

ผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อสมบัติและการกักเก็บคาร์บอนในดินบนพื้นที่สูง อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Effects of Biochar Amendment on Soil Properties and Carbon Sequestration in Highland Areas of Pang Mapha District, Mae Hong Son Province

นิชาภัทร สิทธิวรรณนท์ ชูชาติ สันทรทรัพย์ และ ฟ้าไพลิน ไชยวรรณ
Nichapat Sittiworanon, Choochad Santasup* and Fapailin Chaiwan

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: santasup@gmail.com

(Received: 13 March 2019; Accepted: 12 June 2019)

Abstract: The effect of biochar amendment on soil properties and carbon sequestration were evaluated using soil samples which were collected from Pang Mapha district, Mae Hong Son province. The study was conducted at the Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. This study was divided into two experiments, using completely randomized design (CRD) with 4 replications. Firstly, the effects of biochar amendment on soil properties were evaluated. Three different sizes of biochar (2-5, 1-2 and < 1 mm) were mixed with soil sample at the rates of 0.1, 1.0 and 3.0% (w/w). Soil moisture content were adjusted to the maximum water holding capacity (MWHC), then left to dry at room temperature. After that soil properties were analyzed. For the second experiment, effects of biochar on soil carbon sequestration were determined by mixing different rates of biochar with soil sample. The soil moisture content were maintained at 50% MWHC and then incubated at room temperature. After incubation, soil carbon content was analyzed. In addition, soil added with corn stubble (2 tons/rai) and soil without biochar were used for comparison. The results showed that addition of biochar >1.0% (w/w) reduced soil bulk density while MWHC, pH, EC, OM, available phosphorus and exchange potassium were significantly increased. In addition, carbon loss was found in the range of 0.16-0.26% with biochar treatment. However, it was not significantly different when compared to the control soil (0.17%). In contrast to the biochar treatments, corn stubble treatment showed significantly higher carbon loss (0.44%) than other treatments. These results suggested that biochar application as soil amendment was an alternative way to increase soil fertility and could lead to increased carbon sequestration in soil, 45% of carbon were captured.

Keywords: Biochar, soil properties, carbon sequestration

บทคัดย่อ: การศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดินและการกักเก็บคาร์บอนในดินจาก อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้ดำเนินการที่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง และวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน โดยนำถ่านชีวภาพขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด (2-5, 1-2 และน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร) ไปผสมกับดินในอัตราที่แตกต่างกัน (0.1, 1.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w)) นำไปปรับความชื้นของดินที่ความจุความชื้นสูงสุดของดิน แล้วปล่อยให้แห้งในสภาพอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติของดิน สำหรับการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยการผสมถ่านชีวภาพลงในดินในอัตราที่แตกต่างกัน (0.1, 1.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w)) เปรียบเทียบกับดินที่เติมตอซังข้าวโพด อัตรา 2 ตัน/ไร่ และกรรมวิธีควบคุม ทำการปรับความชื้นของดินให้อยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นสูงสุด นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง หลังการบ่มดิน 1 เดือน ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่เหลือในดิน ผลการศึกษาพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราตั้งแต่ 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ในขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความเป็นกรดของดิน การนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และนอกจากนั้นพบว่าดินที่เติมถ่านชีวภาพ มีการสูญเสียคาร์บอนในช่วง 0.16-0.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ดินที่เติมตอซังข้าวโพดในอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีการสูญเสียคาร์บอนสูงถึง 0.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาชี้ให้เห็นว่า การนำถ่านชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงบำรุงดิน เป็นแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดิน และยังสามารถเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้มากกว่าการไถกลบตอซัง ซึ่งสามารถเก็บกักคาร์บอนในดินได้ถึง 45 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ สมบัติดิน การกักเก็บคาร์บอน

คำนำ

ปัจจุบันเศษวัสดุเหลือใช้หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่สูง มีการนำมาใช้ประโยชน์เพียงเล็กน้อย เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในไถลอบแห้งเมล็ดข้าวโพด เป็นต้น ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ส่วนของซังหรือเปลือกของข้าวโพดที่เหลือจะถูกกองทิ้งไว้ในบริเวณที่สี และนำไปกำจัดโดยการเผาหรือปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ เช่นเดียวกับต้นตอ และใบ ซึ่งการเผาเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองขนาดเล็กเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งของทุก ๆ ปี (เดือนมกราคม ถึง เมษายน) เกษตรกรในเขตพื้นที่ภาคเหนือ 10 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ลำพูน พะเยา แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ แม่ฮ่องสอน และตาก จะเผาทำลายตอซัง ฟางข้าว และเศษวัสดุเหลือใช้ในไร่นา เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกฤดูกาลใหม่ ซึ่งทำให้เกิดความร้อน และหมอกควัน ฝุ่นฟุ้งกระจายปกคลุมพื้นที่ในหลายจังหวัด

