

ผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมี ชีวภาพทางดิน และผลผลิตของมะเขือเทศราชินีบริโภคสด Effect of Biochar on Soil Chemical-Biological Properties and Yield of Fresh Queen Tomato

พรทิพย์ พุทธโส* เสาวคนธ์ เหมวงษ์ และปาริชาติ ปานวงศ์

Porntip Puttasao* Saowakon Hemwong and Parichat Panwong

สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000

Program of Plant Science, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Muang, Nakhon Phanom 48000

* Corresponding author: Puttasao.p@ms.npu.ac.th

Abstract

Biochar is an important material that can improve soil quality and increase soil fertility. This research aimed to investigate the Influence of biochar on chemical and biological properties of soil and yield of fresh tomatoes for consumption. The experiment was conducted in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 4 replications. Three treatments consisted of 1) soil 2) bamboo biochar and 3) rice husk biochar. From the results, it was found that of bamboo biochar and rice husk biochar were amount of available phosphorus (36.77 mg kg^{-1}) and exchangeable potassium ($189.33 \text{ mg kg}^{-1}$) increased compared to the soil only treatment, because properties of biochar have porosity and cation exchange capacity effect to an increase in the amount of nutrients. During the tomatoes for 30 days, rice husk biochar has affected to increase carbon emissions corresponds has the most of microbial biomass carbon. In addition, rice husk biochar also results in enzymatic activity is phenol oxidase and peroxidase ($1.78, 0.43 \text{ } \mu\text{mol dicg/g soil/h}$, respectively) also increased, but it was found that bamboo biochar resulted in the activity of B-glucosidase ($16.54 \text{ } \mu\text{g PNG/g soil/h}$). As for bamboo biochar, it results in the number of average fruits per plant ($62.02 \text{ fruit per plant}$), average weight per plant ($393.02 \text{ grams per plant}$) and the number of total soluble solids ($7.43 \text{ } ^\circ\text{Brix}$) being higher than other treatment during of tomatoes 30 days after transplanting. Therefore, it can be concluded that both types of biochar affect the soil chemical and biological properties. This causes the number of fruits, weight, and total soluble solids of tomatoes to increase.

Keywords: Biochar, tomato, yield, microbial activity

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพ เป็นวัสดุที่มีความสำคัญ สามารถปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมี ชีวภาพของดิน และผลผลิตของมะเขือเทศราชินีบริโภคสด วางแผนการทดลองแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี ได้แก่ 1) ดินอย่างเดียว 2) ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ และ 3) ถ่านชีวภาพแกลบ จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ และถ่านชีวภาพแกลบ ส่งผลทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (36.77 mg kg^{-1}) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ($189.33 \text{ mg kg}^{-1}$) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่มีดินอย่างเดียว เนื่องจากสมบัติของถ่านชีวภาพมีความพรุน และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยน

ประจุบวกจึงส่งผลทำให้มีปริมาณของธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ในช่วงอายุของมะเขือเทศ 30 วัน ถ่านชีวภาพแกลบส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนในดินที่มากที่สุด นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพแกลบก็ยังสามารถส่งผลให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ Phenoloxidase และ Peroxidase (1.78 และ $0.43 \mu\text{mol dicg g}^{-1} \text{ soil}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นอีกด้วย แต่กลับพบว่า ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ส่งผลให้เกิดกิจกรรมของ B-glucosidase ($16.54 \mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ soil}^{-1} \text{ h}^{-1}$) สำหรับผลผลิตถ่านชีวภาพไม้ไผ่ส่งผลทำให้มีจำนวนเฉลี่ยของผลต่อต้น (62.02 ผลต่อต้น) น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้น (393.02 กรัมต่อต้น) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (7.43 °Brix) มากกว่ากรรมวิธีอื่นในช่วงอายุของมะเขือเทศ 30 วันหลังย้ายปลูก ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าถ่านชีวภาพทั้งสองชนิดส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและชีวภาพของดิน ตลอดจนทำให้จำนวนผล น้ำหนัก และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะเขือเทศเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ มะเขือเทศ ผลผลิต กิจกรรมจุลินทรีย์

คำนำ

มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* Mill.) เป็นพืชในวงศ์ Solanaceae ซึ่งถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญทั้งด้านการบริโภคผลสด อุตสาหกรรมการแปรรูป และการผลิตเมล็ด มะเขือเทศมีแหล่งผลิตที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากมีสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมและเพื่อบริโภคสดทั้งหมด 37,673 ไร่ ปริมาณผลผลิตรวม 122,593 ตัน พื้นที่ปลูกมะเขือเทศในภาคตะวันออกเฉียงเหนือคิดเป็น 19,728 ไร่ จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกสูงสุด 3 ลำดับ ได้แก่ จังหวัดสกลนคร นครพนม และหนองคาย โดยมีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 6,714 ไร่ 4,358 ไร่ และ 3,456 ไร่ ตามลำดับ (Office of Agricultural Economics, 2023) ปี พ.ศ. 2561 นำเข้าปริมาณ 21,357 ตัน คิดเป็นมูลค่า 612 ล้านบาท และส่งออกปริมาณ 8,168 ตัน มูลค่า 328 ล้านบาท จากแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มมากขึ้น จึงต้องให้ความสำคัญทางด้านการจัดการปุ๋ยให้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งมะเขือเทศยังเป็นพืชที่ต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิดตั้งแต่เริ่มการผลิตจนถึงการขนส่งไปสู่ผู้บริโภค (Choenkwan et al., 2022) มะเขือเทศมีความอ่อนไหวต่อโรคและแมลงมาก จึงมีการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในปริมาณมาก จึงต้องมีความระมัดระวังในการป้องกันและช่วยส่งเสริมการปลูกมะเขือเทศ

