

การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินนาบริเวณที่ราบลุ่ม ภาคกลางของประเทศไทย

Soil organic carbon and total N stocks in paddy soils, Central Plain of Thailand

วิทยา จินดาลวง^{1*}, อภิรักษ์ จงเหลื่องสาอาด¹, ทิมทอง ดรณสนทยา¹ และ รฐนนท์ เจริญชาศรี¹
Wittaya Jindaluang^{1*}, Apirak Chongleangsraad¹, Tingtong Darunsontaya¹
and Rathanont Jaroenchasri¹

บทคัดย่อ: การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมากต่อวิกฤตการณ์ภาวะโลกร้อน อีกทั้งยังมีความสำคัญต่อการส่งเสริมผลิตภาพของดินและความยั่งยืนในการใช้ประโยชน์ที่ดิน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินนาบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย โดยคัดเลือกตัวแทนดินนาที่มีพัฒนาการทางดินแตกต่างกัน ได้แก่ ดินในอันดับอินเซปติซอลส์ จำนวน 3 ชุด ดินในอันดับแอลฟิซอลส์ จำนวน 3 ชุด และดินในอันดับอัลติซอลส์ จำนวน 2 ชุด ดินศึกษาจากฐานวิทยาศาสตร์ของดิน และเก็บตัวอย่างดินตามชั้นการกำเนิดดินมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินและในอนุภาคของดินแต่ละขนาด ผลการศึกษาพบว่า ดินแต่ละอันดับมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในชั้นไทรพอร์นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดินในอันดับอินเซปติซอลส์มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมสูงที่สุด รองลงมาเป็นดินในอันดับแอลฟิซอลส์ และอัลติซอลส์ ตามลำดับ ดินทุกอันดับมีสัดส่วนสัมพัทธ์ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและไนโตรเจนรวมทั้งหมดในอนุภาคขนาดดินเหนียว > อนุภาคขนาดทรายแป้ง > อนุภาคขนาดทราย ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดิน และในอนุภาคของดินแต่ละขนาดมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความสูงจากระดับทะเลปานกลาง ค่าสีดิน และค่ารงค์ของดินที่ทำการศึกษามีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: คาร์บอน, ไนโตรเจน, ตำแหน่งสภาพภูมิประเทศ, ลักษณะของดิน, ตะกอนน้ำพา

ABSTRACT: Soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (total N) stocks are the important processes affecting global warming crisis. Such processes also play a key role for improving soil productivity and land use sustainability. This study aimed to investigate SOC and total N stocks in paddy soils, Central Plain of Thailand. Representative paddy soils with different soil development, including 3 soil series from Inceptisols, 3 soil series from Alfisols and 2 soil series from Ultisols were selected for study. Field morphology was studied and soil sample from each genetic horizon was collected to determine SOC and total N in whole soil and each soil particle size fraction. The results showed that each soil order had significantly different SOC and total N stocks in plough layers. Inceptisols contained the highest SOC and total N, followed by Alfisols and Ultisols, respectively. The relative proportions of total organic carbon (OC) and total N in soil particle size fractions of all soil orders were ranked in the order of clay > silt > sand, respectively. Contents of OC and total N in whole soil and soil particle size fractions were negatively correlated with elevation, soil Munsell value and soil Munsell chroma.

Keywords: carbon, nitrogen, topographic position, soil characteristics, alluvium

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: fagrwyj@ku.ac.th

บทนำ

ดินเป็นแหล่งที่ให้ (source) และแหล่งกักเก็บ (sink) คาร์บอนขนาดใหญ่ ($\sim 1,500 \times 10^9$ ตัน) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ($\sim 745 \times 10^9$ ตัน) จะมีค่ามากกว่าถึงสองเท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในพืชพรรณต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก ($\sim 580 \times 10^9$ ตัน) จะมีค่ามากกว่าประมาณสามเท่า (Eswaran et al., 1993) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดินเพียงเล็กน้อยจากกระบวนการทางธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ ย่อมส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยอินทรีย์วัตถุในดินเป็นทั้งแหล่งที่ให้และแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon; SOC) และเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน รวมถึงธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อพืช (Feller and Beare, 1997) ดังนั้น การสูญเสียคาร์บอนและไนโตรเจนในรูปของก๊าซเรือนกระจก (เช่น CO_2 และ N_2O) จากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินโดยปัจจัยต่าง ๆ นอกจากจะส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเกิดภาวะโลกร้อนในเชิงสิ่งแวดล้อมแล้วยังส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืช ผลผลิตของดิน และความยั่งยืนทางการเกษตรอีกด้วย บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทยถือเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศ ดินส่วนใหญ่เป็นดินที่ลุ่มซึ่งมีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพาและมีระดับพัฒนาการทางดินที่แตกต่างตามสภาพแวดล้อมในการเกิดดิน ส่วนใหญ่เป็นดินในอันดับอินเซปติซอลส์ (Inceptisols) แอลฟิซอลส์ (Alfisols) และอัลติซอลส์ (Ultisols) คิดเป็นพื้นที่โดยรวมประมาณร้อยละ 60 ของที่ราบลุ่มภาคกลางทั้งหมด (เอิบ, 2533) อย่างไรก็ตาม ลักษณะทางสภาพแวดล้อมในการเกิดดิน และลักษณะของดินที่มีพัฒนาการแตกต่างกันดังกล่าว อาจส่งผลกระทบต่อความสามารถของดินในการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไปได้ ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินนาบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย จะทำให้ได้ข้อมูลและองค์ความรู้พื้นฐานสำหรับการวางแผนในการจัดการอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมในพื้นที่ศึกษา