(Santasup et al., 2016) นอกจากนี้ การเผาเศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวทำให้เกิดการสูญเสียอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดินเป็นจำนวนมากจากการระเหินของกรรมพัฒนาที่ดิน พบว่า ปริมาณตอซังและฟางข้าวสูงถึงปีละ 50-60 ล้านตัน หากถูกเผาจะสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 27 ล้านตัน และมีคาร์บอนฟุ้งกระจายบนผิวโลก อีกทั้งพื้นดินต้องสูญเสียธาตุอาหารหลักที่เป็นไนโตรเจนถึง 90 ล้านกิโลกรัม ฟอสฟอรัส 20 ล้านกิโลกรัม และโพแทสเซียม 260 ล้านกิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียธาตุอาหารรอง เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ อีกกว่า 150 ล้านกิโลกรัม/ปี คิดเป็นมูลค่ากว่าห้าพันล้านบาท เป็นผลทำให้เกษตรกรต้องใช้จ่ายเคมี เพื่อทดแทนธาตุอาหารที่สูญเสียไปจากการเผาตอซัง ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้น (Land Development Department, 2005) ทางเลือกในการแก้ไขปัญหาอย่างหนึ่ง ได้แก่ ปรับเปลี่ยนวิธีการเผาในที่โล่งแจ้ง มาเป็นการเผาโดยไม่ใช้ออกซิเจน หรือใช้น้อยมาก เรียกว่า ไพโรไลซิส (pyrolysis) ผลผลิตถ่านที่ได้ เรียกว่า ถ่านชีวภาพ (biochar)

การตัดแล้วเผาในพื้นที่โล่งแจ้งทำให้เหลือปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ แต่การตัดแล้วเผาแบบไพโรไลซิส จะได้ถ่านชีวภาพ ที่มีปริมาณคาร์บอนในรูปที่มีความเสถียรได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (Lehman and Rondo, 2006; Lehmann *et al.*, 2006) นอกจากความสามารถด้านการกักเก็บคาร์บอนแล้ว ถ่านชีวภาพยังเป็นแหล่งกักเก็บอาหาร และความชื้นอีกด้วย (Steinbeiss *et al.*, 2009) อีกทั้งลักษณะโครงสร้างที่มีผิวสัมผัสมากและมีลักษณะเป็นประจุลบบริเวณผิวสัมผัส ส่งผลให้ช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนประจุภายในดิน (cation exchange capacity, CEC) กับธาตุอาหารที่มีลักษณะเป็นประจุบวก จึงเป็นอีกหนึ่งช่องทางสำหรับการสะสมธาตุอาหารให้กับพืช และด้วยคุณลักษณะของถ่านชีวภาพที่มีค่าความเป็นกรดต่าง (soil pH) สูง จึงช่วยลดค่าความเป็นกรดของดิน โดยเฉพาะดินที่เสื่อมสภาพ และมีการสะสมของสารเคมีเป็นระยะเวลานาน (Liang *et al.*, 2006) ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินและการกักเก็บคาร์บอนในดิน

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษามูลของถ่านชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินและการกักเก็บคาร์บอนในดิน ได้ดำเนินการที่ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 ประกอบด้วยการทดลอง 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดิน และการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน

การศึกษามูลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน

การศึกษามูลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน เลือกใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากตอซังข้าวโพด (ลำต้น และใบข้าวโพด) เนื่องจากเป็นวัสดุ

