

การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส

DEVELOPMENT OF BIOCHARCOALS FROM DURIAN PEELS

FOR PHOSPHORUS FERTILIZER ADSORPTION

โยธิน กัลยาเลิศ^{1,*}, ปญญธิดา กาเยาว์², เอกชัย จงเสรีเจริญ¹ และ ขนิษฐา ภมรพล¹Yotin kallayalert^{1,*}, Punyathida Kayao², Ekachai Chongsereecharoen¹and Kanittha Pamonpol¹¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์¹ Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage² สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง² School of Health Science, Mae Fah Luang University

Received: 24 July 2025

Revised: 25 August 2025

Accepted: 26 August 2025

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส ที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้จากกระบวนการเผาแบบไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส แล้วนำถ่านชีวภาพที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง (EDS) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) แล้วนำถ่านชีวภาพไปทดสอบการดูดซับฟอสฟอรัสที่เวลา 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบเฟสคาร์บอนอสัณฐาน และแกรไฟต์ นอกจากนี้ยังพบโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบโครงสร้าง

* Corresponding author: โยธิน กัลยาเลิศ

E-mail: yotin@vru.ac.th

จุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 10-20 μm และมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ ซึ่งมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 5-10 μm ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของถ่านถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย EDS พบว่า มีคาร์บอนร้อยละ 51.96 เป็นธาตุหลัก รองลงมา ได้แก่ ออกซิเจน ร้อยละ 28.07 โพแทสเซียม ร้อยละ 12.58 แมกนีเซียม ร้อยละ 1.74 และฟอสฟอรัส ร้อยละ 1.64 และผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) โดยใช้ Gas adsorption ซึ่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) 113 ตารางเมตรต่อกรัม เวลาในการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน มีค่ามากที่สุด คือเวลาดูดซับที่ 20 ชั่วโมง มีค่าดูดซับฟอสฟอรัส ที่ร้อยละ 7.60

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน, การดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส, การเผาแบบไพโรไลซิส

Abstract

Biochar from durian peels in this study for phosphorus fertilizer adsorption was obtained through a pyrolysis process at temperatures of 400-600 °C. The prepared biochar was analyzed for the crystalline structure using X-ray diffraction (XRD), the morphology by scanning electron microscopy (SEM), the elemental composition via energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), and the surface area using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) technique. The biochar conducted phosphorus adsorption examination at intervals of 0.5, 1, 5, 10, and 20 hours. Subsequently, the investigation of the crystal structure of biochar derived from durian peel by XRD indicates the existence of amorphous carbon and graphite phases. Furthermore, potassium aluminum silicate is found as well. The SEM results show that the biochar exhibited pore diameters between 10 and 20 micrometers (μm), as well as smaller pores (5-10 μm) situated inside larger ones. The elemental composition study by using EDS shows that carbon contains 51.96%, followed by oxygen at 28.07%, potassium at 12.58%, magnesium at 1.74%, and phosphorus at 1.64%. The analysis of surface area

with BET method through gas adsorption reveals that the specific surface area of biochar derived from durian peel is $113 \text{ m}^2/\text{g}$. Moreover, the optimal time for phosphorus adsorption of biochar from durian peels is 20 hours, with a phosphorus adsorption value of 7.60%.

Keywords: Biochar from durian peels, Phosphorus fertilizer absorption, pyrolysis

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีพื้นที่เขตเกษตรกรรม 153,184,527 ไร่ หรือร้อยละ 47.77 ของพื้นที่ประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2562) เพื่อให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตมากขึ้นจึงมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์เพิ่มมากขึ้น นำไปสู่การเสียสภาพของดินกลายเป็นดินแข็งและแน่น ดินเป็นกรด ทำให้การดูดซึมธาตุอาหารของพืชลดน้อยลง อีกทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีในการทำการเกษตรยังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อม (สุภาวดี หนูสิน, 2564) การเพิ่มปริมาณการใช้ปุ๋ยทำให้ต้นทุนในการปลูกพืชของเกษตรกรเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยส่วนใหญ่พืชทุกชนิดมีความต้องการธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชและเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลผลิตของพืช (อัญชลี นิลสุวรรณ และ ลดา มัทธูรศ, 2562) การใช้ปุ๋ยเคมีจำนวนมากส่งผลทำให้เกิดการขาดแคลนปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยฟอสเฟต ส่งผลให้ราคาปุ๋ยแพงขึ้น ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนในการทำการเกษตรมากขึ้น เนื่องจากต้องนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ (สุภาวดี หนูสิน, 2564) จึงมีการใช้วัสดุที่หลากหลายที่ช่วยในการปรับปรุงสภาพดิน เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