ตลอดจนเป็นการรักษาความอุดมสมบูรณ์และผลผลิตภาพของดินเพื่อความยั่งยืนในการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรในบริเวณที่ทำการศึกษาต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษาฐานฐานวิทยาสนามของดินและการเก็บตัวอย่างดิน

คัดเลือกตัวแทนชุดดินในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางที่ใช้ในการปลูกข้าวจำนวน 8 ชุดดิน ซึ่งมีพัฒนาการทางดินแตกต่างกัน ได้แก่ ชุดดินสรพยา (Sa) ชุดดินอยุธยา (Ay) และชุดดินบางเขน (Bn) ซึ่งเป็นดินในอันดับอินเซปติซอลส์ (Inceptisols) ชุดดินนครปฐม (Np) ชุดดินมโนรมย์ (Mn) และชุดดินเดิมบาง (Db) ซึ่งเป็นดินในอันดับแอลฟิซอลส์ (Alfisols) ชุดดินเชียงราย (Cr) และชุดดินปากท่อ (Pth) ซึ่งเป็นดินในอันดับอัลติซอลส์ (Ultisols) โดยเลือกสำรวจพื้นที่จากขอบเขตของชุดดินดังกล่าวที่พบเป็นบริเวณกว้างในแผนที่ดินรายจังหวัดสิงห์บุรี พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี และสุพรรณบุรี ทำการศึกษาฐานฐานวิทยาสนามของดินโดยศึกษาหน้าตัดดิน (soil profile) ขนาด $1.5 \times 2.0 \times 2.0$ ม. (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ ลึก) เก็บตัวอย่างดินตามชั้นการกำเนิดดิน (genetic horizon) เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการตามวิธีมาตรฐาน (National Soil Survey Center, 1996)

การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินที่ผึ่งแห้งในร่มมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. หลังจากนั้นวิเคราะห์การแจกกระจายขนาดของอนุภาคดิน ค่าความหนาแน่นรวมพีเอชดิน ปริมาณเบสที่สกัดได้ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ตามวิธีมาตรฐาน (National Soil Survey Center, 1996)

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon; OC) และปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen; total N)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในตัวอย่างดินรวม (whole soil) และในอนุภาคของดินขนาดต่าง ๆ (particle size fractions) โดย

ทำการแยกขนาดอนุภาคของดินออกเป็นอนุภาคขนาดทราย (sand fraction) อนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt fraction) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay fraction) โดยวิธี sedimentation and siphoning (Gee and Bauder, 1986) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °C และทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ โดยวิธี Walkley and Black wet oxidation (Nelson and Sommers, 1996) และวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนรวมโดยวิธี Kjeldahl (National Soil Survey Center, 1996) คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมโดยใช้วิธีการคำนวณดังต่อไปนี้ (Veldkamp, 1994)

$$\text{SOC (or total N) (Mg/ha)} = \text{SOC (or total N) (kg/Mg)} \times \rho_b \text{ (Mg/m}^3\text{)} \times D \text{ (m)} \times 10^{-3} \text{ Mg/kg} \times 10^4 \text{ m}^2/\text{ha}$$

โดยที่ ρ_b คือ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน และ D คือ ความลึกของชั้นการกำเนิดดิน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลด้านสัณฐานวิทยาของดิน สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินบางประการมาหาสหสัมพันธ์ (correlation matrices) และวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวม วิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบความ

แตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สัณฐานวิทยาของดินและสมบัติของดินบางประการ

ดินนาในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดิน สมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางเคมีของดินแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งสภาพภูมิประเทศของดิน (Table 1) โดยดินในอันดับอินเซปติซอลส์มีพัฒนาการทางดินค่อนข้างน้อย เนื่องจากดินในบริเวณดังกล่าวมีการพัฒนาตัวอยู่ในบริเวณส่วนต่ำของสภาพภูมิประเทศ และมีระยะเวลาของการขังน้ำยาวนานกว่าดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลฟิซอลส์ ทำให้อัตราในการผุพัง (weathering) ของดินเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (เอิบ, 2533; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) สอดคล้องกับค่าสี (Munsell value) และค่ารงค์ (Munsell chroma) ของดินในอันดับอินเซปติซอลส์ที่มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลฟิซอลส์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดกระบวนการวิวัฒนาการของดินในอันดับอินเซปติซอลส์ที่สูงกว่าดินอันดับอื่น ๆ

Table 1 Environmental settings and field morphological characteristics of studied soils.

Soil order	Soil series	Soil horizon	Soil color	Elevation m (MSL)	Physiography	Parent material
			Mottle color			
Inceptisols	Sa	Apg-Bg-Cg	Gley1 4/1-7.5YR 6/2 7.5YR 6/8-10YR 6/8	6	Flood plain	Recent alluvium
	Ay	Apg-Bg-Bj-Cj	Gley1 6/1-10YR 4/1 2.5YR 3/3-10YR 3/3	2	Former tidal flat	Marine brackish and riverine sediments
	Bn	Apg-Bg-Bssg-Byg-Cg	Gley1 3/N-10YR 3/2 2.5YR 5/6-10YR 7/6	2	Former tidal flat	Marine brackish and riverine sediments
Alfisols	Np	Apg-Btg	Gley1 4/N-10YR 6/1 2.5YR 6/2-10YR 6/8	14	Low terrace	Semi-recent alluvium
	Mn	Apg-Btg	10YR 5/3-10YR 4/2 5YR 4/6-10YR 7/8	12	Low terrace	Semi-recent alluvium
	Db	Apg-BAG-Btv-Btg	2.5YR 7/1-10YR 7/1 2.5YR 4/8-10YR 6/6	20	Upper part of low terrace	Old alluvium
Ultisols	Cr	Apg-AB-Btv-Btg	7.5YR 4/1-10YR 6/6 2.5YR 3/6-10YR 5/8	23	Upper part of low terrace	Old alluvium
	Pth	Apg-BAG-Btv-Btg	2.5YR 3/2-10YR 7/1 2.5YR 5/6-10YR 6/8	30	Upper part of low terrace	Old alluvium

