

ผลของไบโอชาร์ต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินร่วนปนทรายและดินเหนียว ในสภาพโรงเรือน

Effect of Biochar on Soil Fertility Change on Sandy Loam Soil and Clay Soil Under Greenhouse Condition

ชัชชนพร เกื้อหนู^{1*} และสายน้ำ อุดพวย¹

Chattanaporn Kueanoon^{1*}, and Sainam Udpuy¹

Received date: 27 ส.ค. 65 Revised date: 3 มิ.ย. 66 Accepted date: 14 มิ.ย. 66

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2024.04.29.007>

บทคัดย่อ

ไบโอชาร์ที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถนำมาปรับปรุงบำรุงดิน เพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งทางด้านเคมี กายภาพและชีวภาพของดิน เพื่อให้ทราบถึงผลของไบโอชาร์ต่อการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินเหนียวและดินร่วนปนทรายในสภาพโรงเรือน ใช้แผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in RCB มี 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ เนื้อดิน (texture) 2 ชนิด ได้แก่ 1) ดินเหนียว (clay soil-CL) 2) ดินร่วนปนทราย (sandy loam soil-SL) ปัจจัยที่ 2 คือ ไบโอชาร์ (biochar-BC) 5 ระดับ ได้แก่ 0 16 32 48 และ 64 กรัมต่อดิน 10 กิโลกรัม (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตันต่อไร่ โดยประมาณ) ทุกตัวรับการทดลองใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟตและโพแทสเซียมตามค่าวิเคราะห์ดิน ผลการทดลองพบว่า การใช้ไบโอชาร์ในดินเหนียวทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินและการดูดใช้ธาตุอาหารทั้งหมดในตอซังสูงกว่า ($p<0.01$) การใช้ไบโอชาร์ในดินร่วนปนทรายและส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักรากตอซังเพิ่มขึ้น ($p<0.01$) อีกทั้งพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าดินร่วนปนทรายที่ใส่ไบโอชาร์ ($p<0.01$) อย่างไรก็ตาม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่าดินร่วนปนทราย นอกจากนี้ การใส่ไบโอชาร์ปรับปรุงดินมีผลทำให้ปริมาณการสะสมของไนเตรทในดินเหนียวและดินร่วนปนทรายเพิ่มสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ไบโอชาร์ จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าควรใช้ไบโอชาร์ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินเหนียวมากกว่าดินร่วนปนทราย โดยใช้ในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่

คำสำคัญ: ไบโอชาร์ ดินเหนียว ดินร่วนปนทราย เหง้ามันสำปะหลัง วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Abstract

Biochar derived from agricultural residue can be used for soil improvement to enhance soil fertility and soil chemical, physical and biological properties. The objective of this research was to study the effects of biochar on soil fertility of sandy loam soil and clay soil in greenhouse condition. Treatments were laid out in 2x5 Factorial in RCB with four replicates. The first factor was two soil types: 1) Clay soil (CL) and 2) Sandy loam soil (SL). The second factor was five biochar (BC) rates: 0 16 32 48 and 64 g/10 kg soil (equaling to 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ton/rai). In each treatment; nitrogen, phosphate and potash fertilizers were applied (based on soil analysis). The results showed that the addition of biochar to clay soil increased available soil nutrient and total nutrient uptake in plant higher than ($p<0.01$) sandy loam soil. Biochar application to clay soil significantly increased growth and dry matter of maize ($p<0.01$). The addition of biochar also showed a tendency to increase soil organic matter and exchangeable potassium in clay soil higher than in sandy loam soil ($p<0.01$). However, available phosphorus in clay soil was lower than sandy loam soil. Moreover, it was found that the soil-biochar application in both soils types increased nitrate

¹กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

¹Soil Science Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture. Bangkok 10900

*Corresponding author: Email: wasak_k@hotmail.com

retention greater than the soil without biochar. The results of this study indicated that biochar can be used to increase the fertility of the clay soil at the rate of 1.5 tons/rai.