ถ่านชีวภาพ (biochar) ถือว่าเป็นนวัตกรรมอย่างหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินและโครงสร้างดิน (Hemwong, 2014; Hemwong and Chualsuna, 2020) ถ่านชีวภาพยังเป็นแหล่งของไอออนธาตุอาหารพืชที่สำคัญหลายตัว ได้แก่ Ca^{2+} Mg^{2+} และ Na^{+} เป็นต้น มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากถ่านชีวภาพในการเกษตรที่เพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในแง่ของการเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Chan et al., 2007; Gaskin et al., 2010; Herath et al., 2013) ถ่านชีวภาพมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ในกระบวนการเผา นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ดินจำพวกแบคทีเรีย และอาร์เคีย เนื่องจากถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะในการดูดซับและส่งเสริมการเข้าย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (Sun et al., 2021; Zhou et al., 2021) จากงานวิจัยในการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ได้แก่งานวิจัยของ Hossain et al. (2010) ที่พบว่า การใช้ถ่านแกลบในอัตรา 10 ตันต่อไร่ ช่วยเพิ่มความสูงของต้นมะเขือเทศได้ 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ และยังช่วยเพิ่มผลผลิตรวมของมะเขือเทศได้ 27 เปอร์เซ็นต์ (Hossain et al., 2010) นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มน้ำหนักสดและแห้งของข้าวโพด

และสามารถเพิ่มน้ำหนักสดและแห้งของส่วนเหนือดินได้ 5 เปอร์เซ็นต์ (Butnan *et al.*, 2015) มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ถ่านชีวภาพจากขาน้อยที่อัตรา 25 ตันต่อไร่ ทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น 19 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น 27 เปอร์เซ็นต์ และยังเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) ของมะเขือเทศได้ 2 เปอร์เซ็นต์ (Gul and Whalen, 2016) ขณะที่ถ่านชีวภาพจากแกลบส่งผลทำให้คลอโรฟิลล์ a และ b เพิ่มขึ้น รวมถึงมีผลทำให้ผลผลิตพืช และเมล็ดข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น 15.7 เปอร์เซ็นต์ และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Islami *et al.*, 2011; Gebremedhin *et al.*, 2015) ถ่านชีวภาพยังช่วยดูดซับธาตุอาหารไว้ ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้าง (Yao *et al.*, 2011) นอกจากนี้ Sangmanee and Tangsuwan (2021) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพแต่ละชนิดต่อปริมาณจุลินทรีย์ในดิน พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์จำพวก *Bacillus spp.* และ *Pseudomonase spp.* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการยับยั้งโรคพืช จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพด้านพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนที่สูง จึงสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ วัตถุประสงค์ในการผลิต มีความหลากหลายในด้าน การผลิต มีต้นทุนต่ำ กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก และมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการลดการชะล้างฟอสเฟตอย่างได้ผล (Yao *et al.*, 2011) นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติในการดูดซับธาตุอาหารอินทรีย์ได้สูง (Ye *et al.*, 2015) การนำเอาไม้ไผ่ และแกลบที่ได้นำมาเผาแบบไพโรไลซิส ทำให้ได้ถ่านที่มีคาร์บอน พื้นที่ผิว และรูพรุนสูง งานวิจัยของ Hemwong (2014) ที่นำถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่และแกลบ

มาทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพในการใช้ในโตรเจนของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยวดีขึ้น การศึกษาส่วนใหญ่เป็นทางด้านสมบัติทางเคมีและผลผลิตของพืช แต่องค์ความรู้ทางด้านสมบัติทางชีวภาพของดินยังมียุ่อย่างจำกัด ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถ่านชีวภาพที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี ชีวภาพของดิน และผลผลิตของมะเขือเทศบริเวณ

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

การทดลองนี้ทำในโรงเรือนทดลอง ใช้ดินชุดดินเรณู เนื้อดินร่วนปนทราย (sandy loam) (Department of Land Development 2005; Hemwong 2014) เก็บรวบรวมดินจากบริเวณแปลงนาของคณะเกษตรและเทคโนโลยี อำเภอมือง จังหวัดนครพนม ที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร จากผิวดิน โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 5.64 ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) เท่ากับ 26.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) 50.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.038 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงใน Table 1 เริ่มต้นจากการนำดินมาผึ่งลมให้แห้ง คลุกให้เข้ากันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร บรรจุดินแห้ง 6 กิโลกรัมในกระถางพลาสติกขนาด 20x28 เซนติเมตร (0.056 ตารางเมตร) อ้างอิงตาม Hemwong (2014) กรรมวิธีในการทดลองประกอบด้วย 3 กรรมวิธี ดังนี้ 1) ดินอย่างเดียว (soil) 2) ถ่านชีวภาพแกลบ (rice husk biochar) และ 3) ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ (bamboo biochar)

Table 1 Some properties of soil and biochar obtained from rice husk and bamboo

Properties	Soil	Rice husk-biochar	Bamboo-biochar
Carbon content (%), by wet oxidation method, (Walkley and Black, 1934)	0.64	30.65	52.45
Nitrogen content (%), by Kjeldahl (Department of Land Development, 2010)	0.032	0.98	0.91
C/N ratio	16.84	31.28	57.63
Cation exchange capacity (cmol kg ⁻¹) by Department of Land Development, (2010)	3.28	80.53	32.40
pH 1:10, H ₂ O	5.64	7.52	10.00
EC 1:20 H ₂ O (μS)	0.012	0.33	0.28