เหลือใช้ทางการเกษตรที่มีมากในภาคเหนือ โดยนำตอซังข้าวโพด (อินทรีย์คาร์บอน 43.5 เปอร์เซ็นต์) มาตัดให้เป็นชิ้นส่วนที่เล็กลง นำไปเผาด้วยเตาเผาถ่านชีวภาพ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ณ โรงเรือนทดลอง ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ถ่านชีวภาพที่ได้ มีความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 8.90 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) 5.95 mS/cm ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 78 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.18 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 2.90 เปอร์เซ็นต์ นำถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ มาบดและร่อนผ่านตะแกรง แยกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาด 2-5 มิลลิเมตร ขนาด 1-2 มิลลิเมตร และน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำถ่านชีวภาพขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด ไปผสมกับตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บจากพื้นที่สูง อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งดินมีความเป็นกรดต่าง (pH) 5.20 ค่าการนำไฟฟ้า 39.27 μ S/cm ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 4.46 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 7.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 139 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยวางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) จำนวน 4 ซ้ำ 10 กรรมวิธีการทดลอง คือ กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ดินไม่ผสมถ่านชีวภาพ) กรรมวิธีที่ 2-4 ดินผสมถ่านชีวภาพ ขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม อัตรา 0.1, 1.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ตามลำดับ กรรมวิธีที่ 5-7 ดินผสมถ่านชีวภาพ ขนาด 1-2 มิลลิกรัม อัตรา 0.1, 1.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 8-10 ดินผสมถ่านชีวภาพ ขนาด 2-5 มิลลิกรัม อัตรา 0.1, 1.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ตามลำดับ ภายหลังจากผสมถ่านชีวภาพกับดินให้เข้ากันแล้ว ทำการบรรจุดินลงในคอร์พลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ที่ปิดหุ้มปลายด้านหนึ่งด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ให้ระดับของดินเสมอขอบคอร์พลาสติก นำไปแช่น้ำกลั่นจนกระทั่งดินดูดซับน้ำเต็มที่ (ประมาณ 2 ชั่วโมง) แล้วจึงนำไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง บันทึกการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยน แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ และเคมีของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density, Db) ด้วยวิธี core method (Klodpeng, 1985) ความจุความชื้นสูงสุดของดิน (maximum

water holding capacity, MWHC) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:2 โดยใช้ pH-meter (Siwasilp, 1984) การนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity, EC) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter, OM) ในดิน ด้วยวิธีของ Walkley and Black (Siwasilp, 1984) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus, avail. P) โดยการสกัดด้วยสารละลาย Bray-II และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium, exch. K) โดยการสกัดด้วยสารละลาย ammonium acetate pH 7 และวัดปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Siwasilp, 1984) นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีทดลองโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistic for Window version 9

การศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) ในดิน

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ วางแผนการทดลองแบบ สุ่ม สมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี โดยใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากตอซังข้าวโพด (ลำต้น และใบข้าวโพด) ขนาด 1-2 มิลลิเมตร ผสมถ่านชีวภาพลงไปในดิน (ดินชนิดเดียวกับการทดลองที่ 1) ในอัตราที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.1, 1.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) และเปรียบเทียบกับดินที่เติมตอซังข้าวโพดแห้ง (บดละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) ในอัตรา 2 ต้น/ไร่ และมีดินที่ไม่เติมถ่านชีวภาพเป็นกรรมวิธีควบคุม หลังจากผสมถ่านชีวภาพให้เข้ากับดินแล้ว ทำการปรับความชื้นของดินให้อยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ MWHC ด้วยน้ำกลั่น นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง (27-30 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 1 เดือน ก่อนทำการบ่ม และหลังการบ่มดินเสร็จสิ้น ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในดิน ด้วยเครื่องวิเคราะห์

คาร์บอนแบบ combustion macro elemental analysis (รุ่น multi EA® 4000, Analytik Jena) วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีทดลองโดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม Statistic for Window version 9

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดิน

ความหนาแน่นรวมของดิน

ผลของการเติมถ่านชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินแสดงไว้ใน Table 1 การเติมถ่านชีวภาพขนาดน้อยกว่า 1, 1-2 และ 2-5 มิลลิเมตร ลงไปในดินที่เก็บจากพื้นที่สูง อ. ปางมะผ้า จ. แม่ฮ่องสอน ในอัตราที่แตกต่างกัน พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความหนาแน่นรวมของดินในทุกกรรมวิธีการเติมถ่านชีวภาพแปรผกผันกับอัตราการใส่ถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้น การเติมถ่านชีวภาพขนาดน้อยกว่า 1 และ 2-5 มิลลิเมตร ที่อัตรา 0.1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินที่ไม่เติมถ่านชีวภาพ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของดิน 0.99 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เมื่อเติมถ่านชีวภาพในอัตรา 1.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อยู่ในช่วง 0.82-0.94 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ได้เติมถ่านชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mankasingh *et al.* (2011) พบว่า การเติมถ่านชีวภาพลงในดิน ทำให้ความหนาแน่นของดินลดลงจาก 1.66 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 1.53 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของดินเป็นตัวบ่งชี้อย่างหนึ่งของระดับการอัดตัวของอนุภาคของดิน โดยทั่วไปดินไร่ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกจะมีค่าความหนาแน่นระหว่าง 1.1-1.5 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าประมาณ 1.61-1.80 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับดินดานได้ชั้นไถพรวนในดินนา