ดินในอันดับอินเซปติซอลส์มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลทิสซอลส์ (Table 2) โดยจากการศึกษาพบว่าปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแบ่งในดินที่ทำการศึกษามีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสูงจากระดับทะเลปานกลาง (Table 3) ส่วนปริมาณอนุภาคขนาดทรายมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความสูงจากระดับทะเลปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแบ่งในดินที่ทำการศึกษาลดลงเมื่อความสูงจากระดับทะเลปานกลางเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณอนุภาคขนาดทรายมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความสูงจากระดับทะเลปานกลางเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับลักษณะของวัตถุต้นกำเนิดดินและปริมาณการแจกกระจายขนาดอนุภาคของดินแต่ละอันดับ ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดินในบริเวณส่วนต่ำของสภาพภูมิประเทศได้รับอิทธิพลจากการทับถมของอนุภาคดินขนาดละเอียด เช่น ดินเหนียว โดยการพัดพามาทับถมจากอิทธิพลของน้ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) หรือเกิดการพัดพาอนุภาคของดินขนาดละเอียดจากบริเวณส่วนที่อยู่สูงกว่าในสภาพภูมิประเทศไปสะสมยังบริเวณส่วนที่อยู่ต่ำกว่าของ

สภาพภูมิประเทศ (Karchegani et al., 2012) ค่าพีเอชของดินที่ศึกษามีแนวโน้มลดลงตามระดับพัฒนาการของดินที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับปริมาณเบสที่สกัดได้ที่มีค่าลดลงและต่ำที่สุดในดินอันดับอัลทิสซอลส์ แสดงให้เห็นถึงกระบวนการชะละลาย (leaching) ที่มีความรุนแรงและเกิดการสูญเสียไอออนของธาตุที่เป็นต่างไปจากหน้าตัดดิน และทำให้เกิดการสะสมดินเหนียวในชั้นดินล่างที่ชัดเจน (Btg) เมื่อเปรียบเทียบกับดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอินเซปติซอลส์ซึ่งพบอยู่ในบริเวณที่ต่ำกว่าของสภาพภูมิประเทศ ตามลำดับ (Buol et al., 2011) นอกจากนี้การพบชั้นศิลาแลงอ่อน (Btvg) ในบางชุดดินของดินในอันดับแอลฟิซอลส์ และชุดดินในอันดับอัลทิสซอลส์ซึ่งพบอยู่ในบริเวณตอนบนของตะกอนน้ำขึ้นต่ำ แสดงให้เห็นว่าดินในบริเวณดังกล่าวมีการสลายตัวผุพังทางเคมีที่รุนแรง ทำให้เกิดการสูญเสียซิลิกา รวมถึงไอออนของธาตุที่เป็นต่าง และเกิดการสะสมเซสควออกไซด์ในหน้าตัดดินในสภาพที่ดินมีสภาวะเปียกสลับแห้ง (Buol et al., 2011) สอดคล้องกับปริมาณเบสที่สกัดได้และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อดินมีพัฒนาการสูงขึ้น (Table 2)

Table 2 Some physico-chemical properties of studied soils.

Soil order	Inceptisols (n=23)			Alfisols (n=24)			Ultisols (n=17)		
Property	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
Sand (g/kg)	4.00	391	116	27.0	455	217	175	535	352
Silt (g/kg)	255	543	392	264	554	397	226	430	325
Clay (g/kg)	250	731	492	195	607	386	203	465	322
Bulk density (Mg/m ³)	1.30	1.97	1.75	1.68	1.92	1.79	1.62	2.00	1.83
pH (1:1 H ₂ O)	3.4	7.5	5.8	5.1	7.6	6.4	4.9	7.6	5.5
Extr. Ca (cmol _c /kg)	2.74	30.9	10.9	1.76	15.4	8.29	1.05	6.84	2.20
Extr. Mg (cmol _c /kg)	1.05	12.3	5.80	0.71	6.43	2.62	0.23	1.26	0.73
Extr. K (cmol _c /kg)	0.23	3.51	1.46	0.29	5.56	1.29	0.18	3.71	1.32
Extr. Na (cmol _c /kg)	0.07	0.42	0.21	0.07	0.32	0.16	0.05	0.27	0.14
CEC (cmol _c /kg)	9.50	30.7	20.2	8.47	25.1	15.5	4.73	14.9	11.4

Remark: Extr. Ca = extractable Ca, Extr. Mg = extractable Mg, Extr. K = extractable K, Extr. Na = extractable Na, CEC = cation exchange capacity.

Table 3 Correlation coefficients of particle sized-fraction contents, organic carbon (OC), total N contents and C:N ratio in whole soil (WS) and particle size fractions with elevation, soil Munsell value and soil Munsell chroma.