แผนการทดลอง และวิธีการปลูก

วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ กรรมวิธีที่ 1 ดินอย่างเดียว กรรมวิธีที่ 2 ดินผสมถ่านชีวภาพแกลบ และกรรมวิธีที่ 3 ดินผสมถ่านชีวภาพไม้ไผ่ ซึ่งถ่านชีวภาพที่ใช้ผลิตมาจากไม้ไผ่ และแกลบ เนื่องจากวัตถุดิบทั้งสองชนิดเป็นทรัพยากรที่มีอยู่ในชุมชนจำนวนมาก วัตถุดิบทั้งสองมีสมบัติการเป็นถ่านชีวภาพอ้างอิงตาม Hemwong (2014) ถ่านชีวภาพนี้ได้จากการเผาด้วยเตาเผาที่ทำจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเป็นวิธีการผลิตถ่านชีวภาพแบบไพโรไลซิส นำถ่านชีวภาพมาบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ดังนี้ 1) ค่า pH ในอัตราส่วนระหว่างถ่านชีวภาพต่อน้ำที่ 1:10 และวัดโดย pH meter (Oakton PH 700, United States) 2) ค่า Electrical conductivity (EC) ในอัตราส่วนถ่านชีวภาพต่อน้ำที่ 1:20 วัดโดยใช้เครื่อง EC meter (OAKLON CON 700, United States) 3) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity; CEC) ตามวิธีของ Department of Land Development

(2010) 4) ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total carbon) โดยวิธีสันดาปเปียก (wet oxidation) (Walkley and Black, 1934) และค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl (Department of Land development, 2010)

ทำการใส่ถ่านชีวภาพไม้ไผ่และถ่านชีวภาพแกลบตามกรรมวิธี ที่อัตรา 2,857 กิโลกรัมต่อไร่ (100 กรัมต่อกระถาง) (Pituya *et al.* 2014; Hemwong 2014) โดยคลุกเข้ากันกับดินที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร ย้ายกล้ามะเขือเทศพันธุ์ราชินีที่มีอายุ 25 วัน ลงปลูก (มีใบจริงกางเต็มที่ไม่น้อยกว่า 2 ใบต่อต้น) จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ทำการให้น้ำวันละครั้ง และให้ปุ๋ยตามคำแนะนำกรมส่งเสริมการเกษตร ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 46-0-0 จำนวน 2 ครั้ง อัตราส่วน 20 กิโลกรัมต่อไร่ (0.7 กรัมต่อต้น) เมื่อมะเขือเทศมีอายุ 30 วัน 60 วัน หลังย้ายปลูก

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ดินและพืช

สุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณรากพืชที่ระดับความลึก 0 - 5 เซนติเมตร โดยเก็บดินทั้งก่อนปลูก และหลังย้ายปลูกได้ 15 30 และ 60 วัน สำหรับการวิเคราะห์

สมบัติทางเคมี วัดปริมาณ Total nitrogen โดยวิธี Kjeldahl (Department of Land Development, 2010) ปริมาณ Available phosphorus โดยวิธี Bray II และ ปริมาณ exchangeable potassium (Department of Land Development, 2010) ประเมินสมบัติทางชีวภาพของดิน ดังนี้ ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการหายใจของดินด้วยวิธีการดักจับด้วยต่าง (Anderson, 1982) และปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (microbial biomass carbon; MBC) ในดิน โดยวิธีการรมด้วยคลอโรฟอร์มแล้วตามด้วยการสกัด (Chloroform fumigate-extraction technique) (Vance *et al.*, 1987) และวัดกิจกรรมเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในดิน ดังนี้ 1) กิจกรรมของเอนไซม์ β -glucosidase วัดโดยวิธีที่ดัดแปลงจาก Alef and Nannipieri (1995) โดยนำดินสดบ่มร่วมกับ 25 มิลลิโมลของ p-nitrophenyl-B, D-glucoside และ modified universal buffer (MUB) pH 6.0 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร (Alef and Nannipieri, 1995) 2) วัดกิจกรรมเอนไซม์ Phenol oxidase โดยการนำตัวอย่างดินสดบ่มร่วมกับ 5 มิลลิโมลของ L-3, 4-dihydroxyphenylalanine ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร คำนวณกิจกรรมของฟีนอลออกซิเดสโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ (extinction coefficient) ของ L-DOPA ที่ 1.66 ไมโครโมล (Hendel *et al.*, 2005) และ 3) วัดกิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ด้วยวิธีของ Hendel *et al.* (2005) โดยใช้ substrate คือ L-DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanine) ซึ่ง เป็น ตัวรับอิเล็กตรอน (electron-donating substrate) แล้วจึงเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H_2O_2)

ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร และคำนวณกิจกรรมของกิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase

การเก็บข้อมูลพืช

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตทุกลักษณะเมื่อมะเขือเทศมีอายุ 15 30 และ 60 วันหลังย้ายปลูก สำหรับการเก็บข้อมูลความสูงต้น วัดค่าตั้งแต่โคนต้นถึงปลายยอดของมะเขือเทศ รวมถึงวัดค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD) ของใบมะเขือเทศที่ทางเต็มที่ โดยวัดค่าใบที่ 3 - 5 จากยอด จำนวน 2 จุดต่อบ่อยๆ นับจำนวนดอกบนที่เก็บข้อมูลผลผลิตของมะเขือเทศ เมื่อมะเขือเทศเริ่มติดผล ทำการคัดผลที่สูง พิจารณาผลของมะเขือเทศที่มีสีแดงไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของผล ทอยย่นับจำนวนผลสุก น้ำหนักสดผลเฉลี่ย (กรัมต่อลูก) น้ำหนักผลสดทั้งหมดต่อต้น (fresh marketable fruit) และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริค)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ศึกษา และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างปัจจัยศึกษา โดยวิธี Least significant different ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม Statistic 10 และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปัจจัยโดยใช้โปรแกรม R, version 3.6.0 (Analytical software, 2024)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของสมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพของดิน

จากการศึกษาของสมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกมะเขือเทศที่ใช้ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ และถ่านชีวภาพแกลบ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.01$) ถ่านชีวภาพแกลบมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็น

ประโยชน์มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 36.77 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yusif *et al.* (2020) ที่ทำการศึกษาหลังจากการใส่ถ่านชีวภาพลงในดินเป็นระยะเวลา 9 และ 15 สัปดาห์ และพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์นี้มีความสัมพันธ์กับค่า pH ของดิน โดยที่ดินที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6 - 7 มีการละลายของฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายในน้ำได้ดีที่สุด (Busman *et al.*, 2009) ในงานวิจัยชิ้นนี้ยังพบปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุดที่ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก (Table 2) ผลที่ได้นี้เป็นผลจากการผลิตถ่านชีวภาพ (ไพโรไลซิส) ที่ทำให้มีโครงสร้างทางเคมีที่มีพื้นที่ผิวสูง มีปริมาณคาร์บอนที่สูง และทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง จึงส่งผลให้

ถ่านชีวภาพสามารถยึดเอาธาตุอาหารพืชที่เป็นประจุบวก เช่น K^+ Ca^{2+} นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพมีพูนอยู่สูง จึงทำให้พื้นที่ผิวมาก จึงดูดซับประจุบวกได้มากขึ้น ดังนั้น ในดินที่มีถ่านชีวภาพจึงมีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น (Lehmann and Rondon, 2006) การศึกษาครั้งนี้ของสมบัติของถ่านชีวภาพแกลบและถ่านชีวภาพไม้ไผ่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุที่สูงมีค่าเท่ากับ 80.53 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม และ 32.40 เซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัมตามลำดับ (Table 1) การใส่ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มความ เป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Cernansky, 2015) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sangmanee *et al.* (2014) ที่พบว่า ถ่านชีวภาพมีผลทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน และอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้นเมื่ออัตราการใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น

Table 2 Chemical properties before and after 60-day Queen Tomato planting

Treatments	Before plantation		
	Total nitrogen (%)	Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	Exchangeable K (mg kg ⁻¹)
Soil	0.032	3.19	17
After plantation			
Soil (control)	0.85	27.72 b	76.00 b
Rice husk-biochar	0.82	36.77 a	74.83 b
Bamboo-biochar	0.78	17.68 c	189.33 a
LSD _{0.05}	1.72 ^{ns}	5.77 ^{**}	7.00 ^{**}
C.V. (%)	7.24	15.22	28.01

Remarks: ** = Significant difference at $p \leq 0.01$; ns = not significant difference ($p > 0.05$); data with different letters in column are significantly different at $p \leq 0.01$ (LSD); C.V. = Coefficient of variation

จากการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์หรือการหายใจของดิน (soil respiration) พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$ $p \leq 0.01$) ของถ่านชีวภาพไม้ไผ่และถ่านชีวภาพแกลบในช่วงอายุมะเขือเทศ 15 30 และ 60 วัน หลังย้ายปลูก ผลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชี้ให้เห็นว่า มีการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ในช่วงแรก 15 วันหลังย้ายปลูกนั้น ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ไม่มีการเกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 89.02 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อดิน 1 กิโลกรัมต่อวัน อาจเป็นผลมาจากการที่ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ไม่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากถึง 0.91 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไนโตรเจนเองก็เป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์ในดินได้เป็นอย่างดี ดังแสดงใน Table 2 อย่างไรก็ตาม ถ่านชีวภาพแกลบก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 30 และ 60 วันหลังย้ายปลูก เช่นเดียวกับ Sittiworanon (2019) ที่รายงานว่า การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 3 สัปดาห์แรก และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การใส่ถ่านชีวภาพส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการทดลองมีค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Kamolmanit *et al.*, (2018) และที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะช่วงแรกมีการใส่ปุ๋ยถ่านชีวภาพ จึงเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในดินจึงทำให้เกิดกิจกรรมขึ้น อีกทั้งถ่านชีวภาพที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้กักเก็บคาร์บอนจะต้องเป็นถ่านชีวภาพที่เผามากกว่า 500 องศาเซลเซียสขึ้นไป เนื่องจากมีคุณสมบัติในการต่อต้านการเกิดกระบวนการ Mineralization แต่ถ่านที่นำมาทดลองใช้อุณหภูมิเท่ากับหรือน้อยกว่า 400 องศาเซลเซียสซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้เพื่อเพิ่มธาตุอาหารหรือ

เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในดินมากกว่า (Usman *et al.*, 2015) ดังนั้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การใส่ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติในการเหนี่ยวนำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ได้เพิ่มสูงขึ้นและสอดคล้องกับปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนในดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพมีปริมาณน้อยกว่าที่ใส่ถ่านชีวภาพ (Table 3)