Keywords: biochar, clay soil, sandy loam soil, cassava rhizome, agricultural residue

คำนำ

พื้นที่การเกษตรของประเทศไทยส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำกว่า 1.5% เป็นพื้นที่ 97.6 ล้านไร่ (Saelim, 2016) การเพิ่มศักยภาพของดินในการผลิตพืชจึงนับว่ามีความสำคัญ โดยจัดการด้านดินและปุ๋ยซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานในระบบการผลิตพืชให้มีประสิทธิภาพต่อการให้ผลผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพให้เป็นไปตามเป้าหมาย ซึ่งการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยได้ แต่มีรายงานว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดินจะถูกย่อยสลายและสูญหายไปจากดินได้ภายใน 42 วัน (Bol et al., 2000) ซึ่งอาจทำให้พืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการ กอปรกับปุ๋ยอินทรีย์มีราคาค่อนข้างสูง จึงมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและใช้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตเท่าเดิมหรือมากกว่าเดิม แม้ปุ๋ยเคมีจะให้ธาตุอาหารพืชครบทุกตัวแต่การใช้ในปริมาณมากเกินไปทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิตและก่อปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม (Arabi et al., 2018) ประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ เฉลี่ยปีละ 5.4 ล้านตัน เป็นมูลค่า 55,140 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2022) ทางเลือกหนึ่งของการเกษตรในปัจจุบันคือการนำเอาไบโอชาร์ซึ่งผลิตจากวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพของดินและเป็นทางเลือกในยุคที่ปุ๋ยเคมีมีราคาแพง ซึ่งคาดว่าจะสามารถทำให้ลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้

ไบโอชาร์ผลิตจากการให้ความร้อนมวลชีวภาพโดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก ได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลายที่อุดมไปด้วยคาร์บอน (Rubin et al., 2020) CEC ความพรุนและพื้นผิวจำเพาะสูง และหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล ฟีนอลิก (Arabi et al., 2018; Liang et al., 2006; Widowati & Asnah, 2014; Xu et al., 2016) การปรับปรุงทางกายภาพของดินโดยเฉพาะความสามารถในการดูดซับน้ำและลดความหนาแน่นของดิน การดูดซับธาตุอาหารไว้ในดินที่เป็นผลของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิล ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) (Angmanee et al., 2017; Major et al., 2010) การปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ทั้งอัตราและชนิดที่เหมาะสมจึงส่งผลให้ได้รับผลผลิตข้าว ผักสลัดกรีนโอ๊คและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Mewong, 2014; Pornamnuaylap & Suaysom, n.d.; Wachiratanusorn, 2018) นอกจากนี้ ไบโอชาร์ยังช่วยลดการชะละลายของธาตุอาหาร NH_4^+ 19-28%, NO_3^- 16-40% และเพิ่ม N ที่เป็นประโยชน์ในดิน 20% (Borchard et al. 2019; Puttanakul et al., 2019; Xu et al., 2016) Prendergast-Millera et al. (2014) กล่าวว่า ดินที่ใส่ไบโอชาร์มี rhizosphere zone เพิ่มมากขึ้น กักเก็บไนโตรเจนในดินในรูปของ NO_3^- ไว้ได้ดีและยังปลดปล่อย P ที่เป็นประโยชน์แก่ดินและพืชและเพิ่มการกักเก็บน้ำของดินทรายปนดินร่วนอย่างชัดเจน (Yu et al., 2013) อย่างไรก็ตาม สมบัติต่างๆ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของมวลชีวภาพที่นำมาผลิตไบโอชาร์และชนิดของดินที่นำไปปรับปรุง ส่วนการใช้ประโยชน์ต้องคำนึงถึงอัตราที่ใช้และชนิดของไบโอชาร์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการวิจัยให้ได้ข้อมูลการใช้ไบโอชาร์ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงดินที่แตกต่างกัน สำหรับนำไปใช้ในการจัดการดินอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการศึกษา

การเตรียมไบโอชาร์

ไบโอชาร์ผลิตจากเห้งมันสำปะหลัง (มีสมบัติทางเคมีและมีรูพรุนสูง 500X, 50 μm) ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาบดละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดต่าง (pH) (ดิน:น้ำ, 1:5) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (ดิน:น้ำ, 1:10) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) (Walkley & Black, 1934; Agricultural Production Sciences Research and Development Office [APSRD], 2008) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Micro-Kjeldahl method ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) และ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K)

โดยย่อยด้วยกรดผสมของกรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริก แล้ววิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Vanado-molybdate และ Flame Spectrophotometer (APSRD, 2008) ตามลำดับ และคำนวณค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

