

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบเคมีของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทาง การเกษตรเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

Study of Microstructure and Chemical Composition of Biochar from Agricultural Waste for Soil Improving Materials

ชุมพล บุชบก¹ และ โยธิน กัลยาเลิศ^{2*}

¹ฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

^{2*} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์

*ผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) E-mail: yotin@vru.ac.th

Received: August 23,2021

Revised: September 15,2021

Accepted: October 1,2021

บทคัดย่อ

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบเคมีของถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ต้นไมยราบยักษ์ ฝักหางนกยูง และซังข้าวโพด เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ถ่านชีวภาพที่ใช้ในการศึกษานี้ได้จากการกระบวนการเผาแบบไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส ถ่านชีวภาพที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและองค์ประกอบเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง พบว่า โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากต้นไมยราบยักษ์ มีรูพรุนขนาดประมาณ 10 - 15 ไมโครเมตร โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากฝักต้นหางนกยูง มีรูพรุนขนาดประมาณ 40 - 50 ไมโครเมตร และในรูพรุนขนาดใหญ่ยังมีรูพรุนขนาดเล็กขนาด 2 - 10 ไมโครเมตร แทรกอยู่ และโครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด มีรูพรุนขนาดประมาณ 10 - 15 ไมโครเมตร องค์ประกอบเคมีของถ่านชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะคล้ายกัน คือประกอบด้วย คาร์บอนเป็นธาตุหลัก มีซิลิกอน แคลเซียมและโพแทสเซียมเป็นธาตุรอง แต่ปริมาณของโพแทสเซียมในถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดและฝักหางนกยูงมีปริมาณสูงกว่าถ่านชีวภาพจากต้นไมยราบยักษ์อย่างเห็นได้ชัด จากผลการวิเคราะห์นี้สามารถทำนายได้ว่า ถ่านชีวภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากมีความพรุนตัวสูงทำให้สามารถดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดี

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, โครงสร้างจุลภาค, วัสดุปรับปรุงดิน

Abstract

Study Microstructure and Chemical of biochar from agricultural waste such as giant mimosa, pride of barbados and corn cobs to be used as a soil improving materials. The biochars prepared from pyrolysis process at temperature 400-600°C. The biochars were studied morphology by scanning electron microscopy (SEM) and chemical composition by energy dispersive x-ray spectrometer (EDX). It was found that microstructure of biochar from giant mimosa, there are homogeneous pores on the surfaces its diameter about 10-15 micrometers. The pride of barbados biochars have homogeneous pores on the surfaces its diameter about 40-50 micrometers and inside the large pores have small pores about 2-10 micrometers and the corn cobs biochars have homogeneous pores about 10-15 micrometers. The chemical compositions all of biochar are analogous which consist of carbon as a main element and silicon, calcium and potassium as a second element. Potassium in corn cobs and pride of barbados biochars were significant higher than giant mimosa biochars. From these results, it can be predicted that the biochar of the three types of agricultural waste materials has suitable properties for use as soil improving materials. It is because high porosity which may good absorbed water and nutrient.

Keywords: Biochar, Agricultural waste, Microstructure, Soil improving materials

บทนำ

การปลูกพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงตามความต้องการนั้น ทำให้มีการใช้ปุ๋ยทั้งปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งอาจนำไปสู่การเสียสภาพของดิน น้ำ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ต้นทุนในการปลูกพืชของเกษตรกรเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ส่วนใหญ่พืชทุกชนิดมีความต้องการธาตุไนโตรเจน (N) ในปริมาณมาก นอกเหนือจากฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุอาหารหลักของพืชและเป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญต่อผลผลิตของพืช (อัญชลี นิลสุวรรณ, 2562) ปัจจุบันจึงมีการใช้วัสดุปลูกที่หลากหลายมากขึ้นเพื่อลดความชื้นและแร่ธาตุให้คงอยู่ในดิน ช่วยในการปรับคุณภาพดิน เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน เช่น การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ถ่านชีวภาพ (Biochar) เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดิน ยังสามารถปรับสภาพดินให้มีความเป็นกรดลดลง หรือยังสามารถใช้แก้ปัญหาน้ำที่มีสภาพความเป็นกรด (บุญรักษ์ กาญจนวรรณิษฐ์, 2560) ถ่านชีวภาพสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่หาได้โดยทั่วไป ทั้งเศษพืช เศษไม้ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ของเสีย