	Elevation	Munsell value	Munsell chroma
Sand	0.68***	ns	ns
Silt	-0.35**	ns	ns
Clay	-0.56***	ns	ns
OC-WS	-0.29*	-0.57***	-0.28*
Total N- WS	-0.31*	-0.63***	-0.30*
C:N ratio- WS	ns	-0.50***	-0.43***
OC-Clay	ns	-0.61***	-0.32*
Total N-Clay	ns	-0.67***	-0.29*
C:N ratio-Clay	0.37**	-0.14	-0.34**
OC-Silt	ns	-0.62***	ns
Total N-Silt	ns	-0.47***	ns
C:N ratio-Silt	-0.45***	-0.66***	-0.26*
OC-Sand	-0.29*	-0.40**	ns
Total N-Sand	-0.35*	-0.40**	ns
C:N ratio-Sand	ns	-0.31*	ns
SOC stock	-0.28*	-0.51***	-0.27*
Total N stock	-0.32*	-0.59***	-0.30*

*, **, *** Significant at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.001$, respectively. ns = not significant.

ปริมาณการแจกกระจายของคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในหน้าตัดดินและอนุภาคของดินแต่ละขนาด

จากการศึกษาพบว่า ดินในอันดับอินเซปติซอลล์ แอลฟิซอลล์ และอัลทิสซอลล์มีปริมาณการแจกกระจายของคาร์บอนอินทรีย์อยู่ในช่วง 6.28-192 Mg/ha, 1.26-63.2 Mg/ha และ 2.01-49.2 Mg/ha ตามลำดับ โดยดินในอันดับอินเซปติซอลล์มีปริมาณการแจกกระจายของคาร์บอนอินทรีย์ลดลงอย่างสม่ำเสมอตามความลึก เมื่อเปรียบเทียบกับดินในอันดับแอลฟิซอลล์และอัลทิสซอลล์ (Figure 1) ลักษณะดังกล่าวอาจแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของกระบวนการชะละลายที่เป็นกระบวนการเด่นในดินอันดับแอลฟิซอลล์และอัลทิสซอลล์ และทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายคอลลอยด์ของอินทรีย์วัตถุจากชั้นดินบนลงสู่สะสมในส่วนล่างของหน้าตัดดิน (Rumpel and Kögel-Knabner, 2011) โดยมีการศึกษาพบว่า แหล่งของคาร์บอนอินทรีย์ที่พบในชั้นดินล่างส่วนใหญ่เป็นเศษซากพืชและคาร์บอนอินทรีย์รูปที่ละลายน้ำได้ (dissolved organic carbon) (Lorenze and Lal, 2005) ส่วนปริมาณ

การแจกกระจายไนโตรเจนรวมของดินที่ทำการศึกษาพบว่า ดินในอันดับอินเซปติซอลล์ แอลฟิซอลล์ และอัลทิสซอลล์มีปริมาณการแจกกระจายของไนโตรเจนรวมอยู่ในช่วง 0.91-8.65 Mg/ha, 0.83-5.21 Mg/ha และ 0.83-4.28 Mg/ha ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ลักษณะปริมาณการแจกกระจายของไนโตรเจนรวมของดินในทุกอันดับมีปริมาณลดลงอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดิน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามสภาพแวดล้อมภายในหน้าตัดดิน เช่น การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นปัจจัยควบคุมการถ่ายเทอากาศในดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน จึงอาจส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายตัวของอินทรีย์วัตถุและส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อย (mineralization) ของไนโตรเจนในดินที่มีความผันแปรได้ (Rumpel and Kögel-Knabner, 2011) โดยมีการศึกษาพบว่าในสภาพของดินที่มีการเปียกสลับแห้ง จะช่วยส่งเสริมให้เกิดการการปลดปล่อยหรือการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดินเพิ่มมากขึ้น (Harison-Kirk et al., 2014)

