การประเมินการเก็บกักคาร์บอนในดิน บริเวณสวนป่ากฤษณา สวนยางพาราและนาข้าว

Estimation of Soil Carbon Flux in Cultivated Areas with *Aquilaria crassna*, *Hevea brasiliensis*, and *Oryza sativa* L.

วรากร สุจริต[1]

Warakorn Sudjarit[1]

Received: 20 May 2014; Accepted: 3 September 2014

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือ เพื่อประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอนในดิน ทำการทดลองในพื้นที่สวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว บริเวณตำบลโนนเปือย อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร วางแปลงตัวอย่างขนาด 50X50 เมตร เก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน อุณหภูมิและความชื้นในดิน การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ปริมาณคาร์บอนในดิน (OC) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) และค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ คำนวณหาปริมาณการเก็บกักคาร์บอนในดิน และประเมินค่าปริมาณการเก็บกักคาร์บอนทั้งหมดในพื้นที่

ผลการศึกษาพบว่า สวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว ในพื้นที่ดังกล่าวสามารถเก็บกักคาร์บอนในดินเท่ากับ 67.20, 77.44, and 20.24 ตัน-คาร์บอน/ไร่/ปี ตามลำดับ พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 25 ไร่ สามารถเก็บกักคาร์บอนในดิน 164.88 ตัน-คาร์บอน/ไร่/ปี ปริมาณธาตุอาหารในพื้นที่ศึกษาพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชพบมากที่สุดในนาข้าว เท่ากับ 0.61 mg/kg โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชพบมากที่สุดในนาข้าว เท่ากับ 3.06 mg/kg เช่นเดียวกับไนโตรเจนทั้งหมดพบมากที่สุดในนาข้าว เท่ากับ 0.093 mg/kg ปริมาณ OM พบมากที่สุดในสวนกฤษณา เท่ากับ 2.42% ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณ OC ที่พบในสวนกฤษณามากที่สุด เท่ากับ 1.4% ความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.48 kg/m^3 ความชื้นในดินเท่ากับ 41.07% และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 31.55^{0}C นอกจากนี้ฤดูฝนเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์ของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งปริมาณการเก็บกักคาร์บอนในดินขึ้นกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอนในดิน สวนกฤษณา สวนยางพารา นาข้าว

Abstract

The objective of this study is the evaluation of soil carbon storages in cultivated areas with *Aquilaria crassna*, *Hevea brasiliensis*, and *Oryza sativa* L. at Non Pueai sub-district, Kudchum district, Yasothon province. The experimental plot in this study was 50 x 50 meters. The sample collection was analysed for physical and chemical soil properties. The physical properties consisted of soil bulk density, soil temperature, soil texture and soil moisture. The properties were composed of total Nitrogen (N), available Phosphorus (P), the available Potassium (K), Organic carbon (OC), Soil organic matter (OM), and pH in soil. This study calculated soil carbon storages in various land use patterns.

The results of soil carbon flux in the cultivated areas with *Aquilaria crassna*, *Hevea brasiliensis*, and *Oryza sativa* L. were 67.20, 77.44, and 20.24 tons-carbon/rai/year, respectively. The total of soil carbon flux was 164.88 tons-carbon/rai/year. The average of available Phosphorus (P) was 0.61 mg/kg in *Oryza sativa* L. plantation, the average of available Potassium (K) was 3.06 mg/kg in *Oryza sativa* L. plantation, and the average of total Nitrogen (N) was 0.093 mg/kg in *Oryza sativa* L. plantation. Moreover, most of soil organic matter (OM) was 2.42% and

[1] *อาจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, Email: warakorn@msu.ac.th*

[1] *Lecturer, Faculty of Environment and resource studies, Mahasarakham University, Email: warakorn@msu.ac.th*

organic carbon (OC) was 1.4% in *Aquilaria crassna* plantation. The average soil temperature was 31.55 ^{0}C and the rainy season was the most appropriate period for degradation of litter by microorganism in the soil. All average amounts of soil carbon flux depend on the rates of soil organic matter and activities of microbes in the soil as well.

Keywords: Soil Carbon Flux, Cultivated areas, *Aquilaria crassna*, *Hevea brasiliensis*, *Oryza sativa* L.