การทดลองในสภาพโรงเรือน

ใช้แผนการทดลองแบบ 2x5 Factorial in RCB มี 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ เนื้อดิน (texture) 2 ชนิด ได้แก่ 1) ดินเหนียว (clay soil-CL) 2) ดินร่วนปนทราย (sandy loam soil-SL) ปัจจัยที่ 2 คือ ไบโอชาร์ (biochar-BC) 5 ระดับ ได้แก่ 0 16 32 48 และ 64 ก./ดิน 10 กก. (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตัน/ไร่ โดยประมาณ) นำดินเหนียวชุดดินวังสะพุงและดินร่วนปนทรายชุดดินจันทึก 10 กก. เก็บที่ระดับความลึก 0-15 ซม. จากแปลงเกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา ใส่กระถางขนาด 12 นิ้ว ผสมดินกับไบโอชาร์ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ตามอัตราที่กำหนดและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินเหนียว อัตรา 15-10-5 กก.N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (1.05-0.70-0.27 ก.N-P₂O₅-K₂O/ดิน 10 กก.) ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วนปนทราย อัตรา 15-5-5 กก.N-P₂O₅-K₂O/ไร่ (1.05-0.35-0.27 ก.N-P₂O₅-K₂O/ดิน 10 กก.) ปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่สองครั้ง ครั้งแรกใส่พร้อมปลูก ส่วนที่เหลือใส่หลังปลูก 25 วัน ในรูปยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมใส่ครั้งเดียวพร้อมปลูกในรูปทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ทดสอบกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ปลูกข้าวโพดวันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2557 เก็บเกี่ยววันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2557 พร้อมเก็บตัวอย่างดินส่วนเหนียวและวิเคราะห์หา Total N P K Ca และ Mg แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณการดูดใช้ของธาตุอาหารดังกล่าว เก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ pH อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (Davis, 1943) EC อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 (Department of Agriculture [DOA], 2001) OM โดยวิธีของ Walkley & Black (1934) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (avail. P) โดยสกัดด้วย Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (Bray & Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exch. K Ca และ Mg) โดยสกัดด้วย 1 M NH₄OAc pH 7 แล้ววิเคราะห์ปริมาณด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (DOA, 2001) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) โดยวิธีของ Onthong (2004) ใช้ 1 M NH₄OAc pH 7 ใส่ที่แคตไอออนที่ดินดูดซับไว้ นำดินมาล้างแอมโมเนียมด้วยเอธานอลและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ แล้วนำสารละลายไปกลั่นหาแอมโมเนียมและไนเตรทโดยวิธี semi-micro Kjeldahl (Bremner, 1960) คำนวณหาค่าร้อยละความอิ่มตัวด้วยต่าง (%BS) (Onthong, 2004) บันทึกข้อมูลสมบัติของไบโอชาร์ ความสูงต้น น้ำหนักแห้งต่อชั่ง ปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหารในพืช ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกข้าวโพด การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติของ IRRISTAT Version 3/93

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของไบโอชาร์

ไบโอชาร์ที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลังมีปฏิกิริยาเป็นกรดอ่อน (pH 6.61) ค่า EC ของไบโอชาร์สูง (2.17 dSm⁻¹) ปริมาณ OM สูงมาก (86.21%) อัตราส่วนระหว่าง C:N 77.90 ปริมาณ Total N 0.64%, Total P 0.23% และ Total K 1.26% (Table 1)

Table 1 Characteristics of cassava rhizome biochar

pH (soil:water,1:5)	EC (dSm ⁻¹) (soil:water,1:10)	OM (%)	C/N ratio	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
6.61	2.17	86.21	77.90	0.64	0.23	1.26

สมบัติของดินก่อนการทดลอง

ดินเหนียวมีปฏิกิริยาเป็นกรดอ่อน (pH 6.52) ปริมาณ OM และ exch. Mg ปานกลาง avail. P ต่ำ exch. K สูงมาก exch. Ca สูง ปริมาณไนโตรเจนในรูป NH_4^+ และ NO_3^- เท่ากับ 0.19 และ 0.19 มก./กก. ตามลำดับ CEC ของดินสูง ($24 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$) %BS ปานกลาง (57%) (Table 2) จัดว่าเป็นดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ดินร่วนปนทรายมีปฏิกิริยาเป็นด่างอ่อน (pH 7.51) ปริมาณ OM, avail. P และ exch. Mg ปานกลาง exch. K สูงมาก exch. Ca สูง ส่วน avail. N ต่ำ (0.07 มก. NH_4^+ /กก. และ 0.01 มก. NO_3^- /กก.) CEC ของดินต่ำ ($10 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$) แต่ BS สูงมาก (155%) (Table 2) จัดว่าเป็นดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