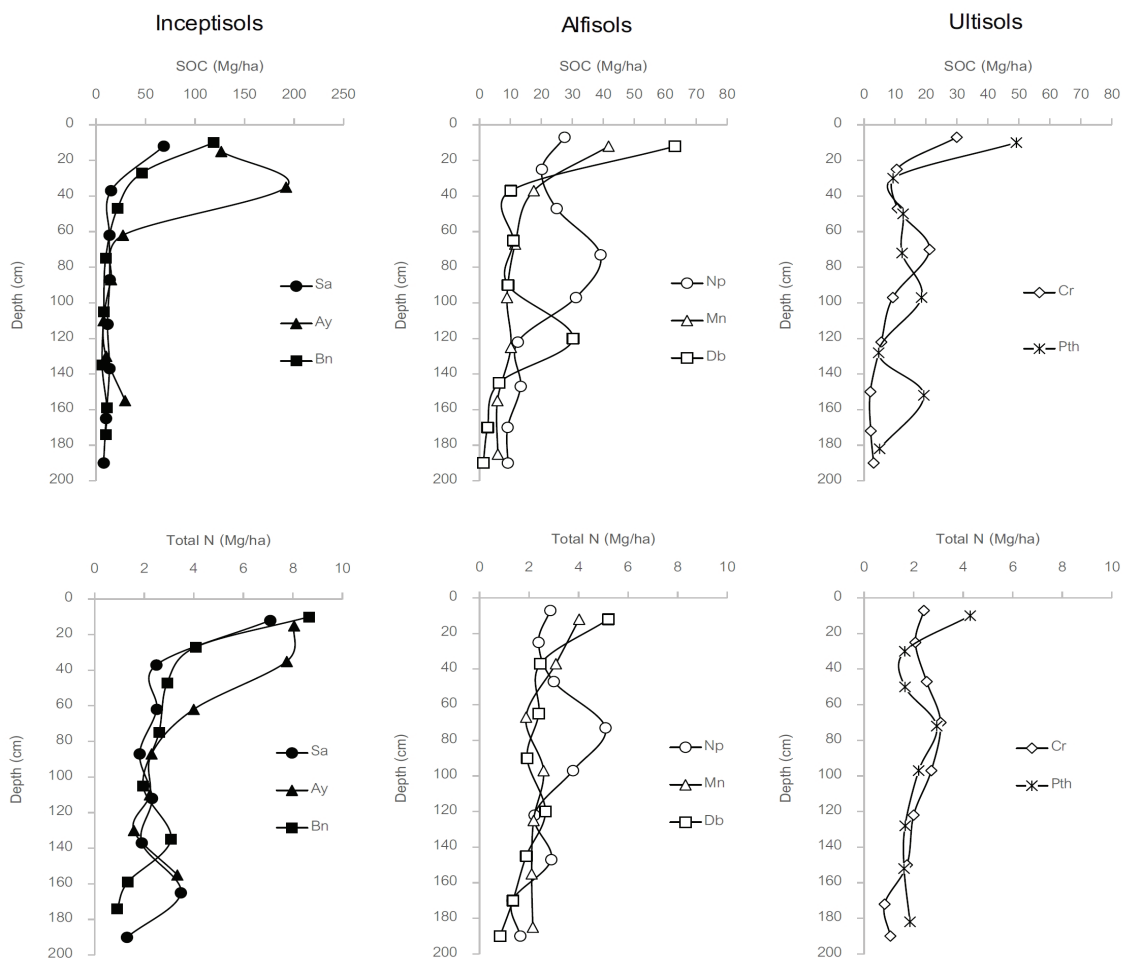


Figure 1 Profile distribution of soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (total N) in paddy soils, Central Plain of Thailand.

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมของดินแต่ละอันดับที่ระดับความลึกชั้นไคพรวน (Apg), ได้ฐานชั้นไคพรวนถึงระดับความลึก 100 ซม. (Apg-100) และที่ระดับความลึก 100-200 ซม. (100-200) พบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในชั้น Apg ของดินในอันดับอินเซปติซอลส์มีปริมาณสูงกว่าดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลติซอลส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 2) ส่วนปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และ

ไนโตรเจนรวมที่ระดับความลึกใต้ชั้น Apg ลงไประหว่างดินแต่ละอันดับมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมมีแนวโน้มลดลงจากดินในอันดับอินเซปติซอลส์ แอลฟิซอลส์ และอัลติซอลส์ตามลำดับ โดยทั่วไปคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมของดินแต่ละอันดับส่วนใหญ่มีปริมาณลดลงจากชั้น Apg อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 2)

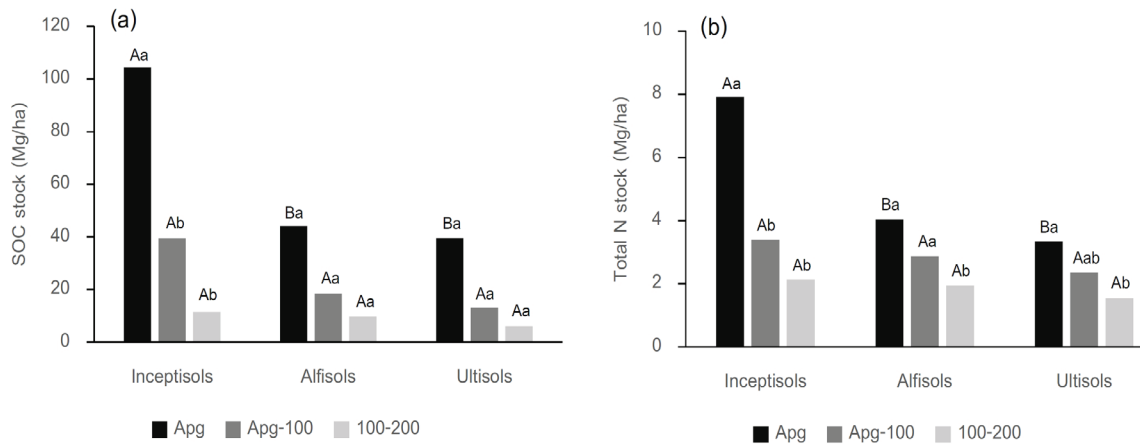


Figure 2 Soil organic carbon (SOC) (a) and total nitrogen (Total N) (b) stocks in paddy soils, Central Plain of Thailand. Different letters indicate significant differences at $P \leq 0.05$. Capital letters show significant differences of soil orders in corresponding soil depths. Lower-case letters show significant differences of soil depths within each soil order.