บทนำ

การเก็บกักคาร์บอน (carbon sequestration) ในดินของพื้นที่เกษตรและป่าไม้ เป็นแนวทางหนึ่งที่หลายประเทศนำไปใช้เพื่อประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดี ต้นทุนต่ำ และสามารถดำเนินการได้ทันที[1,2] โดยอาศัยการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืช ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปเก็บสะสมไว้ในส่วนของเนื้อเยื่อพืช (ลำต้น ใบ ดอก ผล และราก) และเมื่อเศษซากพืชเหล่านี้หลุดร่วงหรือตายลง อินทรียสารเหล่านั้นจะถูกย่อยสลาย และบางส่วนที่ย่อยสลายยาก เช่น สารฮิวมัส คงเก็บสะสมอยู่ในดินต่อไปในรูปของอินทรียวัตถุ (soil organic matter) คาร์บอนอาจคงอยู่ในดินได้เป็นเวลายาวนาน เป็นร้อยหรือพันปี[3,4,5] ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและการจัดการดินในพื้นที่ ดินนับว่าเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่ง โดยการศึกษาของ เล็ก[6] ได้สรุปการกระจายของคาร์บอนในดินของประเทศไทย โดยในดินลึก 1 เมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนรวมทั้งหมดประมาณ 6.21 พันล้านตัน คิดเป็น 0.046 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโลก ซึ่ง Eswaran[7] ประเมินไว้มีอยู่ 1.53 ล้านล้านตัน และมีอนินทรีย์คาร์บอนรวมทั้งหมดของประเทศประมาณ 0.184 พันล้านตัน คิดเป็น 0.019 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอนินทรีย์คาร์บอนโลก โดยได้ประเมินว่ามีอยู่ถึง 940 ล้านล้านตัน ส่วนปริมาณคาร์บอนในดินของระบบนิเวศป่าไม้ในประเทศไทยนั้น สิริรัตน์ และศิริภา[8] ได้ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าบริเวณพื้นที่ป่าดิบเขา มีการสะสมของปริมาณคาร์บอนถึงระดับความลึกที่ 1 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 237.27 ตันต่อเฮกตาร์ รองลงมาคือป่าเบญจพรรณ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 148.50 ตันต่อเฮกตาร์ ส่วนในป่าดิบแล้งและป่าสนเขา พบแนวโน้มของการสะสมปริมาณคาร์บอนมีค่าใกล้เคียงกันคือ 145.25 และ 132.05 ตันต่อเฮกตาร์ ป่าเต็งรังมีการสะสมของปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าป่าธรรมชาติชนิดอื่นๆ คือ 76.75 ตันต่อเฮกตาร์ ส่วนการสะสมของปริมาณคาร์บอนในบริเวณป่าปลูกเท่ากับ 167.9 ตันต่อเฮกตาร์ นอกจากนี้แนวโน้มของการสะสมของปริมาณคาร์บอนจะมีการสะสมอยู่มากในดินชั้นบนและลดลงตามระดับความลึกของดินการศึกษาข้อมูลจากอดีตถึงปัจจุบันทำให้เห็นว่าดินเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่ง นอกจากนี้ปัจจัยแวดล้อมบางประการยังมีผลต่ออัตราการเก็บกักคาร์บอนในดินและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศด้วย ซึ่งอาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดดิน อุณหภูมิดิน อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในดิน ระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด ความหนาแน่นของพืช และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จะศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินและปัจจัยดังกล่าวบริเวณสวนป่ากฤษณาอายุ 8-10 ปี สวนยางพาราอายุ 1-2 ปี และนาข้าวซึ่งเป็นข้าวนาปี ในพื้นที่ตำบลโนนเปือย อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร เบื้องต้นพบว่าในพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกดินตามระบบการจำแนกดิน (Soil Taxonomy) ได้ 3 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 17 กลุ่มชุดดินที่ 35 และกลุ่มชุดดินที่ 40 Figure 1

ดังนั้นเพื่อประเมินค่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินจากบริเวณที่มีลักษณะการใช้ที่ดินที่แตกต่างกันดังกล่าว โดยพื้นที่สวนยางพาราเป็นตัวแทนของพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และยุคสมัยหนึ่งรัฐบาลที่ผ่านมาได้ส่งเสริมให้มีการปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออย่างแพร่หลาย เมื่อเปรียบเทียบกับสวนป่ากฤษณาซึ่งมีพื้นที่ปลูกน้อย เกษตรกรไม่นิยมปลูกมากนักเมื่อเทียบกับสวนป่าชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีปัญหาเรื่องการตลาด ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกสวนป่ากฤษณาที่มีอายุการเจริญเติบโตมากกว่าสวนยางพารา เนื่องจากบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนมากเป็นพื้นที่ปลูกยางพารารายใหม่ อายุการเจริญเติบโตของยางพาราเฉลี่ย 2-6 ปี ส่วนสวนกฤษณาแทบไม่มีพื้นที่ใดปลูกเพิ่มจากเดิมเลย อายุการเจริญเติบโตของกฤษณาเฉลี่ย 8-15 ปี และนาข้าวซึ่งเป็นแปลงที่ปลูกข้าวแบบเกษตรอินทรีย์ กล่าวคือเกษตรกรไม่ใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีใดๆ ตลอดขั้นตอนการผลิต รวมทั้งเป็นแปลงข้าวที่ไม่เคยผ่านการเผาตอซังมาก่อน ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งสามประเภท และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาสมดุลคาร์บอนในพื้นที่เกษตรต่อไป ข้อมูลเหล่านี้อาจเป็นประโยชน์กับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการทรัพยากรป่าไม้และสวนป่า รวมถึงการส่งเสริมเกษตรกรให้ปลูกพืชเศรษฐกิจในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเก็บกักคาร์บอนในดิน อันแสดงให้เห็นถึงความร่วมมือในการช่วยลดภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและการลดภาวะโลกร้อน