Table 1. Effect of biochar applications on bulk density (Db), maximum water holding capacity (MWHC), pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), available phosphorus (avail. P) and exchangeable potassium (exch. K) of soil collected from highland, Pang Mapha district, Mea Hong Son province

Treatment	Soil properties						
	Db (g/ml)	MWHC ¹ (%)	pH	EC (μS/cm)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
1. MHS: Control	0.99 a ²	55.63 e	5.20 f	39.27 f	4.46 c	7.54 ef	139 i
2. MHS: S<1, P 0.1%	0.99 a	57.40 de	5.34 f	51.47 ef	4.53 bc	8.26 ef	258 e
3. MHS: S<1, P 1.0%	0.94 c	60.10 d	5.60 e	96.00 e	4.89 a	15.37 c	261 e
4. MHS: S<1, P 3.0%	0.84 e	69.86 b	6.58 b	350 c	4.80 a	38.87 a	588 b
5. MHS: S1-2, P 0.1%	0.97 b	58.28 df	5.99 d	61.80 ef	4.49 c	8.45 ef	196 g
6. MHS: S1-2, P 1.0%	0.92 d	63.47 c	6.38 c	188 d	4.79 a	13.35 cd	221 f
7. MHS: S1-2, P 3.0%	0.82 f	72.85 a	7.46 a	514 b	4.89 a	36.20 b	673 a
8. MHS: S2-5, P 0.1%	0.99 a	57.76 de	6.28 c	42.70 ef	4.48 c	6.50 f	162 h
9. MHS: S2-5, P 1.0%	0.94 c	57.67 de	6.66 b	218 d	4.60 b	9.03 e	312 d
10. MHS: S2-5, P 3.0%	0.84 e	64.96 b	7.44 a	602 a	4.82 a	11.76 d	523 c
LSD (0.05)	0.01	0.77	0.17	38.29	0.10	2.04	4.61
CV (%)	0.94	0.87	1.82	12.25	1.52	9.10	0.96

¹ zero day after water immersing

² Means in each column followed by different letter indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level

และค่าวิกฤตที่สูงกว่า 1.8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จะขัดขวางการซอมไซและการหยั่งรากของพืชไร่ทั่ว ๆ ไป (Panomtaranichagul, 1987) การลดลงของความหนาแน่นดินที่เติมถ่านชีวภาพเป็นผลจากลักษณะของถ่านชีวภาพที่เป็นผลึกคาร์บอนที่มีรูพรุน และมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงเมื่อเทียบกับอนุภาคดินเหนียว (มากกว่า 1,500 ตารางเมตร/กรัม) ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ถ่านชีวภาพมีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลทั้งที่เป็นประจุบวกและประจุลบ เช่นเดียวกับสารอาหารของพืชและโมเลกุลน้ำ ซึ่งเมื่อเติมถ่านชีวภาพลงไปในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำจะทำให้ลดความหนาแน่นของดินและเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำ (Atkinson *et al.*, 2010)

ความจุความชื้นสูงสุดของดิน

การเติมถ่านชีวภาพลงไปในดินยังส่งผลให้ความจุความชื้นสูงสุดของดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ดินที่เติมถ่านชีวภาพขนาด 1-2 มิลลิเมตร อัตรา 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) จะทำให้ค่าความจุความชื้นสูงสุด

เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 72.85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (55.63 เปอร์เซ็นต์) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hemwong (2013) ที่ได้ทำการเติมถ่านชีวภาพลงในดินที่ปลูกข้าวโพดหวาน พบว่า ค่าความจุความชื้นสูงสุดของดินที่เติมถ่านชีวภาพ สูงกว่าดินที่ไม่เติมถ่านชีวภาพ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเป็นกรด ต่างของดิน

