเป็น  $\text{NO}_3^-$  อย่างรวดเร็ว

#### 1) สิ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการ mineralization

การคลุกซากพืชลงในดินมีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนธาตุไนโตรเจนในระบบนิเวศเกษตร ในการย่อยสลายซากพืชนั้นจะมีกระบวนการ mineralization เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย 3 ปฏิกริยา คือ aminization, ammonification และ nitrification สองปฏิกริยาแรกเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของ heterotrophic microorganism ส่วนปฏิกริยาสุดท้ายเกิดจากพวก autotrophic bacteria จุลินทรีย์พวก heterotroph ประกอบด้วยแบคทีเรีย เชื้อราและแอคติโนมัยซิส ทำหน้าที่ย่อยพวกอินทรีย์โมเลกุลที่มี โครงสร้างซับซ้อนให้ปลดปล่อย amine และ amino acid ออกมา กระบวนการนี้เรียกว่า aminization ส่วนปฏิกริยา ammonification เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่เปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนใน ดินไปเป็น ammonia หรือ ammonium ion โดยที่จุลินทรีย์พวก heterotroph จะไปไฮโดรไลซ์ amino group ของ amine และ amino acid แล้วปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูป  $\text{NH}_4^+$  ขั้นตอนสุดท้ายคือ ปฏิกริยา nitrification ซึ่งประกอบด้วยสองขั้นตอนย่อยคือ 1) แอมโมเนียมเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) และขั้นตอนต่อไปคือ ไนไตรท์เปลี่ยนไปเป็นไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) โดยปฏิกริยานี้เกิดจาก autotrophic bacteria ที่ชื่อ *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ตามลำดับ หลังจากนั้น  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{NO}_3^-$  จะถูกพืชดูดไปใช้ สูญเสียโดยการไหลซึมลึก (leaching) ระบายไปโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) และถูก จุลินทรีย์นำไปใช้ (immobilization)

## 2) กระบวนการ mineralization และ immobilization

ธาตุอาหารพืช ที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยผ่านกระบวนการมินเนอรอลไรเซชัน ประกอบด้วย ธาตุ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ส่วนใหญ่แล้วธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เร็วและจุลินทรีย์ก็นำไปใช้ในปริมาณมาก ดังนั้นธาตุอาหารส่วนใหญ่ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจึงถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรีย ปฏิกริยา mineralization กับ immobilization จึงเป็นปฏิกริยาที่ตรงกันข้ามกันนั่นคือ กระบวนการ mineralization คือการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนรูปของธาตุอาหารในรูปสารอินทรีย์ไปอยู่ในรูปอนินทรีย์ เช่น การเปลี่ยน proteinaceous nitrogen ไปเป็น ammonium carbonate (Follett et al., 1999) ในขณะที่กระบวนการ immobilization คือการที่แบคทีเรียเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารจากสารอนินทรีย์ไปเป็นอินทรีย์ ตัวอย่างเช่นการที่พืชหรือจุลินทรีย์ดูดเอา ammonium หรือ nitrate แล้วเปลี่ยนเป็นโปรตีน กระบวนการ mineralization และ immobilization นั้นเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน เราสามารถทำนายได้ว่าไนโตรเจนจะอยู่ในรูป mobilization หรือ immobilization โดยทราบจากค่า C:N ratio หรือเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในซาก Singer and Munns (2006) กล่าวว่าหากซากมีค่า C:N ratio ต่ำกว่า 20 หรือเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนสูงกว่า 2.5 ไนโตรเจนก็จะถูกปลดปล่อยออกมา แต่ถ้าหากซากมี C:N ratio สูงกว่า 20 จะเกิด immobilization จนกว่ากระบวนการย่อยสลายและกระบวนการหายใจจะ ทำให้ C:N ratio ลดต่ำลง ในขณะที่ Brady and Weil (2006) กล่าวว่าหากซากพืชหรืออินทรีย์วัตถุชนิดอื่น ๆ มี C:N ratio มากกว่า 25:1 จุลินทรีย์ดินจะเข้าไปย่อยและดูดซับเอาไนโตรเจนเข้าไป ทำให้ไม่มีไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดังนั้นพืชจึงขาดไนโตรเจน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้น จะต้องใช้คาร์บอน 8 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วน แต่ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะมีการสูญเสียคาร์บอนส่วนหนึ่งไปกับกระบวนการหายใจ ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ประมาณ 1 ใน 3 ของกระบวนการเมแทบอลิซึม ดังนั้นทุกครั้งที่มีการนำคาร์บอนไปใช้ 24 ส่วน จุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจน 1 ส่วน หรือ C:N ratio เท่ากับ 24:1

### 2.2.2 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ

ในการย่อยสลายซากอินทรีย์วัตถุในดินนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน ปัจจัยทั้งหลายเหล่านั้นคือ คุณสมบัติและปริมาณของอินทรีย์วัตถุ ระยะของกระบวนการย่อยสลาย ตลอดจนปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น pH ความเค็มของดิน น้ำ อุณหภูมิ ออกซิเจนและปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ

#### 1) คุณภาพซาก

อินทรีย์วัตถุแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบที่มีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งส่วนที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยทั้งสิ้น (Corbeels, 2001) Tian et al. (1992) พบว่าซากพืชต่างชนิดกัน ตลอดจนอยู่สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จะมีอัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยซากที่มีองค์ประกอบทางเคมีเช่น

C:N ratio, polyphenol:N, lignin:N, (polyphenol+lignin) :N ที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้มีอัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกัน (Zaharah and Bah, 1999; Giller and Cadisch 1997) กล่าวคือ ซากที่มีปริมาณลิกนินและเซลลูโลสสูงหรือมีไนโตรเจนและธาตุอาหารที่เป็นตำ่าจะทำให้อัตราการย่อยสลายซากพืชลดลง คชณีที่ใช้เป็นตัวชี้วัดอัตราการย่อยสลายของซากพืชนั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช Heal et al. (1997) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคชณีที่ใช้ในการบอกถึงคุณภาพของซากพืชและได้สรุปเอาไว้ว่า การที่จะนำตัวชี้วัดใดมาทำนายอัตราการย่อยสลายของซากพืชนั้นจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีของพืชแต่ละชนิดด้วย กล่าวคือ ซากพืชที่มี C:N ratio อยู่ในช่วง 25-75 โดยส่วนใหญ่เป็นใบพืชที่มีสีเขียวซึ่งปกติแล้วจะมีการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว แต่กลับพบว่าพืชตระกูลถั่วบางชนิดจะมีอัตราการย่อยช้าลงเมื่อมีปริมาณโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าโพลีฟีนอลจะรวมตัวกับโปรตีนเมื่อเซลล์แตก ซึ่งจะยับยั้งกระบวนการย่อยสลาย (Palm and Sanchez, 1991) ซึ่งจะทำให้มีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาช้า (Paustain et al., 1997; Vanlauwe et al., 1997) ดังนั้น polyphenol: N ratio จึงน่าจะเป็นคชณีชี้วัดถึงคุณภาพซากได้ดีกว่า ส่วนช่งของธัญพืชและพืชตระกูลถั่วตลอดจนซากของพืชฤดูเดียวบางชนิด ซึ่งปกติแล้วจะมีปริมาณลิกนินน้อยกว่า 10-15 เปอร์เซ็นต์ หรือมี C:N ratio อยู่ในช่วง 50-100 ซึ่งให้เห็นว่าซากพืชกลุ่มนี้เหมาะสมที่จะใช้ C:N ratio เป็นตัวทำนายอัตราการย่อยสลาย เนื่องจากสัดส่วนของไนโตรเจนต่อคาร์บอนที่สูงกว่านี้จะมีความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อต่ำกว่าการเปลี่ยนรูปของคาร์บอน อย่างไรก็ตามในกรณีของไม้เนื้อแข็ง (woody perennial) ที่มี C:N ratio เท่ากันแต่มีปริมาณลิกนินแตกต่างกัน ซึ่งลิกนินเป็นสารที่ไม่เพียงขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ที่จุลินทรีย์หลั่งออกมาเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่เป็นเหมือนกำแพงที่คอยปิดกั้นไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์อีกด้วย (Melillo et al., 1982) ดังนั้น lignin:N ratio จึงน่าจะเป็นคชณีที่บ่งบอกถึงความเป็นประโยชน์ของคาร์บอนต่อจุลินทรีย์ได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม การที่ซากพืชมีอัตราการย่อยสลายช้าลงนั้นจะเป็นผลดีในระยะยาวต่อการพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวยาวนาน หรือจะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกตามในภายหลัง (Dorji, 2006)