Table 2 Soil properties before planting maize

Textures	pH (soil:water, 1:1)	OM (%)	NH_4^+ (mgkg^{-1})	NO_3^- (mgkg^{-1})	CEC ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$)	BS (%)	Avail. P (mgkg^{-1})	Exch. K Ca Mg (mgkg^{-1})			
CL	6.52	2.00	0.19	0.19	24	57	5.40	507	1,500	245	
SL	7.51	1.52	0.07	0.01	10	155	21.80	154	2,000	132	

การเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งของข้าวโพด

จากผลการทดลองพบว่า ข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด ($p < 0.01$) เมื่อใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวอัตรา 48 ก./ดิน 10 กก. (1.497 ต้น/ไร่) สอดคล้องกับการดูใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดและปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งอาจเป็นอัตราของไบโอชาร์ที่ช่วยให้ธาตุอาหารในดินเพียงพอต่อความต้องการของพืช การใส่ไบโอชาร์อัตราสูงขึ้น (64 ก./ดิน 10 กก.) ข้าวโพดไม่แสดงการตอบสนองเนื่องจากการใส่ไบโอชาร์ในอัตราที่มากเกินไป อาจดูยืดยาวธาตุอาหารไว้อย่างเหนียวแน่นและปลดปล่อยให้พืชได้น้อยลง ดังใน Figure 1 and 2 การใส่ไบโอชาร์ในดินร่วนปนทรายให้ความสูงและน้ำหนักแห้งต่อชั่งไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม ข้าวโพดที่ปลูกในดินเหนียวให้ความสูงต้นและน้ำหนักแห้งต่อชั่งมากกว่า ($p < 0.01$) ข้าวโพดที่ปลูกในดินร่วนปนทราย (Table 3) เนื่องจากดินเหนียวมีความเป็นกรด-ด่างเหมาะสมต่อการปลูกพืชและมี OM exch. K และ exch. Mg สูง ส่วนดินร่วนปนทรายมีค่า pH เป็นด่าง (Table 2) ซึ่งอาจทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารบางชนิด (Fe, Mn, Zn และ Cu) ละลายได้น้อยจนจำกัดการเจริญเติบโตของพืช ส่วนการชะละลายในกระถางน่าจะเกิดได้น้อย ทำให้ K และ Mg ที่ยังคงเพิ่มขึ้นตามการใส่ไบโอชาร์ มีรายงานว่าการปรับปรุงดินด้วยไบโอชาร์ไม่เนื้อแข็งอัตรา 720 กก./ไร่ ทำให้สามารถกักเก็บ K และ Ca ในดินได้ดี (Widowati et al., 2018)

ปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นข้าวโพด

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหารในตอซึ่งไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับอัตราของไบโอชาร์และไม่มี ความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีไบโอชาร์ที่ศึกษา แต่ขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นสำคัญ (Table 4) แม้ดินร่วนปนทรายให้การสะสมของ N ในตอซึ่ง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับดินเหนียว ส่วนการสะสม P K Ca และ Mg มีปริมาณสูงกว่าดินเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ แต่การดูดใช้ธาตุอาหารในตอซึ่งข้าวโพดที่ปลูกในดินเหนียวสูงกว่าและแตกต่างกับดินร่วนปนทรายอย่างเด่นชัด ทั้งนี้ เนื่องจากข้าวโพดที่ปลูกในดินเหนียวมีน้ำหนักแห้งต่อชั่งมากกว่า ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารที่คำนวณได้จึงสูง อีกทั้ง ดินเหนียวมีปริมาณ N สูง และการใส่ร่วมกับไบโอชาร์ยังลดการสูญหายของ N (NH_4^+ และ NO_3^-) และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ exch. K exch. Mg OM และ CEC ของดิน ส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดีและมีประสิทธิภาพในการดึงดูดธาตุอาหารในดินได้สูง (Widowati et al., 2018) กว่าดินร่วนปนทราย (Table 5) Xu et al. (2016) กล่าวว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับไบโอชาร์ซึ่งข้าวโพดลดการชะละลาย NO_3^- 19-28%, NH_4^+ 16-19% และ Total N 19-20% อันเนื่องมาจากไออนดังกล่าวดูดซับอยู่บนพื้นผิวของไบโอชาร์

Table 3 Height and dry matter of maize at harvesting stage (64 days after planting)

BC rates	Height (cm)	Dry weight (g/plant)
----------	-------------	----------------------