ถ่านชีวภาพที่ใช้ในการปรับปรุงดินโดยทั่วไปมีคุณสมบัติเป็นด่าง ซึ่งจะมีผลต่อค่าความเป็นกรด ต่างของดิน โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด ต่างของถ่านชีวภาพอยู่ระหว่าง 4-12 ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้และสภาพแวดล้อมของการเผา (Lehmann, 2007) สำหรับการศึกษาดังกล่าวนี้นี้ใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากตอซังข้าวโพด โดยอุณหภูมิการเผาประมาณ 400 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด ต่างเท่ากับ 8.90 เมื่อเติมถ่านชีวภาพลงไปในดินมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด ต่างของดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านชีวภาพที่เติมลงไป โดยการเติมถ่านชีวภาพขนาด 1-2 มิลลิเมตร

ในอัตรา 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ทำให้ค่าความเป็นกรด ต่างของดิน เพิ่มมากที่สุดคือ 7.46 และการเติมถ่านชีวภาพทุกขนาด ในอัตราตั้งแต่ 1.0-3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ทำให้ค่าความเป็นกรด ต่างของดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5.60-7.46 การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด ต่างของดินที่มีการเติมถ่านชีวภาพเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรด ต่าง เดิมของถ่านชีวภาพที่มีค่าสูง หรืออยู่ในช่วงที่เป็นด่าง นอกจากนี้ขี้เถ้า (ash) ที่อยู่ในถ่านชีวภาพในรูป oxides, hydroxides และ carbonate ของ Ca, Mg, K และ Na ซึ่งเกิดจากกระบวนการ pyrolysis มีผลทำให้ถ่านชีวภาพทำหน้าที่เสมือนปูน สามารถนำไปใช้ในการปรับสภาพความเป็นกรดของดิน (liming agent) ได้อีกด้วยเช่นกัน (Houben *et al.*, 2013)

การนำไฟฟ้าของดิน

การเติมถ่านชีวภาพลงในดินมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณ และขนาดของถ่านชีวภาพที่เติมลงไป ซึ่งพบว่าการเติมถ่านชีวภาพขนาด 2-5 มิลลิเมตร ในอัตรา 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่าสูงที่สุดคือ 602 $\mu\text{S}/\text{cm}$ เพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุมประมาณ 20 เท่า (39.27 $\mu\text{S}/\text{cm}$) นอกจากนี้ ขนาดของถ่านชีวภาพยังส่งผลต่อค่า EC คือขนาดของถ่านชีวภาพที่ใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่ามากขึ้น เช่น ในกรรมวิธีที่เติมถ่านชีวภาพในอัตรา 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ค่าการนำไฟฟ้าของดินมีค่าเท่ากับ 350, 514 และ 602 $\mu\text{S}/\text{cm}$ สำหรับถ่านชีวภาพขนาดน้อยกว่า 1, 1-2, และ 2-5 มิลลิเมตร ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าของดินนั้นเป็นผลมาจาก cation เช่น Ca, Mg, K และ Na ที่อยู่ในถ่านชีวภาพปริมาณมาก (Houben *et al.*, 2013)

อินทรีย์วัตถุในดิน

การเติม ถ่านชีวภาพ เพื่อศึกษาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในดิน พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ตามปริมาณของถ่านชีวภาพที่เติมลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่มีการเติมถ่านชีวภาพในอัตรา มากกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 4.60-4.89 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

ควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.46 เปอร์เซ็นต์ และนอกจากนี้ เป็นที่น่าสังเกตว่า ถ่านชีวภาพที่มีขนาดเล็กมีแนวโน้มจะช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้สูงกว่าถ่านชีวภาพที่มีขนาดใหญ่กว่า ในอัตราการใช้ที่เท่ากัน ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในอัตราการใช้ถ่านชีวภาพที่ 1.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) การเติมถ่านชีวภาพขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินได้สูงที่สุด คือ 4.89 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้ถ่านชีวภาพขนาด 1-2 มิลลิเมตร และ 2-5 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ดินมีอินทรีย์วัตถุ 4.79 และ 4.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์วัตถุเมื่อใช้ถ่านชีวภาพที่มีขนาดเล็ก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ เป็นการวิเคราะห์หาคาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ (oxidized carbon) ตามกรรมวิธีของ Walkley and Black (Siwasilp, 1984) แล้วจึงคำนวณเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในการใช้ถ่านชีวภาพในปริมาณที่เท่ากัน ถ่านชีวภาพที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าถ่านชีวภาพที่มีขนาดใหญ่กว่า จึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ได้ดีกว่าถ่านชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ จึงมีแนวโน้มทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงกว่าการใช้ถ่านชีวภาพที่มีขนาดที่ใหญ่กว่า

