

ผลของอัตราถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อสมบัติดินทราย

การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช

Effect of Biochar Rate Derived from Rice Husk, Durian Peel and Oil Palm Petiole on Sandy Soil Properties, Nutrient Uptake and Plant Growth

เจนจิรา คงเรือง¹, จักรกฤษณ์ พูนภักดี¹, จำเริญ อ่อนทอง¹ และขวัญตา ขาวมี^{1*}
Jenjira Kongruang¹, Chakkrit Poonpakdee¹, Jumpen Onthong¹ and Khwunta Khawmee^{1*}

Received date: 17 ก.พ. 68 Revised date: 13 พ.ค. 68 Accepted date: 18 มิ.ย. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2026.266194>

บทคัดย่อ

ดินทรายเป็นดินเนื้อหยาบ อนุภาคของดินส่วนใหญ่เป็นแร่ควอร์ตซ์ ทำให้ดินมีพื้นที่ผิวจำเพาะและประจุไฟฟ้าลบบน้อย ดินจึงมีความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารพืชได้น้อย ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของดินทรายก่อนการปลูกพืช การใช้ถ่านชีวภาพเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของดิน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบและมีความพรุนสูง จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราการใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน ต่อสมบัติของดินทราย การเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวน 10 ทรีตเมนต์ ประกอบด้วย ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน อัตราการใช้ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในกระถาง ภายใต้สภาพโรงเรือน ผลจากการศึกษา พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 3 ชนิดทำให้ดินมีพีเอช ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น แต่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทำให้พีเอชดินสูงเกินไป ส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดลดลง ขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ให้ผลดีที่สุด โดยมีน้ำหนักแห้งข้าวโพดและการดูดใช้ธาตุอาหารสูงสุด ดังนั้น การใส่ถ่านชีวภาพสามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของดินทรายเพื่อการปลูกพืช แต่ควรคำนึงถึงชนิดและอัตราที่เหมาะสม

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ ดินทราย แกนทางปาล์มน้ำมัน เปลือกทุเรียน

Abstract

Sandy soil is a coarse-textured soil in which most of the particles are composed of quartz minerals, exhibiting low specific surface area and negative charges. This leads to poor water and nutrient retention capacity and low fertility. Accordingly, it is necessary to amend sandy soil to improve its properties before cultivating crops. The use of biochar is another approach to improve soil properties due to biochar contains plant nutrients component and high porosity. This study aimed to compare the effects of biochars derived from rice husk, durian peel and oil palm petiole rates on sandy soil properties, plant growth and nutrient uptake. The experiment was designed as a completely randomized design with 3 replications and 10 treatments, consisting of a control (no biochar) and applications of rice husk, durian peel, and oil palm petiole biochars at rates of 1%, 2%, and 3% by weight. The experiment was conducted by growing maize in pots under greenhouse conditions. Results showed that all three biochars increased soil pH, cation exchange capacity and nutrient content. However, durian peel biochar raised soil pH excessively, negatively affecting maize growth. In contrast, rice husk and oil palm petiole biochars at 3% application rate performed best, producing the highest maize dry weight and nutrient uptake. Therefore, biochar is another approach to improve sandy soil properties for cultivating crops, but the type and appropriate application rate must be considered.