## 2) สัดส่วนของ sand, silt และ clay ในดิน

Sakala et al. (2000) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการย่อยสลายและ N mineralization ของ pigeonpea ที่ประเทศมาลาวี (Malawi) พื้นที่ทำการทดลองมีอยู่ 3 แห่ง คือ Chitala, Chitedze และ Lisasadzi ซึ่งแต่ที่พื้นที่มีลักษณะเนื้อดินที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าบริเวณที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวมากจะเกิด N immobilization นานที่สุด เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้กระบวนการย่อยสลายและ N turnover เกิดขึ้นช้า (van Veen et al., 2005)

### 3) pH ความเค็มและปริมาณธาตุอาหารในดิน

Singer and Munns (2006) กล่าวว่า การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินจะถูกยับยั้งเมื่อ pH ต่ำกว่า 4.5 และสูงกว่า 9 พร้อมกันนี้ดินที่มีความเค็มมาก ๆ ตลอดจนดินที่ขาดธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน ก็ล้วนทำให้อัตราการย่อยสลายซากลดลงทั้งสิ้น โดยดินที่มีความเค็มสูงและมี pH ไม่เหมาะสมจะทำให้จำนวนและความหลากหลายของจุลินทรีย์ถูกจำกัด กรณีการขาดธาตุอาหารนั้นจะส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มจำนวนและความแข็งแรงของประชากรจุลินทรีย์ ตลอดจนไปทำให้การเจริญเติบโตและความแข็งแรงของพืชลดลง

### 4) ความชื้นในดิน

Rasiah and Kay (1998) รายงานว่าค่าศักย์ของน้ำในดิน (soil water potential) จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ทั้งนี้ Singer and Munns (2006) ก็ได้กล่าวเอาไว้เช่นกันว่า อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินจะสูงสุดเมื่อน้ำในดินมีค่าศักย์อยู่ในช่วง -10 ถึง -50 กิโลปาสกาล และจะช้าลงเมื่อปริมาณของน้ำในดินลดลง กล่าวคือ เมื่อน้ำในดินลดลง การทำงานของแบคทีเรียจะช้าลง ในขณะที่กิจกรรมของเชื้อรายังปกติอยู่และเชื้อราสามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ ถึงแม้ว่าค่าศักย์ของดินจะต่ำกว่า -10 เมกะปาสกาล นอกจากนี้ในสภาพที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (-10 ถึง 0 กิโลปาสกาล) จะส่งผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุอย่างยิ่ง เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายนั้นขาดออกซิเจนเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ

### 5) อุณหภูมิ

Singer and Munns (2006) กล่าวว่าจากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในห้องปฏิบัติการ โดยนำดินมาอบในอุณหภูมิที่แตกต่างกันพบว่า อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่ออุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส (ระหว่าง 10-40 องศาเซลเซียส) จากผลการทดลองดังกล่าวทำให้เราทราบว่า กิจกรรมของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ในฤดูหนาวอัตราการย่อยสลายจะลดลง ดังนั้นจึงมักพบอยู่เสมอว่า อินทรีย์วัตถุในดินในประเทศเขตอบอุ่นจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงชันเรื่อย ๆ

### 6) ออกซิเจน

ในการย่อยสลายซากพืชชั้นนั้น ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์คือ อากาศหรือออกซิเจน เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการพลังงานจากการหายใจ เมื่อออกซิเจนลดลงกิจกรรมของจุลินทรีย์ก็ย่อมลดลงด้วย (Singer and Munns, 2006)

### 3. การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สามารถละลายในน้ำได้ในดิน (Analysis of Dissolved Organic Carbon in Soil)

การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สามารถละลายในน้ำได้ (dissolved organic carbon; DOC) ในดินนั้น ขณะนี้ไม่มีวิธีการที่ยังเป็นมาตรฐาน เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณ DOC ที่เคยทำมาก่อนหน้านี้ ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณ DOC ในแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล เท่านั้น

ในการวิเคราะห์ปริมาณหรือความเข้มข้นของ DOC นั้น มีหลายปัจจัยที่ทำให้ค่าการวิเคราะห์มีความแปรปรวน เช่น ปัจจัยระยะเวลาที่ต้องทำการวิเคราะห์หลังจากที่ทำการเก็บตัวอย่างจากแปลง ปัจจัยด้านชนิดของดินที่จะนำไปวิเคราะห์ เช่น ดินสด ดินแห้ง ดินที่ผ่านหรือไม่ผ่านการร่อน เป็นต้น ปัจจัยด้านชนิดของสารสกัด ปัจจัยด้านสัดส่วนระหว่างดินกับสารสกัด ปัจจัยด้านระยะเวลาในการเขย่าของผสมระหว่างดินกับสารสกัด ปัจจัยด้านอุณหภูมิระหว่างทำการสกัด ปัจจัยด้านเครื่องมือที่ใช้แยกสารละลายดินออกจากดินหลังจากทำการเขย่า เป็นต้น