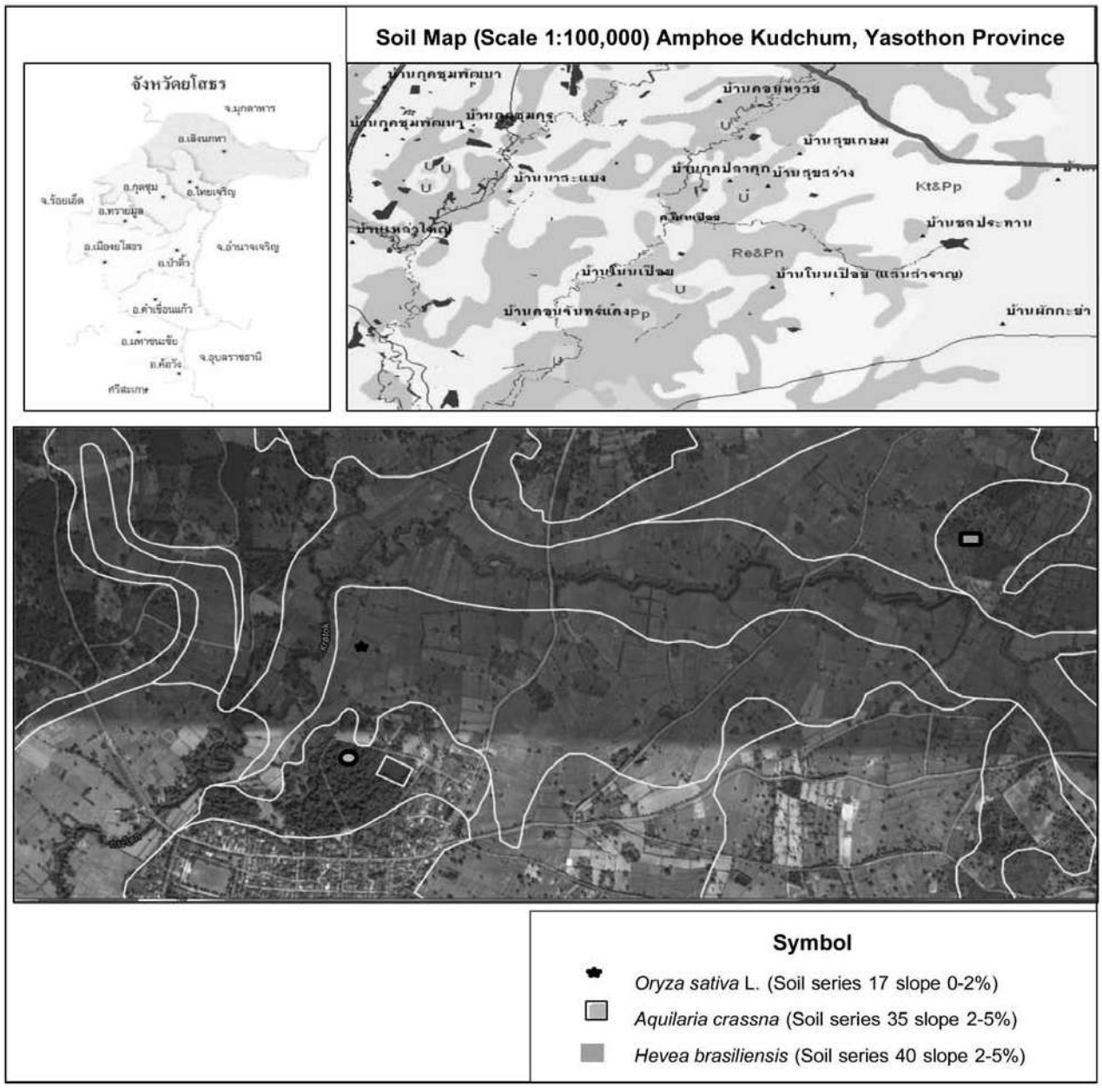

Figure 1 Soil series map and soil sample plots study in the cultivated areas with *Oryza sativa* L., *Aquilaria crassna and Hevea brasiliensis*

Source Modification from Land Development Department, 2555

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนในดิน บริเวณสวนป่ากฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว และเปรียบเทียบอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้นในดิน ลักษณะโครงสร้างของดิน เนื้อดิน และประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาและเก็บข้อมูลภาคสนาม และการวิเคราะห์ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1. การเก็บข้อมูลภาคสนาม วางแผนการทดลองในพื้นที่สวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว ของเกษตรกรในพื้นที่ ตำบลโนนเปือย อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร โดยเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 3 รูปแบบ จำนวนรูปแบบการใช้ที่ดินละ 3 ซ้ำ สวนกฤษณาและสวนยางพาราวางแปลงทดลองขนาด กว้าง 10 เมตร ยาว 10 เมตร คิดเป็นพื้นที่ 100 ตารางเมตร สำหรับนาข้าววางแปลงทดลองขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้ soil core ที่ความลึกของดิน 2 ระดับ คือดินบน 0-10

เซนติเมตร และดินล่าง 10-30 เซนติเมตร โดยเก็บตัวอย่างจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินละ 3 จุด (ดินบนและดินล่าง) รวมทั้งสิ้นจำนวน 18 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างดินแบบ composite โดยเก็บกระจายทั่วแปลง นำตัวอย่างดินที่ได้มาผสมคลุกเคล้ากัน และแบ่งดินเป็น 4 ส่วน เก็บดินใส่ถุงพลาสติก 1 ส่วน จนครบ 1 กิโลกรัม จากแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมทั้งสิ้นจำนวน 3 ตัวอย่าง การศึกษาในครั้งนี้ ได้ลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง 3 ครั้งในหนึ่งรอบปี ได้แก่ เดือนเมษายน กรกฎาคม และพฤศจิกายน