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินที่ทำการศึกษามีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความสูงจากระดับทะเลปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) แสดงให้เห็นว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินที่ทำการศึกษาลดลงเมื่อดินพัฒนาตัวอยู่ในบริเวณส่วนที่อยู่สูงกว่าของสภาพภูมิประเทศ ตามลำดับลักษณะดังกล่าวอาจแสดงให้เห็นถึงการพัดพาคอลลอยด์ของอินทรีย์วัตถุและเศษวัสดุอินทรีย์ต่าง ๆ โดยอิทธิพลของน้ำจากบริเวณที่อยู่สูงกว่าของสภาพภูมิประเทศลงมาถึงในบริเวณส่วนต่ำของสภาพภูมิประเทศ (Doetterl et al., 2016) นอกจากนี้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินยังมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่าสี (Munsell value) และค่ารงค์ (Munsell chroma) ของดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับผลการศึกษารายอื่น ๆ ที่พบสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าสีและค่ารงค์ของดินกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Konen et al., 2003; Moritsuka et al., 2014) ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินที่ทำการศึกษาลดลงเมื่อดินมีค่าสีและค่ารงค์เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปค่าสีและ

ค่ารงค์ของดินที่มีค่าต่ำแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของกระบวนการรีดักชันในดินซึ่งเกิดจากการขังน้ำติดต่อกันเป็นระยะเวลานานในรอบปี (Soil Survey Staff, 2014) กระบวนการดังกล่าวจึงช่วยชะลออัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งสอดคล้องกับสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างอัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนในดินกับค่าสีและค่ารงค์ของดิน (Table 3) ดังนั้นดินในอันดับอินเซปติซอลส์ที่พัฒนาตัวอยู่ในบริเวณส่วนต่ำของสภาพภูมิประเทศจึงได้รับอิทธิพลของกระบวนการรีดักชันที่ยาวนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลทิสซอลส์ซึ่งพัฒนาตัวอยู่บนตำแหน่งที่อยู่สูงขึ้นไป และดินมีช่วงเวลาของการเปียกสลับแห้งในรอบปีที่ชัดเจนกว่าลักษณะดังกล่าวทำให้กระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินอันดับอินเซปติซอลส์เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินได้สูง ส่วนดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลทิสซอลส์ซึ่งมีช่วงเวลาที่ดินเปียกสลับแห้งชัดเจนในรอบปี อาจทำให้กระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Sørensen, 1974) และทำให้ปริมาณการสะสมคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินเกิดขึ้นได้น้อยกว่าดินในอันดับอินเซปติซอลส์ ดินใน

ทุกอันดับมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินลดลงจากชั้น Apg อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของชั้นดินบนที่ได้รับการเพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุอย่างสม่ำเสมอจากเศษซากพืชและรากพืชในปริมาณที่มากกว่าชั้นดินล่าง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

จากการศึกษาปริมาณการแจกกระจายของคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคของดินแต่ละขนาด (Table 4) พบว่า ดินในทุกอันดับมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคขนาดดินเหนียว > อนุภาคขนาดทรายแป้ง > อนุภาคขนาดทรายตามลำดับ ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงบทบาทของแร่ดินเหนียวซึ่งมีประจุลบและมีพื้นผิวจำเพาะสูงในการช่วยดูดซับอินทรีย์วัตถุและส่งเสริมการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแร่ดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุ (organo-mineral complexes) ในดินได้ดี นอกจากนี้ อนุภาคขนาดละเอียดในดินยังช่วยส่งเสริมการสร้างเม็ดดินและกระบวนการปกป้องอินทรีย์วัตถุทางฟิสิกส์ (physical protection) ให้อยู่ในเม็ดดินไม่ให้ถูกจุลินทรีย์ในดินย่อยสลายได้ง่าย (Christensen, 1992; Six et al., 2000) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้งของดินใน

แต่ละอันดับลดลงจากชั้น Apg อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคขนาดทรายระหว่างดินแต่ละอันดับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับความลึก ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคขนาดทรายของดินที่ทำการศึกษาเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียว สอดคล้องกับการศึกษาของ Feller and Beare (1997) ที่รายงานว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคขนาดทรายจะเกิดเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียว ตามลำดับ เนื่องจาก ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคของดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 μm จะได้รับอิทธิพลจากปริมาณชีวมวลที่ได้รับเพิ่มเติม (biomass input) และการจัดการดิน เช่น การไถพรวนมากกว่าอนุภาคของดินที่มีขนาดเล็กกว่า 20 μm (Hassink, 1997) สอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนในอนุภาคขนาดทรายที่มีค่าต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนในอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียว

Table 4 Organic carbon (OC) and total N contents in soil particle-sized fractions of studied soils.

Soil order/ Depth	Clay fraction			Silt fraction			Sand fraction		
	OC (-----g/kg-----)	Total N	C:N ratio	OC (-----g/kg-----)	Total N	C:N ratio	OC (-----g/kg-----)	Total N	C:N ratio
Inceptisols									
Apg	21.6Ba	1.87Aa	11.7Aa	14.8Aa	0.91Aa	15.9Aa	0.19	0.14	1.34
Apg-100	5.74Ab	0.74Ab	8.38Aa	3.60Ab	0.27Ab	12.3Aab	0.07	0.14	0.58
100-200	3.45Ab	0.49Ab	7.22Aa	1.58Ab	0.19Ab	8.44Ab	0.06	0.13	0.47
Alfisols									
Apg	16.9Ca	1.22Ba	13.6Aa	6.06Ba	0.58Ba	10.8Aa	0.17	0.14	1.71
Apg-100	5.43Ab	0.66Ab	8.12Ab	2.29Ab	0.32Ab	7.07ABa	0.19	0.16	1.03
100-200	2.49Ab	0.47Ab	5.54Ab	1.27Ab	0.29Ab	5.04Aa	0.12	0.14	0.78
Ultisols									
Apg	25.9Aa	1.97Aa	13.6Aa	8.57Ba	0.62Ba	15.8Aa	0.14	0.16	0.81
Apg-100	6.87Ab	0.57Ab	13.0Aab	1.33Ab	0.26Ab	5.84Bb	0.05	0.10	0.58
100-200	2.83Ab	0.37Ab	8.43Ab	1.32Ab	0.26Ab	4.68Ab	0.04	0.08	0.59

Remark: Different letters in the same column indicate significant differences at $P \leq 0.05$. Capital letters show significant differences between soil orders in corresponding soil depths. Lower-case letters show significant differences of soil depths within each soil order.