#### 3.1 ปัจจัยที่ทำให้ค่าวิเคราะห์วิเคราะห์มีความแปรปรวน

##### 1. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างดินไว้หลังจากทำการเก็บตัวอย่างจากแปลง

เนื่องจากในระบบดินจะประกอบไปด้วย องค์ประกอบต่างๆ เช่น แร่ประกอบดิน น้ำ อากาศ และอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งพลวัตต่างๆ ของในระบบดินได้รับอิทธิพลจากจุลินทรีย์ดินเป็นสำคัญ ซึ่งจุลินทรีย์ดินนี้จะมีกิจกรรมอยู่ตลอดเวลา เมื่อทำการเก็บดินจากแปลงเพื่อมาทำการวิเคราะห์ จุลินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างดินนั้นก็ทำงานหรือดำเนินกิจกรรมอยู่ตลอดเวลา โดยอาศัยแหล่งพลังงานที่อยู่ในดินคือ อินทรีย์วัตถุ เพราะฉะนั้น ปริมาณคาร์บอน (ในที่นี้รวมทั้ง DOC ด้วย) ในตัวอย่างดินจะต่ำกว่าในสภาพดั้งเดิม คือในแปลง เพื่อให้ค่าการวิเคราะห์ปริมาณ DOC ที่ถูกต้อง ผู้ทำการวิจัยจะต้องนำดินมาทำการวิเคราะห์ทันทีหลังจากเก็บตัวอย่างจากแปลง ซึ่ง Jones and Willett (2006) แนะนำว่าควรวิเคราะห์ DOC ภายในเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากทำการเก็บตัวอย่าง

##### 2. ปัจจัยด้านประเภทของดินที่จะนำไปวิเคราะห์

ดินที่จะนำไปทำการวิเคราะห์นั้น อาจจะเป็นดินแห้ง หรือดินสด แต่ในการใช้ดินแห้ง ระยะเวลาที่ทำให้ดินแห้งจะใช้เวลานาน คือประมาณ 48-72 ชั่วโมง ระยะเวลาดังกล่าวจุลินทรีย์ยังดำเนินกิจกรรมต่อไปเรื่อยๆ ทำให้ปริมาณ DOC ลดลง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดข้อผิดพลาดดังกล่าว ควรใช้ดินสดในการวิเคราะห์

##### 3. ปัจจัยด้านสารสกัด

DOC ในระบบดินจะถูกสะสมไว้ทั้งในส่วนที่เป็นสารละลายดิน และถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของแร่ประกอบดิน ทั้งที่สามารถแลกเปลี่ยนออกมาอยู่ในส่วนที่เป็นสารละลายดินได้และที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งสารสกัดแต่ละชนิดก็จะมีความสามารถในการสกัด DOC ออกมาจากแหล่งต่างๆ ได้แตกต่างกันออกไป

สารที่ใช้การสกัด DOC จากตัวอย่างนั้น ที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น น้ำกลั่น, 2 M KCl, 0.5 M  $K_2SO_4$  หรือ 1 M HCl เป็นต้น แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการสกัด DOC ออกจากดินที่แตกต่าง กันออกไป เช่น ในการใช้น้ำกลั่นเป็นสารสกัด จะสามารถสกัด DOC ได้จากส่วนที่เป็นสารละลายในดิน เท่านั้น ในขณะที่ KCl สามารถสกัด DOC ทั้งในส่วนที่เป็นสารละลายดินและในส่วนที่แลกเปลี่ยนได้ เป็นต้น ซึ่งในกรณีการวิเคราะห์หาปริมาณ DOC ที่สามารถเคลื่อนที่ลงไปตามหน้าตัดดินนั้น เราควรที่จะพิจารณา DOC 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่ในสารละลายดิน และส่วนที่ถูกยึดอยู่บนผิวของแร่ประกอบดินที่สามารถแลกเปลี่ยนไปอยู่ในสารละลายดินได้ ซึ่งทั้ง 2 รูปนี้สามารถที่เคลื่อนที่ลงไปตามหน้าตัดดินโดย น้ำ หรือสูญญากาศไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินได้ ดังนั้น สารสกัดที่มีคุณสมบัติสกัด DOC จากทั้ง 2 ส่วน คือ KCl

#### 4. ปัจจัยด้านสัดส่วนระหว่างดินกับสารสกัด

ในการเลือกใช้สัดส่วนระหว่างดินกับสารสกัด จะต้องเลือกใช้ในส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากถ้าให้สัดส่วนระหว่างดินกับสารสกัดสูง จะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดของสารนั้นทำได้ไม่เต็มที่ ผลที่ตามมาคือ ค่าการวิเคราะห์น้อยกว่าที่ควรจะเป็น แต่หากใช้สัดส่วนระหว่างดินกับสารสกัดต่ำ (ใช้สารสกัดปริมาณมากขึ้น) ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองสารเคมี Jones and Willett (2006) แนะนำว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้สารสกัด คือ 1:5 w/v ซึ่งสารสกัดในที่นี้อาจเป็น น้ำกลั่น หรือ 0.5 M  $K_2SO_4$  หรือ 2 M KCl ก็ได้

#### 5. ปัจจัยในการสกัด

ในขั้นตอนการเขย่าสารผสมระหว่างดินกับสารสกัดเพื่อสกัด DOC และเพื่อให้เกิดสภาพสมดุล (equilibrium) ระหว่าง DOC ที่อยู่ในสารละลายดินและ DOC ที่ถูกยึดที่ผิวของแร่ประกอบดิน ระยะเวลาเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในขั้นตอนนี้ หากใช้เวลาน้อยเกินไป สารละลายดินก็จะไม่อยู่ในสภาพสมดุล ซึ่งเมื่อทำการวัด DOC จะทำให้ได้ค่าที่คลาดเคลื่อน แต่หากใช้เวลาในการเขย่านานเกินไป ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองเวลา ในประเด็นนี้ Giesler and Lundström (1993) แนะนำเวลาที่เหมาะสมในขั้นตอนการสกัด คือ 1 ชั่วโมง

#### 6. ปัจจัยด้านจำนวนซ้ำของตัวอย่าง

ในขั้นตอนการวิเคราะห์นั้น การเลือกใช้จำนวนซ้ำเพื่อวิเคราะห์เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ DOC เนื่องจากหากปริมาณซ้ำมีน้อยเกินไป จะทำให้ค่าวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนมาก Jones and Willett (2006) แนะนำว่าจำนวนซ้ำที่เหมาะสมและช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนได้ คือ จำนวน 4 ซ้ำ

### 3.2 วิธีการสกัดและการวิเคราะห์

1. ชั่งดินสดที่ไม่ต้องทำการร่อน 2.5 กรัม แล้วเติมสารสกัด คือ น้ำกลั่น หรือ 2 M KCl ปริมาตร 12.5 ml (สัดส่วนระหว่างดิน/ สารสกัด เท่ากับ 1: 5 w/v)

2. นำไปเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

3. กรองด้วยกระดาษ WHATMAN เบอร์ 42

### 3.3 การวิเคราะห์

1. วัดปริมาณ DOC โดยใช้เครื่อง TOC-TN analyzer

## บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 วิธีการวิจัย

ได้ทำการสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สามารถละลายในน้ำได้ (DOC) โดยการเก็บตัวอย่างดินก่อนใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้กับแปลงมันสำปะหลัง แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่า DOC ในห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นได้เก็บตัวอย่างดินอีกที่ระยะเวลาทุก ๆ 2 เดือนภายหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงมันสำปะหลังดังกล่าวซึ่งเป็นพื้นที่ลาดเอียง ทั้งนี้เพื่อศึกษาอัตราการสลายตัวและอัตราการเคลื่อนที่ของคาร์บอนอินทรีย์ในบริเวณที่เป็นหัวแปลง กลางแปลงและท้ายแปลงของแปลงมันสำปะหลัง การเก็บตัวอย่างดินดังกล่าวนั้นเก็บโดยการใช้สว่านเจาะดินที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 ซม. จากผิวหน้าดินของบริเวณหัวแปลง กลางแปลงและท้ายแปลง (บริเวณละ 3 จุดในระดับเดียวกัน ดังภาพที่ 1) นำตัวอย่างดินที่เก็บในแต่ละชั้นความลึกใส่ถุงพร้อมทั้งบันทึกสภาพที่เก็บและวันที่เก็บ แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สามารถละลายในน้ำได้ (DOC) ในห้องปฏิบัติการทางเคมีต่อไป (พจนีย์, 2551)

### 3.2 ขั้นตอนในการเก็บดิน

การเก็บตัวอย่างดินในแปลงมันสำปะหลังก่อนที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ หลังจากนั้นจึงทำการหว่านเศษซากใบแค และใบจามจุรีในแปลงมันสำปะหลังของเกษตรกร และทำการเก็บตัวอย่างดินทุก ๆ 2 เดือน (ม.ย., ส.ค., ต.ค., ธ.ค. 54) หลังจากที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงทดลอง แบ่งพื้นที่ทำการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือบริเวณพื้นที่ตอนบน กลาง และล่างของแปลงดังกล่าว แต่ละส่วนของพื้นที่แบ่งออกเป็น 3 จุด (รวมเป็นจุดที่เก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 9 จุด) เพื่อศึกษาการสลายตัวและการเคลื่อนที่ของคาร์บอนอินทรีย์ในดินของแปลงมันสำปะหลังที่พื้นที่ลาดเอียง เป็นแปลงที่ไม่มีวัชพืชมาก ทำให้ง่ายต่อการเก็บตัวอย่างดิน การเก็บตัวอย่างดินนั้นเก็บโดยใช้สว่านเจาะดิน (soil auger) ในการเก็บ โดยเก็บที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 ซม. จากผิวหน้าดิน และนำตัวอย่างดินที่เก็บได้ นำมาเก็บใส่ถุง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางเคมีต่อไป (พจนีย์, 2551)

### 3.3 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

#### 3.3.1 เตรียมพื้นที่การทดลอง

สำรวจพื้นที่ที่จะทำการทดลอง โดยต้องเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่มีความลาดเอียง จากนั้นโรยใบแคะและใบจามจู้รี (ซึ่งเป็นเศษซากพืชที่ย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว) ให้ทั่วพื้นที่การทดลองที่กำหนด โดยพื้นที่ที่ทำการศึกษาดังอยู่ที่ บ้านหนองฮี ต. ภูเหล็ก อ. บ้านไผ่ จ. ขอนแก่น

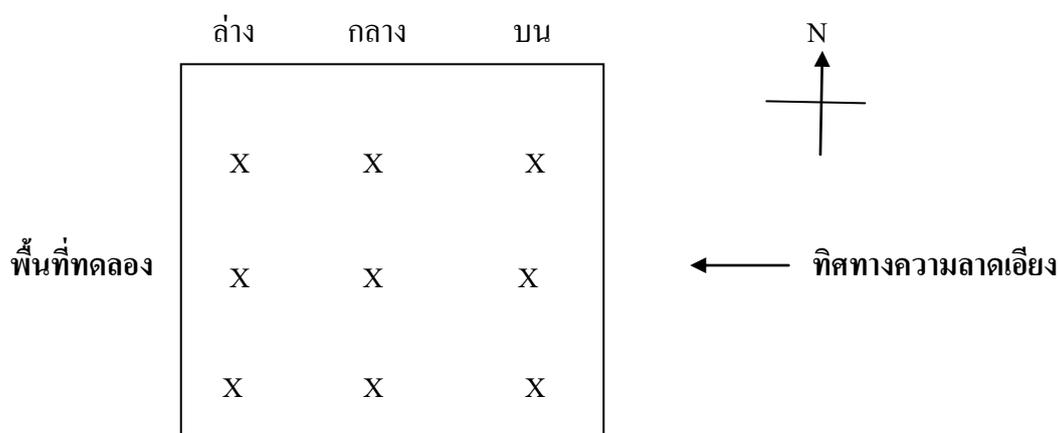
### 3.3.2 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ทดลอง

1. พื้นที่เป็นพื้นที่ลาดเอียง ประมาณ 5-10 %
2. ชุดดินบ้านไผ่ (Ban Phai soil series, Bph)
3. ปลูกมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 10 ปี
4. พื้นที่ทำการทดลองขนาด 702 ตารางเมตร

### 3.4 ขั้นตอนการวิจัย

#### 3.4.1 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินจากความลึก 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 ซม. โดยแบ่งพื้นที่มันสำปะหลังออกเป็น 3 ส่วน คือ พื้นที่ด้านบน กลาง และด้านล่างของพื้นที่ทดลอง และทำการเก็บตัวอย่างดินแต่ละส่วนออกเป็น 3 จุด (ซ้ำ) ในแนวเดียวกัน (ดังภาพที่ 1) โดยออกเก็บตัวอย่างดินทุก ๆ 2 เดือนต่อครั้ง ซึ่งเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 4 ครั้ง (มิ.ย., ส.ค., ต.ค. และ ธ.ค. 54)



ภาพที่ 1 แผนผังการเก็บตัวอย่างดินในการทดลอง



ภาพที่ 2 การเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้สว่านเจาะดิน (soil auger)



ภาพที่ 3 การโรยปุ๋ยอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย (ไบโกลสด และไบโจามจุรีสด) ภายหลังจากเก็บตัวอย่างดินครั้งแรก

### 3.5 การวิเคราะห์ดินเพื่อหาค่า DOC (พจนีย์, 2551)

#### 3.5.1 ขั้นตอนการสกัด DOC

1. ชั่งตัวอย่างดิน 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่
2. เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดฝา
3. นำขวดรูปชมพู่จากข้อ 2 ไปเขย่านาน 30 นาที
4. นำตัวอย่างจากข้อ 3 มากรองผ่านกระดาษกรอง No. 5

### 3.5.2 วิธีการวิเคราะห์ dissolved organic carbon (DOC) ในดิน

1. หลังจากที่ได้ทำการสกัด dissolved organic carbon (DOC) และนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง WHATMAN เบอร์ 5 ให้ดูสารละลายที่กรองได้แล้วในปริมาตร 5 ml ด้วย volumetric pipette ลงไปใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml

2. เติม 0.5 N  $K_2Cr_2O_7$  ลงไป 5 ml โดยใช้ volumetric pipette

3. เติม  $H_2SO_4$  conc. ลงไป 10 ml. โดยเร็ว แก้ว flask ไปรอบ ๆ เบบ ๆ เพื่อให้ น้ำยากับดินเข้ากันประมาณ 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยากันประมาณ 30 นาที