สำหรับการศึกษาปริมาณ MBC ในดินเป็นการศึกษาเกี่ยวกับอินทรีย์คาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงง่ายหรือส่วนที่สลายตัวได้ง่ายในดิน (labile pool) ซึ่งพบว่า MBC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$ $p \leq 0.05$) โดยมีค่ามากที่สุด คือ ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ในทุกช่วงอายุของมะเขือเทศ 15 วัน หลังย้ายปลูก มีค่าเท่ากับ 535.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่ง 30 และ 60 วัน หลังย้ายปลูก มีค่า MBC ใกล้เคียงกันในถ่านชีวภาพทั้งสองชนิด โดยมีค่าเท่ากับ 685.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่า MBC สามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกกิจกรรมจุลินทรีย์ในดินได้ หากมีค่า MBC มาก หมายถึงในดินนั้นมีแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ในดินมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puttaso *et al.* (2021)

ที่รายงานว่า พบปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนในดินสูงขึ้นเมื่ออายุยางพาราเพิ่มขึ้น เนื่องจากยางพารามีอายุมากขึ้นจะมีทรงพุ่ม กิ่งไม้ ซึ่งจัดเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ในดิน และจากสมบัติของถ่านชีวภาพเองก็มีความพรุนสูง จึงสามารถเก็บความชื้นไว้ได้มาก ซึ่งความชื้นก็ส่งเสริมกิจกรรมและการเจริญเติบโตของประชากรของจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Kalambukattu *et al.*, 2013) ชี้ให้เห็นถึงปริมาณ MBC ในดินตอบสนองต่อถ่านชีวภาพแกลบ และถ่านชีวภาพไม้ไผ่

Table 3 Soil respiration, microbial biomass carbon after 60-days tomato planting

Treatments	Soil respiration (mg CO ₂ kg ⁻¹ day ⁻¹)		
	15 days	30 days	60 days
Control (soil)	40.56 c	26.25 c	65.36 b
Rice husk-biochar	56.23 b	64.21 a	89.65 a
Bamboo-biochar	89.02 a	32.89 b	42.86 c
LSD _{0.05}	6.72*	3.26**	5.69**
C.V. (%)	5.65	10.20	25.32
Microbial biomass carbon (MBC) (mg kg ⁻¹)			
Control (soil)	307.24 c	357.54 b	376.00 b
Rice husk-biochar	443.34 b	564.65 a	586.76 a
Bamboo-biochar	535.65 a	578.56 a	685.02 a
LSD _{0.05}	6.72 ^{ns}	3.26**	5.69**
C.V. (%)	5.65	10.20	25.32

Remarks: ** = Significant difference at $p \leq 0.01$; * = Significant difference at $p \leq 0.05$; ns = not significant difference ($p > 0.05$); data with different letters in column are significantly different at $p \leq 0.01$, $p \leq 0.05$ (LSD); C.V. = Coefficient of variation

สำหรับการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ Phenoloxidase Peroxidase และ β -glucosidase พบว่า ทั้ง 3 กิจกรรมของเอนไซม์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ถึงแม้ว่า ถ่านชีวภาพจะไม่มีผลต่อการเกิดกิจกรรมทั้งสามชนิดอย่างมีนัยสำคัญ แต่สามารถอธิบายถึงแนวโน้มการเกิดกิจกรรมได้ โดยพบว่า 15 วันหลังย้ายปลูก มีแนวโน้มการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ Phenoloxidase มากที่สุด กล่าวคือ ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ มีค่าเท่ากับ 1.60 ไมโครโมลของ dicg ต่อกรัมของดินต่อชั่วโมง สอดคล้องกับปริมาณของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ MBC ที่มีปริมาณมากที่สุดในถ่านชีวภาพไม้ไผ่ จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์ของ Phenoloxidase กับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ MBC พบว่า มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.9959$, $p \leq 0.05$) (ไม่ได้แสดงในตาราง)

ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพไม้ไผ่สนองต่อกิจกรรมของเอนไซม์ Phenoloxidase และยังเป็นแหล่งสะสมอาหารของจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของฟีนอลเพื่อทำให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวได้นอกจากนี้ ที่อายุของมะเขือเทศ 30 วันหลังย้ายปลูก พบการเกิดกิจกรรมได้ดี คือ ถ่านชีวภาพกลบมีค่าเท่ากับ 1.83 ไมโครโมลต่อกรัมของดินต่อชั่วโมง เห็นได้จากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันและมีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์ของ Phenoloxidase กับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็มีความสัมพันธ์เชิงบวก ($r=0.9873$, $p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเกิดกิจกรรมเพิ่มขึ้น ก็ส่งผลให้มีจุลินทรีย์สร้างเอนไซม์ Phenoloxidase มากขึ้นด้วย ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ในช่วง 15 วัน หลังย้ายปลูก พบว่า กิจกรรมเกิดน้อยที่สุดในถ่านชีวภาพกลบ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เมื่อเทียบกับถ่านชีวภาพไม้ไผ่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Antal and Gronli (2003) ที่อธิบายว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตด้วยอุณหภูมิต่ำจะมีปริมาณเถ้าต่ำ แต่มีสารระเหยได้สูง ปริมาณองค์ประกอบถ่านชีวภาพยังขึ้นอยู่กับชนิดพืช จากการศึกษครั้งนี้ ถ่านชีวภาพแกลบผลิตในอุณหภูมิต่ำ จึงอาจจะมีสารระเหยที่สูงกว่าถ่านชีวภาพไม้ไผ่ จึงส่งผลทำให้พืชสามารถขาดไนโตรเจน และการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase ในปริมาณมาก ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Warnock *et al.* (2007) ให้คำอธิบายไว้ว่า