ถ่านชีวภาพ (Biochar) เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดิน ยังสามารถปรับสภาพดินให้มีความเป็นกรดลดลง หรือยังสามารถใช้แก่น้ำที่มีสภาพความเป็นกรด (บุญรักษ์ กาญจนวรรณชัย, 2560) สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่หาได้โดยทั่วไป ทั้งเศษพืช เศษไม้ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ของเสียจากครัวเรือน การเตรียมถ่านชีวภาพโดยการผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจน (Pyrolysis) ซึ่งจะทำให้ลดการสูญเสียคาร์บอนในสถานะก๊าซจากถ่านชีวภาพจึงทำให้ถ่านชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณ

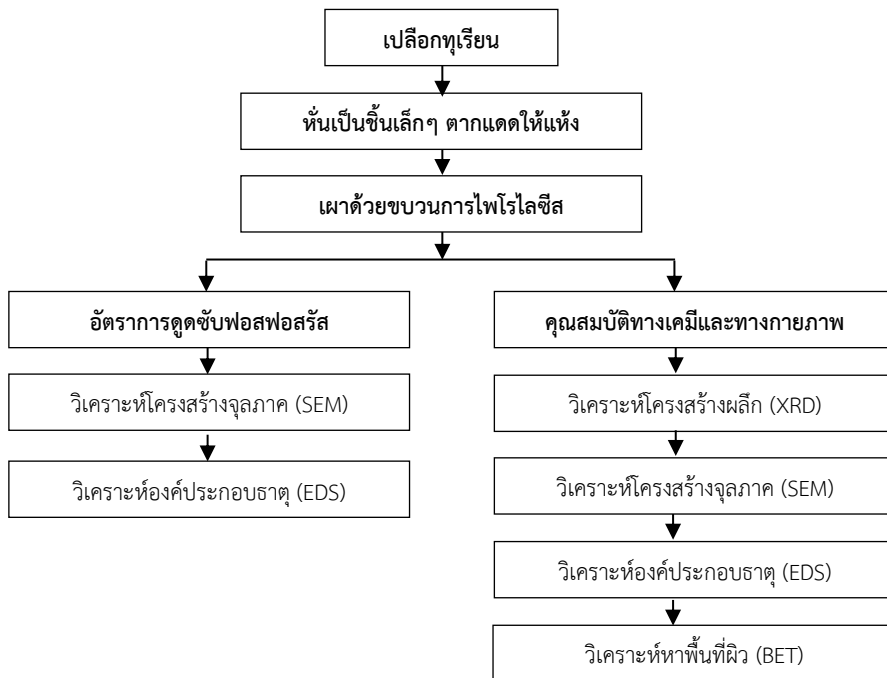
คาร์บอนคงตัวสูงถึงร้อยละ 50 ของวัตถุดิบในการผลิต (องค์ความรู้ถ่านชีวภาพ, 2557) คาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านชีวภาพ มีความเสถียรมาก มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียด มีความพรุนสูง และเป็นของแข็งที่มีความคงตัว (Sohi, 2009) วัสดุเหลือทิ้งที่นิยมนำมาพัฒนาเป็นถ่านชีวภาพ เช่น กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด เปลือกมะพร้าว เปลือกขนุน ไม้มะกอก เมล็ดมะกอก เปลือกปาล์มน้ำมัน แกลบข้าว และกากกาแฟ (Ahmedna et al., 2000) เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Saygili et al., 2015) ถ่านชีวภาพได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เพราะมีพื้นที่ผิวและความพรุนตัวสูง (Porosity) ดูดซับได้ดีสามารถนำมาใช้ดูดซับปุ๋ยเพื่อให้เกิดอัตราการละลายที่ช้าลง และสามารถดูดซับน้ำที่เป็นประโยชน์แก่พืช (Eykelbosh et al., 2014; Ulyett et al., 2014; Yao et al., 2012) มีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูง (Borchard et al., 2012; Liang et al., 2006; Morales et al., 2013; Zhao et al., 2014)

เปลือกทุเรียนเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากที่กลายเป็นขยะที่ส่งกลิ่นเหม็น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการจัดการคือการนำไปทิ้งให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค จะก่อให้เกิดก๊าซมีเทน หรือเผาทิ้งทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นสาเหตุที่สำคัญทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Ioannidou & Zabaniotou, 2007) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเปลือกทุเรียนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเผาแบบไพโรไลซิส เพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีความพรุนตัวและพื้นที่ผิวสูง แล้วจึงนำถ่านชีวภาพที่ได้จากเปลือกทุเรียนไปดูดซับกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ และทดสอบอัตราการดูดซับของฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพเพื่อพัฒนาให้เป็นวัสดุดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ในการเกษตรต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน
2. เพื่อศึกษาการดูดซับฟอสฟอรัสด้วยถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยนำเปลือกทุเรียนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำความสะอาดและหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปตากแดดให้แห้ง นำมาเผาแบบไพโรไลซิส จากนั้นนำถ่านชีวภาพที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของบริษัท Shimadzu corporation รุ่น 6000 วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM-T330A ของบริษัท Jeol ที่เชื่อมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง (EDS) และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) ของบริษัท Quantachrome รุ่น Autosorb iQ นำถ่านชีวภาพที่ได้จากเปลือกทุเรียนไปดูดซับกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ที่เวลา 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง แล้วนำถ่านมาทดสอบอัตราการดูดซับของฟอสฟอรัสด้วยการ

วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยการวัดพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่หลุดออกมาจากตัวอย่าง (EDS) ดังขั้นตอนการวิจัยต่อไปนี้

1. เตรียมเปลือกทุเรียนและทำให้แห้ง โดยทำความสะอาดเปลือกทุเรียน หั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 5-10 เซนติเมตร แล้วนำไปตากแดดให้แห้งสนิท จนน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเตรียมเปลือกทุเรียนและทำให้แห้ง

2. นำเปลือกทุเรียนไปเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยนำเปลือกทุเรียนที่แห้งแล้วบรรจุในถังขนาด 20 ลิตร จนเต็มถัง ปิดฝาด้านบนล็อกให้แน่น ยานวดด้วยดินเหนียวตามรอยฝาถังที่ปิด แล้วนำไปใส่ในเตาเผาถึงน้ำมัน 200 ลิตร เเผาที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปิดปล่องควันและปิดหน้าเตาเผาถึงน้ำมัน 200 ลิตรทิ้งไว้ 1 วัน ดังรูปที่ 3



(ก)



(ข)



(ง)

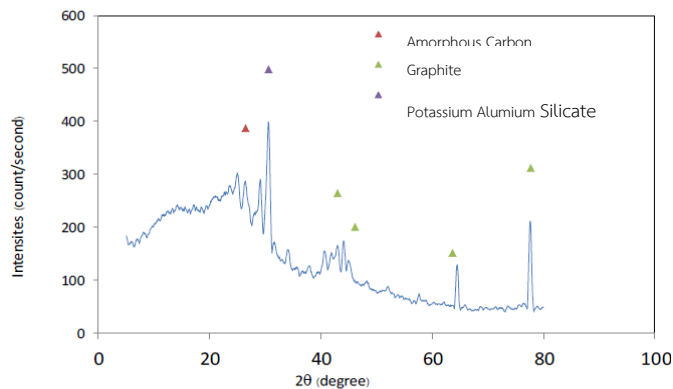
รูปที่ 3 การเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