Keywords: biochar, sandy soil, oil palm petiole, durian peel

¹ สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90110

¹ Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla 90110

* Corresponding author: e-mail khwunta.k@psu.ac.th

คำนำ

ดินทราย (sandy soil) เป็นดินเนื้อหยาบ และมีศักยภาพในการเพาะปลูกต่ำ เนื่องจากอนุภาคดินส่วนใหญ่เป็นแร่ควอร์ตซ์ (quartz) มีพื้นที่ผิวจำเพาะและประจุไฟฟ้าลบบน้อย ทำให้ดินดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้ต่ำ (Brady and Weil, 2008; Onthong, 2017) เมื่อใส่ปุ๋ยทำให้มีการสูญเสียได้ง่าย จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินให้สามารถกักเก็บธาตุอาหารได้มากขึ้น ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มอินทรีย์วัตถุโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Oueriemmi et al., 2021) และในปัจจุบันการใช้น้ำชีวภาพเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการปรับปรุงสมบัติดิน ซึ่งน้ำชีวภาพ คือ ชีวมวลที่ได้รับความร้อนภายใต้สภาพออกซิเจนจำกัดหรือไม่มีออกซิเจน โดยใช้อุณหภูมิในการเผาน้อยกว่า 700 องศาเซลเซียส น้ำชีวภาพประกอบด้วยเถ้า ไฮโดรเจน ออกซิเจน และธาตุอาหารพืช โดยปริมาณธาตุอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล (Lehmann and Joseph, 2009) มีรายงานปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นองค์ประกอบในน้ำชีวภาพ พบว่า มีปริมาณคาร์บอน 172-905 กรัม/กิโลกรัม ไนโตรเจนทั้งหมด 1.8-56.4 กรัม/กิโลกรัม ฟอสฟอรัสทั้งหมด 2.7-480 กรัม/กิโลกรัม และโพแทสเซียมทั้งหมด 1.0-58 กรัม/กิโลกรัม (Chan and Xu, 2009) น้ำชีวภาพมีความพรุนสูงและพื้นที่ผิวภายในสูง (Downie et al., 2009) และมีพีเอชอยู่ระหว่าง 4-12 (Lehmann, 2007) จากสมบัติดังกล่าว การใส่น้ำชีวภาพทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ซึ่งส่งผลต่อการปลูกพืชอย่างมาก มีการศึกษาการใช้น้ำชีวภาพจากไม้ลำไยต่อสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ทำให้พีเอชดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองซึ่งมีพีเอชเท่ากับ 5.0 โดยหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดินมีพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.2-5.4 เนื่องจากน้ำชีวภาพมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.31 (Pornamnuaylap and Suaysom, 2021) และมีการศึกษาการใช้น้ำชีวภาพจากไม้ยูคาลิปตัส ที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใส่น้ำชีวภาพในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ดินหลังปลูกมีพีเอชสูงขึ้นจาก 5.27 เป็น 7.43 (Manonok et al., 2017) สอดคล้องกับการศึกษาน้ำชีวภาพจากไม้ยูคาลิปตัส สามารถปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินทราย โดยการเพิ่มพีเอชดินและให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดได้ดีกว่าการไม่ใส่น้ำชีวภาพ (Butnan et al., 2015) อีกทั้งมีการศึกษาการใส่น้ำชีวภาพจากไม้โดยทำการทดลองกับดินทรายที่ปลูกในกระถาง พบว่า ทำให้ชีวมวลของข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 17 และถั่วพรางเพิ่มขึ้นร้อยละ 43 เนื่องจากพืชได้รับฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและทองแดงที่เพิ่มขึ้นจากการใส่น้ำชีวภาพ (Lehmann et al., 2003) อีกทั้งมีรายงานการนำน้ำชีวภาพจากเปลือกกาแฟทดลองปลูกข้าวโพดในดินทราย พบว่า การใส่น้ำชีวภาพอัตรา 16 เมกะกรัม/กิโลกรัม ส่งผลให้ค่าพีเอช โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่น้ำชีวภาพ จึงส่งผลให้ข้าวโพดมีผลผลิตชีวมวลและน้ำหนักแห้งสูงที่สุด (Lima et al., 2018) เช่นเดียวกับการทดลองใส่น้ำชีวภาพจากไม้ส่งผลให้ข้าวโพดมีผลผลิตมากกว่าการไม่ใส่น้ำชีวภาพ (Major et al., 2010)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีมวลชีวภาพที่ได้จากการผลิตพืชเป็นจำนวนมาก เช่น จากการปลูกข้าว ที่มีผลพลอยได้ คือ แกลบ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือก ที่มีปริมาณมากถึง 8,145,269 ตัน/ปี (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2019) ซึ่งการใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะนำไปเป็นวัตถุดิบในการเป็นวัสดุเพาะปลูก ทำปุ๋ยอินทรีย์ มีการศึกษาโครงสร้างของน้ำชีวภาพจากแกลบ พบว่า ภายในมีพื้นที่ผิวและมีรูพรุนสูง (Ghorbani et al., 2019) อีกทั้งในปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกทุเรียนมากขึ้น เนื่องจากราคาผลผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปี (Regional Commercial Affairs Division, 2022) ซึ่งมีผลผลิตทุเรียนมากถึง 1,334,169 ตัน/ปี (Regional Commercial Affairs Division, 2022) ในส่วนของเปลือกทุเรียนคิดเป็นปริมาณถึงร้อยละ 75 ของน้ำหนักผลทั้งหมด (Bunjongkarn and Pukanan, 2022) ทำให้มีปริมาณเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก จึงสนใจนำมาทำน้ำชีวภาพ ในขณะที่เดียวกันปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจภาคใต้ มีการปลูกเป็นจำนวนมาก เกษตรกรมีการตัดแต่งทางใบปาล์มน้ำมันและกองทิ้งไว้ในสวน ปล่อย่อยสลายเองตามธรรมชาติ ซึ่งมีมากถึง 18,065,006.01 ตัน/ปี (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2019) ทั้งนี้ในส่วนองแกนทางปาล์มน้ำมันต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนาน คาดว่าเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นน้ำชีวภาพ และจากการศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่มีรายงานการใช้น้ำชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและแกนทางปาล์มน้ำมันปรับปรุงดินทราย จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราของการใช้น้ำชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อสมบัติดินทราย การดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช

วิธีการศึกษา

การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำชีวภาพ

นำแกลบดิบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการตากแห้งมาเผาด้วยเตาเผาที่ผลิตจากถ่านน้ำมัน 200 ลิตร (Sirising and Suksawang, 2013) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็น และเก็บน้ำชีวภาพมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 0.5 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ (วียิวอลค์เลย์-แบลค) (Onthong and

Poonpakdee, 2020) และขนาด 2 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ ได้แก่ พีเอชและค่าการนำไฟฟ้า (สัดส่วน ถ่าน:น้ำ 1:5 น้ำหนัก/ปริมาตร) ไนโตรเจนทั้งหมด (วิธีเจล-ดัล) แอมโมเนียมและไนเตรต (สกัดด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์และกลั่น) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (สกัดด้วยวิธีเบรย์ท์) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (สกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต) นอกจากนั้นได้วิเคราะห์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างถ่านชีวภาพด้วยกรดผสม ไนตริกและเพอร์คลอริก สัดส่วน 1:1 โดยปริมาตร แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัส (วิธีเฮลโลโมลิบโดวานโดฟอสฟอริกแอซิด) โพแทสเซียม (ใช้หลักการอะตอมมิกอิมิสชัน) แคลเซียมและแมกนีเซียม (ใช้หลักการอะตอมมิกออบซอร์บชัน) ความจุแลกเปลี่ยน แคตไอออน (สกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต) (Onthong and Poonpakdee, 2020) และความหนาแน่นรวม (Blake and Hartge, 1986)

การเก็บ เติร์ยม และวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

เก็บดินทรายชุดดินบาเจาะ (Coated, isohyperthermic, Typic Quartzipsamments) ที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร นำดินมาผึ่งให้แห้ง แบ่งดินออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก ร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 0.5 มิลลิเมตร ใช้วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (วิธีวอล์คเลย์-แบลค) (Onthong and Poonpakdee, 2020) และร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 มิลลิเมตร ใช้สำหรับวิเคราะห์ พีเอชและค่าการนำไฟฟ้า (สัดส่วนดิน:น้ำ, 1:5 น้ำหนัก/ปริมาตร) ไนโตรเจนทั้งหมด (วิธีเจล-ดัล) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (สกัดด้วยวิธีเบรย์ท์) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (สกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน จุลธาตุที่สกัดได้ (สกัดด้วยดีทีพีเอ) (Onthong and Poonpakdee, 2020) ความหนาแน่นรวมของดิน ความจุความชื้นสนาม และเนื้อดิน (Blake and Hartge, 1986)