การประเมินค่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกเก็บสะสมอยู่ในดิน โดยปริมาณคาร์บอนในดินประเมินจากปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter: OM) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของ Walkey and Black[9] มีหลักการคือ (1) ใช้ Oxidizing agent ($K_2Cr_2O_7$) ที่มากเกินพอทำปฏิกิริยากับ reducing agent ที่มีอยู่ในดินจนหมด ซึ่งในที่นี้หมายถึงอินทรีย์คาร์บอน (2) ใช้ reducing agent ($FeSO_4.7H_2O$ หรือ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) ทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือ (3) ทำ Blank อีกครั้งหนึ่งโดยไม่รวมดินตัวอย่าง (4) ปริมาณของ $FeSO_4$ ที่ทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ใน Blank จะนำมาคำนวณความเข้มข้นที่แท้จริงของ $FeSO_4$ (5) เนื่องจากปริมาณของ easily oxidizable material ที่วิเคราะห์ได้นั้นเป็นเพียงการวัด reducing power ของดินเท่านั้นเอง ดังนั้น ก่อนที่จะเปลี่ยนให้เป็นปริมาณของอินทรียวัตถุก็ต้องผ่านสมมุติฐานหลายข้อคือ (5.1) ถือว่าไม่มี reducing agent อื่นที่เป็นอินทรียวัตถุในดินเลยจะมีแต่อินทรีย์คาร์บอนเท่านั้นที่ถูก oxidized ในการทำปฏิกิริยาครั้งนี้ (5.2) ถือว่า equivalent weight ของ carbon ซึ่งถูก oxidized นั้นเท่ากับ 3 (5.3) 5.3 ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ recovery ของ carbon ในดินเท่ากับ 74-76% ซึ่งค่านี้ได้มาจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี dry combustion ซึ่งเราสมมุติว่าเป็นวิธีที่ให้ 100% recovery (5.4) คำนวณเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุจากค่าที่สมมุติให้อินทรียวัตถุในดินมี carbon 58% (เป็นอินทรียวัตถุที่อยู่ในรูปของ carbohydrate เช่น glucose เป็นต้น) คำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอินทรียวัตถุ ได้ดังนี้

$$\%\ \text{Organic carbon} = \frac{(B-T)\ N \times 100 \times 3 \times 100 \times 10}{B \quad 77 \quad 10^3 \quad W}$$

$$\%\ \text{Organic matter} = \%\ \text{Organic carbon} \times 1.724$$

$$\text{หรือ } \%\ \text{Organic matter} = \frac{(B-T)\ N \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times 10}{B \quad 77 \quad 58 \quad 10^3 \quad W}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท (N)

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ Blank (ml)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (ml)

W = น้ำหนักดิน (g)

ดังนั้น %Organic carbon = $(B - T)N \times 100 \times 3$

การศึกษาและเก็บข้อมูลภาคสนาม ใช้ชุดเก็บตัวอย่างดินประกอบด้วย กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) สว่านเจาะดิน (auger) พลั่วขุดดิน จอบ ถังผสมดิน ผ้าใบ ถุงพลาสติก หนังยาง ปากกาเลเบล เครื่องวัดความชื้นค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน และอุณหภูมิดิน เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิอากาศ ตลับเมตร และเครื่องชั่ง

2. การวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ การเก็บตัวอย่างดินแบบ composite ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากนั้นผึ่งตัวอย่างดินในที่ร่ม และเลือกวัสดุที่ไม่ใช่ดินออก เมื่อดินแห้งแล้ว บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 และ 2 มิลลิเมตร วิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ ของดิน ได้แก่

2.1 ปฏิกิริยาของดิน (pH) Thomas[10] วิเคราะห์โดยใช้น้ำสกัด อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 และวัดค่าโดยใช้เครื่อง pH meter

2.2 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (soil organic carbon; SOC) ในดิน โดยวิธี Walkley and Black Titration[11]

2.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl method[12]

2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดดินโดยวิธี Bray II (0.1 *N* HCl+0.03 *N* NH4F) และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี molybdenum blue[13]

2.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) ทำการสกัดตัวอย่างดินด้วยสารละลาย 1 *N* NH4OAc ค่า pH 7.0 และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer[14]

2.6 เนื้อดิน (soil texture) การวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อดินใช้วิธีไฮโดรมิเตอร์[15,16]

2.7 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเก็บดิน (soil core) ตามวิธีการ core method ของ Blake and Hartge[17]

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย (x) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ผลการศึกษา

การประเมินค่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกเก็บสะสมไว้ในดินตามวิธีการเก็บกักคาร์บอนทางตรง โดยเก็บตัวอย่างเป็นตัวแทน 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (เดือนเมษายน) ฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม) และฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน) การเก็บตัวอย่างดินในบริเวณหลุมที่ขุดในระดับความลึกที่แตกต่างกันโดยแบ่งเป็นดินบน และดินล่าง บริเวณสวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่า soil organic carbon (SOC), ค่า Organic matter (OM), ค่า Bulk density และธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Figure 2)