ถ่านชีวภาพมีการปลดปล่อยสารระเหยออกมาด้วย อาจส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย ในส่วนของกิจกรรมของเอนไซม์ β -glucosidase เป็นกิจกรรมที่บ่งบอกถึงดิน ว่ามีปริมาณแหล่งคาร์บอนสะสมอยู่มาก ซึ่งก็พบว่า ที่ 60 วันหลังย้ายปลูกนั้นมีแนวโน้มของกิจกรรมเกิดขึ้นปริมาณมากที่สุดที่ถ่านชีวภาพไม้ไผ่ ซึ่งจากสมบัติทางเคมีของถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ก็มีการสะสมของปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดดังแสดงใน Table 1

Table 4 Enzyme activities in soils after Queen tomato planting

Treatments	Days after Queen tomato planting (days)		
	15	30	60
	Phenoloxidase activity ($\mu\text{mol dicq.g}^{-1} \text{ soil.h}^{-1}$)		
Control (soil)	1.53	1.56	1.77
Rice husk-biochar	1.21	1.83	1.35
Bamboo-biochar	1.60	1.78	1.37
LSD _{0.05}	1.56 ^{ns}	1.68 ^{ns}	5.67 ^{ns}
C.V. (%)	2.36	5.61	6.25
	Peroxidase ($\mu\text{mol dicq.g}^{-1} \text{ soil.h}^{-1}$)		
	15	30	60
	Peroxidase ($\mu\text{mol dicq.g}^{-1} \text{ soil.h}^{-1}$)		
Control (Soil)	0.36	0.37	1.33
Rice husk-biochar	0.29	0.43	1.04
Bamboo-biochar	0.37	0.41	0.89
LSD _{0.05}	5.69 ^{ns}	8.26 ^{ns}	7.85 ^{ns}
C.V. (%)	5.40	33.22	3.90
	β -glucosidase activity ($\mu\text{g PNG.g}^{-1} \text{ soil.h}^{-1}$)		
	15	30	60
	β -glucosidase activity ($\mu\text{g PNG.g}^{-1} \text{ soil.h}^{-1}$)		
Control (soil)	15.07	13.98	12.87
Rice husk-biochar	14.31	14.91	13.83
Bamboo-biochar	13.35	16.54	15.37
LSD _{0.05}	5.32 ^{ns}	5.26 ^{ns}	4.28 ^{ns}
C.V. (%)	9.53	3.4	14.32

Remarks: ns = not significant difference ($p>0.05$); C.V. = Coefficient of variation

การเจริญเติบโต ผลผลิตของมะเขือเทศ

จากการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศในการใช้ถ่านชีวภาพไม้ไผ่และถ่านชีวภาพแกลบ พบว่า ด้านความสูงของต้นมะเขือเทศ และค่า SPAD ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ทั้ง 30 และ 60 วันหลังย้ายปลูก (Table 5) แต่กลับพบว่า ในช่วง 30 วัน หลังย้ายปลูก ถ่านชีวภาพไม้ไผ่มีผลต่อจำนวนเฉลี่ยของผล น้ำหนักของผล และปริมาณแข็งของที่ละลายของน้ำหรือปริมาณความหวานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.01$) โดยมีค่าเท่ากับ 62 ผลต่อต้น 393.02 กรัมต่อต้น และ 7.43 องศาบริค ตามลำดับ (Table 5) สอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ว่า ในดินที่มีถ่านชีวภาพไม้ไผ่มีปริมาณของโพแทสเซียมมากที่สุด (Table 2) สมบัติของถ่านชีวภาพมีลักษณะเป็นพรุน เมื่อใส่ลงในดินช่วยปรับโครงสร้างของดิน อีกทั้งยังมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกด้วย จึงทำให้มีการสะสมของ

โพแทสเซียมในดินมาก นอกจากนี้ โพแทสเซียมก็เป็นธาตุอาหารพืชมีความสำคัญต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีบทบาทสำคัญต่อผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ การเคลื่อนย้ายและการดูดกินน้ำและธาตุอาหาร รวมถึงกระบวนการหายใจในพืช (Chalernthai and Santasup, 2018) และยิ่งช่วยพัฒนาผลผลิต เพิ่มรสชาติของผล หากไม่มีโพแทสเซียมก็จะส่งผลให้มีรสเปรี้ยวและมีน้ำตาลไม่เพียงพอ (Ruangwong *et al.*, 2018) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Natwat *et al.* (2022) ที่พบว่า สัดส่วนของโพแทสเซียมมีผลต่อการเติบโต สร้างผลผลิต ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และสามารถยกระดับคุณภาพของมะเขือเทศได้ดี สำหรับ 60 วันหลังย้ายปลูกนั้น ถ่านชีวภาพมีผลต่อผลผลิตของมะเขือเทศแต่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Table 5)

Table 5 The growth of Queen tomato after the 30-day and 60-day planting

Treatments	After the 30-day planting				
	Plant height (cm)	SPAD	Number (fruit/plant)	Fruit Weight (gram/plant)	Total soluble solids (°brix)
Control	70.00	43.40	38.50 b	237.19 a	6.17 ab
Rice husk-biochar	80.45	45.53	42.06 b	256.19 c	4.78 b
Bamboo-biochar	62.00	43.43	62.00 a	393.02 a	7.43 a
LSD _{0.05}	27.54	6.19	2.43**	13.77**	1.40**
C.V. (%)	20.39	7.03	19.52	20.37	14.31
After the 60-day planting					
Control	77.00	45.90	55 a	282.25 a	6.04
Rice husk-biochar	74.25	45.00	41 b	203.11 b	6.38
Bamboo-biochar	78.50	50.00	51 a	256.64 a	6.00
LSD _{0.05}	10.28 ^{ns}	6.89 ^{ns}	2.43**	12.81**	2.39
C.V. (%)	8.39	20.34	19.52	24.45	24.38