ดินส่วนที่สองนำไปร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร สำหรับใช้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในกระถางสภาพโรงเรือน โดยสมบัติทางเคมีของดินทรายที่ใช้ในการทดลองเป็นกรดจัดมาก (pH 4.53) ค่าการนำไฟฟ้า (0.01 เดซิซีเมนส์/เมตร) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ (0.68 เซนติโมล (ประจุ)/กิโลกรัม) อินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดค่อนข้างต่ำ (5.92 และ 0.29 กรัม/กิโลกรัม) และมีปริมาณธาตุอาหารหลักและรองต่ำ โดยมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (5.68 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โพแทสเซียมที่สกัดได้ (7.87 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (0.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) อยู่ในระดับต่ำมาก และแคลเซียมที่สกัดได้ค่อนข้างต่ำ (0.12 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) มีปริมาณจุลธาตุ ได้แก่ แมงกานีส เหล็ก สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ต่ำ (0.07, 0.57, 0.69 และ 0.004 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ) มีค่าความจุความชื้นสนามร้อยละ 2.13 และเนื้อดินจัดเป็นดินทราย ซึ่งมือนภาทรายร้อยละ 96 ทรายแป้งร้อยละ 2 และอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 2

การวางแผนการทดลอง การปลูก การเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการทดลอง ณ โรงเรือนทดลอง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (พันธุ์นครสวรรค์ 3) ในสภาพกระถาง ระหว่างเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2566 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ประกอบด้วย 10 ทรีตเมนต์ 3 ซ้ำ ได้แก่ ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Control) ใส่ถ่านชีวภาพจากกลบ (Hu) เปลือกทุเรียน (Du) และแกนทางปาล์มน้ำมัน (Pa) อัตราร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก (เท่ากับ 50, 100 และ 150 กรัม/กระถาง) ตามลำดับ นำถ่านชีวภาพผสมคลุกเคล้ากับดิน 5 กิโลกรัม และใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ยูเรีย ทริบิลูเชอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ ให้ได้ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (2.72 กรัม/กระถาง) (แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรก ใส่ 150 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้ากับดินและถ่านชีวภาพ และครั้งที่ 2 ใส่ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อข้าวโพดอายุครบ 14 วัน นับจากวันที่ย้ายลงกระถาง) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P_2O_5) และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (Water soluble K_2O) (ใส่ครั้งเดียวก่อนปลูก) ปริมาณ 150 และ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (1.63 และ 1.67 กรัม/กระถาง) ตามลำดับ และเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกวิเคราะห์สมบัติดินเช่นเดียวกับดินก่อนผสมถ่านชีวภาพ ทำการปลูกข้าวโพดเลี้ยงโดยย้ายกล้าอายุ 7 วัน ปลูกในกระถางทรงกลม (เส้นผ่านศูนย์กลางปากกระถาง 24.00 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้นกระถาง 18.00 เซนติเมตร สูง 19.50 เซนติเมตร) รดน้ำทุกวันเช้าเย็น เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยวัดความสูง นับจำนวนใบ และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (สูงจากผิวดิน 5 เซนติเมตร) เมื่อข้าวโพดอายุครบ 56 วัน (ระยะก่อนติดฝัก) นำข้าวโพดมาตัดและแยกส่วน ได้แก่ ส่วนเหนือดินและราก นำไปอบและชั่งน้ำหนักแห้ง และนำมาบดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (วิธีเจล-ดัล) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด ย่อยด้วยกรดผสมไนตริกและเพอร์คลอริก (สัดส่วน 3:1 โดยปริมาตร) แล้ววิเคราะห์ฟอสฟอรัส (วิธีเฮลโลโมลิบโดวานโดฟอสฟอริกแอซิด) โพแทสเซียม (ใช้หลักการอะตอมมิกอิมิสชัน) แคลเซียมและแมกนีเซียม (ใช้หลักการอะตอมมิกออบซอร์บชัน) (Onthong and Poonpakdee, 2020) และวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมีและธาตุอาหารพืชของดินหลังปลูกเช่นเดียวกับดินก่อนปลูก นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน

สมบัติของถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน พบว่า ถ่านชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีค่าการนำไฟฟ้าและความหนาแน่นต่ำ ในขณะที่มีพีเอชสูง ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์อยู่ในช่วง 53.57-95.94 กรัม/กิโลกรัม และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในช่วง 15.74-19.74 เซนติโมล (ประจุ)/กิโลกรัม และเมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารในถ่านชีวภาพ พบว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดสูงสุด และมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Table 1) ทั้งนี้มีรายงานว่าทุเรียนและปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต่อ งดการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และพัฒนาเป็นผลผลิตในปริมาณสูง (Suratthani Oil Palm Research Center, 2010; Poovarodom, 2021) ดังนั้น จึงมีการสะสมธาตุดังกล่าวในส่วนต่าง ๆ ของพืชสูง โดยมีรายงานถึงปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของปาล์มน้ำมัน พบว่า ทางใบที่ถูกตัดมีธาตุโพแทสเซียม สูงที่สุดเท่ากับ 11.52 กิโลกรัม/ไร่ และรองลงมาคือธาตุไนโตรเจน 10.72 กิโลกรัม/ไร่ และแคลเซียม 7.04 กิโลกรัม/ไร่ ในขณะที่มีฟอสฟอรัส 0.63 กิโลกรัม/ไร่ และแมกนีเซียมเท่ากับ 2.08 กิโลกรัม/ไร่ (Suratthani Oil Palm Research Center, 2010) เช่นเดียวกับในส่วนของเปลือกทุเรียนที่พบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยของโพแทสเซียมสูงที่สุดร้อยละ 2.49 รองลงมาคือ ไนโตรเจนร้อยละ 0.58 และแคลเซียมร้อยละ 0.43 ขณะที่ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม มีความเข้มข้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 0.22 และ 0.26 ตามลำดับ (Agricultural Production Sciences Research and Development Division, 2017) และในส่วนของแกลบ มีปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนร้อยละ 1.90 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.48 โพแทสเซียมร้อยละ 0.81 แคลเซียมร้อยละ 0.27 และแมกนีเซียมร้อยละ 0.24 (Tyopine, 2014) ซึ่งส่งผลให้ถ่านชีวภาพที่ได้จากเปลือกทุเรียนและแกนทางปาล์มน้ำมันมีธาตุอาหารสูงกว่าแกลบ (Table 1) ซึ่งสมบัติและธาตุอาหารในถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำถ่านชีวภาพและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่ต่างกัน (Zhang et al., 2021) สอดคล้องกับการศึกษาถ่านชีวภาพที่ส่วนใหญ่ พบว่า มีสมบัติเป็นต่าง (Pituya and Popradit, 2017) มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงอยู่ในช่วง 0-40 เซนติโมล (ประจุ)/กิโลกรัม (Verheijen et al., 2010) และมีปริมาณธาตุอาหารพืชที่ต่างกันอย่างชัดเจน (Chan and Xu, 2009)

Table 1 Biochar properties

Biochar properties	Rice husk	Durian peel	Oil palm petiole
pH (Biochar:Water 1:5 w/v)	9.44	9.95	10.28
EC (dS/m) (Biochar:Water 1:5 w/v)	0.74	0.02	0.01
OC (g/kg)	53.57	70.61	95.94
CEC (cmol _c /kg)	15.74	19.74	19.40
Total N (g/kg)	3.46	9.65	3.05
NH ₄ ⁺ (mg/kg)	6.28	12.36	7.44
NO ₃ ⁻ (mg/kg)	38.00	16.28	8.13
Avail. P (mg/kg)	346.80	558.15	599.35
Total P (g/kg)	2.33	7.70	3.10
Extr. K (mg/kg)	4518.86	61732.91	14006.80
Total K (g/kg)	6.75	88.66	17.53
Extr. Ca (mg/kg)	524.72	2084.63	5180.92
Total Ca (g/kg)	6.02	15.74	25.17
Extr. Mg (mg/kg)	218.99	1826.34	754.26
Total Mg (g/kg)	0.99	14.00	7.59
Density (g/cm ³)	0.31	0.22	0.26

Avail. = available, Extr. = Extractable

ผลของถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อสมบัติดินทรายก่อนและหลังทดลอง

ดินทรายก่อนการทดลองมีข้อจำกัดสำหรับการเจริญเติบโตของพืชหลายประการ โดยมีสภาพเป็นกรดจัดมาก (pH 4.53) มีธาตุอาหารและความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินประกอบด้วยอนุภาคทรายสูง (Brady and Weil, 2008; Onthong, 2017) แต่ไม่มีข้อจำกัดด้านความเค็ม และเมื่อนำดินผสมถ่านชีวภาพเพื่อพิจารณาสมบัติดินและธาตุ

อาหารที่เป็นประโยชน์ที่เปลี่ยนแปลงหลังผสมถ่านชีวภาพก่อนปลูกพืช พบว่า การผสมถ่านชีวภาพอัตราที่เพิ่มขึ้นในดินทรายก่อนปลูกส่งผลให้ดินมีพีเอช ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ธาตุอาหารพืชในดินเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ดินที่มีการผสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทำให้สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารในดินสูงกว่าถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมัน (Table 2) สอดคล้องกับสมบัติดินหลังการทดลอง พบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพในอัตราที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พีเอชและธาตุอาหารสูงกว่าในดินที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (Table 3) ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณธาตุอาหารสูง (Table 1) จึงปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้มาก แต่พบว่าถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนส่งผลให้ดินมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น และอยู่ในช่วงที่มีสภาพเป็นด่าง (Table 2 และ 3) ในขณะที่พีเอชดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชอยู่ในช่วง 5.5-7.0 (Brady and Weil, 2008) เนื่องจากถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีความหนาแน่นรวมต่ำสุด เมื่อนำมาผสมกับดินสัดส่วนร้อยละ โดยน้ำหนัก จึงใช้ปริมาตรสูงกว่าถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์ม จึงอาจส่งผลให้ดินผสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีพีเอชสูงที่สุด นอกจากนี้มีรายงานว่า ความสามารถในการเพิ่มพีเอชของดินโดยถ่านชีวภาพไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ของถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยเฉพาะความเป็นด่าง (alkalinity) และปริมาณธาตุที่เป็นแคตไอออนในถ่านชีวภาพ ถ่านชีวภาพที่มีพีเอชต่ำกว่าแต่มีความเป็นด่างสูงและมีปริมาณธาตุที่เป็นแคตไอออนมาก สามารถเพิ่มพีเอชของดินได้มากกว่าถ่านชีวภาพที่มีพีเอชสูงกว่าแต่มีความเป็นด่างต่ำ (Chintala et al., 2013; Yuan and Xu, 2011) ซึ่งพบว่าในถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงกว่าในถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมัน (Table 1) จึงส่งผลให้พีเอชของดินที่มีการใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีพีเอชสูงสุด มีรายงานการทดลองการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวสาลีในอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าพีเอชของดินเพิ่มขึ้น (6.08 เป็น 7.18) (Purkaystha et al., 2022) และมีการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ดินหลังปลูกมีพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 5.27 เป็น 7.43 (Mananok et al., 2017) อีกทั้ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้นในดินหลังปลูก สอดคล้องกับการศึกษาผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่และกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าว ส่งผลให้สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Hemwong, 2014) เนื่องจากในถ่านชีวภาพมีธาตุอาหารดังกล่าวเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้มีการปลดปล่อยออกมาจากถ่านชีวภาพ โดยเป็นการค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้า ๆ (Jilková and Angst, 2022) ดินหลังปลูกที่ผสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนในอัตราร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าในดินหลังปลูกที่ผสมถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์ม อีกทั้งในดินก่อนปลูกมีเหล็กและสังกะสีอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ เมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในดินสูงทำให้พืชดูดเหล็กและสังกะสีได้น้อยลง (Osotsapar, 2015) สอดคล้องกับผลวิเคราะห์เหล็กและสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังการทดลองที่มีการผสมถ่านชีวภาพ พบว่า มีค่าต่ำกว่าดินที่ไม่มีการปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพ (Table 3)