(ก) เปลือกทุเรียนในถัง 20 ลิตร (ข) วัดอุณหภูมิในการเผา (ค) ถ่านที่ได้จากการเผา

3. นำถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วย (EDS) และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) แล้วนำถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนไปทดสอบการดูดซับฟอสฟอรัสที่เวลา 0.5 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง 5 ชั่วโมง 10 ชั่วโมงและ 20 ชั่วโมง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของสารที่ถูกดูดซับฟอสฟอรัสบนผิวของถ่านชีวภาพด้วย (EDS)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

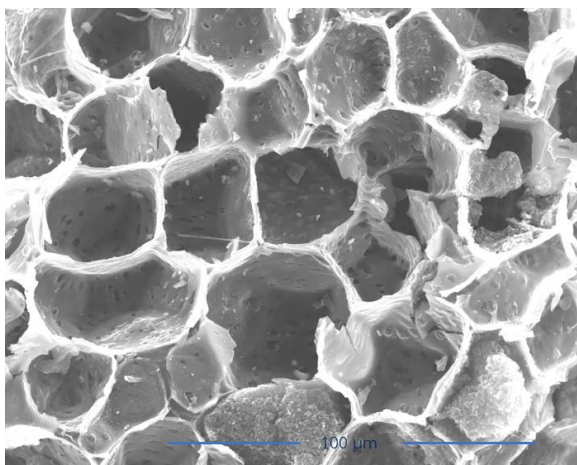


รูปที่ 4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย XRD

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย XRD มุมที่ทำให้การวัดเท่ากับ 2θ พบเฟส คาร์บอนอสัณฐานที่มุม 24° แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนยังไม่ได้เปลี่ยนเฟสกลายเป็นผลึก และพบแกรไฟต์ที่มุม 42° , 45° , 65° และมุม 78° นอกจากนั้นยังพบโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มุม 30° ซึ่งสอดคล้องกับ Kumar et al. (2015) ที่การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมส่วนใหญ่ที่มุม 24° และที่มุม 43° เป็นโครงสร้างของคาร์บอนอสัณฐาน จากรูปที่ 4 ยังพบลักษณะของพีคที่เกิดขึ้นมีฐานพีคกลางและยอดพีคไม่สูงแหลม ทำให้คาร์บอนมีการจัดเรียงตัวเป็น ออสัณฐานมีโครงสร้างเกาะกันไม่เป็นระเบียบ (aromatic

layer) (Ma & Ouyang, 2013) สามารถอธิบายได้ว่า ระหว่างการให้ความร้อนเกิดการจัดเรียงตัวของคาร์บอนเป็นชั้นระนาบของแกรไฟต์และในระหว่างการคาร์บอนไนซ์จะมีการกระจายตัวของโครงสร้างแกรไฟต์ (Li et al., 2007; Liou, 2010; Li et al., 2014) และสอดคล้องกับ Christina et al. (2012) การให้ความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้มีผลึกขนาดเล็กของแกรไฟต์มีความสมบูรณ์ขึ้นและส่งผลกระทบต่อพื้นที่ผิวดังที่ศึกษาไว้

2. ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

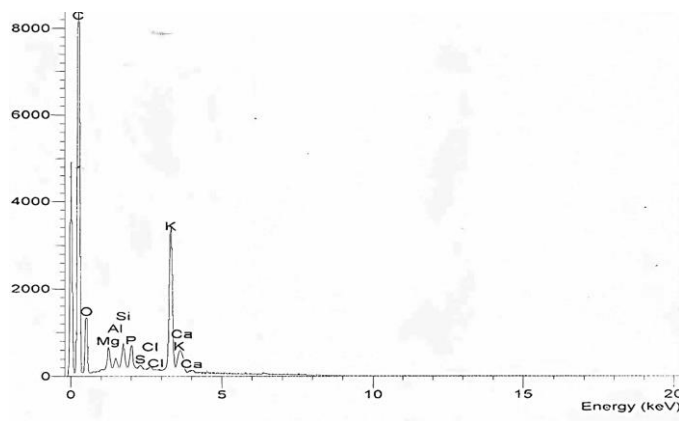


รูปที่ 5 ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าโครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 10-20 ไมโครเมตร และพบว่ามีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ในช่วง 5-10 ไมโครเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประไพพิศ ศรีมวณต์ และคณะ (2564) ที่ศึกษาถ่านชีวภาพจากไม้ประดู่ ซึ่งมีรูพรุนอยู่ในช่วง 0.4-15 ไมโครเมตร ซึ่งรูพรุนส่วนใหญ่จะเป็นรูพรุนขนาดกลาง (mesopore) และรูพรุนขนาดใหญ่ (macropor) เช่นเดียวกับ รัตชล อ่างมณี และคณะ (2560) ได้ศึกษาถ่านไบโอชาร์จากเศษข้าวโพดจะมีลักษณะช่องว่างกึ่งกลมกึ่งรี ขนาดของช่องว่างไม่สม่ำเสมอ แต่มีความพรุนตัวสูง ขนาดของช่องว่างมีขนาด

ตั้งแต่ 20 ถึง 110 ไมโครเมตร Dhar et al., 2022 เช่นเดียวกับ กิตติชัย โสพันนา และ ธนากร อุทัยดา (2552); ภควดี สุขอนันต์ (2551) ที่ศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมใช้ในการเผาอยู่ที่ $350 - 700^{\circ}\text{C}$ ที่ จากขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เตรียมได้ มีขนาดอยู่ในช่วง 10-20 ไมโครเมตร และมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ในช่วง 5-10 ไมโครเมตร จะมีแนวโน้มที่ดีต่อการดูดซับฟอสฟอรัส

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย (EDS)



รูปที่ 6 องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย EDS

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนด้วย EDS

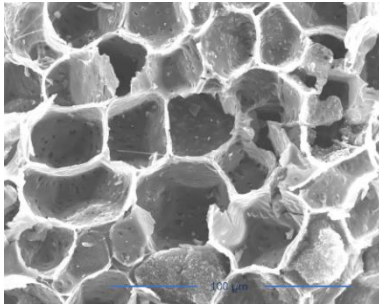
ธาตุ	ร้อยละโดยมวล
คาร์บอน (C)	51.96
ออกซิเจน (O)	28.07
แมกนีเซียม (Mg)	1.74
อะลูมิเนียม (Al)	0.87
ซิลิกอน (Si)	1.21
ฟอสฟอรัส (P)	1.64
ซัลเฟอร์ (S)	0.27
คลอรีน (Cl)	0.19
โพแทสเซียม (K)	12.58
แคลเซียม (Ca)	1.46
รวม = 100	

องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน โดย EDS พบว่า มีคาร์บอน ร้อยละ 51.96 เป็นธาตุหลัก รองลงมาคือ ออกซิเจน ร้อยละ 28.07 โฟสเฟอรัส ร้อยละ 12.58 แมกนีเซียม ร้อยละ 1.74 โพสฟอรัส ร้อยละ 1.64 แคลเซียม ร้อยละ 1.46 ซิลิกอน ร้อยละ 1.21 อะลูมิเนียม ร้อยละ 0.87 ซัลเฟอร์ ร้อยละ 0.27 และคลอรีน ร้อยละ 0.19 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 สอดคล้องกับ รัตถชล อ่างมณี และคณะ (2560) โดยถ่านชีวภาพควรมีคาร์บอน เป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 50 โดยอะตอม ขึ้นอยู่กับชีวมวลที่นำมาผลิต (Ahmedna et al., 2000)

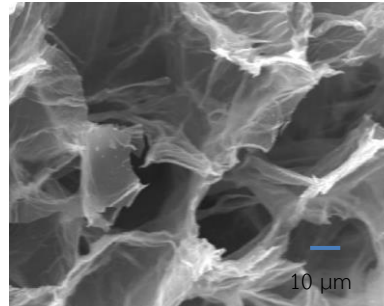
4. ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET)