Remarks: ** =Significant difference at $p\leq 0.01$; ns = not significant difference ($p>0.05$); data with different letters in column are significantly different at $p\leq 0.01$ (LSD); C.V. = Coefficient of variation

สรุปผลการวิจัย

การใส่ถ่านชีวภาพไม้ไผ่และถ่านชีวภาพแกลบ ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีของดิน คือ ทำให้มีปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากขึ้น และถ่านชีวภาพไม้ไผ่ มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แต่ไม่มีผล ต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ถ่านชีวภาพแกลบ มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณ มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนในดินในช่วงอายุของ มะเขือเทศ 30 วันหลังย้ายปลูก ถึงแม้ว่า ถ่านชีวภาพ จะไม่มีผลทำให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase และกิจกรรมของเอนไซม์ Phenoloxidase อย่างมี นัยสำคัญแต่ก็สามารถเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าถ่านชีวภาพ มีความสัมพันธ์ทำให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์และ เป็นตัวเหนี่ยวนำให้มีการสะสมของธาตุอาหารพืช และเป็นแหล่งเก็บสะสมอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในดินได้ นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพทั้งสองประเภทไม่มีผลต่อการ เจริญเติบโตของมะเขือเทศ (ความสูงและ ปริมาณ SPAD) แต่กลับพบว่า ถ่านชีวภาพไม้ไผ่มีผลต่อผลผลิต ของมะเขือเทศ คือ น้ำหนักเฉลี่ยของผลต่อต้น จำนวน ผลเฉลี่ยต่อต้น และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึง ระยะเวลาในการใช้ถ่านชีวภาพในแปลงเกษตรกรและ ผลกระทบของกิจกรรมจุลินทรีย์ดินซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สำคัญ ในการหมุนเวียนเปลี่ยนของธาตุอาหารพืช

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจาก แผนงาน วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม พ.ศ. 2566 มหาวิทยาลัย นครพนม และขอขอบคุณสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตร และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่และห้องปฏิบัติการ ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. Enzyme activities. pp. 311-373. *In*: K. Alef and P. Nannipieri [ed.]. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, London.
- Anderson, J. P. E. 1982. Soil respiration. pp. 831-871. *In*: A.L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney. (eds.). Agronomy monograph number 9, Part II. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison.
- Antal, M. J. and M. Gronli. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. Industrial & Engineering Chemistry Research. 42(8): 1619-1640.
- Busman, L., J. Lamb, G. Randall, G. Rehm and M. Schmitt. 2009. The nature of phosphorus in soil. University of Minnesota, Minnesota Extension Service. WW-06795-GO.
- Butnan, S., D. L. Jonathan, T. Banyong, J. A. Michael and V. Patma. 2015. Biochar properties affecting corn growth in a sandy soil of Northeast Thailand. Khon Kaen Agriculture Journal Supplement 43(1): 354-359. [in Thai]
- Cernansky, R. 2015. Agriculture: State of the art soil. Nature 517: 258-260.
- Chalernthai, P. and C. Santasup. 2018. Effects of potassium fertilizer on quality and yield of sweet corn in Ngao district, Lampang province. Journal of Agriculture 34(1): 29-40.

- Chan, K. Y., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie and S. Jos. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research 45(8): 629-634.
- Choenkwan, S., P. Phumchantuk and F. Parinthon. 2022. Fresh tomato production system of farmers in Northeastern region of Thailand. Journal of Khon Kaen Agriculture 50(60): 1617-1632.
- Department of Land Development. 2005. Soil series. Available: [http://iddindee.idd.go.th/SoilSeries/R/1_Series_\(Rn\).pdf](http://iddindee.idd.go.th/SoilSeries/R/1_Series_(Rn).pdf)
- Department of Land Development. 2010. Manual for the process of analyzing plants, fertilizers, and soil amendments. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. [in Thai]
- Gaskin, J. W., R. A. Speir, K. Harris, K. C. Das, R. D. Lee, L. A. Morris and D. S. Fisher. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Journal of Agronomy 102: 623-633.
- Gebremedhin, G. H., B. Haileselassie, D. Berhe and T. Belay. 2015. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. Journal of Fertilizer & Pesticides 6: 158. Available: <https://doi.org/10.4172/jbfbp.1000158>.
- Gul, S. and J. K. Whalen. 2016. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils. Journal Soil Biology and Biochemistry 103: 1-15.
- Hemwong, S. 2014. Effect of bamboo and rice husk biochar on yield and nitrogen use efficiency of Chainat 1 rice variety. Journal of Science and Technology 16(1): 69-75.
- Hemwong, S. and S. Chualsuna. 2020. Using charcoal to improve soil fertility for sweet waxy corn production. Journal of Agriculture 27(3): 259-266.
- Hendel, B., R. L. Sinsabaugh and J. Marxsen. 2005. Lignin-degrading enzymes: phenoloxidase and peroxidase. In: M. A. S. Graca, F. Barlocher and M. O. Gessner (eds). Methods to Study Litter Decomposition: A Practical Guide. Springer, Dordrecht.
- Herath, H. M. S. K., M. camps-Arbestain and M. Hedley. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An alfisol and an andisol. Geoderma 209-210: 188-197.
- Hossain, D., M. H. Musa, J. Talib and H. Jol. 2010. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) growth and photosynthesis under nutrient solution. Journal of Agricultural Science 2(2): 49-57.
- Islami, T, B. Guritno, N. Basuki and A. Suryanto. 2011. Biochar for sustaining productivity of cassava based cropping systems in the degraded lands of East Java, Indonesia. Journal of Tropical Agriculture 49(1-2): 40-46.