Figure 2 The processes of soil sample collections in the cultivated areas

พื้นที่ที่ทำการศึกษาเป็นการทำเกษตรแบบผสมผสาน ในพื้นที่ ตำบลโนนเปือย อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร มีเนื้อที่ประมาณ 25 ไร่ เป็นพื้นที่สวนกฤษณา 5 ไร่ สวนยางพารา10 ไร่ และนาข้าว 10 ไร่ ผลการศึกษาความหนาแน่นของดิน ความชื้นในดิน อุณหภูมิดิน pH และอุณหภูมิอากาศกับปริมาณคาร์บอนในดิน ซึ่งได้ทำการศึกษาโดยแบ่งออกเป็นสามช่วงฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (เดือนเมษายน) ฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม) และฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน) ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน ความชื้นในดิน และอุณหภูมิดิน ทั้งหมด 3 ช่วงฤดูกาล ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งได้แก่ สวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าวในพื้นที่ ตำบลโนนเปือย อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร ดังแสดงใน (Table 1)

Table 1 The results of soil physical properties analysis in the cultivated areas

Cultivated areas	Soil bulk density (g/cm^3)				Soil moisture (%by mass)				Soil temperature (°C)			
	Apr.	Jul.	Nov.	$\overline{X}$	Apr.	Jul.	Nov.	$\overline{X}$	Apr.	Jul.	Nov.	$\overline{X}$
Oryzs sativa L.	1.5	1.6	1.5	1.5	56.61	46.54	57.29	53.48	32	30	29	29.6
Aquilaria crassna	1.5	1.5	1.4	1.4	38.54	42.92	25.62	35.69	33	35	31	33
Hevea brasiliensis	1.5	1.5	1.4	1.4	25.4	48.31	28.44	34.05	33	31	30	31.3

จาก Table 1 พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยทั้ง 3 ฤดูกาล ของนาข้าวเท่ากับ 1.5 g/cm^3 สวนยางพาราเท่ากับ 1.4 g/cm^3 และสวนกฤษณาเท่ากับ 1.4 g/cm^3 ความหนาแน่นรวมของดินอยู่ระหว่าง 1.4-1.9 g/cm^3 จัดอยู่ในกลุ่มดินร่วน เป็นดินทรายแป้ง การระบายน้ำเร็วปานกลาง และเนื้อละเอียด การไถพรวนง่าย มีการระบายน้ำดีและถ่ายเทอากาศดี และมักมีความอุดมสมบูรณ์ดี เป็นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างละเอียด นุ่มมือ ยืดหยุ่นได้บ้าง มีการระบายน้ำได้ดีปานกลาง จัดเป็นเนื้อดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกในธรรมชาติมากที่สุดมักไม่ค่อยพบแต่พบดินที่มีเนื้อใกล้เคียงกันมากกว่า

บริเวณนาข้าว เป็นพื้นที่ราบเรียบ มีความลาดชัด 0-2% จากการวิเคราะห์ปริมาณเนื้อดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ พบว่า มีปริมาณ Sand เท่ากับ 46.29% มีปริมาณ Silt เท่ากับ 22.57% และ Clay เท่ากับ 31.14% เมื่อนำมาหาประเภทของเนื้อดินจากไดอะแกรมรูปสามเหลี่ยม พบว่า เป็นดินประเภท Sandy clay loam สีของดินบน (0-18 cm) เป็นสี Brown (7.5YR5/2) สีของดินล่าง (18-37 cm) เป็นสี Light brown (7.5YR6/4) พบจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง สีของดินทำให้ทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุที่ปะปนอยู่และแปรสภาพเป็นฮิวมัสในดิน ทำให้สีของดินต่างกัน ถ้ามีฮิวมัสน้อยสีจางลงมีความอุดมสมบูรณ์น้อยลง กลุ่มชุดดินบริเวณดังกล่าวเป็นกลุ่มชุดดินที่ 17 ชุดดินร้อยเอ็ด (Roi-et series: Re) อยู่ใน Great Soil Group: Kandiaquults

บริเวณสวนกฤษณา สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดชัน 2-5% จากการวิเคราะห์ปริมาณเนื้อดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ พบว่า มีปริมาณ Sand เท่ากับ 58.94% มีปริมาณ Silt เท่ากับ 33.58% และ Clay เท่ากับ 7.48% เมื่อนำมาหาประเภทของเนื้อดินจากไดอะแกรมรูปสามเหลี่ยม พบว่า เป็นดินประเภท Sandy loam สีของดินบน (0-20 cm) เป็นสี Dark Brown (10YR3/3) สีของดินล่าง (20-60 cm) เป็นสี Brown (10YR5/3) กลุ่มชุดดินบริเวณดังกล่าวเป็นกลุ่มชุดดินที่ 35 ชุดดินโคราช (Korat series: Kt) อยู่ใน Great Soil Group: Kandiustults

บริเวณสวนยางพารา มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดชัน 2-12% จากการวิเคราะห์ปริมาณเนื้อดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ พบว่า มีปริมาณ Sand เท่ากับ 77.02% มีปริมาณ Silt เท่ากับ 21.23% และ Clay เท่ากับ 1.75% เมื่อนำมาหาประเภทของเนื้อดินจากไดอะแกรมรูปสามเหลี่ยม พบว่า เป็นดินประเภท Loamy sand สีของดินบน (0-12 cm) เป็นสี Dark reddish brown (5YR3/3) สีของดินล่าง (12-32 cm) เป็นสี Reddish brown (5YR4/4) กลุ่มชุดดินบริเวณดังกล่าวเป็นกลุ่มชุดดินที่ 40 ชุดดินชุมพวง (Chum Phang series: Cpg) อยู่ใน Great Soil Group: Kandiustults