จากครัวเรือน ฯลฯ การเตรียมถ่านชีวภาพโดยการผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจน (Pyrolysis) ซึ่งจะช่วยให้ลดการสูญเสียคาร์บอนในสถานะก๊าซจากถ่านชีวภาพจึงทำให้ถ่านชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงถึงร้อยละ 50 ของวัตถุดิบในการผลิต (องค์ความรู้ถ่านชีวภาพ, 2557) คาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านชีวภาพ มีความเสถียรมาก มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด มีความพรุนสูง และเป็นของแข็งที่มีความคงตัว เหมาะสำหรับการลดการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ (International Biochar Initiative, 2016; Lehmann, 2007) นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมถ่านชีวภาพได้จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร มาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เพราะมีพื้นที่ผิวและความพรุนตัวสูง (Porosity) และสามารถดูดซับน้ำที่เป็นประโยชน์แก่พืช (Eykelbosh, Johnson, de Queiroz, Dalmagro, & Couto, 2014; Ulyett, Sakrabani, Kibblewhite, & Hann, 2014; Yao et al., 2012) มีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูง (Borchard, N., et al., 2012; Liang, B., et al., 2006 ; Cao, X., & Harris, W., 2010 ; Zhao, X.-r., Li, D., Kong, J., & Lin, Q.-m., 2014) มีค่าความเป็นกรดต่างที่สูงทำให้สามารถใช้เป็นวัสดุเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างของดินได้ (Houben, D., Evrard, L., & Sonnet, P., 2013 ; Li, X. M., et al., 2013 ; Ohsowski, B. M., et al., 2012) และสนับสนุนการเติบโตของ Mycorrhiza มีผิวให้โลหะหนักในดินเกาะติด เช่น สารหนู สารแคดเมียม สารตะกั่ว เป็นต้น (อรสา สุกสว่าง, 2561) วิธีการจัดการกับวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ของเกษตรกร คือการนำไปทิ้งไว้เพื่อให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ หรือเผาทิ้ง ซึ่งทั้ง 2 วิธี ล้วนก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการทิ้งไว้ให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติจะก่อให้เกิดเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ทั้งการย่อยสลายจะก่อให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งมีกลิ่นเหม็น ส่วนการเผาจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่เป็นสาเหตุที่สำคัญทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Ayhan D., 2004) นอกจากนี้ไบโอชาร์ยังได้รับความสนใจในแง่ของการนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยการใช้เป็นเครื่องมือกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดิน (Singh, Dolk, Shen, & Camps-Arbestain, 2017) โดยเฉพาะดินในภาคเกษตรกรรม ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพประเทศหนึ่งที่มีผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา ปาล์มและข้าวโพด การเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลการเกษตรเหล่านี้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือชีวมวลจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว แกลบ เศษไม้ยางพารา เหง้ามันสำปะหลัง กากอ้อยและ เศษข้าวโพด เศษข้าวโพดเป็นวัสดุที่มีปริมาณเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร ต้นไม้รายักษ์ที่เป็นวัชพืชรุกรานในการเกษตร และฝักของต้นหางนกยูงที่ยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์มากนัก ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นของเหลือทิ้งในการเกษตร

ผู้วิจัยจึงเห็นว่า การนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้ง มาผ่านการเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จะทำให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีความพรุนตัวสูง แล้วจึงนำถ่านชีวภาพที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้ง ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

วัตถุประสงค์

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบเคมีของถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