ผลของถ่านชีวภาพจากกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อการเจริญเติบโตของพืช

การใช้ถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้การเจริญเติบโต (น้ำหนักแห้ง) ของข้าวโพดที่ปลูกในดินทรายสูงกว่าการใช้ถ่านชีวภาพอัตราอื่น ๆ และจากเปลือกทุเรียนทุกอัตราร้อยละชัดเจน (Table 4 และ Figure 1) เนื่องจากการใส่ถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันทำให้ดินมีค่าพีเอชที่เหมาะสมกว่าที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน (Table 2 และ 3) ส่งผลให้ธาตุอาหารในดินเป็นประโยชน์ต่อพืช (Brady and Weil, 2008) นอกจากนี้ อาจมีผลจากความสมดุลของธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดิน ที่พบว่า สัดส่วนของธาตุดังกล่าวอยู่ในระดับที่ไม่สูงเมื่อเทียบกับที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่มีสัดส่วนโพแทสเซียมต่อแคลเซียมและโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมสูงมาก (Table 2) ซึ่งมีรายงานว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมในดินสำหรับพืชไร่ คือ น้อยกว่า 5:1 (Havlin et al., 2005) ในทางตรงกันข้าม พบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดต่ำกว่าการใช้ถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันอย่างชัดเจน (Figure 1 และ Table 4) เนื่องจากการใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทำให้ดินก่อนปลูกมีพีเอชสูง (Table 2) ดินมีความเป็นด่างปานกลางถึงด่างจัดมากส่งผลต่อการปลดปล่อยของธาตุอาหารพืชลดลง (Brady and Weil, 2008) จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด นอกจากนี้อาจมีผลจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน ที่พบว่า ดินที่ผสมถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้สูง (Table 2 และ 3) เนื่องจากถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีโพแทสเซียมที่สกัดได้สูง (61,732.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ซึ่งสูงกว่าถ่านชีวภาพจากกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันถึง 14 และ 4 เท่า ตามลำดับ (Table 1) การมีโพแทสเซียมสูงเกินไปส่งผลให้เกิดการขัดขวางการดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมของพืชได้ (Havlin et al., 2005) จึงส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตไม่ดี

Table 2 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on sandy soil properties before planting

Treat- ment	pH	EC	CEC	OM	Total N	Avail. P	Extr. K	Extr. Ca	Extr. Mg	Bulk density
		(dS/m)	(cmol _e /kg)	<.....(g/kg).....>	<.....(mg/kg).....>					(g/cm ³)
Control	5.27h	0.03e	0.76c	6.34	0.53d	13.00d	10.36d	17.66f	0.88e	1.36a
Hu 1%	5.57g	0.03e	0.76c	5.97	0.62bcd	17.52cd	55.70d	17.73f	7.40de	1.30b
Hu 2%	5.87f	0.04de	0.90bc	6.65	0.56cd	30.14bcd	72.15d	22.47f	11.13de	1.26c
Hu 3%	6.42e	0.06de	1.36ab	6.41	0.65bc	39.36b	136.49d	32.46ef	34.56c	1.22d
Du 1%	8.24b	0.24c	1.09bc	7.51	0.56cd	44.55b	539.26c	53.27e	43.57c	1.28bc
Du 2%	9.22a	0.59b	1.59a	7.18	0.70ab	70.10a	1310.17b	103.93cd	90.94b	1.23d
Du 3%	9.33a	0.77a	1.33ab	6.41	0.79a	75.25a	1604.94a	116.03c	134.06a	1.22e
Pa 1%	6.67e	0.06de	0.83c	5.84	0.52d	25.49bcd	44.84d	89.98d	13.08de	1.33b
Pa 2%	7.08d	0.11de	0.89bc	8.30	0.55cd	30.64bcd	114.85d	155.24b	26.18cd	1.26c
Pa 3%	7.42c	0.16cd	0.99bc	7.44	0.60bcd	34.19bc	180.86d	228.05a	34.53c	1.24de
F-test	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
CV (%)	2.35	33.56	23.81	16.39	8.98	21.21	31.61	17.29	27.43	2.50

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$; ns = not significant at $P > 0.05$, Control = without biochar, Avail. = Available, Extr. = Extractable

Table 3 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on sandy soil properties after crop harvest