4. เติมน้ำกลั่นลงไป 15 ml

5. หยด O-phenanthroline indicator ลงไป 3 หยด

6. ไตรเทอร์ทันทันที่ด้วย standard 0.5 N  $FeSO_4$  เมื่อถึง end point จะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีน้ำตาลปนแดง

7. จดปริมาณ  $FeSO_4$  ที่ใช้ไตรเทอร์ทันไว้เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอินทรีย์ในดินต่อไป ควรทำ blank พร้อมไปกับสารละลายตัวอย่างด้วย

### 3.6 การเก็บข้อมูล/ข้อมูลที่ศึกษาและการวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่ทำการศึกษา คือ การเคลื่อนที่และการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินที่ระยะเวลาต่างๆกันและความลึกที่ระดับต่าง ๆ กันในช่วงฤดูฝน (ม.ย. 54-ธ.ค. 54) นำข้อมูล DOC จากห้องปฏิบัติการทางเคมี มาวิเคราะห์ทางสถิติหาค่า P value เพื่อหาความสัมพันธ์กันต่อไป

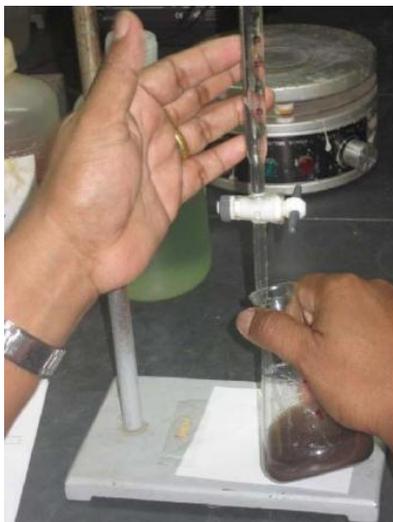
### 3.7 วัสดุ อุปกรณ์

- ส่วนเจาะดิน
- ถังพลาสติก
- ปากกาเคมี
- ไบแค ไบจามจูรี
- เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง
- กระดาษกรอง No. 5
- บิวเรต (burette) ขนาด 50 ml
- กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 20 ml
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 ml
- ปิเปตปริมาตร (volumetric pipette) ขนาด 10 ml

### 3.8 สารเคมี

1.  $H_2SO_4$  conc.
2. O-phenanthroline ferrous sulfate indicator

3. Standard  $0.5\ N\ K_2Cr_2O_7$
4.  $0.5\ N\ FeSO_4 \cdot 7H_2O$
5. น้ำกลั่น



ภาพที่ 4 สีที่เกิดขึ้นหลังจากการไทเตรทที่จุดยุติ (end point) จะเป็นสีน้ำตาลปนแดง

#### บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ตัวอย่างดินที่เก็บได้ในแต่ละช่วงระดับความลึก 10 ซม. (0-100 ซม.) ของบริเวณด้านบน กลาง และด้านล่างของแปลงทดลอง เป็นระยะเวลา 4 ครั้ง เก็บที่ระดับความลึก 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 ซม. ในเดือนมิถุนายนนั้นเก็บตัวอย่างดินก่อนใส่ปุ๋ย อินทรีย์ ส่วนในเดือนสิงหาคม ตุลาคม และธันวาคม 2554 ภายหลังจากที่ได้ใส่ปุ๋ยลงไปแล้ว (ไบแอสด และไบจามจิวรีสด) ตัวอย่างดินทั้งหมดนำมาวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (DOC) ของ ดินในห้องปฏิบัติการทางเคมี ซึ่งค่า DOC ที่ได้นั้นปรากฏดังตารางที่ 2

Table 2. Soil organic matter at different in the depths and seasons

Soil depth (cm)	Jun			August			October			December			p-value	F-test	C.
	Upper level†	Middle level	Lower Level	Upper level	Middle level	Lower Level	Upper level	Middle level	Lower Level	Upper level	Middle level	Lower Level			
0-10	0.76 h J	0.75 f J	0.75 h J	1.67 a I	1.88 a G	2.16 a D	1.69 h H	2.11 a E	2.38 a B	2.03 a F	2.19 a C	2.41 a A	<0.0001	***	
10-20	0.81 ef J	0.77 f K	0.77 g K	1.60 b I	1.84 b H	2.05 ab E	1.94 a G	2.07 b D	2.35 b B	2.00 b F	2.11 b C	2.39 a A	<0.0001	***	
20-30	0.79 g F	0.80 e F	0.81 f F	1.57 c E	1.79 c D	1.81 d-f D	1.90 b D	2.03 c B	2.30 c A	1.98 b B	2.08 c B	2.36 b A	<0.0001	***	
30-40	0.90 c I	0.90 b I	0.89 c I	1.43 e H	1.75 d G	1.94 bc E	1.88 c F	1.98 d D	2.27 d B	1.95 c E	2.01 d C	2.33 c A	<0.0001	***	
40-50	0.91 bc J	0.92 b J	0.97 b I	1.48 d H	1.70 e G	1.90 cd E	1.85 d F	1.95 e D	2.23 e B	1.89 d E	1.98 e C	2.30 d A	<0.0001	***	
50-60	0.93 b K	0.98 a J	0.99 a J	1.35 f I	1.67 f H	1.85 c-e F	1.80 e G	1.91 f D	2.19 f B	1.88 d E	1.95 f C	2.27 e A	<0.0001	***	
60-70	0.98 a I	0.98 a I	0.98 ab I	1.33 g H	1.62 g G	1.83 c-e E	1.75 f F	1.87 g D	2.15 g B	1.84 e E	1.91 g C	2.25 e A	<0.0001	***	
70-80	0.87 d K	0.90 b J	0.99 a I	1.28 h H	1.43 h G	1.74 e-g E	1.71 g F	1.82 h D	1.96 h B	1.81 f D	1.88 h C	2.20 f A	<0.0007	***	
80-90	0.83 e I	0.87 c H	0.87 d H	1.12 i G	1.33 i F	1.69 fg E	1.68 h E	1.74 i D	1.93 i B	1.74 g D	1.85 i C	2.15 g A	<0.0001	***	
90-100	0.80 fg J	0.83 d I	0.83 e I	0.98 j H	1.25 j G	1.65 g F	1.65 i F	1.74 i D	1.90 j B	1.70 h E	1.83 i C	2.12 h A	<0.0001	***	
p-value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001			
F-test	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***			
C.V.(%)	1.43	1.42	1.18	0.84	0.57	3.71	0.65	0.62	0.55	0.65	0.63	0.52			

† Mean in the same column followed by the same lower case letters and those in the same row followed by the same upper case letters are not significantly different ( $p \leq 0.05$ ), DMRT.