(g/10 kg soil)	Cl ^{1/}	SL ^{1/}	Difference ^{2/}	Cl ^{1/}	SL ^{1/}	Difference ^{2/}
0	191.51 ^b	148.02	43.49**	88.65 ^b	46.40	42.25**
16	200.53 ^{ab}	139.01	61.52**	102.20 ^b	49.76	52.44**
32	198.34 ^{ab}	137.53	60.81**	89.10 ^b	43.62	45.48**
48	218.33 ^a	134.54	83.79**	124.51 ^a	44.14	80.4**
64	187.50 ^b	135.31	52.19**	90.53 ^b	48.49	42.0**

^{1/} Mean in the same soil texture column followed by a common letter are significantly different at 5 % level by DMRT

^{2/} ns not significant, * and ** different by compare with LSD 0.05 and LSD 0.01

Table 4 Nutrient concentration and nutrient uptake of macro and micronutrient in plant

Treatments	Nutrient concentration (%)					Nutrient uptake (g/plant)				
Textures (T)	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Clay	0.43	0.10	1.24	0.26	0.10	0.42	0.10	1.23	0.26	0.09
Sandy loam	0.40	0.15	1.54	0.37	0.11	0.19	0.07	0.70	0.17	0.05
Biochar (BC) rates (g/10kgsoil)										
0	0.44	0.11	1.32	0.30	0.11	0.31	0.07	0.86	0.19	0.07
16	0.41	0.11	1.35	0.32	0.10	0.32	0.08	0.99	0.22	0.08
32	0.42	0.12	1.42	0.33	0.10	0.29	0.08	0.92	0.21	0.06
48	0.41	0.14	1.37	0.31	0.10	0.34	0.10	1.08	0.23	0.08
64	0.39	0.14	1.48	0.33	0.10	0.27	0.09	0.98	0.21	0.07
F-test Textures (T)	ns	**	**	**	*	**	**	**	**	**
Biochar (BC) rates	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TxBC	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)	16.4	23.1	10.8	14.4	14.9	28.0	18.6	18.6	20.5	19.1

^{1/} Mean in the same soil texture column followed by a common letter are significantly different at 5% level by DMRT

^{2/} ns not significant, * and ** different by compare with LSD 0.05 and LSD 0.01

ปริมาณแอมโมเนียม (NH₄⁺) และไนเตรท (NO₃⁻)

การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวมีแนวโน้มให้ปริมาณของ NH₄⁺ เพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์ เนื่องจากดินเหนียวมี N OM CEC และพื้นที่ผิวสัมผัสสูง เมื่อใส่ร่วมกับไบโอชาร์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูงและพื้นที่ผิวที่มีประจุลบ จึงดูดซับ NH₄⁺ ไว้ได้อย่างเหนียวแน่นและลดการระเหิดของ NH₃ ในดิน (Fidel et al., 2018; Xu et al., 2016; Zhao et al., 2022) แต่การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวอัตรา 16 ก./ดิน 10 กก. ทำให้ NH₄⁺ ในดินมีปริมาณต่ำสุด เนื่องจากจุลินทรีย์ดูดใช้ N ที่ปลดปล่อยออกมาได้ง่ายเพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ จึงส่งเสริมการเกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชันในดินหรือไบโอชาร์ที่ใส่ในดินมีอัตราต่ำเกินไปจึงเกิดการระเหิดของไนโตรเจน (Figure 1) ส่วนดินร่วนปนทรายที่ใส่ไบโอชาร์พบการสะสมของ NH₄⁺ ในดินต่ำ เนื่องจากดินมีปริมาณ N OM CEC และเป็นดินที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่ำ ศักยภาพในการดูดซับ NH₄⁺ จึงแตกต่างกับดินเหนียว

ดินร่วนปนทรายที่ใส่ไบโอชาร์มีแนวโน้มสะสม NO_3^- สูงและมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์ เนื่องจากดินดูดซับ NH_4^+ ไว้ได้ดีต่ำ จึงแปรสภาพไปเป็นไนเตรตสูง แต่การใส่ไบโอชาร์ในดินอัตราสูง (64 ก./ดิน 10 กก.) ทำให้ NO_3^- ในดินลดลง (Figure 2) อย่างไรก็ตาม หากไม่มีการใส่ไบโอชาร์ในดินเลย เนื้อดินทั้งสองจะมีปริมาณของ NO_3^- ในดินต่ำสุด แสดงว่าปุ๋ยเกิดการสูญหายของ NO_3^- ในรูปของก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) (Sun et al., 2014) โดยทั่วไป ดินที่มีพีเอชมากกว่า 7.0 จะสูญเสีย N ในรูป NH_3 ได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mewong (2014) และ Dempster et al. (2012) จะเห็นว่า ไบโอชาร์ช่วยกักเก็บ N และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย N (Laird et al., 2010)