วิธีการวิจัย

เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรถูกนำมาเผาด้วยกระบวนการเผาแบบไพโรไลซิส โดยนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ชั่งน้ำหนักก่อน-หลัง ตากแดดเป็นเวลา 5 วัน นำไปวัดค่าความชื้น นำเศษวัสดุเหลือทิ้งที่แห้งแล้วบรรจุในถังขนาด 20 ลิตร จนเต็มถึงปิดฝาด้านบน ล็อกให้แน่นยาแนวด้วยดินเหนียว ตามรอยฝาถังที่ปิด แล้วนำไปใส่ในเตาเผาถึงน้ำมัน 200 ลิตร เเผาที่ 400- 600 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ปิดปล่องควัน และปิดหน้าเตาเผาถึงน้ำมัน 200 ลิตร ทิ้งไว้ 1 วัน จากนั้นนำถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ออกจากเตาเผา วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และองค์ประกอบทางเคมีด้วย energy dispersive x-ray spectrometer (EDX)



a



b



c

ภาพที่ 1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ต้นไมยราบยักษ์ (a) ฝักหางนกยูง (b) และซังข้าวโพด (c)



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และองค์ประกอบทางเคมีด้วย energy dispersive x-ray spectrometer (EDX)

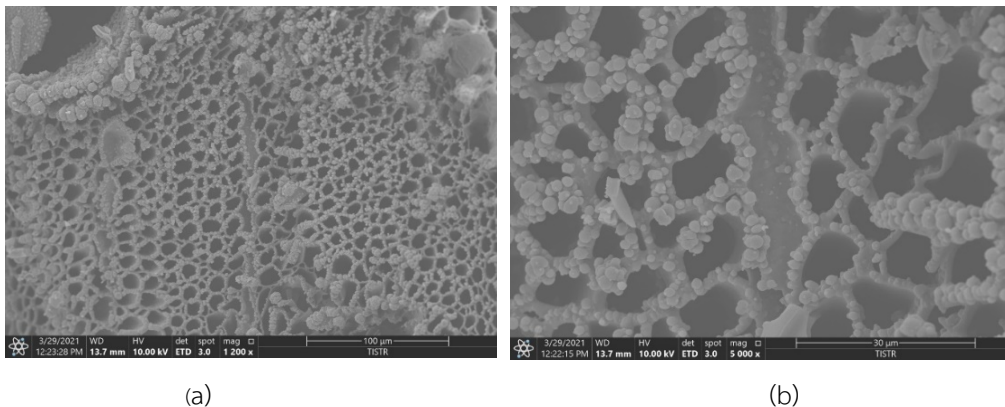
กรอบแนวคิด



ผลและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาถ่านชีวภาพจากไมยราบยักษ์

ไมยราบยักษ์ที่นำมาเผาถ่านชีวภาพมีค่าความชื้นร้อยละ 54 โดยน้ำหนัก หลังจากตากแดดให้แห้งแล้วนำมาเผาด้วยกระบวนการเผาแบบไพโรไลซิส ถ่านชีวภาพจากต้นไมยราบยักษ์ ไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดย SEM และ EDX ผลดังแสดงในภาพที่ 3 และตารางที่ 1



ภาพที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากต้นไมยราบยักษ์ (a) x 1,200, และ (b) x 5,000

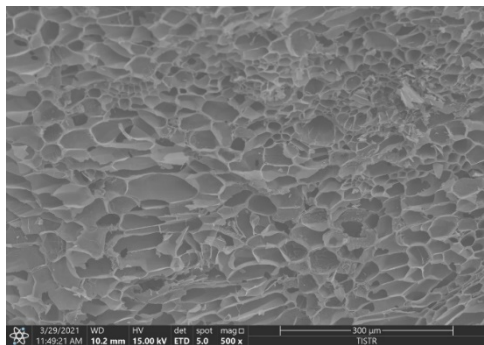
จากภาพที่ 3 (a) ที่กำลังขยาย 1,200 เท่า พบว่าโครงสร้างจุลภาคถ่านชีวภาพของต้นไมยราบยักษ์มีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกันแน่นหนา เมื่อเพิ่มกำลังขยายที่ 5,000 เท่า พบว่ามีรูพรุนขนาดใหญ่มีผลึกเกาะตามพื้นผิว และมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 10-15 ไมโครเมตร