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้งในชั้น Apg ของดินแต่ละอันดับมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดินในอันดับอัลทิซอลส์มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในอนุภาคขนาดดินเหนียวสูงที่สุด ส่วนปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และปริมาณไนโตรเจนรวมในอนุภาคขนาดทรายแป้งมีค่าสูงที่สุดในดินอันดับอินเซปทิซอลส์ ดินในอันดับอินเซปทิซอลส์มีค่าอัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนในอนุภาคขนาดทรายแป้ง > อนุภาคขนาดดินเหนียว > อนุภาคขนาดทราย ตามลำดับ ส่วนดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลทิซอลส์มีค่าอัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนในอนุภาคขนาดดินเหนียว > อนุภาคขนาดทรายแป้ง > อนุภาคขนาดทราย ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนในอนุภาคขนาดทรายของดินที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับความลึก ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอินทรีย์วัตถุในอนุภาคขนาดทรายของดินที่ทำการศึกษาเกิดการย่อยสลายตัวอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับอินทรีย์วัตถุในอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียว จากอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเปียกสลับแห้ง และการไถพรวนดิน เป็นต้น นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Diekow et al. (2005) พบว่า การจัดการดิน เช่น การไถพรวน อาจทำให้เศษวัสดุอินทรีย์ที่ยังไม่มีการย่อยสลายตัวหรือมีอัตราการย่อยสลายตัวน้อย (fresh or partially decomposed organic materials) เกิดการสะสมในอนุภาคขนาดทรายแป้ง สอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนของอนุภาคขนาดทรายแป้งโดยเฉพาะในชั้น Apg ของดินในอันดับอินเซปทิซอลส์และอัลทิซอลส์ที่มีค่าสูงกว่าอนุภาคของดินขนาดอื่น ๆ (Table 4) อนุภาคขนาดดินเหนียว อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดทรายของดินที่ทำการศึกษามีสัดส่วนสัมพัทธ์ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด

คิดเป็น 59-83%, 16-40% และ 0.2-3.0% ตามลำดับ ส่วนไนโตรเจนรวมทั้งหมดในอนุภาคขนาดดินเหนียว อนุภาคขนาดทรายแป้ง และอนุภาคขนาดทรายของดินที่ทำการศึกษามีสัดส่วนสัมพัทธ์คิดเป็น 51-71%, 22-37% และ 1.7-16% ตามลำดับ (Figure 3) สัดส่วนสัมพัทธ์ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและไนโตรเจนรวมทั้งหมดในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินทุกอันดับ โดยทั่วไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของชั้นดินล่าง (subsoil horizon) ในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดิน สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ ที่รายงานว่า ถึงแม้ชั้นดินล่างจะมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมต่ำกว่าชั้นดินไถพรวน แต่ชั้นดินล่างเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมที่มีสัดส่วนขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับชั้นดินบนหรือชั้นไถพรวน (Bajés, 1996; Rumpel and Kögel-Knabner, 2011) นอกจากนี้ สัดส่วนสัมพัทธ์ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและไนโตรเจนรวมทั้งหมดในอนุภาคขนาดทรายของดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลทิซอลส์ยังมีค่าสูงกว่าอนุภาคขนาดทรายของดินในอันดับอินเซปทิซอลส์อย่างชัดเจนในทุกระดับความลึก (Figure 3) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zinn et al. (2007) ที่ศึกษาพบว่า สัดส่วนสัมพัทธ์ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและไนโตรเจนรวมทั้งหมดในอนุภาคขนาดทรายของดินที่มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายสูงจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนสัมพัทธ์ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและไนโตรเจนรวมทั้งหมดในอนุภาคขนาดทรายของดินที่มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายต่ำ จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าอนุภาคขนาดทรายของดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลทิซอลส์อาจเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนในดินที่มีความสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคขนาดทรายของดินในอันดับอินเซปทิซอลส์

