

การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่ระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านคลองแสง
และยางพารา อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
Soil Organic Carbon Storage in Khlong Saeng Local Durian and Rubber
Agroecosystem in Ban Ta Khun District, Surat Thani Province

พงศกร หวันตะ และ วชิร รวยรื่น*

Phongsakon Hwante & Watcharee Ruairuen*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
Environmental Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology,
Suratthani Rajabhat University

Submitted 30/3/2023 ; Revised 19/5/2023 ; Accepted 5/6/2023

บทคัดย่อ

ความเข้าใจเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบนิเวศเกษตรภาคใต้ยังมีอยู่อย่างจำกัด จึงได้ทำการศึกษากักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้าน (*Durio zibethinus*) และยางพารา (*Hevea brasiliensis*) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตัวอย่างดินเก็บด้วยวิธีรบกวนและไม่รบกวน โครงสร้างดินโดยสุ่มตัวอย่างดินจำนวน 3 สถานีในแต่ละพื้นที่ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร ในเดือน กรกฎาคมและกันยายน 2565 เพื่อศึกษาสมบัติของดินทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน เนื้อดิน pH และคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ผลการศึกษาพบว่า เนื้อดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในช่วง 0.97-1.10 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร pH ดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดมาก (4.62- 5.96) การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ในช่วง 23.40-72.66 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร และร้อยละ 1.11-3.31 ตามลำดับ ขณะที่แปลงยางพาราเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย แปร pH เป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก (4.60-5.39) ความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.24-1.34 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในช่วง 17.21-46.90 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร และ ร้อยละ 0.84-2.10 ตามลำดับ คาร์บอนอินทรีย์ในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นดิน ($P<0.01$; $R=0.45$) pH ($P<0.01$; $R=0.49$) อนุภาคทราย ($P<0.05$; $R=0.68$) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคทรายแปร ($P<0.05$; $R=-0.68$) และดินเหนียว ($P<0.01$; $R=-0.82$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมและการนำไฟฟ้าของดิน

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน ระบบนิเวศเกษตร ทุเรียนพื้นบ้าน ยางพารา

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: watcharee.rua@sru.ac.th

Abstract

The understanding of soil organic carbon (SOC) storage in agroecosystems are limited in southern Thailand. This study was performed to investigate the amount of SOC storage in the agroecosystem of local durian (*Durio zibethinus*) and rubber tree (*Hevea brasiliensis*) plantation in Ban Ta Khun District, Surat Thani Province. Soil samples were collected by non-disruptive and destructive methods at a depth of 0-30 cm from 3 stations of each agroecosystem in July and September 2022. Physical and chemical soil properties including soil bulk density, texture, pH, and SOC were analyzed. The results revealed that most of the soil texture in the local durian plot was sandy clay loam. The average soil bulk density ranged from 0.97-1.10 g/cm³, soil pH was moderately acid to very strongly acid (pH 4.62- 5.96), the SOC storage and soil organic matter (SOM) were 23.40-72.66 g C/m² and 1.11-3.31%, respectively. On the other hand, in the rubber plot, the soil texture was silty clay with soil pH that was strongly acid to very strongly acid (4.60-5.39). The bulk density of the soil was in the range of 1.24-1.34 g/cm³. The SOC storage and SOM were 17.21-46.90 gC/ m² and 0.84- 2.10%, respectively. The SOC concentrations were positively correlated with soil moisture ($P<0.01$; $R=0.45$), pH ($P<0.01$; $R=0.49$), and sand particles ($P<0.05$; $R=0.68$), but a negative correlation with silt ($P<0.05$; $R=-0.68$) and clay ($P<0.01$; $R=-0.82$). However, there was no correlation between the SOC concentration and bulk density nor between SOC and soil electrical conductivity.

Keywords: soil organic carbon, agroecosystem, local durian, rubber

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบปัญหาภาวะโลกร้อนอย่างรุนแรง เนื่องมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเกิดสมดุของธรรมชาติ ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การคมนาคมขนส่ง การตัดต้นไม้และการเผาป่า การขยายตัวของเมือง การพัฒนาของอุตสาหกรรม และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว [1] ซึ่งหากไม่มีการลดก๊าซเรือนกระจกจะก่อให้เกิดปัญหา เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการตกตะกอน การละลายของธารน้ำแข็งที่ขั้วโลก ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น [2] น้ำท่วมและภัยแล้งรุนแรงขึ้น การเกิดไฟป่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่ร้อนขึ้น การสูญเสียระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ รวมทั้งการเกิดโรคอุบัติใหม่ เป็นต้น ในปี 2559 ประเทศไทยมีรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 354,357.61 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) ขณะที่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกดูดซับอยู่ที่ 91,134.15 $GgCO_2eq$ โดยภาคพลังงานมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 71.65 ภาคอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 8.89 ภาคเกษตรร้อยละ 14.72 และภาคของเสียร้อยละ 4.73 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด [3]

ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในดินจะมีค่ามากกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ (~745x10⁹ ตัน) ถึงสองเท่า และสูงกว่าปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในพืชพรรณต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก (~580x10⁹ ตัน) ถึงสามเท่า [4] การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่เกษตรกรรมเป็นกระบวนการหลักในการลดภาวะโลกร้อน [5] เนื่องจากการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในชั้นบรรยากาศ [6] ซึ่งเป็นต้นเหตุของภาวะโลกร้อน โดยพืชจะดึงเอา CO_2 จากบรรยากาศมาใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) และนำมากักเก็บสะสมคาร์บอนในส่วนเหนือพื้นดินในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) และสะสมไว้ใต้ดินในรูปของอินทรีย์วัตถุ ส่วนการปลดปล่อย CO_2 พบในกระบวนการหายใจของพืชและจุลินทรีย์ในดิน การหายใจของรากพืช และกระบวนการย่อยสลายจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน [7] จากข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่เกษตรกรรมที่ต่างกัน พบว่า พื้นที่นาข้าว อ้อย มันแกว และพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังสามารถกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้เท่ากับ 166.90, 9.46, 7.82 และ 7.39 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ [8] ขณะที่พื้นที่ปลูกยางพาราและปาล์มน้ำมันอายุ 20 ปี สามารถกักเก็บคาร์บอนในดินอยู่ระหว่าง 17.33-52.08 และ 13.31-44.15 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ [9] ทั้งนี้การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความชื้นดิน ลักษณะของโครงสร้างดิน ระดับความลึกของดิน อุณหภูมิดิน อุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน pH ดิน การนำไฟฟ้าของดิน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน [7, 10-12] รวมถึงการใช้ประโยชน์ที่ดิน สิ่งปกคลุมดิน และการจัดการดินซึ่งมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บและสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่แตกต่างกัน [13, 14] หากมีการจัดการดิน-ปุ๋ย-น้ำและพืชอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพกับพื้นที่ปลูก พื้นที่เกษตรกรรมก็จะกลายเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญแหล่งหนึ่ง

การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบนิเวศเกษตรจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีพื้นที่การเกษตรจำนวนมากถึง 5,010,267 ไร่ ประกอบไปด้วยพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เช่น ยางพารา (2,642,279 ไร่) และทุเรียน (60,282 ไร่) มีมูลค่าการส่งออกและการแปรรูปมากอีกจังหวัดหนึ่ง พื้นที่บ้านเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นพื้นที่การผลิตทุเรียนพื้นบ้านคุณภาพดีมีชื่อว่า “ทุเรียนคลองแสง” ซึ่งส่วนใหญ่ที่ให้ผลผลิตมีอายุมากกว่า 100 ปี และสร้างรายได้หลักให้กับเกษตรกรในช่วงฤดูการทุเรียน [15] สำหรับยางพาราเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนค่อนข้างสูง

เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกระยะยาวอายุในการเก็บผลผลิตประมาณ 8-25 ปี เมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น [16] ซึ่งพบได้ทั่วไปในชุมชน โดยความเข้าใจเกี่ยวกับศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรม และ ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในพื้นที่เกษตรกรรมยังต้องการข้อมูลเชิงวิชาการมาสนับสนุนเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความเข้าใจและสามารถวางแผนจัดการเกี่ยวกับการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ โดยเฉพาะในภาคใต้ที่มีระบบนิเวศเกษตรที่หลากหลาย ดังนั้นจึงได้ศึกษาความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา และความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินบางประการที่มีผลต่อการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดิน สำหรับนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนโครงการซื้อขายคาร์บอนเครดิต รวมทั้งใช้ในการดำเนินงานหรือการวางแผนทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดความยั่งยืนต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมต่อไป

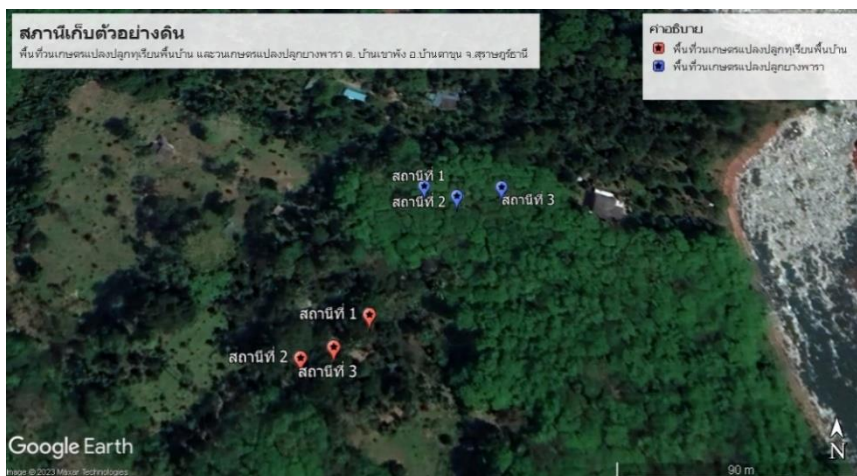
วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านและยางพาราในพื้นที่ตำบลเขาพัง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินและสมบัติของดิน ได้แก่ เนื้อดิน ความชื้นของดิน ความหนาแน่นรวมของดิน pH และค่าการนำไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