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

สมบัติดินที่ใช้ในการทดลอง มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) 5.20 ค่าการนำไฟฟ้า 39.27 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 4.46 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 7.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 139 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อเติมถ่านชีวภาพ ในอัตรา มากกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (avail. P) ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมถ่านชีวภาพที่ขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร อัตรา 3 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าสูงที่สุดที่ 38.87 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับดินในกรรมวิธีควบคุมที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 7.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลง เนื่องจากถ่านชีวภาพที่มีขนาดใหญ่นั้น มีพื้นที่ผิวในการดูดซับ (sorption capacity) น้อยกว่าถ่านชีวภาพที่มี

ขนาดเล็ก อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลคือการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรด ด่างของดิน ทำให้การดูดซับฟอสฟอรัสลดลง เนื่องจากเกิดแรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) บนพื้นผิวของอนุภาคดิน ทำให้การดูดซับฟอสฟอรัสลดลง (Chen *et al.*, 2018)

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

การเติมถ่านชีวภาพลงในดินส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exch. K) มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณของถ่านชีวภาพที่เติมลงไป ซึ่งการเติมถ่านชีวภาพขนาด 1-2 มิลลิเมตร ในอัตรา 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ช่วยเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงถึง 673 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่ดินในกรรมวิธีควบคุม มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 139 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าการเติมถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินได้ประมาณ 5 เท่า

ผลการศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อการกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) ในดิน

การศึกษากการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยการนำถ่านชีวภาพขนาด 1-2 มิลลิเมตร ผสมลงไปดินในอัตราที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.1-3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) เปรียบเทียบกับดินที่เติมตอซังข้าวโพด อัตรา 2 ตัน/ไร่ และกรรมวิธีควบคุม (ดินที่ไม่มีการเติมถ่านชีวภาพ) แล้วนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน ก่อนที่จะทำการบ่มพบว่า การเติมถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นจาก 3.42 เปอร์เซ็นต์ ในกรรมวิธีควบคุมเป็น 3.53, 4.00 และ 5.13 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่เติมถ่านชีวภาพอัตรา 0.1, 1.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ตามลำดับ นอกจากนี้ ปริมาณคาร์บอนในดินที่เติมถ่านชีวภาพนั้นยังสูงกว่าดินที่เติมตอซังข้าวโพดในอัตรา 2 ตัน/ไร่ หลังจากทำการปรับความชื้นของดินที่ 50 เปอร์เซ็นต์ MWHC และบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 เดือน แล้วนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนเหลืออยู่ในดิน พบว่า ดินที่เติมตอซังข้าวโพดในอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีการสูญเสียคาร์บอน (carbon loss) มากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 0.44 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 1.63 กรัม CO₂/100 กรัม ในขณะที่ดินที่เติมถ่านชีวภาพทุก

อัตรา มีการสูญเสียคาร์บอนอยู่ในช่วง 0.16-0.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในถ่านชีวภาพอยู่ในรูปที่ค่อนข้างเสถียรทนทานต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากกว่าอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในตอซังข้าวโพด ซึ่งจากการศึกษาของ Schweikle *et al.* (2016) เกี่ยวกับสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จากซังข้าวโพด โดยการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ มีอินทรีย์วัตถุ 10.14 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นอินทรีย์คาร์บอน 5.80 เปอร์เซ็นต์ (วิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในถ่านชีวภาพด้วยวิธี Walkley and Black) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ในถ่านชีวภาพมีปริมาณค่อนข้างต่ำ (5.80 เปอร์เซ็นต์) คิดเป็น 7.44 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในถ่านชีวภาพ (78 เปอร์เซ็นต์) ข้อมูลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพประกอบไปด้วยอินทรีย์คาร์บอนสองส่วน คือส่วนที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ ซึ่งเป็นคาร์บอนส่วนน้อย และส่วนที่ไม่ถูกออกซิไดซ์หรือถูกออกซิไดซ์ได้ยาก ซึ่งเป็นคาร์บอนส่วนใหญ่ของถ่านชีวภาพหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นคาร์บอนที่อยู่ในรูปที่เสถียร ดังนั้นเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดิน การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดินจึงไม่แตกต่างกับดินชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การเติมตอซังข้าวโพดแห้งลงไปในดิน อินทรีย์คาร์บอนลดลงแตกต่างจากการเติมถ่านชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจาก ในตอซังข้าวโพดแห้งมีอินทรีย์คาร์บอนในส่วนที่สามารถย่อยสลายได้มีปริมาณสูงกว่าในถ่านชีวภาพ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (biodegradable organic carbon, BOC) ในตอซังข้าวโพดแห้งที่นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ โดยใช้เทคนิค pyrolysis ด้วยเครื่อง multi EA® 4000, Analytik Jena (Analytik Jena AG, 2017; Jezierski, 2015) พบว่ามีปริมาณ 34.43 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 79.15 เปอร์เซ็นต์ ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในตอซังข้าวโพดแห้ง (43.5 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่มีคาร์บอนในรูปที่เสถียร 7.24 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 20.85 เปอร์เซ็นต์ ของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในตอซังข้าวโพดแห้ง จึงทำให้