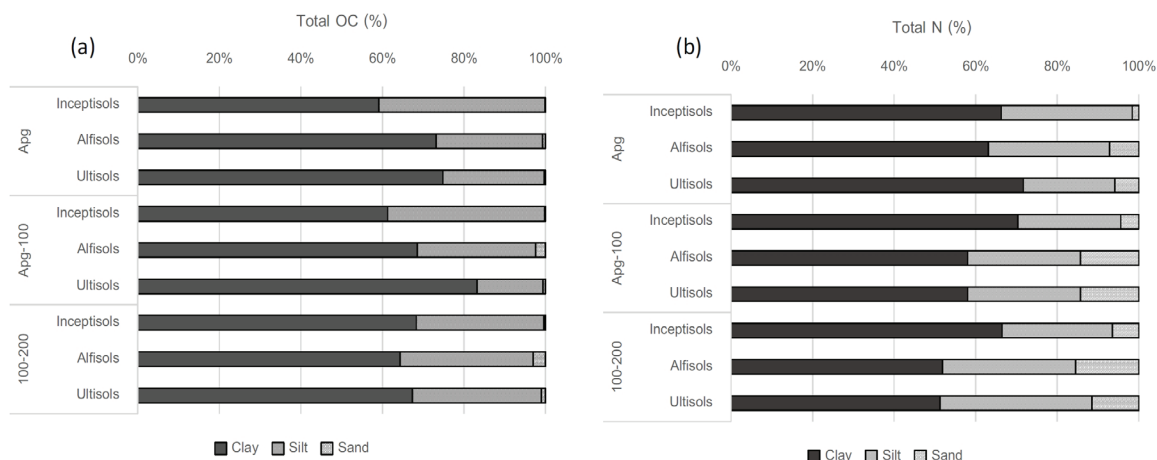


Figure 3 Percent distribution of total organic carbon (OC) (a) and total nitrogen (total N) (b) in particle-sized fractions of paddy soils, Central Plain of Thailand.

สรุป

การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินนาบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางมีความแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมในการเกิดดิน ได้แก่ ตำแหน่งสภาพภูมิประเทศของดิน โดยดินในอันดับอินเซปติซอลส์ซึ่งพบอยู่ในบริเวณส่วนต่ำของสภาพภูมิประเทศ ส่งเสริมให้เกิดการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมได้ดีกว่าดินในอันดับแอลฟิซอลส์และอัลติซอลส์ที่พัฒนาตัวอยู่บนตำแหน่งที่อยู่สูงขึ้นไปในสภาพภูมิประเทศซึ่งมีกระบวนการชะลายที่รุนแรงกว่า กระบวนการรีดักชันมีช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่า และดินมีช่วงเวลาของการเปียกสลับแห้งที่ชัดเจนกว่า จึงทำให้เกิดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุจากกระบวนการชะลายและกระบวนการเปียกสลับแห้งของดิน ซึ่งอาจช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินให้เกิดขึ้นได้เร็วกว่า ดังนั้นการพิจารณาการจัดการอินทรีย์วัตถุในดินที่ทำการศึกษาคควรให้ความสำคัญต่อการเพิ่มเติมอินทรีย์วัตถุอย่างสม่ำเสมอในดินอันดับแอลฟิซอลส์และอัลติซอลส์ นอกจากนี้ การเลือกชนิดของวัสดุอินทรีย์ที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอน-ไนโตรเจนกว้างในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินในอันดับดังกล่าว

อาจช่วยชะลอกระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินและเพิ่มปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และไนโตรเจนรวมในดินได้ในระยะยาว

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยรหัส ร-ม 1.57 ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร สำหรับความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการวิเคราะห์ดิน

เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวร่มมณี. 2533. ดินของประเทศไทย. ลักษณะการแจกกระจาย และการใช้. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 151-163.
- Buol, S. W., R. J. Southard, R. C. Graham, and P. A. McDaniel. 2011. *Soil genesis and classification*. 6th Edition. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Christensen, B. T. 1992. Physical fractionation of soil and organic organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20: 1-90.
- Diekow, J., J. Mielniczuk, H. Knicker, C. Bayer, D. P. Dick, and I. Kögel-Knabner. 2005. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. *Plant Soil*. 268: 319-328.
- Doetterl, S., A. A. Berhe, E. Nadeu, Z. Wang, M. Sommer, and P. Fiener. 2016. Erosion, deposition and soil carbon: A review of process-level controls, experimental tools and models to address C cycling in dynamic landscapes. *Earth-Sci. Rev.* 154: 102-122.
- Eswaran, H., E. van den Berg, and P. F. Reich. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 193-194
- Feller, C., and M. H. Beare. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*. 79: 69-116.
- Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. P. 383-411. In: A. Klute. *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods*. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Harrison-Kirk, T., M. H. Beare, E. D. Meenken, and L. M. Condron. 2014. Soil organic matter and texture affect responses to dry/wet cycles: Changes in soil organic matter fractions and relationships with C and N mineralisation. *Soil Biol. Biochem.* 74: 50-60.
- Hassink, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil*. 191: 77-87.
- Karchegani, P. M., S. Ayoubi, M. R. Mosaddeghi, and N. Honarjoo. 2012. Soil organic carbon pools in particle-size fractions as affected by slope gradient and land use change in hilly regions, western Iran. *J. Mt. Sci.* 9: 87-95.
- Konen, M. E., C. L. Burras, and J. A. Sandor. 2003. Organic carbon, texture, and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in North Central Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1823-1830.
- Lorenz, K., and R. Lal. 2005. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. *Adv. Agron.* 88: 35-66.
- Moritsuka, N., K. Matsuoka, K. Katsura, S. Sano, and J. Yanai. 2014. Soil color analysis for statistically estimating total carbon, total nitrogen and active iron contents in Japanese agricultural soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 60: 475-485
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, USDA.
- Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp. 539-579. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney. *Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Methods Properties*. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
- Rumpel, C., and I. Kögel-Knabner. 2011. Deep soil organic matter-a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant Soil*. 338: 143-158.

- Six, J., K. Paustian, E. T. Elliott, and C. Combrink. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington, DC.
- Sørensen, L. H. 1974. Rate of decomposition of organic matter in soil as influenced by repeated air drying-rewetting and repeated additions of organic material. *Soil Biol. Biochem.* 6: 287-292.
- Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 175-180.
- Zinn, Y. L., R. Lal, J. M. Bigham, and D. V. Resck. 2007. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1204-1214.