สุ่มเลือกพื้นที่สำหรับใช้เป็นตัวอย่างแปลงศึกษาในแต่ละระบบนิเวศการเกษตร ซึ่งมีขนาด 40x40 เมตร และเก็บตัวอย่างดินสำหรับใช้เป็นตัวแทนดินในพื้นที่แปลงปลูกทุเรียนพื้นบ้านและแปลงปลูกยางพารา (ภาพที่ 1) เนื่องจากตั้งอยู่ในสภาพทางภูมิศาสตร์และสิ่งแวดล้อมเหมือนกันรวมทั้งไม่มีการใช้สารเคมีในการจัดการแปลง โดยในแต่ละแปลงตัวอย่างจะเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 3 สถานี



ภาพที่ 1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้านคลองแสงและแปลงยางพารา

การเก็บตัวอย่างดินและเตรียมตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในเดือนกรกฎาคมและกันยายน 2565 เนื่องจากครอบคลุมระยะผลแก่และเก็บเกี่ยวจนถึงระยะแตกใบอ่อนและเจริญทางใบของทุเรียนในพื้นที่ภาคใต้ และใช้เป็นตัวแทนดินในช่วงฤดูฝน โดยเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา ประเภทละ 3 สถานี ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0 – 30 เซนติเมตร ซึ่งจะพบปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูง [17] การแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างพื้นดินกับบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินเกิดขึ้นมากกว่าชั้นดินที่ลึกลงไปทีคาร์บอนกักเก็บในดินแบบเสถียรมากกว่าดินชั้นบน โดยเก็บตัวอย่างดิน 2 วิธี ได้แก่ 1) วิธีรบกวนโครงสร้างดิน (disturbed soil sampling) โดยเก็บตัวอย่างดิน 3 หลุมย่อยที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตรด้วยสว่านเจาะดิน จากนั้นนำตัวอย่างดินทุกจุดมารวมกันเป็นตัวอย่างดินรวม (composite sample) และตักดินประมาณ 500 กรัมมาบรรจุไว้ในถุงพลาสติกสำหรับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินต่อหน่วยพื้นที่ 2) เก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีไม่รบกวนโครงสร้างดิน (undisturbed soil sampling) ด้วยกระบอกรูปทรงกระบอก (soil core) ที่ระดับความลึก 0-10, 10-20 และ 20-30 เซนติเมตร เพื่อนำไปหาความหนาแน่นรวมของดิน ตัวอย่างดินที่เก็บมาจะถูกนำไปผึ่งลมให้แห้ง (air dried) และร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติดินต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการต่อไป

การวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ

วิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ด้วยวิธีกระบอกรูปทรงกระบอก (core method) [18] การตรวจวัดความชื้นของดินโดยใช้วิธีวัดความชื้นดินมาตรฐาน (gravimetric method) การกระจายขนาดอนุภาคดินและเนื้อดิน (soil texture) ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาของดิน (pH) ใช้ pH meter ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 [19] ค่าการนำไฟฟ้าของดินด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 และคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon) ด้วยวิธีสันดาปเปียก (wet oxidation) [20]

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่กักเก็บในดิน

คำนวณหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่กักเก็บในดิน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการของ Guo and Gifford [21] ดังต่อไปนี้

$$\text{SOC (g C/m}^2\text{)} = \text{OC (\%)} \times \text{pb (g/cm}^3\text{)} \times \text{Di (cm)}$$

โดยที่ OC คือ ร้อยละสารอินทรีย์ในดิน (%), pb คือ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (g/cm³), Di คือ ความลึกของตัวอย่างชั้นดิน (cm)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินระหว่างพื้นที่และระหว่างช่วงเวลาด้วย Mann-Whitney Test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใน SPSS for Windows เวอร์ชัน 20 โดยกำหนดให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ผลการวิจัย

สมบัติของดินบางประการในพื้นที่ระบบนิเวศเกษตร

สมบัติของดินบางประการในพื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 การวิเคราะห์เนื้อดินโดยใช้ตัวอย่างดินเดือนกรกฎาคมที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตรเป็นตัวแทนเนื่องจากเนื้อดินเป็นสมบัติดินของดินที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก ผลการศึกษาพบว่า เนื้อดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านจัดอยู่ในประเภทดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) โดยมีอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวเท่ากับร้อยละ 50.00, 28.42, และ 22.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ขณะที่เนื้อดินในแปลงยางพาราประกอบด้วยอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวเท่ากับร้อยละ 9.01, 49.33, และ 41.69 ตามลำดับซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay)