ตารางที่ 1 ธาตุองค์ประกอบในถ่านชีวภาพจากไมยราบยักษ์

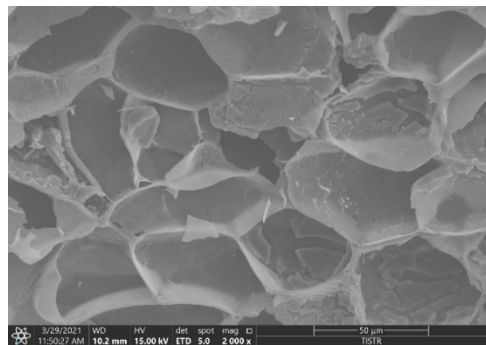
ธาตุองค์ประกอบ	ปริมาณ (%wt)
Carbon (C)	91.45
Silicon (Si)	4.65
Calcium (Ca)	2.49
Potassium (K)	0.35
Aluminium (Al)	1.06

ผลการศึกษาถ่านชีวภาพจากผักตบชวา

ผักตบชวามีค่าความชื้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก หลังจากการเผาด้วยกระบวนการเผาแบบไพโรไลซิส นำถ่านชีวภาพจากผักตบชวาไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดย SEM และองค์ประกอบเคมีด้วย EDX ผลดังแสดงในภาพที่ 4 และตารางที่ 2



(a)



(b)

ภาพที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากผักตบชวา (a) x 500 และ (b) x2,000

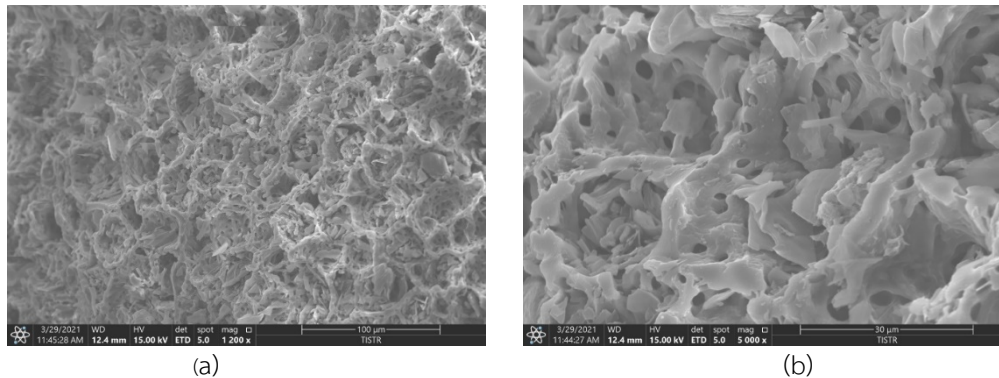
จากภาพที่ 4 (a) ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าโครงสร้างจุลภาคถ่านชีวภาพของผักตบชวามีลักษณะเป็นแผ่นซ้อน 2 ชั้น แน่นหนา เมื่อเพิ่มกำลังขยายที่ 2,000 เท่า พบว่ามีรูพรุนขนาดใหญ่ และมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 40-50 ไมโครเมตร ดังภาพ 4 (b) และมีรูพรุนขนาดเล็กประมาณ 10-20 ไมโครเมตรซ้อนอยู่ในรูพรุนขนาดใหญ่

ตารางที่ 2 ธาตุองค์ประกอบในถ่านชีวภาพจากผักตบชวา

ธาตุองค์ประกอบ	ปริมาณ (%wt)
Carbon (C)	88.62
Silicon (Si)	3.65
Calcium (Ca)	2.17
Potassium (K)	4.70
Aluminium (Al)	0.86

ผลการศึกษาถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด

ซังข้าวโพด มีค่าความชื้นที่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก หลังจากการเผาด้วยกระบวนการเผาแบบไพโรไลซิส นำถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดย SEM และองค์ประกอบเคมีด้วย EDX ผลดังแสดงในภาพที่ 5 และตารางที่ 3



ภาพที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากชังข้าวโพด (a) $\times 1,200$ และ (b) $\times 5,000$

จากภาพที่ 5 (a) ที่กำลังขยาย 1,200 เท่า พบว่าโครงสร้างจุลภาคถ่านชีวภาพของชังข้าวโพด มีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกันหนาแน่น เมื่อเพิ่มกำลังขยายที่ 5,000 เท่า พบว่ามีรูพรุนขนาดใหญ่ และมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 10-15 ไมโครเมตร กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของถ่านชีวภาพ ดังภาพ 5 (b)

ตารางที่ 3 ธาตุองค์ประกอบในถ่านชีวภาพจากชังข้าวโพด

ธาตุองค์ประกอบ	ปริมาณ (%wt)
Carbon (C)	86.75
Silicon (Si)	4.06
Calcium (Ca)	2.78
Potassium (K)	5.77
Aluminium (Al)	0.64

จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบเคมีของถ่านชีวภาพทั้ง 3 ชนิด พบว่า ถ่านชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มีขนาดรูพรุนใกล้เคียงกัน ลักษณะรูพรุนของฝักต้นหางนกยูงมีความซับซ้อนมากกว่าคือ มีรูพรุนขนาดเล็กซ้อนรูพรุนขนาดใหญ่อยู่อีกชั้นหนึ่ง เมื่อพิจารณาองค์ประกอบเคมี พบว่าโพแทสเซียมในถ่านชีวภาพจากฝักต้นหางนกยูงและชังข้าวโพดมีปริมาณสูงกว่าถ่านชีวภาพจากต้นไมยราบยักษ์อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก ฝักต้นหางนกยูงและชังข้าวโพดเป็นส่วนประกอบของผล ซึ่งผลของพืชมีธาตุโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญ

จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากต้นไมยราบยักษ์ ถ่านชีวภาพจากชังข้าวโพด ถ่านชีวภาพจากฝักต้นหางนกยูง มีลักษณะเป็นรูพรุน ที่สามารถจับกับธาตุอาหารและกักเก็บความชื้นไว้ได้ (Daosukho, S., Kongkeaw, A., & Oengeaw, U., 2012) ที่มีพื้นที่ผิวและความพรุนสูง ทำให้สามารถดูดซับน้ำที่เป็น

ประโยชน์แก่พืช (Eykelbosh, Johnson, de Queiroz, Dalmagro, & Couto, 2014; Ulyett, Sakrabani, Kibblewhite, & Hann, 2014; Yao et al., 2012) ทำให้สามารถใช้เป็นวัสดุเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างของดินได้ (Houben, D., Evrard, L., & Sonnet, P., 2013 ; Li, X. M., et al., 2013 ; Ohsowski, B. M., et al., 2012) จึงนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ผสมกับดินทำให้ได้อินทรีย์วัตถุที่เหมือนถ่านไม้ มีส่วนช่วยในการชะลอการสูญเสียไนเตรตได้ เพราะลักษณะของรูพรุนทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวที่จะถูกเคลือบด้วยสารลดแรงตึงผิวได้ (อัญชลี นิลสุวรรณ และลดา มัทธูรศ, 2562 ; Kallayasiri, W., & Wijitkosum, S., 2013) การใส่ถ่านชีวภาพมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว จากการศึกษาทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และผลผลิตข้าวได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าวเพียงอย่างเดียว และจากการศึกษาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของสารละลายร่วมกับ ปุ๋ยเม็ด ซึ่งประกอบด้วย ไนเตรตแอมโมเนียมและยูเรีย พบว่าช่วยทำให้ดินคงความชื้นไว้ได้และทำให้บริเวณรากพืชได้รับธาตุไนโตรเจนโดยตรง ส่งผลให้ต้นมะเขือเทศเจริญเติบโตได้ดี (Farneselli, M., et al., 2015) การใช้ถ่านชีวภาพเป็นอีกวิธีที่ช่วยปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของดิน ถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์เป็นอินทรีย์วัตถุที่ผ่านกระบวนการเผาแบบไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนต่ำอย่างช้า ๆ ทำให้ได้อินทรีย์วัตถุที่เหมือนถ่านไม้ มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลัก มีความคงตัวสูง และมีลักษณะเป็นรูพรุน ที่สามารถจับกับธาตุอาหารและกักเก็บความชื้นไว้ได้ สามารถเตรียมได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ได้แก่ เปลือกทุเรียน ชังข้าวโพด แกลบ เศษไม้ กะลา ไม้ไผ่ และรำข้าวสาลี เป็นต้น (Daosukho, S., Kongkeaw, A., & Oengeaw, U., 2012).