\*หน่วยเป็น  $g\ kg^{-1}$

4.1.1 ด้านบนของแปลงมันสำปะหลังในเดือนมิถุนายนนั้นที่ยังไม่ได้ใส่ปุ๋ย มีคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (DOC) ที่น้อยมาก ภายหลังจากที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างดินในเดือนสิงหาคมพบว่าค่า DOC ได้เกิดการสลายตัวแล้วเพิ่มขึ้นในทุกระดับความลึกของแต่ละชั้นดิน และทุกระดับความลาดเท แล้วได้มีการเก็บดินในเดือนตุลาคมพบว่าก็ยังคงมีคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเก็บดินครั้งสุดท้ายในเดือน ธันวาคม คาร์บอนอินทรีย์ในดินก็ยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อีกเช่นกัน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุที่ใส่ลงไปดินเป็นอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ง่าย จะเริ่มสลายตัวทันทีจึงทำให้พบว่าด้านบนของแปลงมันสำปะหลังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

4.1.2 ตรงกลางของแปลงมันสำปะหลังช่วงก่อนใส่ปุ๋ยจะมีคาร์บอนอินทรีย์ที่น้อยเหมือนด้านบนของแปลงมันสำปะหลัง แต่ภายหลังจากใส่ปุ๋ยอินทรีย์แล้วพบว่าคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมและมากกว่าด้านบนของแปลงมันสำปะหลัง เพราะในฤดูฝน ทำให้น้ำพัดพาปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ใส่ไว้ลงสู่พื้นที่ตรงกลางของแปลงมากกว่าด้านบนของแปลง ประกอบพื้นที่แปลงปลูกเป็นพื้นที่ลาดเอียง จึงทำให้พบว่ามีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น และเพิ่มมากขึ้นอีกในเดือนตุลาคม และ ธันวาคมตามลำดับ (ดังตารางที่ 1) และในส่วนความลึกแต่ละชั้นดินนั้นก็มีการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนอินทรีย์อีกด้วย เนื่องจากมีน้ำในฤดูฝนเป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง (วิทยา, 2545)

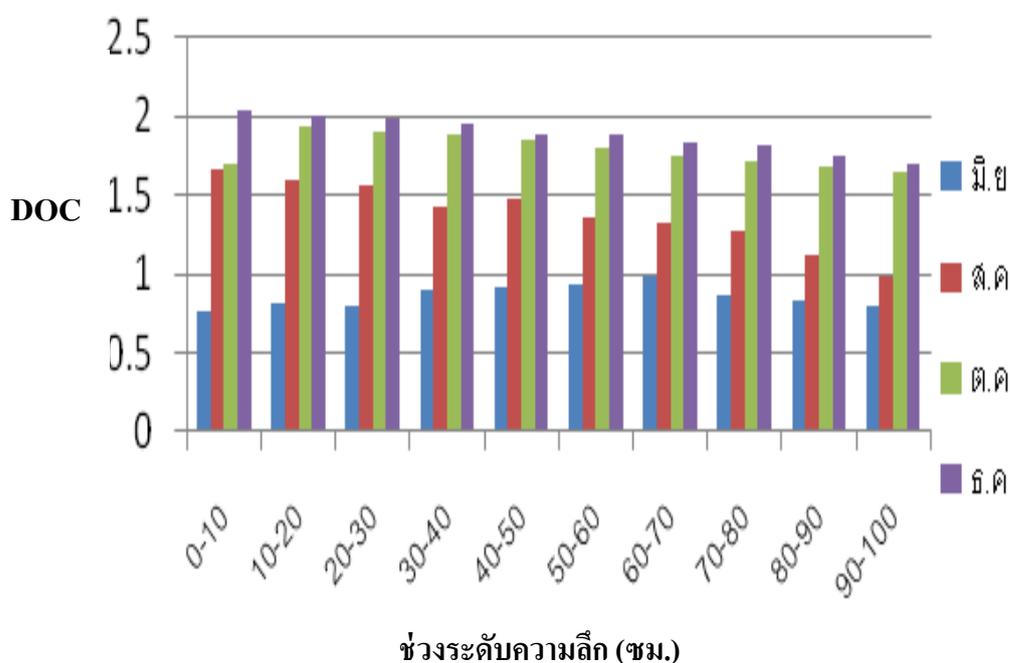
4.1.3 ด้านล่างของแปลงมันสำปะหลังนั้นในเดือนมิถุนายนนั้นจะมีคาร์บอนอินทรีย์ที่น้อยเหมือนด้านบนและตรงกลางของแปลง เนื่องจากยังไม่ได้มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ แต่ในเดือนสิงหาคมคาร์บอนอินทรีย์จะมากกว่าทั้งด้านบนและด้านล่างของแปลง เพราะน้ำฝนได้พัดพาปุ๋ยอินทรีย์มาด้านล่างของแปลง (ที่เป็นพื้นที่ลาดเอียง) แล้วมากขึ้นในเดือนตุลาคม และ ธันวาคมตามลำดับ และในส่วนของความลึกแต่ละชั้นดินนั้นก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกันอีกด้วย

จะเห็นได้ว่าแปลงทดลองการสลายตัวและการเคลื่อนที่ของอินทรีย์วัตถุในดินของแปลงมันสำปะหลังนั้น มีเนื้อดินเป็นดินเนื้อหยาบ และมีความลาดเท จึงทำให้เกิดการสลายตัวและการเคลื่อนที่ของอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ (dissolved organic carbon, DOC) มีความแตกต่างกันทางสถิติกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเห็นได้ชัดจากการเคลื่อนที่ของ DOC ในบริเวณที่สูงกว่ามายังบริเวณที่ต่ำกว่าในฤดูฝนโดยมีน้ำเป็นตัวกลางสำคัญในการเคลื่อนที่

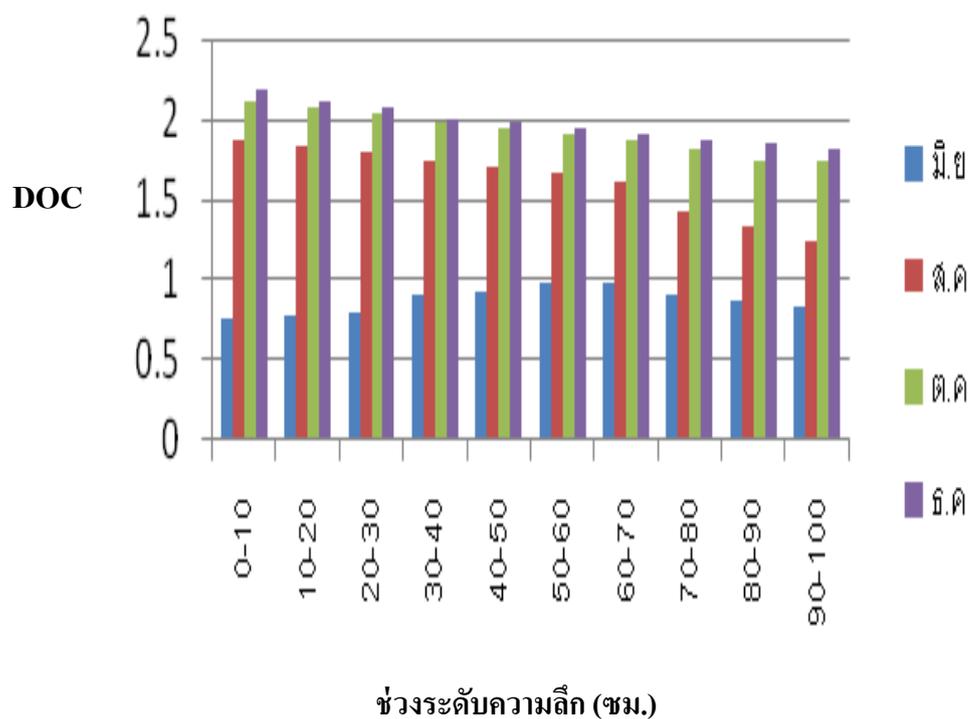
#### 4.2 การเคลื่อนที่ของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งแนวตั้งและแนวราบ