ความชื้นในดินเฉลี่ยของนาข้าวเท่ากับ 53.48% สวนยางพาราเท่ากับ 35.69% และสวนกฤษณาเท่ากับ 34.05% อุณหภูมิของดินเฉลี่ยเท่ากับของนาข้าวเท่ากับ 29.6 °C สวนยางพาราเท่ากับ 33 °C และสวนกฤษณาเท่ากับ 31.3 °C จากผลการศึกษาดังกล่าว เห็นว่าความหนาแน่นรวมของดินในนาข้าวมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากดินนาเป็นดินที่ผ่านการเขตกรรมด้วยเครื่องจักรกลการเกษตรมาเป็นเวลานาน ทุกฤดูกาลปลูกจะมีการไถพรวน กลับหน้าดินทุกครั้ง ส่งผลให้อนุภาคดินเหนียวที่มีขนาดเล็กที่สุดลงไปอยู่ในดินชั้นล่างสะสมอยู่เป็นเวลานาน ทำให้เกิดชั้นดินดานขึ้น ดินมีประสิทธิภาพในการซึมซาบน้ำของดินลดลง ดินระบายน้ำเลว ทำให้เกิดการท่วมขังในช่วงฤดูน้ำหลาก ส่งผลให้ปัจจัยความชื้นในดินเฉลี่ยสูงกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ซึ่งความชื้นในดินจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของดิน กล่าวคือเมื่อความชื้นในดินสูง อุณหภูมิของดินต่ำ และปัจจัยเหล่านี้จะไปมีผลต่ออัตราการย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์ของจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย กล่าวคือ ถ้าดินมีความชื้นในดินและอุณหภูมิดินสูง จะส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและรากพืชเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ปริมาณคาร์บอนในดิน อินทรียวัตถุในดิน และ pH ของดิน ใน 3 ช่วงฤดูกาลของสวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว สามารถแสดงได้ดัง Table 2

Table 2 The results of soil chemical properties analysis

Cultivated areas	Total Nitrogen (mg/kg)					Avail Phosphorus (mg/kg)					Avail Potassium (mg/kg)				
	Apr.	Jul.	Nov.	$\bar{X}$	SD	Apr.	Jul.	Nov	$\bar{X}$	SD	Apr.	Jul.	Nov	$\bar{X}$	SD
Oryzs sativa L.	0.021	0.000	0.007	0.093	0.011	0.55	0.39	0.9	0.61	0.261	4.2	2.7	2.3	3.06	1.002
Aquilaria crassna	0.028	0.014	0.021	0.021	0.007	0.28	0.29	0.5	0.35	0.124	2.5	2.4	4.0	2.96	0.896
Hevea brasiliensis	0.056	0.028	0.028	0.037	0.016	0.25	0.19	0.25	0.23	0.035	2.7	2.4	2.2	2.43	0.252

จาก Table 2 พบว่า ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยทั้ง 3 ฤดูกาล ของนาข้าวเท่ากับ 0.093 mg/kg สวนยางพารา เท่ากับ 0.021 mg/kg และสวนกฤษณาเท่ากับ 0.037 mg/kg ไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.021-0.093 mg/kg อยู่ในระดับน้อยมาก ไนโตรเจนในดินไม่ว่าในรูปของอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ไนโตรเจนมักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในดินมีหลายกระบวนการซึ่งจะเกิดตามขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือไนโตรเจนในรูปโปรตีน จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุในดินจะมีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 5 ในดินที่มีอินทรียวัตถุประมาณร้อยละ 1-5 เมื่อเก็บเกี่ยวพืชจะมีไนโตรเจนติดไปกับผลผลิต การแก้ไขสามารถทำได้โดยการทิ้งชิ้นส่วนของพืชไว้ในแปลงให้มากที่สุดภายหลังการเก็บเกี่ยว การไม่เผาตอซังเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนไปในอากาศและการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมเพื่อชดเชยกับปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปทั้งหมดแต่ไนโตเจนไม่ได้สูญเสียแค่ในพืชและจุลินทรีย์อย่างเดียวแต่ยังสูญเสียด้วยการกัดเซาะกัดกร่อนด้วยน้ำและลม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการชดเชยไนโตเจนที่สูญเสียไปจากดินโดยการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยเคมีเพิ่มเติมลงไปในดินและควรทิ้งตอซังพืชไว้หลังการเก็บเกี่ยวและรีบไถกลบลงในดิน