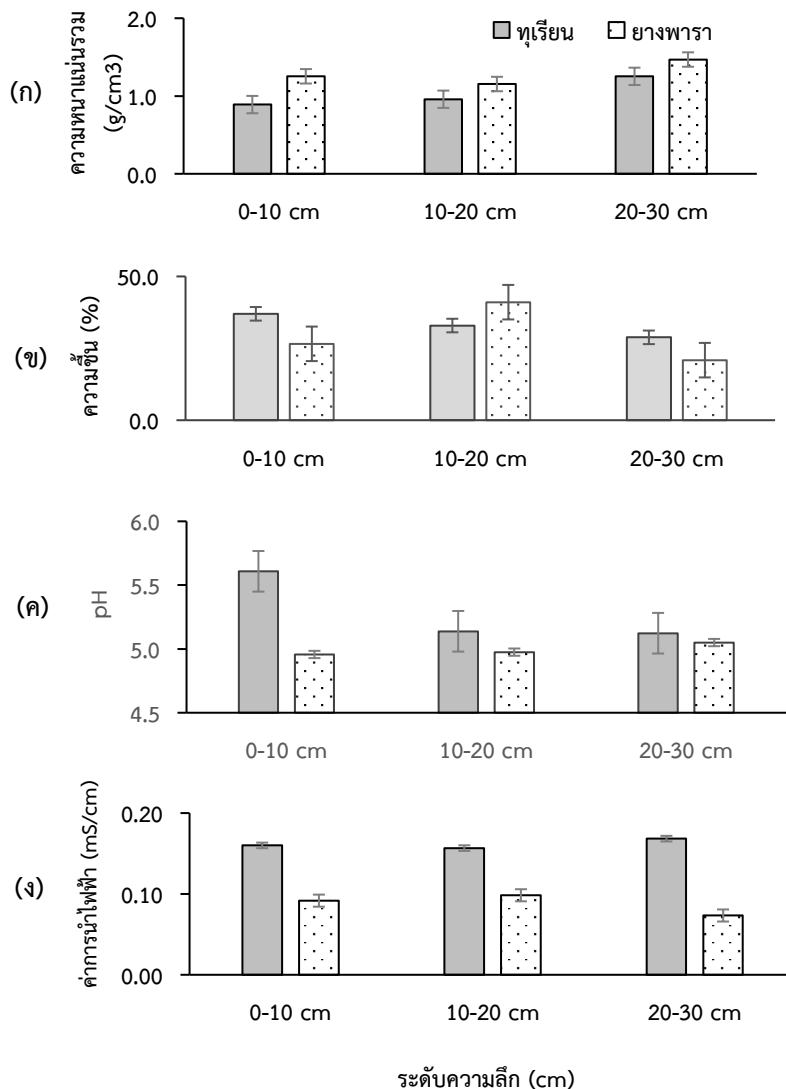
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเคมีบางประการของดินในระบบนิเวศเกษตรยางพาราและทุเรียน พื้นบ้านเดือนกรกฎาคมและเดือนกันยายน 2565

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ของดิน	พื้นที่ศึกษา			
	ทุเรียนพื้นบ้าน		ยางพารา	
	กรกฎาคม	กันยายน	กรกฎาคม	กันยายน
อนุภาคทราย (%)	50.00±3.37	-	9.01±0.56	-
อนุภาคทรายแป้ง (%)	28.42±2.39	-	49.33±0.78	-
อนุภาคดินเหนียว (%)	22.02±1.03	-	41.69±0.57	-
ความหนาแน่นรวม (bulk density, g/cm ³)	0.97±0.09	1.10±0.19	1.24 ±0.05	1.34±0.07
ความชื้น (moisture, %)	33.78±3.53	32.04±2.22	35.62±10.92	23.37±4.44
ความเป็นกรดต่าง (pH)	5.96±0.24	4.62±0.15	5.39±0.45	4.60±0.49
ค่าการนำไฟฟ้า (EC, mS/cm)	0.08±0.01	0.24±0.03	0.05±0.01	0.13±0.02

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่มีการตรวจวัดเพราะเนื้อดินเป็นคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงได้ยากจึงใช้ข้อมูลเดือนกรกฎาคมได้

ความหนาแน่นรวมของดินในแปลงยางพาราเดือนกรกฎาคมและกันยายนมีค่าเท่ากับ 1.34±0.07 และ 1.24 ±0.05 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงทุเรียนพื้นบ้านทั้งสองเดือน โดยมีความหนาแน่นรวมของดินสูงที่สุดที่ระดับความลึก 20-30 เซนติเมตร (1.50±0.10 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) และมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นรวมของดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านในทุกระดับความลึกเดียวกัน (ตารางที่ 1, ภาพที่ 2-ก) ผลการวิเคราะห์ความชื้นในดิน พบว่า แปลงทุเรียนพื้นบ้านเดือนกรกฎาคมและกันยายนมีค่าความชื้นในดินเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33.78±3.53 และ 32.04±2.22 และแปลงยางพารามีค่าเท่ากับร้อยละ 35.62±10.92 และ 23.37±4.44 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) โดยค่าความชื้นในดินเฉลี่ยสูงสุดในแปลงยางพาราและทุเรียนพื้นบ้านพบที่ระดับความลึก 10-20 และ 0-10 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 2-ข) ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองเดือนของทั้งสองพื้นที่ พบว่า เดือนกรกฎาคมมีค่าความชื้นในดินเฉลี่ยสูงกว่าเดือนกันยายน ผลการศึกษา pH ดินของทั้งสองพื้นที่ในแต่ละเดือนมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีความเป็นกรดปานกลาง (moderately acid) ถึงกรดจัด (strong acid) pH ดินอยู่ในช่วง 4.60- 5.96 (ตารางที่ 1) โดย pH ดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านที่ระดับความลึก