- Kalambukattu, J. G., R. Singh, A. K. Patra and K. Arunkumar. 2013. Soil carbon pools and carbon management index under different land use systems in the central Himalayan region. *Journal of Acta Agriculture Scandinavica B- Soil & Plant Science*. 63: 200-205. Available: <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.749940>.
- Kamolmanit, B., N. Panwong and P. Lawongsa. 2018. Influence of biochar to rice straw ratio combined with goat manure on physico-chemical and biological characteristics of compost. *Khon Kaen Agriculture Journal* 46(5): 843-856. [in Thai]
- Lehmann, J. and M. Rondon. 2006. Bio-char soil management in highly weathered soils in the humid tropics. *In*: N. Uphoff (ed.). *Biological approaches to sustainable soil systems*, CRC Press, Boca Raton.
- Natwat, J., P. Rungcharoenthong and S. Amkha. 2022. Ratio of potassium chloride and potassium sulphate fertilizer on growth yield and yield quality of cherry tomato cv CH154. *Journal of Khon Kaen Agriculture Supplement* 1: 202-207.
- Office of Agricultural Economics. 2023. Import volume of pesticides 2010-2017. Available: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=6097 (April 2, 2024).
- Pituya, P., W. Phuthong, S. Sinsamutthai, N. Promudom, P. Singphayak, P. Makmoon and K. Pho Srisupakorn. 2014. Beautiful and sincere Phetkaew. Knowledge document on biochar. Huai Sai Development Study Center under Royal Decree Mari, Phetchaburi province. [in Thai]
- Puttasao, P., A. Brauman and P. Lawongsa. 2021. Labile forms of organic carbon in sandy as affected by land use change from sugarcane to rubber tree plantations in northeast Thailand. *Journal of Khon Kaen Agriculture* 49(5): 1183-1193. Available: <https://doi.org/10.14456/kaj.2021.105>.
- Ruangwong, O., J. Aupalee, N. Tepsuwan and P. Seehanam. 2018. Influence of various concentrations of Vista KS fertilizer on Quality of commercial longan fruit at the fruit maturity stage. *Journal of RMUTP Research Supplement* 49(1): 571-574. [in Thai]
- Sangmanee, K. and I. Tangsuwan. 2021. Types and proportion of passionfruit peel biochar and tamarind peel biochar on growth and yield of Chinese cabbage in Nong-Mae-Na sub-district, Khao-Kho district, Phetchabun province. *Agricultural Science Journal Supplement* 52(1), 305-308.

- Sangmanee, K., T. Chinnasaen and N. Puntupa. 2014. A study of biochar ration on soil chemical properties, growth and yield of green cos (*Lactuca sativa* L. cv. green cos). pp. 746-752. In: Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, animals, veterinary medicine, fisheries, Agricultural Extension and Home Economics. Kasetsart University, Bangkok. [in Thai]
- Sittiworanon, N. 2019. Effects of biochar application on soil fertility, soil water holding capacity and carbon dioxide emission. Master of Science. Chiang Mai University, Chiang Mai. [in Thai]
- Sun, Y., X. Xiong, M. He, Z. Xu, D. Hou, W. Zhang, Y. S. Ok, J. Rinklebe and L. Wang. 2021. Tsang roles of biochar -derived dissolved organic matter in soil amendment and environmental remediation: A critical review. Chemical Engineering Journal 424, 130387.
- Usman, A. R., A. Abduljabbar, M. Vithange, Y.S. Ok, M. Ahmad and M. I. Ai-Wabel. 2015. Biochar production from date palm waste: charring temperature induced changes in composition and surface chemistry. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 115: 392-400.
- Vance, E. D., P. C. Brookes and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry 19(6): 703-707.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29-38.
- Warnock, D. D., J. Lehmann, T. W. Kuyper and M. C. Rillig. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil: concept and mechanisms. Plant and Soil 300(1): 9-20.
- Yao, Y., B. Gao, M. Inyang, A. R. Zimmermann, X. Cao, P. Pullammanappallil and L. Yang. 2011. Biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings: Characterization and phosphate removal potential. Bioresource Technology 102(10): 6273-6278.
- Ye, L., J. Zhang, J. Zhao, Z. Luo, S. Tu and Y. Yin. 2015. Properties of biochar obtained from pyrolysis of bamboo shoot shell. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 114: 172-178.
- Yusif, S. A., M. A. Mohammed, N. O. Popoola, H. Yekeen, A. Nabayi and H. Yakubu. 2020. Ameliorative effect of biochar application on selected chemical properties 99 of Acidic soil. Bulgarian Journal of Soil Science 5(2): 142-151.
- Zhou, H., L. Jiang, K. Li, C. Chen, X. Lin, C. Zhang and Q. Xie. 2021. Enhanced bioremediation of diesel oil-contaminated seawater by a biochar immobilized biosurfactant producing bacteria *Vibrio* sp. LQ2 isolated from cold seep sediment. Science of the Total Environment 793, 148529.