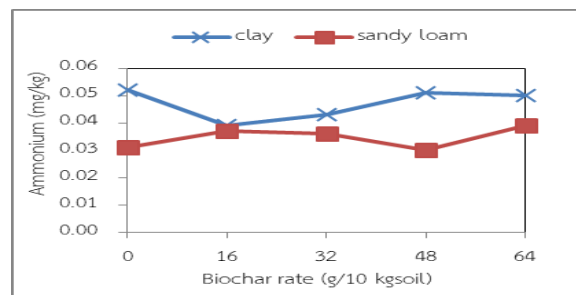


Figure 1 NH_4^+ in soil with different biochar rates

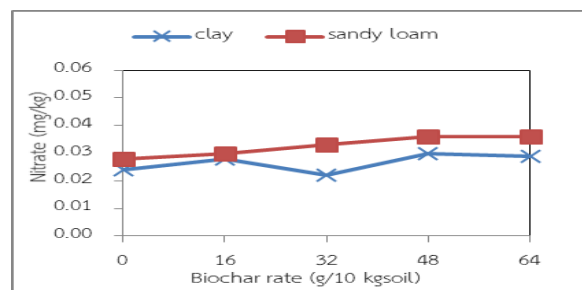


Figure 2 NO_3^- in soil with different biochar rates

การเปลี่ยนแปลงของดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพด

ไบโอชาร์ไม่ทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอัตราการใส่ที่ต่ำ แต่การใส่ไบโอชาร์มีผลต่อการเพิ่ม OM avail. P และ exch. K ในดิน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์และแตกต่างกับดินที่ไม่ใส่ไบโอชาร์อย่างมีนัยสำคัญ (Table 5) เนื่องจากองค์ประกอบมีคาร์บอนที่เสถียร C/N ratio และ OM สูง จึงคงทนต่อการย่อยสลาย การใส่ไบโอชาร์ในดินจึงเกิดการสะสม OM เพิ่มขึ้น (Sohi et al., 2009) ในขณะที่ การออกซิไดซ์ของไบโอชาร์ได้หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล คาร์บอกซิล ฟีนอลิกที่ช่วยดูดซับธาตุอาหาร จึงทำให้ P และ K สะสมในดิน (Fidel et. al., 2018; Liang et. al., 2006) และไบโอชาร์ยังมี K เป็นองค์ประกอบสูง 1.26% เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างเนื้อดิน พบว่า ดินเหนียวมี OM exch. K และ CEC สูงกว่าดินร่วนปนทราย แต่ %BS และ avail. P ต่ำ เนื่องจากการตรึง P บนอนุภาคของดินเหนียวและจับยึดกับ Ca อย่างไรก็ตาม การใส่ไบโอชาร์ในดินที่มีฤทธิ์เป็นด่างในอัตราเพิ่มขึ้น จะลด binding energy และปลดปล่อย P ได้สูงขึ้น (Xu et al., 2014) จึงพบมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินร่วนปนทรายกับไบโอชาร์ที่ศึกษา Laird et al. (2010) กล่าวว่า การปรับปรุงดินร่วนด้วยปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับไบโอชาร์ลดการสูญหาย P ได้ถึง 6

Table 5 Soil properties after planting maize

		pH			OM (%)			Avail. P (mgkg ⁻¹)			Exch. K (mgkg ⁻¹)			Exch. Ca (mgkg ⁻¹)		
		Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean
BC rates (g/10kgsoil)	0	5.90	7.60	6.75	1.93	1.31	1.62 ^c	5.90	21.11	13.51 ^c	288	91	190 ^d	1,525	2,483	2,004
	16	5.92	7.70	6.81	2.06	1.37	1.71 ^b	8.84	31.52	20.18 ^b	295	103	199 ^{cd}	1,535	2,468	2,001
	32	5.91	7.71	6.81	2.10	1.42	1.76 ^b	8.11	35.15	21.63 ^{ab}	349	111	230 ^b	1,519	2,450	1,985
	48	6.04	7.80	6.92	2.21	1.47	1.84 ^a	9.51	36.31	22.91 ^{ab}	321	124	222 ^{bc}	1,543	2,494	2,018
	64	6.06	7.45	6.8	2.21	1.56	1.88 ^a	10.46	39.11	24.79 ^a	392	138	265 ^a	1,532	2,354	1,943
Mean		5.97	7.65		2.10	1.43		8.56	32.64		329	113		1,531	2,449	
F-test	Textures (T)	**			**			**			**			**		
	Biochar (BC) rates	ns			**			**			**			ns		
	TxBC	ns			ns			*			ns			ns		
	CV. (%)	1.4			4.0			18.5			11.6			3.8		