ค่า DOC เฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ นำมาแบ่งประเภทตามระดับความสูง-ต่ำของพื้นที่ที่ออกได้เป็น 3 ระดับ คือ บริเวณด้านบน กลาง และล่างของพื้นที่ พบว่า ค่า DOC เฉลี่ยของบริเวณด้านบนของแปลงมันสำปะหลังที่ศึกษามีปริมาณของ DOC มากที่ช่วงระดับความลึก 0-30 ซม. หลังจากนั้นค่า DOC จะลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าต่ำที่สุดที่ระดับความลึก 90-100 ซม. (ดังภาพที่ 5) สำหรับบริเวณตอนกลางของแปลงมันสำปะหลังมีปริมาณของ DOC มากกว่าทุกช่วงระดับความลึกเมื่อเปรียบเทียบกับ

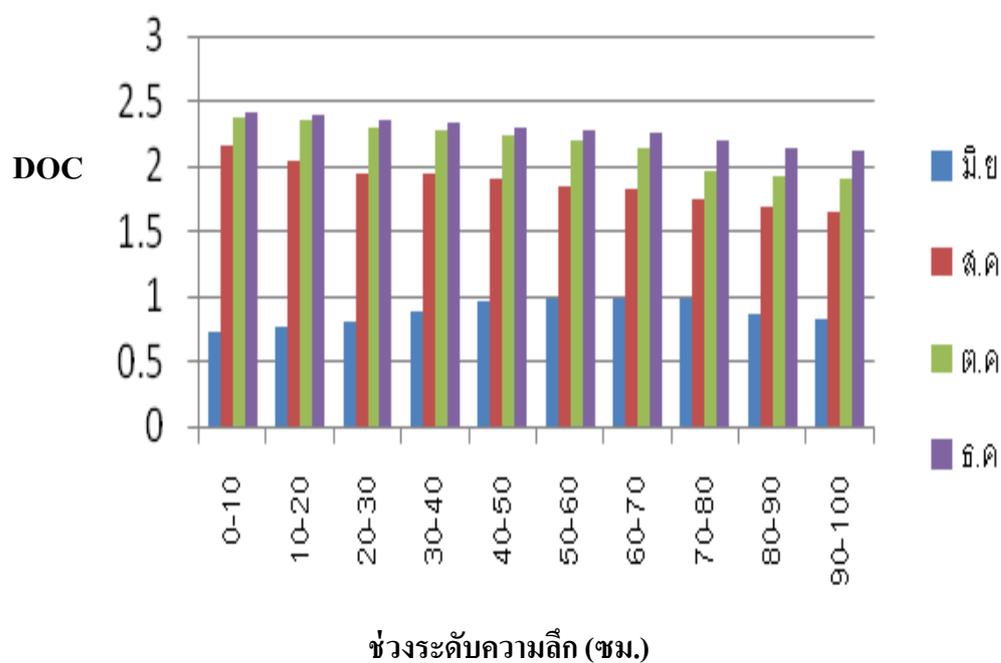
บริเวณด้านบน โดยค่า DOC มีปริมาณมากที่ช่วงระดับความลึก 0-30 ซม. หลังจากนั้นค่า DOC จะค่อย ๆ ลดลงและมีค่าต่ำที่สุดที่ระดับความลึก 90-100 ซม. (ดังภาพที่ 6) ส่วนบริเวณตอนล่างของแปลงมันสำปะหลังค่าของ DOC มีค่ามากที่สุดที่ทุกช่วงระดับความลึกเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณด้านบน และตอนกลางของแปลงฯ โดยค่า DOC มีปริมาณมากที่ช่วงระดับความลึก 0-20 ซม. หลังจากนั้นค่า DOC จะค่อย ๆ ลดลงและมีค่าต่ำที่สุดที่ระดับความลึก 90-100 ซม. (ดังภาพที่ 7) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ DOC จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งทั้งแนวราบและแนวตั้งได้นั้น เกิดจากการที่น้ำเป็นตัวกลางสำคัญในเคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝน จึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย DOC ได้ดียิ่งขึ้นอีกถ้าพื้นที่ดังกล่าวมีความลาดเท จึงทำให้มีการสะสมของ DOC .ในดินบริเวณที่ต่ำที่สุดของพื้นที่ (ดวงสมรและเทพฤทธิ์, 2542)



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยของ DOC ในแต่ละช่วงระดับความลึกทุก 10 ซม. จากผิวน้ำดินที่บริเวณด้านบนของแปลงมันสำปะหลังในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม 2554



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยของ DOC ในแต่ละช่วงระดับความลึกทุก 10 ซม. จากผิวน้ำดินที่บริเวณตอนกลางของแปลงมันสำปะหลังในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม 2554



ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ยของ DOC ในแต่ละช่วงระดับความลึกทุก 10 ซม. จากผิวน้ำดินที่บริเวณด้านล่างของแปลงมันสำปะหลังในช่วงเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม 2554

## บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### สรุปผลการทดลอง

- 1.1 ครั้งแรกในเดือนมิถุนายน 2554 ดินในแปลงมันสำปะหลังที่ยังไม่ใส่ปุ๋ยนั้น มีคาร์บอนอินทรีย์อยู่น้อยมาก
- 1.2 ครั้งที่ 2 เดือนสิงหาคมหลังจากใส่ปุ๋ยแล้ว 2 เดือน ทำให้มีคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นในแนวคิง ส่วนแนวราบก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่จะเพิ่มมากในด้านล่างของแปลงมันสำปะหลังเพราะฝนได้พัดพาปุ๋ยลงมาด้านล่างของแปลงมันสำปะหลัง (พื้นที่ลาดเอียง)
- 1.3 ครั้งที่ 3 เดือนตุลาคม 2554 นั้น เกิดการสลายตัวของคาร์บอนอินทรีย์ทำให้ดินมีคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ทั้งในแนวคิงและแนวราบ
- 1.4 ครั้งที่ 4 เดือนธันวาคม 2554 ยังคงพบว่าคาร์บอนอินทรีย์มีการสลายตัวอยู่เรื่อยๆ และมีการเคลื่อนที่ในแนวคิงลงสู่ชั้นดินชั้นล่างอยู่เรื่อยๆ ส่วนแนวราบก็ยังคงสลายตัว และมีคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