Treatment	pH	EC	OM	Total N	Avail. P	Extr. K	Extr. Ca	Extr. Mg	Avail. Zn	Avail. Fe
		(dS/m)	<....(g/kg)....>	<.....(mg/kg).....>						
Control	5.63f	0.10a	7.10a	0.24	34.27b	25.75cde	79.11c	0.34g	0.46a	8.55ab
Hu 1%	5.80e	0.05bc	6.47abc	0.26	49.17b	14.77e	98.16bc	3.86fg	0.29b	10.24a
Hu 2%	6.03de	0.05bcd	6.61abc	0.29	51.17b	23.75de	126.52bc	7.75ef	0.30b	8.01ab
Hu 3%	6.28d	0.06b	7.37a	0.29	82.84a	30.44cd	150.60b	7.64ef	0.43a	9.30a
Du 1%	6.99c	0.03cd	6.79ab	0.26	76.45a	88.76a	107.43bc	25.73c	0.25bc	8.42ab
Du 2%	7.42ab	0.03cd	5.50c	0.27	91.16a	55.26b	107.17bc	42.47b	0.26bc	6.24bc
Du 3%	7.73a	0.03d	5.82bc	0.27	78.58a	91.93a	113.62bc	58.20a	0.28bc	4.61c
Pa 1%	7.02c	0.04bcd	6.66abc	0.24	78.70a	13.93e	144.10b	3.63fg	0.21c	10.36a
Pa 2%	7.05c	0.03cd	7.35a	0.33	87.59a	26.93cde	225.85a	9.97de	0.24bc	10.07a
Pa 3%	7.25bc	0.03cd	7.22a	0.29	76.46a	37.94c	252.88a	12.60d	0.29b	9.19a
F-test	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
CV (%)	2.83	20	9.57	14.81	16.87	16.95	20.90	13.59	13.33	14.94

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$; ns = not significant at $P > 0.05$, Control = without biochar, Avail. = Available, Extr. = Extractable

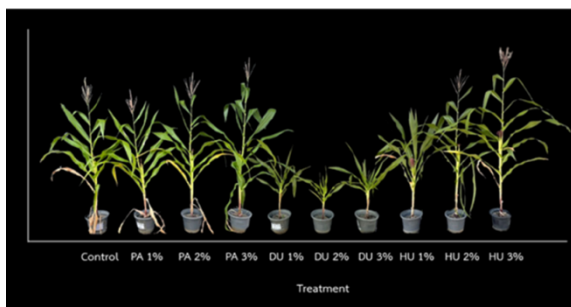


Figure 1 Effect of biochar derived from oil palm petiole (PA), durian peel (Du) and rice husk (HU) on maize growth (age 56 day). Control = without biochar

Table 4 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on leaf number, plant height, stem diameter and dry weight of whole plant (age 56 day)

Treatment	Leaf number	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g)
Control	11.33	151.57ab	22.15a	152.48ab
Hu 1%	10.33	139.57b	20.97a	107.19c
Hu 2%	11.33	149.03ab	21.26a	131.37bc
Hu 3%	11.67	183.90a	20.62a	170.79a
Du 1%	9.66	93.00c	12.96b	40.55d
Du 2%	10.33	69.60c	14.42b	28.50d
Du 3%	7.00	66.03c	11.00b	21.75d
Pa 1%	11.00	146.27ab	22.40a	128.94bc
Pa 2%	9.67	145.17ab	22.51a	112.21c
Pa 3%	11.33	166.07ab	22.97a	173.89a
F-test	ns	*	*	*
CV (%)	20.64	17.36	16.00	17.57

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$; ns = not significant at $P > 0.05$, Control = without biochar

ผลของถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมันต่อความเข้มข้นของธาตุอาหาร และการดูดใช้ธาตุอาหารในพืช

วิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพดส่วนเหนือดินและราก พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ และโดยเฉพาะโพแทสเซียม พบว่า มีความเข้มข้นสูงเมื่อมีการใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนและสูงกว่าการใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันอย่างชัดเจน (Table 5 และ 6) ซึ่งเป็นผลมาจากมีโพแทสเซียมที่สกัดได้ในถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนสูงมากกว่าถ่านชีวภาพจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมัน (Table 1) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการดูดใช้ธาตุอาหารพืช (Figure 2 และ Figure 3) ซึ่งคำนวณจากความเข้มข้นธาตุอาหารและน้ำหนักแห้ง พบว่า ข้าวโพดที่ปลูกในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพจากแกนทางปาล์มน้ำมันอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีการดูดใช้ธาตุอาหารสูงที่สุด โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในขณะที่ข้าวโพดที่ปลูกในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีการดูดใช้ธาตุอาหารต่ำที่สุด (Figure 2 และ 3) แม้จะมีความเข้มข้นสูง ปรากฏการณ์เช่นนี้เกิดจาก dilution effect ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อพืชที่เจริญเติบโตไม่มีการสะสมธาตุอาหารในความเข้มข้นสูง (Jarrell and Beverly, 1981) เนื่องจากธาตุอาหารที่ดูดเข้ามา ถูกกระจายอยู่ในมวลชีวภาพที่น้อย ในกรณีนี้ข้าวโพดที่ปลูกในดินที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีการเจริญเติบโตต่ำ (Table 4) จึงมีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูง แต่การดูดใช้ธาตุอาหารรวมต่ำ

Table 5 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on nutrient concentration (g/kg) in maize above ground

Treatment	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total Zn	Total Fe
Control	14.29b	0.54	9.20c	6.84a	1.49cde	0.06a	0.09acd
Hu 1%	12.79c	0.63	10.00c	2.54c	1.36e	0.05bc	0.07de
Hu 2%	14.08b	0.84	13.58bc	3.47bc	1.65cd	0.05b	0.07de
Hu 3%	10.52d	0.57	6.88c	2.83c	1.56cde	0.04bcd	0.04e
Du 1%	18.58a	1.48	18.47ab	3.97bc	2.10a	0.04de	0.11ac
Du 2%	14.92b	2.00	20.64a	2.44c	2.03a	0.03ef	0.09acd
Du 3%	11.10d	1.75	17.94ab	3.40bc	1.96ab	0.02f	0.12a
Pa 1%	11.54d	0.62	9.47c	4.64b	1.39e	0.04cd	0.08cde
Pa 2%	14.26b	0.88	9.54c	3.00bc	1.73bc	0.05bc	0.18a
Pa 3%	12.84c	0.99	10.26c	2.68c	1.43de	0.03de	0.09cd
F-test	*	ns	*	*	*	*	*
CV (%)	4.82	64.08	30.08	24.30	8.38	12.20	19.35