^{1/} Mean in the same soil texture column followed by a common letter are significantly different at 5% level by DMRT

^{2/} ns not significant, * and ** different by compare with LSD 0.05 and LSD 0.01

Table 5 Soil properties after planting maize (continue)

		Exch. Mg (mgkg ⁻¹)			CEC (cmol _c kg ⁻¹)			BS (%)			Exch. Base (cmolkg ⁻¹)		
		¹⁾									¹⁾		
		Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean	Cl	SL	Mean
BC rates (g/10kgsoil)	0	287	165	226	22.51 ^a	11.31	16.91	58.50	131.81 ^a	95.16	11.03	14.21	12.62
	16	269	176	222	13.82 ^c	14.04	13.93	80.75	100.26 ^c	90.51	11.00	13.77	12.39
	32	286	172	229	18.02 ^b	13.84	15.93	61.51	111.00 ^{bc}	86.26	11.07	14.50	12.79
	48	295	178	237	19.80 ^{ab}	12.30	16.05	58.82	120.47 ^{ab}	89.65	11.43	14.52	12.97
	64	282	185	234	17.02 ^b	11.51	14.27	68.01	122.82 ^{ab}	95.42	11.55	14.07	12.81
Mean		284	175		18.23	12.6		65.52	117.27		11.22	14.21	
F-test	Textures (T)	**			**			**			**		
	Biochar (BC) rates				ns			ns			ns		
	TxBC	ns			**			**			ns		
	CV. (%)				14.3			13.9			5.0		

5.3

^{1/} Mean in the same soil texture column followed by a common letter are significantly different at 5% level by DMRT

^{2/} ns not significant, * and ** different by compare with LSD 0.05 and LSD 0.01

สรุปผลการศึกษา

การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) เพิ่มขึ้นตามอัตราของไบโอชาร์ จึงส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารในดินได้มากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตน้ำหนักรากต่อชั่งของข้าวโพดมีปริมาณสูงกว่า ($p < 0.01$) การใส่ไบโอชาร์ในดินร่วนปนทรายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่าดินร่วนปนทราย อย่างไรก็ตาม การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวอัตรา 48 ก./ดิน 10 กก. (1.497 ตันต่อไร่) มีแนวโน้มให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโต ผลผลิตน้ำหนักรากต่อชั่ง และปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปของแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) สูงสุด นอกจากนี้ การใส่ไบโอชาร์ในดินเหนียวและดินร่วนปนทรายมีการสะสมของไนเตรตเพิ่มสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ไบโอชาร์ แสดงให้เห็นว่า ดินเหนียวที่ใส่ไบโอชาร์สามารถลดการสูญเสียธาตุอาหารในดินได้ดีกว่าดินร่วนปนทราย สำหรับดินเหนียวมีความเป็นไปได้ในการใช้ไบโอชาร์จากเหง้ามันสำปะหลังในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ สำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อย่างไรก็ตามต้องทดสอบในสภาพไร่นาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Production Sciences Research and Development Office. (2008). **Organic Fertilizer Analysis Manual**. Agricultural Production Sciences Research and Development Office. (in Thai).
- Angmanee, R., Chuangcham, K., & Homchan, U. (2017). Properties of Corn Waste Biochar and Potential for Soil Improvement. **VRU Research and Development Journal Science and Technology**, 12(1), 53-63. (in Thai).
- Arabi, Z., Eghtedaey, H., Gharehchmoghloo, B., & Faraji, A. (2018). Effects of biochar and bio-fertilizer on yield and qualitative properties of soybean and some chemical properties of soil. **Arabian Journal of Geosciences**, 11, 1-9.
- Bol, R., Amelun, W., Friedrich, C., & Ostle, N. (2000). Tracing dung-derived carbon in temperate grassland using ^{13}C natural abundance measurements. **Soil Biology & Biochemistry**, 32, 1337-1343.
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M. L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizábal, T., Sigua, G., Spokas, K., Ippolito, J. A., & Novak, J. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N_2O emissions: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, 651, 2354-2364.
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Science**, 59, 39-45.
- Bremner, J. M. (1960). Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. **Journal of Agricultural Science**, 55, 11-33.
- Davis, L. E. (1943). Measurements of pH with the glass electrode as affected by soil moisture. **Soil Science**, 56(6), 405-422.
- Dempster, D. N., Jones, D. L., & Murphy, D. M. (2012). Clay and biochar amendments decreased inorganic but not dissolved organic nitrogen leaching in soil. **Soil Resource**, 50, 216-221.
- Department of Agriculture. (2001). **Soil and Plant Analysis Manual**. Department of Agriculture. (in Thai).
- Fidel, R. B., Laird, D. A., & Spokas, K. A. (2018). Sorption of ammonium and nitrate to biochars is electrostatic and pH-dependent. **Scientific Reports**, 1-10.
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, 158, 436-442.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyang, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J., & Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of American Journal**, 70(5), 1719-1730.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant Soil**, 333, 117-128.
- Mewong, S. (2014). **Effects of Bamboo and Rice Husk Biochars on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Chainat 1 Rice**. Retrieved from: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci_ubu/article/view/87198/68959. (in Thai).
- Office of Agricultural Economics. (2022). **Production factor**. Retrieved from: <http://www.oae.go.th/view/1/TH-TH>. (in Thai).
- Onthong, J. (2004). **Soil and Plant Analysis Manual**. Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University. (in Thai).