ต่าง ๆ มีค่าสูงกว่าแปลงยางพารา โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตรที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน (ภาพที่ 2-ค) ค่าการนำไฟฟ้าในดินทั้งสองพื้นที่อยู่ในช่วง 0.05-0.24 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร โดยเดือนกันยายนมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเดือนกรกฎาคมของทั้งสองพื้นที่และค่าการนำไฟฟ้าที่แต่ละระดับความลึกในแปลงทุเรียนพื้นบ้านสูงกว่าแปลงยางพารา (ตารางที่ 1; ภาพที่ 2-ง)



ภาพที่ 2 คุณสมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของดินในพื้นที่ปลูกทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา : (ก) ค่าความหนาแน่นรวมของดิน; (ข) ความชื้นในดิน; (ค) ค่า pH และ (ง) ค่าการนำไฟฟ้าในดิน

การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินพื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้าน พบว่ามีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินอยู่ในช่วง 23.40-72.66 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร ซึ่งพบมากที่สุดในสถานีที่ 3 เดือนกันยายน (72.66 ± 18.56 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) ในด้านอินทรีย์วัตถุมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.11-3.31 และปริมาณสูงสุดพบในสถานีที่ 3 (ร้อยละ 3.31 ± 0.09) ของเดือนกันยายนเช่นกัน (ตารางที่ 2) ขณะที่พื้นที่ยางพาราพบการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินอยู่ในช่วง 17.21-46.90 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร โดยการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์สูงสุดพบในเดือนกันยายนในสถานีที่ 3 (46.90 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) และต่ำสุดพบในเดือนเดียวกันในสถานีที่ 2 (23.40 ± 6.35 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ระหว่างเดือนกรกฎาคมและกันยายนในแปลงทุเรียนพื้นบ้าน นอกจากนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุของแปลงยางพารานั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.84-2.10 ซึ่งปริมาณสูงสุดพบในเดือนกันยายน (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินระหว่างแปลงทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา พบว่า แปลงทุเรียนพื้นบ้านมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้สูงกว่าพื้นที่ยางพารา โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ระหว่างเดือนกรกฎาคมและกันยายนของแต่ละพื้นที่ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ) ในดินของพื้นที่แปลงทุเรียนและแปลงยางพาราระดับความลึกของดินตั้งแต่ 0-30 เซนติเมตร

พื้นที่ศึกษาแปลงทุเรียน	การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร)		อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	
	กรกฎาคม	กันยายน	กรกฎาคม	กันยายน
สถานีที่ 1	39.01 ± 8.00	24.80 ± 4.40	2.10 ± 0.03	1.71 ± 0.15
สถานีที่ 2	39.54 ± 9.30	23.40 ± 6.35	2.59 ± 0.02	1.11 ± 0.03
สถานีที่ 3	46.62 ± 6.60	72.66 ± 18.56	2.80 ± 0.03	3.31 ± 0.09
เฉลี่ย $\pm$ SD	41.70 ± 3.50	40.30 ± 22.90	2.40 ± 0.03	2.00 ± 0.09
พื้นที่ศึกษาแปลงยางพารา				
สถานีที่ 1	40.70 ± 2.46	29.71 ± 8.44	1.90 ± 0.09	1.20 ± 0.13
สถานีที่ 2	17.21 ± 1.55	33.37 ± 0.72	0.84 ± 0.05	1.50 ± 0.13
สถานีที่ 3	39.46 ± 5.15	46.90 ± 12.27	1.74 ± 0.04	2.10 ± 0.28
เฉลี่ย $\pm$ SD	32.50 ± 10.80	36.70 ± 7.40	1.50 ± 0.06	1.60 ± 0.15

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินกับสมบัติบางประการของดิน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์กับสมบัติบางประการของดิน สรุปดังตารางที่ 3 โดยพบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณความชื้นในดิน ($P<0.01$; $R=0.45$) ค่า pH ดิน ($P<0.01$; $R=0.49$) อนุภาคทราย ($P<0.05$; $R=0.68$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคทรายแป้ง ($P<0.05$; $R=-0.68$) และอนุภาคดินเหนียว ($P<0.01$; $R=-0.82$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมของดิน และค่าการนำไฟฟ้าของดิน ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) นอกจากนี้สมบัติดินยังมีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูง ได้แก่ อนุภาคทรายมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า pH ($P<0.01$; $R=0.86$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการนำไฟฟ้าในดิน ($P<0.01$; $R=-0.77$) อนุภาคทรายแป้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าการนำไฟฟ้าในดิน ($P<0.01$; $R=0.82$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า pH ($P<0.01$; $R=-0.85$) และอนุภาคทราย ($P<0.01$; $R=-0.99$) และอนุภาคดินเหนียวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคทราย ($P<0.01$; $R=-0.82$) แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอนุภาคทรายแป้ง ($P<0.01$; $R=0.77$) และค่าการนำไฟฟ้า ($P<0.01$; $R=0.73$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินกับสมบัติของดินบางประการ