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยของนาข้าวเท่ากับ 0.61 mg/kg สวนยางพาราเท่ากับ 0.35 mg/kg และสวนกฤษณาเท่ากับ 0.23 mg/kg ซึ่งฟอสฟอรัสเฉลี่ย <3 mg/kg ถือว่าน้อยมาก เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ฟอสฟอรัสในดินได้จากอินทรียวัตถุในดินที่สลายตัวจนเป็นฮิวมัส เนื้อเยื่อสดของพืชและสารประกอบหรือแร่ที่เป็นของแข็งอยู่ในดิน นอกจากยังได้จากปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสในดินแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน การชะล้าง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในดินโดยทั่วไปจะมีฟอสฟอรัส ต่ำมากเมื่อเทียบกับค่า ไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K) การรักษาฟอสฟอรัสจะต้องปรับระดับ pH อยู่ระหว่าง 6-7 เพื่อรักษาอินทรียวัตถุเสมอ การขาดฟอสฟอรัสในพืชจะแสดงให้เห็นจากการที่ใบพืชมีสีเขียวเข้มจัดถ้าขาดรุนแรงใบจะผิดรูปร่างและแสดงอาการตายเฉพาะส่วน

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยเท่ากับของนาข้าวเท่ากับ 3.06 mg/kg สวนยางพาราเท่ากับ 2.96 mg/kg และสวนกฤษณาเท่ากับ 2.43 mg/kg ซึ่งโพแทสเซียมในดินเฉลี่ย <6 mg/kg อยู่ในระดับปานกลาง ดินโดยทั่วไปมักมีปริมาณโพแทสเซียมในดินสูงกว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ทั้งนี้เพราะโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในแร่ต่าง ๆ หลายชนิดซึ่งเป็นวัตถุต้นกำเนิดดิน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณโพแทสเซียมในดิน มี 3 ชนิดได้แก่ดินที่เกิดจากหินและแร่ที่มีโพแทสเซียมมากมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณโพแทสเซียมมากในดินปริมาณน้ำฝนถ้ามีมากจะทำให้เกิดการสูญเสียโพแทสเซียมไปกับการชะละลาย (leaching)

3. การศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินของสวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว พบว่า ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยของสวนกฤษณามีค่ามากที่สุด เท่ากับ 1.4% รองลงมาคือ นาข้าว เท่ากับ 1.33 และสวนยางพารา เท่ากับ 0.84 ซึ่งส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในสวนกฤษณามีปริมาณเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 2.42% ซึ่งมากว่าในนาข้าว และสวนยางพารา ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ย pH ในนาข้าวเท่ากับ 6.33 เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid) ในสวนกฤษณา เท่ากับ 7 เป็นกลาง (neutral) และในสวนยางพารา เท่ากับ 6.83 เป็นกลาง (neutral) ดัง Table 3

Table 3 The results of soil carbon flux, organic matter, and pH in the cultivated areas

Cultivated areas	Carbon (%O.C.)					Organic matter (%O.M.)					pH				
	Apr.	Jul.	Nov	$\bar{X}$	SD	Apr.	Jul.	Nov.	$\bar{X}$	SD	Apr.	Jul.	Nov.	$\bar{X}$	SD
Oryzs sativa L.	1.16	1.57	1.26	1.33	0.21	1.85	2.71	2.17	2.24	0.44	6.5	6	6.5	6.33	0.29
Aquilaria crassna	1.39	1.5	1.31	1.4	0.09	2.40	2.59	2.26	2.42	0.17	7	7	7	7	0.00
Hevea brasiliensis	0.92	0.73	0.88	0.84	0.10	1.59	1.26	1.52	1.46	0.17	6.5	7	7	6.83	0.29

จากตารางจะเห็นว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินค่อนข้างต่ำ คืออยู่ระหว่าง 0.84-1.4% ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน สภาพภูมิอากาศ ลม และกลไกสำคัญในการกักเก็บหรือดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อนำมากักเก็บในรูปของมวลชีวภาพ โดยเฉลี่ยแล้ว สวนกฤษณาเป็นรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการกักเก็บปริมาณคาร์บอนไว้ในดินได้มากที่สุด คือ 1.4% มีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยในดินเท่ากับ 2.42% ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 1.5-2.5 ตามเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ระดับอินทรียวัตถุในดินของกรมพัฒนาที่ดิน) รองลงมาคือ นาข้าว มีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยในดินเท่ากับ 2.24% อยู่ในระดับปานกลางเช่นกัน สวนยางพารามีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ยในดินเท่ากับ 1.46% อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 1.0-1.5 ตามเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ระดับอินทรียวัตถุในดินของกรมพัฒนาที่ดิน) สำหรับค่า pH ในดิน มีค่าระหว่าง 6.33 -7 ซึ่งเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง ถือว่ามีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะการดูดซึมธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ของพืชนั้น ค่า pH ในระดับดังกล่าว ถือว่าเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน ในพื้นที่สวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว เฉลี่ยในพื้นที่ ต.โนนเปือย อ.กุดชุม จ.ยโสธร มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยในสวนยางพารา เท่ากับ 7.74 ตัน-คาร์บอน/ไร่ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยของสวนกฤษณา เท่ากับ 6.72 ตัน-คาร์บอน/ไร่ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยของนาข้าวเท่ากับ 4.04 ตัน-คาร์บอน/ไร่ Table 4

Table 4 Total of soil carbon flux in the cultivated areas

Cultivated areas	Carbon (Ton-carbon/Rai)					Total area (Rai)	Total of soil carbon flux (Ton-carbon/Rai/Year)
	Apr.	Jul.	Nov	$\bar{X}$	SD		
Oryzs sativa L.	9.60	7.58	6.05	7.74	1.78	10	77.44
Aquilaria crassna	6.67	7.20	6.29	6.72	0.46	10	67.20
Hevea brasiliensis	4.42	3.50	4.22	4.04	0.48	5	20.24