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$; ns = not significant at $P > 0.05$, Control = without biochar

Table 6 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on nutrient concentration (g/kg) in maize root

Treatment	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total Zn	Total Fe
Control	7.18f	0.82f	5.82g	4.38c	0.68g	0.02d	0.99bc
Hu 1%	9.58bc	1.05e	10.39e	2.40d	0.88f	0.04ab	0.78c
Hu 2%	8.23d	1.15d	12.06e	3.95c	0.85f	0.04ab	0.83c
Hu 3%	7.55ef	1.35c	17.02d	2.88d	1.09e	0.03bc	0.70c
Du 1%	11.23a	1.48b	32.03b	5.14b	1.38d	0.04a	2.57a
Du 2%	9.80b	1.38c	40.47a	5.14b	1.82b	0.02d	1.07bc
Du 3%	9.15c	1.55a	33.30b	6.22a	2.21a	0.03bc	0.72c
Pa 1%	7.32ef	1.17d	8.11f	5.63ab	1.47cd	0.03c	2.70a
Pa 2%	8.14d	1.54a	12.32e	5.10b	2.15a	0.03c	1.51b
Pa 3%	7.76de	1.03e	21.82c	3.78c	1.54c	0.02d	0.62c
F-test	*	*	*	*	*	*	*
CV (%)	3.61	1.60	5.95	8.97	3.57	16.67	24.80

Within a column, mean values in denoted by different letters differ significantly * = significant at $P \leq 0.05$. Control = without biochar

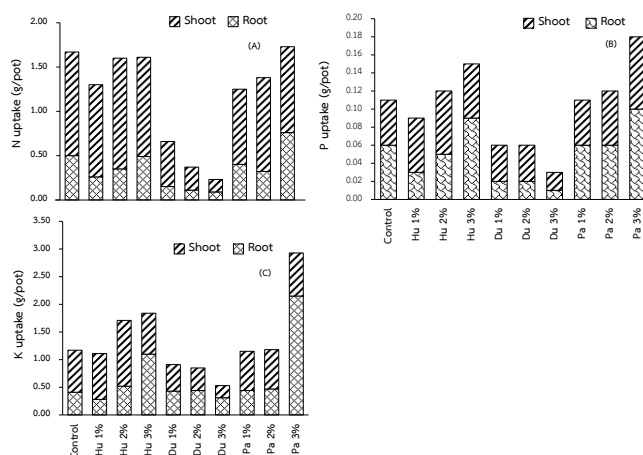


Figure 2 Effect of biochar derived from rice husk (Hu), durian peel (Du) and oil palm petiole (Pa) on nitrogen (a), phosphorus (b), and potassium (c) uptake of maize shoot and root. Control = without biochar

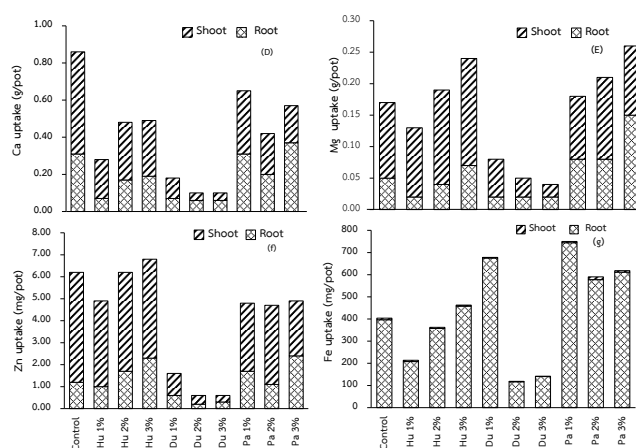


Figure 3 Effect of biochar derived from rice husk, durian peel and oil palm petiole on calcium (d), magnesium (e), zinc (f), and iron (g) uptake of maize shoot and root. Control = without biochar

สรุปผลการศึกษา

ดินทราย เป็นดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบ เปลือกทุเรียน และแกนทางปาล์มน้ำมัน ที่มีพีเอชสูง มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นองค์ประกอบ ส่งผลให้ดินทรายมีพีเอช ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และมีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนทำให้พีเอชดินก่อนปลูกสูงเกินไปและมีโพแทสเซียมที่สกัดได้สูงมากเมื่อเทียบกับถ่านจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดลดลง ขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบและแกนทางปาล์มน้ำมันในอัตราร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ให้ผลดีที่สุด โดยมีน้ำหนักแห้งข้าวโพดและการดูดใช้ธาตุอาหารสูงสุด ดังนั้น การนำถ่านชีวภาพไปใช้ในดินทรายควรคำนึงถึงชนิดและอัตราการใช้ที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงสมบัติดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม สมมุติฐาน การทดลอง กราฟ ตาราง การวิเคราะห์ข้อมูล และ บทความวิจัยฉบับร่าง: เจนจิรา คงเรือง. การวิเคราะห์ข้อมูล แปลผล ตรวจสอบ และ แก้ไขบทความวิจัยฉบับร่าง: จำเป็น อ่อนทอง. การวิเคราะห์ข้อมูล แปลผล ตรวจสอบ และ แก้ไขบทความวิจัยฉบับร่าง: จักรกฤษณ์ พูนภักดี. ความคิดริเริ่ม สมมุติฐาน ออกแบบการทดลอง วิธีการเก็บข้อมูล การ

วิเคราะห์ข้อมูล แปลผล เปรียบเทียบกับข้อสรุปผลกับทฤษฎี ตรวจสอบแก้ไขบทความวิจัยฉบับร่างและสมบูรณ์ และ กำกับดูแล
แผนงาน: ขวัญตา ขาวมี.

เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Production Sciences Research and Development Division. (2017). **Macro and Micro Nutrient Removal by Commercial Durian Cultivar in Eastern Region**. Retrieved from: <https://www.doa.go.th/plan/wp-content/uploads/2021/05/431.2การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่สูญเสียไปกับผลผลิตทุเรียน.pdf>. (in Thai).
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). **Methods of Soil Analysis**. Soil Science Society of America Madison.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). **The Nature and Properties of Soils**. Pearson Education.
- Bunjongkarn, B., & Pukanan, Y. (2022). The study of concept test of durian rind products and market research of the new product from durian rind. **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal**, 16(1), 66-78. (in Thai).
- Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B., Antal, M. J., & Vityakon, P. (2015). Biochar properties affecting corn growth in a sandy soil of Northeast Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 43(Suppl. 1), 354-359. (in Thai).
- Chan, K. Y., & Xu, Z. (2009). Biochar: Nutrient properties and their enhancement. In Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management Science and Technology**, pp. 67-81. London Sterling VA.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2013). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 60(3), 393-401. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.789870>.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2019). **Biomass Statistics of Thailand**. Retrieved from: http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html?fbclid=IwY2xjawK3rABLeHRuA2FlbQlXMAbIcmIkETFxSjVPe. (in Thai).
- Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. In Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management Science and Technology**, pp. 13-29. London Sterling VA.
- Ghorbani, M., Asadi, H., & Abrishamkesh, S. (2019). Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. **Internation Soil and Water Conservation Research**, 7(3), 258-265.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2005). **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management**. Pearson.
- Hemwong, S. (2014). Effects of bamboo and rice husk biochars on yield and nitrogen use efficiency of Chainat 1 rice variety. **Journal of Science & Technology Ubon Ratchathani University**, 16(1), 69-75. (in Thai).
- Jarrell, W. M., & Beverly, R. B. (1981). The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, 34(1), 197-224. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60887-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60887-1).
- Jilkov, V., & Angst, G. (2022). Biochar and compost amendments to a coarse-textured temperate agricultural soil lead to nutrient leaching. **Applied Soil Ecology**, 173(1), 1-6.
- Lehmann, J., Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertiliser, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, 249(1), 343-357.
- Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. **Nature**, 447(1), 143-144.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: An Introduction. In Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management Science and Technology**, pp. 1-9. London Sterling VA.
- Lima, J. R., Silva, W. M., Medeiros, E. V., Duda, G. P., Corrêa, M. M., Filho, A. P. M., Dauphin, C. C., Antonino, A. C. D., & Hammecker, C. (2018). Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. **Geoderma**, 319(1), 14-23.
- 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(1), 117-128.
- Manaonok, J., Gonkhamdee, S., Dejbhimon, K., Polpinit W. K., & Jothityangkoon, D. (2017). Biochar: Its effect on soil properties and growth of wet-direct seeded rice (A pot trial). **Khon Kaen Agriculture Journal**, 45(2), 209-220. (in Thai).
- Onthong, J. (2017). **Problem Soil and Management**. Prince of Songkla University Songkhla. (in Thai).
- Onthong, J., & Poonpakdee, C. (2020). **Soil and Plant Analysis Guide**. Department of Earth Science Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University Songkhla. (in Thai).
- Osotsapar, Y. (2015). **Plant Nutrition**. Kasetsart University. (in Thai).
- Oueriemmi, H., Kidd, P. S., Cepeda, C. T., Garrido, B. R., Zoghalmi, R. I., Ardhaoui, K., Fernández, A. P., & Moussa, M. (2021). Evaluation of composted organic wastes and farmyard manure for improving fertility of poor sandy soils in arid regions. **Agriculture**, 11(5), 415. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050415>.
- Pituya, P., & Popradit, A. (2017). Development and restoration of Sandy soil in the Rain-shadow area with bio-charcoal. **VRU Research and Development Journal Science and Technology**, 12(3), 27-38. (in Thai).

- Poovarodom, S. (2021). **Creating Durian Garden from Beginner to Professional**. Kehakaset. (in Thai).
- Pornamnuyap, D., & Suaysom, W. (2021). **Effect of Biochar on the Growth and Yield of Maize on Sloping Land in Soil Series Group No 55 Nan Province**. Retrieved from: <https://e-library.ldd.go.th/library/flip/bib10544f/bib10544f.html> (in Thai).
- Purkaystha, J., Prasher, S., Afzal, T. M., Nzediegwu, C., & Dhiman, J. (2022). Wheat straw biochar amendment significantly reduces nutrient leaching and increases green pepper yield in a less fertile soil. **Environmental Technology and Innovation**, 28(1), 1-16.
- Regional Commercial Affairs Division. (2022). **Durian**. Retrieved from: <https://regional.moc.go.th/th/file/get/file/20240618af6901156ca698425efd29b556b804b6093140.pdf>. (in Thai).
- Sirising, S., & Suksawang, O. (2013). Biochar application to soil improvement for agriculture. **Journal of Social Sciences and Humanities**, 39(2), 212-225. (in Thai).
- Suratthani Oil Palm Research Center. (2010). **Oil Palm Innovation**. Suratthani Oil Palm Research Center. (in Thai).
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., van der Velde, M., & Diafas, I. (2010). **Biochar Application to Soils**. European Communities.
- Tyopine, A. A. (2014). Comparative assessment of the nutritive value of compost rice husks and NPK branded inorganic fertilizers. **Science Journal of Agricultural Research and Management**, 274(1), 1-4.
- Yuan, J. H., & Xu, R. K. (2011). The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. **Soil Use and Management**, 27(1), 110-115.
- Zhang, C., Huang, X., Zhang, X., Wan, L., & Wang, Z. (2021). Effects of biochar application on soil nitrogen and phosphorous leaching loss and oil peony growth. **Agricultural Water Management**, 255(1), 1-13.