### ข้อเสนอแนะ

ถ้ามีระยะเวลาการศึกษาที่มากขึ้น ควรทำการทดลองต่อไปเรื่อยๆ เป็นระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น ยกตัวอย่างเช่น 1-3 ปี เป็นต้น เพื่อดูการสลายตัวของคาร์บอนอินทรีย์และดูการหยุดการสลายตัวของคาร์บอนอินทรีย์ว่าจะเป็นที่ระยะเวลาใดภายหลังจากใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปนดินต่อไป นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงมันสำปะหลัง นอกจากนั้นควรมีการศึกษาการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองทั้งแนวราบและแนวนอนต่อไปอีกด้วย

### เอกสารอ้างอิง

- ดวงสมร ตูลาพิทักษ์และเทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์. 2542. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบวิธีวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (A Comparative Study on Organic Matter Determination in Soils of the Northeast). ศูนย์ศึกษา คั้นคว่ำและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บุปผา โตภาคนามและอเนก โตภาคนาม. 2543. รายงานวิจัย เรื่อง การให้น้ำแบบใต้ดินกับการปลูกพืชบนพื้นที่ดินเค็มที่มีการตัดการเคลื่อนที่ของเกลือ (Sub-irrigation to Crop Growing on Salt Affected Soil with Cutting-off Zone Technique). ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- พจนีย์ แสงมณี. 2551. ปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์ เนื้อดินและความชื้นที่มีอิทธิพลต่ออินทรีย์วัตถุในดิน และการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน (Effect of Organic Material Quality, Soil Texture and Moisture on Soil Organic Matter and Nitrogen Transformation) วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วิทยา ตรีโลเกศ วิชัย ศรีบุญลือ สมภพ จงรวยทรัพย์ และอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์. 2553. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การเคลื่อนที่ของคาร์บอนอินทรีย์ในการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่างๆกันของพื้นที่ลูกคลื่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Organic carbon movement in different land use of undulating terrain in Northeast Thailand). ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สมเจตน์ จันทวัฒน์. 2532. กลวิธีการเกิดการชะล้างพังทลายของดินโดยน้ำเป็นตัวการ. หน้า 19-38. ใน การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง แนวทางการวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 13-16 กันยายน 2532. ณ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น.
- พิชัย วิชัยดิษฐ์. 2532. การสำรวจศึกษาและทำแผนที่แสดงสภาพการชะล้างพังทลายของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. หน้า 68-95. ใน การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง แนวทางการวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 13-16 กันยายน 2532. ณ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น.
- วันเลิศ วรรณปิยะรัตน์. 2532. ความคงทนต่อการชะล้างพังทลายของดินชุดสำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. หน้า 112-131. ใน การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง แนวทางการวิจัยและพัฒนาการอนุรักษ์ดินและน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 13-16 กันยายน 2532. ณ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น.
- Bockman, O.C., O. Kaarstad and I. Richards. 1989. Agriculture and Fertilizer. Agricultural Group, Norsk Hydro a.s, Oslo, Norway.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. The nature and properties of soils. 20<sup>th</sup> edition. Macmillan publishing company, New York, Collier Macmillan publishers, London.
- Corbeels, M. 2001. Plant litter and decomposition: General concepts and model approaches. CSIRO Forestry and Forest Products. Nee Workshop Proceeding: 18-20 April 2001. Retrieved from [http://greenhouse.crc.org.au/crc/ecarbon/---/nee/chapter18\\_plantlitter.pdf](http://greenhouse.crc.org.au/crc/ecarbon/---/nee/chapter18_plantlitter.pdf) on August 26<sup>th</sup>, 2006.
- Follett, R.H., L.S. Murphy and R.L. Donahue. 1999. Fertilizer and Soil Amendments. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

- Giesler, R., U. Lungström. 1993. Soil solution chemistry-effects of bulking soil samples. *Soil Science Society of American Journal*. 30: 328-332.
- Giller, K.E. and G. Cadisch. 1997. Driven by nature: A sense of arrival or departure? pp. 393-399. *In* G. Cadisch and K.E. Giller (eds). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International.
- Heal, O.W., J.M. Anderson and M.J. Swift. 1997. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. pp. 3-30. *In* G. Cadisch and K.E. Giller (eds). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International.
- Jones, D.L. and V.B. Willett. 2006. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 38: 991-999.
- KKU-Ford Cropping Systems Research Project. 1982 Agroecosystem and analysis of Northeast Thailand. Cropping Systems Research Project, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.
- Lal, R. 2006. Influence of soil erosion on carbon dynamic in the world. pp. 23-35. *In* E.J. Roose, R. Lal, C. Feller, B. Barthes and B.A. Stewart (eds.) *Advances in Soil Science: Soil Erosion and Carbon Dynamics*. CRC Press, Boca Raton London New York.
- McColl, J.G., J. Sanderman and R. Amundson. 2008. Dissolved organic matter controls on terrestrial carbon sequestration and export in contrasting California ecosystems. *Kearney Foundation of Soil Science: Soil Carbon and California's Terrestrial Ecosystems*.
- Melillo, J.M., J.D. Aber and J.F. Muratore. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition and dynamics. *Ecology* 63(3): 621-626.
- Palm C.A. and P.A. Sanchez. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology Biochemistry* 23: 83-88.
- Paustian, K., G.I. Agren and E. Bosatta. 1997. Modelling litter quality effects on decomposition and soil organic matter dynamics. pp. 313-335. *In* G. Cadisch and K.E. Giller (eds). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International.
- Qualls, R.G. and B.L. Haines. 1996. Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystem. *Soil Science Society of American Journal*. 55: 1112-1123.
- Rasiah, V. and B.D. Kay. 1998. Legume N mineralization: Effect of aeration and size distribution of water-filled pores. *Soil Biology Biochemistry*. 30(1): 89-96.

- Sakala, W.D., G. Cadisch and K.E. Giller. 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 679-688.
- Singer, M.J. and D.N. Munns. 2006. *Soils: An Introduction*. 6<sup>th</sup> edition. Personal Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. pp 446.
- Singer, M.J. and D.N. Munns. 2006. *Soils: An Introduction*. 6<sup>th</sup> edition. Personal Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. pp 446.
- Tian, G., B.T. Kang and L. Brussaard. 1992. Effect of chemical composition on N, Ca, and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry and fallow species. *Biogeochemistry* 15: 1-17.
- van Veen, J.A., J.N. Ladd and M. Amato. 2005. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with [<sup>14</sup>C(U)]glucose and [<sup>15</sup>N](NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub> under different moisture regimes. *Soil Biology and Biochemistry* 17: 747-756.
- Vanlauwe, B., J. Diels, N. Sanginga and R. Merckx. 1997. Residue quality and decomposition : an unsteady relationship? pp. 157-166. *In* G. Cadisch and K.E. Giller (eds). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International.
- Wilkinson, M.T. and G.S. Humphreys. 2005. Exploring pedogenesis via nuclide-bases soil production rates and OSL-based bioturbation rates. *Australian Journal of Soil Research*. 43:767-779.
- Zaharah, A.R. and A.R. Bah. 1999. Patterns of decomposition and nutrient release by fresh *Gliricidia* (*Gliricidia sepium*) leaves in an ultisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 269-277.