สรุปผลการวิจัย

ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพด้วย SEM พบว่าโครงสร้างจุลภาคถ่านชีวภาพจากชังข้าวโพด มีรูพรุนอยู่ในช่วง 10 – 15 ไมโครเมตร และลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกันแน่นหนา เมื่อเพิ่มกำลังขยายมากขึ้น พบว่ามีรูพรุน กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของถ่านชีวภาพ อีกทั้งในรูพรุนขนาดใหญ่ยังมีรูพรุนขนาดเล็กแทรกอยู่ โดย ถ่านชีวภาพจากต้นไมยราบยักษ์ กับถ่านชีวภาพจากชังข้าวโพด มีรูพรุนอยู่ในช่วง 10 – 15 ไมโครเมตร และ ถ่านชีวภาพของฝักต้นหางนกยูง มีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 40-50 ไมโครเมตร และมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอน องค์ประกอบรองได้แก่ ซิลิกอน แคลเซียมและโพแทสเซียม จากผลการศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มีรูพรุนสูง ทั้งในรูพรุนขนาดใหญ่ยังมีรูพรุนขนาดเล็กแทรกอยู่ ซึ่งรูพรุนสามารถจับกับธาตุอาหารและกักเก็บความชื้นไว้ได้ ซึ่งถ่านชีวภาพจากชังข้าวโพด มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด ที่เป็นธาตุอาหารหลักของพืช และมีรูพรุนที่เป็นแผ่นซ้อนกันหนาแน่นและกระจายตัวสม่ำเสมอ จึงถ่านชีวภาพที่ดีที่สุดใน 3 ชนิดนี้ ที่จะนำมาช่วยปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของดินในการเกษตร หรือนำคุณสมบัติของรูพรุนมาดูดซับปุ๋ยในการเพาะปลูก