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยก๊าซ Gas adsorption ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) 113 ตารางเมตรต่อกรัม ดังรูปที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับ ภควดี สุขอนันต์ (2551) ที่ศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ที่ 700 °C มีพื้นที่ผิวในช่วง 151 – 208 ตารางเมตร/กรัม เช่นเดียวกับ รัตถชล อ่างมณี และคณะ (2560) ที่ศึกษาสมบัติของชีวภาพจากเศษข้าวโพด พบว่า มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ 93.36 ตารางเมตร/กรัม

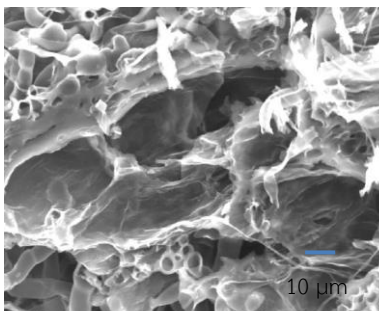
5. ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เวลา 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะเห็นว่าฟอสฟอรัส ถูกดูดซับด้วยผิวของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ปริมาณมากขึ้นตามเวลา ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีรูพรุนอยู่ในช่วง 5-20 μm มีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ ทำให้รูพรุนของถ่านสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ เมื่อนำไปใช้ในการเกษตรจะทำให้ฟอสฟอรัสค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกจากรูพรุนของถ่าน จะหลงเหลือถ่านชีวภาพ



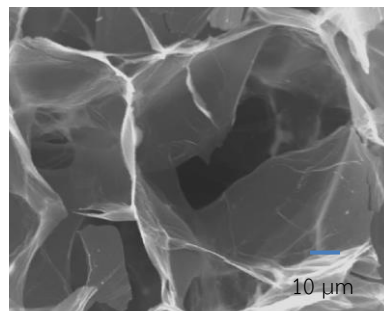
ก. ถ่านชีวภาพ 0 ชั่วโมง



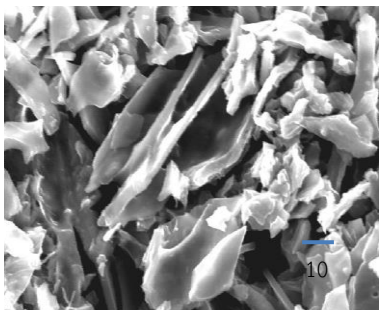
ข. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 0.5 ชั่วโมง



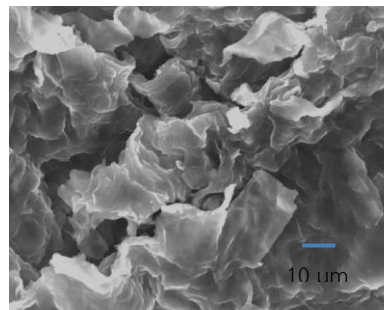
ค. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 1 ชั่วโมง



ง. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 5 ชั่วโมง



จ. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 10 ชั่วโมง



ฉ. ถ่านชีวภาพดูดซับฟอสฟอรัส 20 ชั่วโมง

รูปที่ 7 ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่ 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง

ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการเกษตรจะทำให้ฟอสฟอรัสค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกจากรูพรุนของถ่าน จะหลงเหลือถ่านชีวภาพ ซึ่งถ่านยังมีพื้นที่ผิวมาก มีรูพรุน และมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช (พินิจภณ ปิตุยะ และ อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์, 2560; อโณทัย โกวิทย์วิวัฒน์ และคณะ, 2562; Sriburi & Wijitkosum, 2016; Wijitkosum & Sriburi, 2018; Yu

et al., 2019) ซึ่งถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนล้วนมีคุณสมบัติที่เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ทั้งการเพิ่มค่าการดูดซึมน้ำ การแลกเปลี่ยนประจุบวกเพื่อยึดธาตุอาหาร เพื่อเพิ่มธาตุอาหารในดินโดยตรง ไรต์ทอล อ่างมณี และคณะ (2560) เช่นเดียวกับ (Zhang et al., 2010) ที่ใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงคุณภาพดินต่อคุณภาพดิน ผลผลิตข้าว และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในดินนาของประเทศจีน พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพช่วยให้ข้าวมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ยังช่วยกักเก็บคาร์บอนรูปของแข็งลงในดินและลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกลงได้

6. ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เวลา 0, 0.5, 1, 5, 10 และ 20 ชั่วโมง ด้วยการวิเคราะห์ห่อจค์ประกอบธาตุ (EDS)

ตารางที่ 2 ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ด้วยการวิเคราะห์ห่อจค์ประกอบธาตุ (EDS)

ธาตุ	เวลาในการดูดซับ (ชั่วโมง) / ร้อยละโดยมวล					
	0	0.5	1	5	10	20
คาร์บอน (C)	51.96	72.78	73.63	65.40	63.99	65.73
ออกซิเจน (O)	28.07	18.94	13.94	25.56	25.14	20.07
แมกนีเซียม (Mg)	1.74	0.46	1.27	0.72	1.57	1.37
อะลูมิเนียม (Al)	0.87					
ซิลิกอน (Si)	1.21					
ฟอสฟอรัส (P)	1.64	2.77	4.99	6.14	6.40	7.60
ซัลเฟอร์ (S)	0.27	0.38		0.21	0.34	0.20
คลอรีน (Cl)	0.19		0.26	0.19	0.49	0.35
โพแทสเซียม (K)	12.58	4.66	5.16	1.63	1.50	3.96
แคลเซียม (Ca)	1.46			0.15	0.59	0.40

จากตารางที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 0-5 ชั่วโมงมีการดูดซับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คิดเป็นร้อยละ 4.50 แต่หลังจากช่วงเวลา 5-20 ชั่วโมงไปแล้ว พบว่า การดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีการดูดซับได้ช้าลง และมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คิดเป็นร้อยละ 1.46 เนื่องจากใกล้ถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งสอดคล้องกับผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เวลา 20 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มีผลึกเกาะเป็นชั้นอย่างหนาแน่น (รูปที่ 7 ฉ.) โดยการดูดซับฟอสฟอรัสนั้น

สอดคล้องกับ รัตชล อ่างมณี และคณะ, (2560) ที่คุณสมบัติของถ่านชีวภาพมีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูง มีค่าความเป็นกรดต่างที่สูง (Borchard et al., 2012; Liang et al., 2006; Morales et al., 2013; Zhao et al., 2014) และฟอสฟอรัสอยู่ในรูปไอออนลบละลายน้ำได้ดีที่อยู่ในรูป H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} ค่าความเป็นกรด ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบ เกิดขึ้นได้มากขึ้น ดังรูปที่ 7 (ฉ) ผลการดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่เวลา 20 ชั่วโมง และเมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรด-เบส เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) บนผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น (นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิดา ตั้งคณานุรักษ์, 2550)

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ในการดูดซับปุ๋ยฟอสฟอรัส สรุปได้ดังนี้

1. ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนอสัณฐาน พบแกรไฟต์ และโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกตปริมาณเล็กน้อย
2. ขนาดรูพรุนของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนอยู่ในช่วง 10-20 μm และมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ ในรูพรุนใหญ่แทรกอยู่ ซึ่งมีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 5-10 μm
3. องค์ประกอบธาตุของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 51.96 เป็นธาตุหลัก รองลงมาได้แก่ ออกซิเจนร้อยละ 28.07 โพแทสเซียมร้อยละ 12.58 แมกนีเซียมร้อยละ 1.74 และฟอสฟอรัสร้อยละ 1.64
4. พื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน มีค่าเท่ากับ 113 ตารางเมตรต่อกรัม
5. การดูดซับฟอสฟอรัสของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ที่ 20 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับฟอสฟอรัสมากที่สุด ที่ร้อยละ 7.60