ดินที่มีการเติมตอซังแห้งข้าวโพด มีการลดลงของอินทรีย์คาร์บอนสูงที่สุด

โดยทั่วไปแล้วตอซังข้าวโพดหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วจะเหลือน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 700-1,500 กิโลกรัม/ไร่ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวโพด ฤดูกาล และระยะปลูก ตอซังข้าวโพดที่นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ มีอินทรีย์คาร์บอน 43.5 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในตอซังข้าวโพดเท่ากับ 305-653 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อนำตอซังข้าวโพดทั้งหมดมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ โดยอุณหภูมิการเผาอยู่ระหว่าง 400-500 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านชีวภาพ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ (Schweikle *et al.*, 2016) ซึ่งจะได้ถ่านชีวภาพ 175-375 กิโลกรัม/ไร่ ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้มีอินทรีย์คาร์บอน 78 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด 137-293 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อนำถ่านชีวภาพใส่ลงไปในดิน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า มีการสูญเสียคาร์บอนจากดินในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์น้อยมาก ไม่แตกต่างจากดินชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงอาจกล่าวได้ว่า อินทรีย์คาร์บอนในถ่านชีวภาพทั้งหมด (137-293 กิโลกรัม/ไร่) อยู่ในรูปที่เสถียรและถูกเก็บไว้ในดิน หรือคิดเป็นการเก็บกักคาร์บอน

ที่เสถียรไว้ในดินได้ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในถ่านชีวภาพ (137 กิโลกรัม/ไร่) หารด้วยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในตอซังข้าวโพด (305 กิโลกรัม/ไร่) คูณด้วย 100; $((137/305) \times 100 = 45 \text{ เปอร์เซ็นต์})$ ในขณะที่การเผาทำลายตอซังข้าวโพดทั้งหมด อินทรีย์คาร์บอนเกือบทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซทั้งในรูปคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Lehmann *et al.* (2006) ที่พบว่าการตัดแล้วเผาได้เหลืออินทรีย์คาร์บอนเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ แต่การตัดแล้วเผาแบบให้ได้ถ่านชีวภาพเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน สามารถเหลือคาร์บอนในรูปที่มีความเสถียรในดินได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ถ่านชีวภาพจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในแง่ของการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความเสถียรมีปริมาณคาร์บอนสูง และคงทนอยู่ในดินได้นาน จึงทำให้ดินที่เติมถ่านชีวภาพมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ช้ากว่าดินที่เติมสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น ชากพืช ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยคอก จึงช่วยลดการเกิดสภาวะเรือนกระจกได้ (Table 2)

Table 2. Effect of biochar application on carbon sequestration in highland soil of Pang Mapha district, Mea Hong Son province

Treatments	%TC		Carbon loss	
	Before incubation	After incubation	(%)	(g CO ₂ /100g)
1.Control (Soil)	3.42 d ¹	3.25 c	0.17 b	0.63
2.Soil+Biochar 0.1%	3.53 d	3.30 c	0.23 b	0.85
3.Soil+Biochar 1.0%	4.00 b	3.74 b	0.26 b	0.95
4.Soil+Biochar 3.0%	5.13 a	4.97 a	0.16 b	0.58
5.Soil+Corn stubble 2 tons/rai	3.80 c	3.36 c	0.44 a	1.63
LSD (0.05)	0.13	0.11	0.16	
CV (%)	2.14	1.92	41.35	

¹ Means in each column followed by different letters indicate significant difference using least significant difference (LSD) at 5% probability level