- Pornamnuyap, D., & Suaysom, W. (n.d). **Effect of Biochar on the Growth and Yield of Maize on Sloping Land In Soil Series Group No.55, Nan Province**. Retrieved from: <http://www.odd.go.th/LDDCon65/data/02/2-2.pdf>. (in Thai).
- Prendergast-Millera, M. T., Duvalla, M., & Sohi, S. P. (2014). Biochar–root interactions are mediated by biochar nutrient content and impacts on soil nutrient availability. **European Journal of Soil Science**, 65, 173-185.
- Puttanakul, P., Soydoa, V., & Sivawan, P. (2019). Effect of plant residues and biochars on organic matter and nitrogen retention in soil. **Science and Technology Silpakorn University**, 6(6), 40-55. (in Thai).
- Rubin, R. L., Anderson, T. R., & Ballantine, K. A. (2020). **Biochar Simultaneously Reduces Nutrient Leaching and Greenhouse Gas Emissions in Restored Wetland Soils**. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/344476897_Biochar_Simultaneously_Reduces_Nutrient_Leaching_and_Greenhouse_Gas_Emissions_in_Restored_Wetland_Soils.
- Saelim, S. (2016). **Organic Fertilizer and Utilization in Thailand**. Division of Soil Biotechnology. (in Thai).
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. & Bol, R. (2009). **Biochar, Climate Change and Soil: A Review to Guide Future Research**. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/228656328_Biochar_Climate_Change_and_Soil_A_Review_to_Guide_Future_Research/
- Sun, L., Li, L., Chen, Z., Wang, J., & Xiong, Z. (2014). Combined effects of nitrogen deposition and biochar application on emission of N₂O, CO₂ and NH₃ from agricultural and forest soils. **Soil Science and Plant Nutrition**, 60, 254-265.
- Wachiratanusorn, S. (2018). **Effect of Chicken Manure and Biochar on Soil Properties, Growth and Yield Of Green Oak Lettuce Growing in Acid Soil**. Master's thesis. Thammasat University. (in Thai).
- Walkey, A., & Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. **Soil Science**, 37, 29-38.
- Widowati & Asnah. (2014). Biochar effect on potassium fertilizer and leaching potassium dosage for two corn planting seasons. **Journal of Agricultural Science**, 36(1), 65-71.
- Widowati, Asnah, & Utomo, W. H. (2018). The use of biochar to reduce nitrogen and potassium leaching from soil cultivated with maize. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, 2(1), 211-218.
- Xu, G., Sun, J. N., Shao, H. B., & Chang, S. X. (2014). Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. **Ecological Engineering**, 62, 54-60.
- Xu, N., Tan, G., Wang, H., & Gai, X. (2016). Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. **European Journal of Soil Biology**, 74, 1-8.
- Yu, O. Y., Raichle, B., & Sink, S. (2013). Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, 4, 1-9.
- Zhao, P., Wang, S., Liu, D., Li, H., Han, S., & Li, M. (2022). Study on influence mechanism of biochar on soil nitrogen conversion. **Environmental Pollutants and Bioavailability**, 34(1), 419-432.