คุณสมบัติของดิน	BD	SOC	SM	pH	EC	Sand	Silt	Clay
BD	1.00							
SOC	-.25	1.00						
SM	-.59**	.45**	1.00					
pH	-.37*	.49**	.31	1.00				
EC	-.09	.08	.07	-.56**	1.00			
Sand	.15	.68*	.42	.86**	-.77**	1.00		
Silt	-.13	-.68*	-.41	-.85**	.82**	-.99**	1.00	
Clay	-.07	-.82**	-.312	-.82**	.73**	-.82**	.773**	1.00

หมายเหตุ : ** ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ * ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, BD=ความหนาแน่นรวมของดิน, SOC=ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน, SM=ความชื้นในดิน, pH=ความเป็นกรดด่างของดิน, EC=ค่าการนำไฟฟ้าของดิน, sand=อนุภาคทราย, silt=อนุภาคทรายแป้ง, clay=อนุภาคดินเหนียว

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาเนื้อดินของระบบนิเวศเกษตรทั้งสองแบบ พบว่าแปลงปลูกทุเรียนพื้นบ้านมีเนื้อดินที่หยาบกว่าในแปลงยางพารา ทำให้ความสามารถในการระบายน้ำและอากาศเกิดขึ้นได้ดีกว่าดินในแปลงยางพารา ในทางกลับกันเนื้อดินในแปลงยางพารามีองค์ประกอบหลักของเนื้อดินเป็นดินเหนียว ซึ่งมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำได้ดีกว่าเนื้อดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้าน ซึ่งเนื้อดินมีผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในดิน โดยตามรายงานของ Kowalenko et al. [22] ได้ระบุว่าดินเหนียวมีความสามารถในการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ได้สูงกว่าดินทราย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.992 และ 0.528 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ไร่/วัน ตามลำดับ ด้วยลักษณะดินเหนียวที่มีเนื้อดินละเอียดมากทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ซึ่งช่วยยืดอายุของน้ำให้คงอยู่ในชั้นดินได้นานขึ้น จึงช่วยรักษาสภาพที่เหมาะสมสำหรับการหายใจของจุลินทรีย์ในดิน [23] ได้ดีกว่าดินทราย และสัดส่วนอนุภาคดินเหนียวเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้มีความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมในดินได้ [24] ดังนั้นแปลงทุเรียนพื้นบ้านที่มีอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่าจึงมีความสามารถกักเก็บก๊าซ CO_2 ได้ดีกว่าแปลงยางพาราที่มีอนุภาคของเนื้อดินละเอียดสูงกว่า

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในระบบนิเวศการเกษตรยางพารา(17.21-46.90 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) ในการศึกษาครั้งนี้ มีปริมาณสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของระวี เจริญวิภาและคณะ [25] ซึ่งพบว่าดินในพื้นที่ปลูกยางพาราในช่วงอายุ 2-26 ปี มีการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.07-19.37 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตรที่ระดับความลึก 0 – 30 เซนติเมตร ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุในดินของระบบนิเวศการเกษตรจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ได้แตกต่างกัน โดยแปลงทุเรียนจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าแปลงยางพารา ทั้งนี้เนื่องมาจากอายุของต้นทุเรียนที่มีอายุมากกว่าจะมีผลต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน [26] ในขณะที่ต้นยางพารามีอายุน้อยกว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่แตกต่างกันอาจจะมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย โดยเฉพาะช่วงการเจริญเติบโตของพืช สำหรับทุเรียนพื้นบ้านในเดือนกรกฎาคมนั้นจะอยู่ในระยะผลแก่และเก็บเกี่ยว ทำให้ต้นทุเรียนมีการร่วงหล่นของใบ กิ่ง รวมถึงผลทุเรียนที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเฉพาะใบไม้ และกิ่งไม้เหล่านี้จากต้นทุเรียนจะกลายเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่สำคัญที่สุด [26] ขณะที่เดือนกันยายนเป็นระยะแตกใบอ่อนและเจริญทางใบของทุเรียนจะอยู่ในช่วงที่แหล่งคาร์บอนอินทรีย์ที่มาจากต้นทุเรียนมีปริมาณน้อยลงส่งผลให้ทั้งสองช่วงเวลามีปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ทั้งอัตราการย่อยสลายของเศษซากพืชที่แตกต่าง ปริมาณน้ำฝน ความชื้นของดิน ลักษณะและโครงสร้างของดิน ระดับความลึกของดิน อุณหภูมิดินและอุณหภูมิอากาศ เป็นต้น [7]