สรุป

การใช้ถ่านชีวภาพ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางประชากรของดิน โดยถ่านชีวภาพที่ใส่ลงไปในดิน ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำของดินช่วยยกระดับความเป็นกรดต่างของดิน และทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่าดินมีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มสูงขึ้นจากการทดลอง พบว่าการเติมถ่านชีวภาพขนาด 1-2 มิลลิเมตร ในอัตรา 3.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ทำให้ค่าความจุความชื้นสูงสุดของดิน โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้การเติมถ่านชีวภาพในอัตรามากกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ (w/w) สามารถยกระดับความเป็นกรดต่างของดินให้สูงขึ้นเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินชี้ให้เห็นว่า การนำถ่านชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงบำรุงดิน เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่จะช่วยลดต้นทุนของการผลิตของเกษตรกร นอกจากนี้ การเติมถ่านชีวภาพเป็นการเก็บกักคาร์บอนในดินได้ดีกว่าการไถกลบตอซัง โดยสามารถเก็บกักคาร์บอนในรูปที่เสถียรไว้ในดินได้ถึง 45 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัย ห้องปฏิบัติการปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบริษัท อนาคตคิด เยน่า ฟาร์อีสต์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์และพื้นที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Analytik Jena AG. 2017. Operating manual multi EA 4000 Elemental analyzer C, S and Cl solid analysis. Instruction Manual. Analytik Jena AG. Konrad-Zuse-Str.1, Germany. 302 p.

- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald and N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil* 337(1-2): 1-18.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1): 39-45.
- Chen, M., N. Alim, Y. Zhang, N. Xu and X. Cao. 2018. Contrasting effects of biochar nanoparticles on the retention and transport of phosphorus in acidic and alkaline soils. *Environmental Pollution* 239: 562-570.
- Hemwong, S. 2013. Biochar: carbon sequestration and soil fertility. *King Mongkut's Agricultural Journal* 31(1): 104-113. (in Thai)
- Houben, D., L. Evrard and P. Sonnet. 2013. Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar. *Chemosphere* 92(11): 1450-1457.
- Jezierski, S. 2015. Determination of different carbon species in solids - using the real chemistry to obtain the right results. (Online). Available: <https://www.envirotech-online.com/article/environmental-laboratory/7/analytik-jena-ag/determination-of-different-carbon-species-in-solids-ndash-using-the-real-chemistry-to-obtain-the-right-results/1938> (April, 30, 2019)
- Klodpeng, T. 1985. Methods of Soil Physical Analysis. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 205 p. (in Thai)
- Land Development Department. 2005. Manual for Stop Slash Burning, Sustainable Soil and Environmental Restorations. Land Development Department, Bangkok. 20 p. (in Thai)

- Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(7): 381-387.
- Lehmann, J. and M. Rondon. 2006. Bio-char soil management on highly weathered soil in the humid tropics. pp. 517-530. *In*: N. Uphoff, A.S. Ball, E. Fernandes, H. Herren, O. Husson, M. Laing, C. Palm, J. Pretty, P. Sánchez, N. Sanginga and J. Thies (eds.). *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Lehmann, J., J. Gaunt and M. Rondon. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11(2): 403-427.
- Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J.O. Skjemstad, J. Thies, F.J. Luizao, J. Petersen and E.G. Neves. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1719-1730.
- Mankasingh, U., P.C. Choi and V. Ragnarsdottir. 2011. Biochar application in a tropical, agricultural region: A plot scale study in Tamil Nadu, India. *Applied Geochemistry* 26(Suppl.): S218-S221.
- Panomtaranichagul, M. 1987. *Soil Physics*. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 514 p. (in Thai)
- Santasup, C., K. Inthani, K. Sringarm, W. Spreer and T. Supriyasilp. 2016. Reduced CO₂ Emissions, Enhanced Soil Fertility and High Water Holding Capacity by Improved Fallow Management Based on Biochar Application in Highland Agriculture. Research report. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 105 p. (in Thai)
- Schweikle, J., W. Spreer, K. Sringarm, S. Karaj, C. Santasup and J. Müller. 2016. Analysis of biochar from different kinds of feedstock and varying pyrolysis temperature I: Chemical and microscopic properties. *Journal of Agriculture* 32(Suppl.): 43-53.
- Siwasilp, N. 1984. *Manual of Soil and Plant Analysis*. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 138 p. (in Thai)
- Steinbeiss, S., G. Gleixner and M. Antonietti. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* 41(6): 1301-1310.
-