ในพื้นที่สวนยางพาราทั้งหมด 10 ไร่ สามารถเก็บกักปริมาณคาร์บอนไว้ในดินได้ 77.44 ตัน/ไร่/ปี สวนกฤษณาพื้นที่ทั้งหมด 10 ไร่ สามารถเก็บกักปริมาณคาร์บอนไว้ในดินได้ 67.20 ตัน/ไร่/ปี และพื้นที่นาข้าวทั้งหมด 5 ไร่ สามารถเก็บกักปริมาณคาร์บอนไว้ในดินได้ 20.24 ตัน/ไร่/ปี ช่วงที่ดีที่สุดใน 3 ฤดูกาล เป็นช่วงที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์

สรุป

การศึกษาการประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอนในดินระหว่างสวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว ในพื้นที่ ตำบลโนนเปือย อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดินแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ความหนาแน่นในดินเฉลี่ย

เท่ากับ 1.48 kg/m^3 ความชื้นในดินเฉลี่ยเท่ากับ 41.07% อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 31.15 °C ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณธาตุอาหาร ในพื้นที่ศึกษา พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เท่ากับ 0.4 mg/kg ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เท่ากับ 2.85 mg/kg ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.29% ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เท่ากับ 2.03% และมีค่า pH เท่ากับ 6.72 มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินเฉลี่ย บริเวณสวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว เท่ากับ 7.74, 6.72, 4.04 ตัน/ไร่/ปี ตามลำดับ ดังนั้นในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 25 ไร่ สามารถเก็บกักคาร์บอนในดินได้ทั้งหมด 164.88 ตัน

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาการประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอนในดินระหว่างสวนกฤษณา สวนยางพารา และนาข้าว ในพื้นที่ตำบลโนนเปือย อำเภอกุดชุม จังหวัดยโสธร ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าควรมีการจัดการป่าตามหลักการอนุรักษ์และการปลูกป่าโดยเน้นความหลากหลายของชนิดพันธุ์ เนื่องจากในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน มีการเก็บกักคาร์บอนในดินไม่เท่ากัน

2. จากผลการศึกษาพบว่า สวนยางพารามีปริมาณการเก็บกักคาร์บอนไว้ในดินมากกว่าพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบอื่นๆ ถึงแม้ว่าอายุของสวนยางพาราน้อยกว่าสวนกฤษณาและนาข้าว แสดงให้เห็นว่า ผลของการสะสมปริมาณคาร์บอนในดินอาจเป็นผลของปริมาณคาร์บอนในดินของการใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนหน้า คือ สวนยูคาลิปตัส

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ที่สนับสนุนงบประมาณอุดหนุนโครงการวิจัยประเภทบุคลากร คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ช่วยทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Updegraff K, Zimmerman PR, Price M and Capehart WJ. C-Lock: An online system to standardize the estimation of agricultural carbon sequestration credits. Fuel Process Technol. 2005;86:1695-1704.
2. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 2004;123:1-22.
3. Campbell CA. The applicability of the carbon-dating method in soil humus studies. Soil Sci 1967;104:217–224.
4. Post WM and Kwon KC. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. Global Change Biol 2000;6:317-327.
5. เล็ก มอญเจริญ. การนำมาตรการ Additional Human Induce มาใช้ในการเก็บกักคาร์บอนในดินของประเทศไทย. ใน: การประชุมทางวิชาการประจำปี 2544 วิกฤตสิ่งแวดล้อม: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; 26 กันยายน 2544. กรุงเทพฯ: หน้า 9 -15.
6. Eswaran HE, Berg VD and Reich P. Organic carbon in soil of the world. J Soil Sci Amer 1993;57:192-194.
7. สิริรัตน์ จันทร์มหาเสถียร และศิริภา โพธิ์พินิจ. การประเมินการสะสมคาร์บอนในดินในระบบนิเวศป่าไม้ของประเทศไทย, การประชุมทางวิชาการประจำปี 2544 วิกฤตสิ่งแวดล้อม : คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; 26 กันยายน 2544. กรุงเทพฯ: หน้า 16 – 20.
8. Thomas GW. Soil pH and soil acidity, method of soil analysis part 3: Chemical methods., Wisconsin, USA: Madison; 1996. p. 475-490.
9. Walkley A. and Black IA. An examination of Degtjar-eff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. Soil Sci 1934;37:29-38.
10. Bremner JM. Nitrogen-Total, method of soil analysis part 3: Chemical methods. Wisconsin, USA: Madison; 1996. p. 1085-1121.
11. ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2542.
12. กรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์ เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ: ดับบลิว เจ พร็อพเพอตี้ จำกัด; 2548.
13. Gee GW and Bauder JW. Particle-size analysis, methods of soil analysis part 1: Physical and min-eralogical methods. Wisconsin, USA: Madison; 1996. p. 383-411.

14. Blake GR. and Hartge KH. Bulk density, methods of soil analysis part 1: Physical and mineralogical methods Madison, Wisconsin, USA: Madison; 1996. p. 363-375.
15. กรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรุงเทพฯ: ดับบลิว เจ พร็อพเพอตี้ จำกัด; 2553.