จากการศึกษาครั้งนี้จะพบว่าบางสถานีของแปลงทุเรียนพื้นบ้านและยางพาราจะพบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์อยู่ในระดับสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ในพื้นที่เดียวกัน ซึ่งสาเหตุหลักน่าจะมาจากลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่โดยเฉพาะสถานีที่ 3 ของทั้งสองแปลงซึ่งเป็นที่ราบลุ่มและต่ำกว่าสถานีอื่น ๆ ส่งผลต่อการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเฉพาะในช่วงที่เกิดฝนตก ก็จะกลายเป็นแหล่งรวมเศษใบไม้และสารอาหารต่าง ๆ ที่ถูกชะมาจากพื้นที่ใกล้เคียง ทำให้เกิดการสะสมของอินทรีย์วัตถุสูงกว่าสถานีอื่น นอกจากนี้เมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เพราะความชื้นในดินเป็นปัจจัยที่สนับสนุนกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้นไปด้วย [10, 27] pH ดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน เนื่องจาก pH มีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ถ้า pH ต่ำจะส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ทำงานได้น้อยลงแล้วจะไปลดการสร้างแร่ธาตุจากสารอินทรีย์ [26] นอกจากนี้ เนื้อดินยังหยาบหรือมีอนุภาครายป่นอยู่เยอะสามารถช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินจะมีช่องว่างในดินที่ช่วยระบายน้ำและอากาศได้ดีที่ช่วยในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน และหากมีการนำถ่านชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงบำรุงดินร่วมด้วย ก็ยังจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้สูงขึ้นในพื้นที่เกษตรกรรม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์กับความแน่นรวมของดินซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของณัฏฐา ชำนาญคำ [28] ที่ระบุว่าไม่พบความสัมพันธ์ของคาร์บอนกับความหนาแน่นรวมของดินในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงปลาตก ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากพื้นที่เกษตรกรรมได้รับการรบกวนจากการกระทำของมนุษย์อยู่ตลอดเวลาทำให้ความหนาแน่นรวมของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเช่นกัน ต่างกับในธรรมชาติ

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า พื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้านสามารถกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้สูงกว่าพื้นที่ยางพารา โดยพบว่าลักษณะของเนื้อดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านมีองค์ประกอบอนุภาคทรายเป็นหลัก ทำให้ความสามารถในการระบายน้ำและอากาศเกิดขึ้นได้ดีกว่าดินในแปลงยางพารา เนื่องจากเนื้อดินในแปลงยางพารามีองค์ประกอบหลักของเนื้อดินเป็นดินเหนียวที่สามารถปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงกว่าดินทรายซึ่งมีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน แปลงทุเรียนมีความหนาแน่นรวมของดินสูงกว่าแปลงยางพารา ปริมาณกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน และอินทรีย์วัตถุในดินจากทั้งสองระบบนิเวศเกษตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ของแปลงทุเรียนเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงยางพารา 2 เดือนไม่มีความแตกต่างกัน สมบัติดินที่มีความสัมพันธ์กับคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ได้แก่ ค่าความชื้นในดิน อนุภาคทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว ค่า pH ในดิน โดยปัจจัยเหล่านี้อาจมีอิทธิพลต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยเฉพาะอนุภาคของดินขนาดต่าง ๆ และปริมาณความชื้นในดินที่ส่งผลต่อการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในดิน ซึ่งได้เห็นได้ว่าระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านและยางพารามีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนและดูดซับคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการดินของพื้นที่เกษตรกรรมอย่างเหมาะสม อีกทั้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นคาร์บอนเครดิตในการลดหย่อนการปลดปล่อยคาร์บอนที่สามารถนำไปซื้อ-ขายแลกเปลี่ยนในตลาดคาร์บอนในอนาคต สร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรอีกแนวทางหนึ่งได้ และแปลงยางพาราน่าจะเป็นทางเลือกในการใช้ประโยชน์เชิงคาร์บอนเครดิตได้ดีกว่าทุเรียนพื้นบ้านเพราะมีเนื้อเพาะปลูกที่มากกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีสนองพระราชดำริ โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี (อภ.สธ.-มรส.) โครงการเพิ่มประสิทธิภาพของดินในการปลูกทุเรียนคลองแสง ในปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

- [1] Duan, Z. (2023). Impact of climate change on the life cycle greenhouse gas emissions of cross-laminated timber and reinforced concrete buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136446.
- [2] Huangpeng Q., Huang, W., & Gholinia, F. (2021). Forecast of the hydropower generation under influence of climate change based on RCPs and developed crow search optimization algorithm. *Energy Reports*, 7, 385-397.
- [3] Ministry of Natural Resources and Environment. (2020). Policy Formulation and National Focal Point. Thailand Third Biennial Update Report [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3_Thailand_251220%20.pdf (30 พฤศจิกายน 2565).
- [4] Eswaran, H., Berg, E. V. D., & Reich, P. F. (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 193-194.