เอกสารอ้างอิง

- บุญรักษ์ กาญจนวรรณิษฐ์. (2560). *สารหน้ารู้: แก้วแกลบ ของเหลือสารพัดประโยชน์*. สืบค้นจาก <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/865>
- เสาวคนธ์ เหมวงษ์. (2557). ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจน ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 14(1): 69-75.
- อัญชลี นิลสุวรรณ และลดา มัทธูรศ. (2562) ผลของวัสดุปลูกชนิดแกลบที่ปรับปรุงการดูดซับไนเตรตด้วยสารลดแรงตึงผิวต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติด้วยลักษณะวิจัย ครั้งที่ 11*. (น. 1-9). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- องค์ความรู้ถ่านชีวภาพ. (2557). *ถ่านชีวภาพ*. เพชรบุรี: ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- อรสา สุกสว่าง. (2561). *ประโยชน์และแนวทางการใช้ไบโอชาร์ (ถ่านชีวภาพ) สำหรับเกษตรกรอินทรีย์ไทย*. ในการประชุม BioFach South East Asia 12 – 14 กรกฎาคม 2561, กรุงเทพมหานคร.
- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., & Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202, 183-191.
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., & Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1-2), 81-84.
- Ayhan D., (2004). Determination of calorific values of bio-chars and pyro-oils from pyrolysis of beech Trunkbarks. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72: 215-219.
- Borchard, N., Wolf, A., Laabs, V., Aeckersberg, R., Scherer, H. W., Moeller, A., & Amelung, W. (2012). Physical activation of biochar and its meaning for soil fertility and nutrient leaching - a greenhouse experiment. *Soil Use and Management*, 28(2), 177-184.
- Cao, X., & Harris, W. (2010). Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresource Technology*, 101(14), 5222-5228.
- Daosukho, S., Kongkeaw, A., & Oengeaw, U. (2012). The development of durian shell biochar as a nutrition enrichment medium for agricultural purpose: part 1 chemical and physical characterization. *Bulletin of Applied Sciences Department of Science Service*, 1(1), 133-141.

- Eykelbosh, A.J., Johnson, M.S., Queiroz, E.S.d, Dalmagro, H.J., & Couto, E.G. (2014). Biochar from sugarcane filtercake reduces soil CO₂ emissions relative to raw residue and improves water retention and nutrient availability in a highly-weathered tropical soil. *Plos one*, 9(6), 1-9.
- Farneselli, M., Benincasa, P., Tosti, G., Simonne, E., Guiducci, M., & Tei, F. (2015). High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply. *Agricultural Water Management*, 154, 52-58.
- Houben, D., Evrard, L., & Sonnet, P. (2013). Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar. *Chemosphere*, 92(11), 1450-1457.
- International Biochar Initiative. (2015). *Standardized Product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil*. Retrieved from [https:// www.biochar-international.org/wp-content/uploads/ 2018/ 04/ IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf)
- Johannes, L. (2007). A handful of carbon. *Nature*, 447(7141), 143-144.
- Kallayasiri, W., & Wijitkosum, S. (2013). The effect of biochar on improvement of macronutrients in sandy clay used for growing upland rice. *In the 3rd international conference on sciences and social sciences 2013: research and development for sustainable life quality*. Maha Sarakham: Rajabhat MahaSarakhm University.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., & Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil science society of america journal*, 70(5), 1719-1730.
- Li, X.M., Shen, Q.R., Zhang, D.Q., Mei, X.L., Ran, W., Xu, Y.C., & Yu, G.H. (2013). Functional groups determine biochar properties (pH and EC) as studied by two-dimensional C-13 NMR correlation spectroscopy. *Plos one*, 8(6). 1-7.
- Morales, M.M., Comerford, N., Guerrini, I.A., Falcao, N.P.S., & Reeves, J.B. (2013). Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. *Soil Use and Management*, 29(3), 306-314.
- Ohlowski, B.M., Klironomos, J.N., Dunfield, K.E., & Hart, M.M. (2012). The potential of soil amendments for restoring severely disturbed grasslands. *Applied Soil Ecology*, 60(0), 77-83.

- Ulyett, J., Sakrabani, R., Kibblewhite, M., & Hann, M. (2014). Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. *European Journal of Soil Science*, 65(1), 96-104.
- Singh, B., Dolk, M. M., Shen, Q., & Camps-Arbestain, M. (2017). Chapter 3: *Biochar pH, electrical conductivity and liming potential*. Biochar: A Guide to Analytical Methods, (p.23). Australia: Csiro Publishing.
- Yao, Y., Gao, B., Chen, H., Jiang, L., Inyang, M., Zimmerman, A. R., & Li, H. (2012). Adsorption of sulfamethoxazole on biochar and its impact on reclaimed water irrigation. *Journal of Hazardous Materials*, 209–210(0), 408-413.
- Zhao, X.-r., Li, D., Kong, J., & Lin, Q.-m. (2014). Does biochar addition influence the change points of soil phosphorus leaching. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(3), 499-506.