- [5] Paustian, K., Larson, E., Kent, J., Marx, E., & Swan, A. (2019). Soil C sequestration as a biological negative emission strategy. *Frontiers in Climate*, 1, 8.
- [6] Jacobs, G. K., Dahlgren, R. C., & Metting, F. B. (2001). Carbon sequestration in terrestrial ecosystems: A status report on R&D Progress. In *Proceedings of the First National Conference on Carbon Sequestration*. Washington, D.C.
- [7] วรพัชร วิชัยสุชาติ, สมณมิตร พุกงาม, ปิยพงษ์ ทองดินนอก, นฤมล แก้วจำปา, และรจนา ตั้งกุลบริบูรณ์. (2561). การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอนในดินบริเวณพื้นที่ป่าชนิดต่าง ๆ อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุยจังหวัดเชียงใหม่. *วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 18(4), 61-77.
- [8] อุเทน จันละบุตร, และ ภูวดล โกมลเกียรติ (2559). ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินในพื้นที่เกษตรกรรมในลุ่มน้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 34(1), 79-88.
- [9] ภาวิณี อองสุวรรณ. (2559). การสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินสวนยางพาราและดินสวนปาล์มน้ำมันกรณีศึกษาเทศบาลตำบล จ.ป.ร. อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [10] พุทธิรักษ์ วงศ์ศิริชัย, สุภัตรา ถิกสถิตย์, นฤมล แก้วจำปา, และ รจนา ตั้งกุลบริบูรณ์. (2562). ผลของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาด จังหวัดระยอง. *วารสารวนศาสตร์*, 38(2), 83-97.
- [11] Benbi, D. K., & Chand, M. (2007). Quantifying the effect of soil organic matter on indigenous soil N supply and wheat productivity in semiarid sub-tropical India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 79, 103-112.
- [12] Rasool, R., Kukul, S.S. , & Hira, G.S. (2008). Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize–wheat system. *Soil and Tillage Research*, 101, 31-36.
- [13] Lal, R. (1999). Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in Environmental Science*, 1(4), 307-326.
- [14] Wright, J. T., Marcy, G. W., Fischer, D. A., Butler, R. P., Vogt, S. S., Tinney, C. G., Jones, H. R., Carter, B. D., Johnson, J. A., McCarthy, C., & Apps, K. (2007). Four new exoplanets and hints of additional substellar companions to exoplanet host stars. *The Astrophysical Journal*, 657, 533-545.
- [15] วัชรวิทย์ รวยรื่น, นรนนท์ ขำฉา, และ พงศ์ศักดิ์ นพรัตน์. (2022). การผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือทิ้งในสวนวนเกษตร (หน้า rspg028). ใน *การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงาน ชมรมคณะปฏิบัติการวิทยาการ อพ.สธ. ครั้งที่ 10*. นครศรีธรรมราช.
- [16] ทิชา โลกุลพิมาน, กาญจนา นาคะภากร, อัจฉรา อัครกุลชัย, สิริกร กาญจนสุนทร, สุเพชร จิระจกุล. (2559). การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนยางพาราโดยการประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล กรณีศึกษา จังหวัดระยอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24(6), 914-926.

- [17] Wynn, J. G., Bird, M. I., & Wong, V. N. L. (2004). Rayleigh distillation and the depth profile of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of soil organic carbon from soils of disparate texture in Iron Range National Park, Far North Queensland, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69, 1961-1973.
- [18] Blake, G. R., & Hartage., K. H. (1986). Bulk Density (pp 363-375). In Klute, A. (eds). *Methods of Soil Analysis part I Physical and Mineralogical Methods*. USA: Agronomy Monograph, Madison.
- [19] Soil Survey Staff. (1996). *Soil survey laboratory methods manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. USDA, Washington DC.
- [20] Walkley, A., & Black, A. (1934). An examination of the Degiareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-28.
- [21] Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 8, 345-360.
- [22] Kowalenko, C. G., Ivarson, K. C., & Cameron, D. R. (1978). Effect of moisture content, temperature, and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10, 417-423.
- [23] Feiziene, D., Feiza, V., Vaideliene, A., Povilaitis, V., & Antanaitis, S. (2010). Soil surface carbon dioxide exchange rate as affected by soil texture, different long term tillage application and weather. *Agriculture*, 97(3), 25-42.
- [24] Galdos, M. V., Cerri, C. C., & Cerri, C. E. P. (2009). Soil carbon contents under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, 153, 347-352.
- [25] ระวี เจริญวิภา, สุรชาติ เพชรแก้ว, มนต์รี แก้วดวง, และ วิทยา พรหมมี. (2555). การประเมินการเก็บกักคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในสวนยางพารา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 17(2), 91-102.
- [26] Lei, Z., Yu, D., Zhou, F., Zhang, Y., Yu, D., Zhou, Y., & Han, Y. (2019). Changes in soil organic carbon and its influencing factors in the growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in Horqin Sandy Land, Northeast China. *Scientific Reports*, 9, 16453.
- [27] Hongix, L., Blagodatsky, S., Giese, M., Liu, F., Xu, J., & Cadisch, G. (2016). Impact of herbicide application on soil erosion and induced carbon loss in a rubber plantation of Southwest China. *Catena*, 145, 180-192.
- [28] ณัฏฐิยา ชำนาญคำ. (2564). การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงปลาตกบักอูย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 29(2), 296-306.