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย (วว.) ที่อนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ ดร.ชุมพล บุชบก ที่ให้คำปรึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2562). *แผนการใช้ที่ดินของประเทศไทย Land Use Plan of Thailand*. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กิตติชัย โสพันนา และ ธนากร อุทัยดา. (2552). การปรับปรุงสมบัติของตัวดูดซับโลหะหนัก ด้วยวัสดุในท้องถิ่น. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*, 1(1), 181-196.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์. (2550). *หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ น้ำทางเคมี*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุญรักษ์ กาญจนวรรณชัย. (2560). *สารละลาย: แก๊สกลบ ของเหลือสารพัดประโยชน์*. สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2568, จาก <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/865>.
- ประไพพิศ ศรีมาวงศ์, นภัตสร ไนต์สิริ, ปราณี จอมอ่อน, จริญญาพรพรณ และ รัตนชาติ ช่วยบุตตา. (2564). ผลการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพต่อปริมาณความชื้นและการแทรกซึมน้ำ ในดินปลูกมันสำปะหลัง. (รายงานผลการวิจัย). สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- พินิจภณ ปิตุยะ และ อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์. (2560). การพัฒนาและฟื้นฟูดินทรายในเขตเงาฝนด้วยถ่านชีวภาพ. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 12(3), 27-38.
- ภควดี สุขอนันต์. (2551). การศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์*, 7(2), 30-36.
- รัตชล อ่างมณี, กัญจน์นรี ชวงฉ่ำ, และ อรรณพ หอมจันทร์. (2560). สมบัติของไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษข้าวโพด และศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 12(1), 53-63.
- สุภาวดี หนูสิน. (2564). ผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยเคมีทางการเกษตร. *วารสารบริหารการพัฒนา นวัตกรรมเชิงบูรณาการ*, 1(2), 34-43.
- องค์ความรู้ถ่านชีวภาพ. (2557). *ถ่านชีวภาพ*. เพชรบุรี: ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- อัญชลี นิลสุวรรณ และ ลดา มัทธุศ. (2562) ผลของวัสดุปลูกชนิดกลบที่ปรับปรุงการดูดซับไนเตรดด้วย สารลดแรงตึงผิวต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ. น. 1-9. ใน:

การประชุมวิชาการระดับชาติวไลยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 11, 27-28 มีนาคม 2562.
มหาวิทยาลัยวไลยลักษณ์, นครศรีธรรมราช.

อโณทัย โกวิทย์วิวัฒน์, พันธวัศ สัมพันธ์พานิช และ พินิจภณ ปิตุยะ. (2562). ไม่กระถิน
เหลือใช้...มวลชีวภาพสำหรับการฟื้นฟูดินปนเปื้อน. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 23(4), 1-9.

Ahmedna, M., Marshall, W. E., & Rao, R. M. (2000). Production of granular activated
carbon from select agricultural by product and evaluation of their
physical, chemical and adsorption properties. *Bioresource Technology*,
71, 113-123.

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.

Christina, C.S, Zaher, H., & Ania, C.U. "Preparation and characterization of activated
carbon from oil sands coke," *Fuel*, vol. 92, pp. 69-76, 2012.

Dhar, S. A., Sakib, T. U. & Hilary, L. N. (2022). Effects of pyrolysis temperature on
production and physicochemical characterization of biochar derived
from coconut fiber biomass through slow pyrolysis process. *Biomass
Conversion and Biorefinery*, 12, 2631-2647.

Eykelbosh, A. J., Johnson, M. S., de Queiroz, E. S., 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). Doi.org/
10.1371/journal.pone.0098523.

Kumar, A., & Mohan Jena, H. (2015). High surface area microporous activated
carbons prepared from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by zinc chloride
activation. *Applied Surface Science*, 356, 753-761.

- Li, D., Tang, R., Tian, Y., Qiao, Y., & Li, J. (2014). Preparation of highly porous binderless active carbon monoliths from waste aspen sawdust. *BioResources*, 9(1), 1246-1254.
- Li, Z. Q., Lu, C. J., Xia, Z. P., Zhou, Y., & Luo, Z. (2007). X-ray diffraction patterns of graphite and turbostratic carbon. *Carbon*, 45, 1686-1695.
- 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.
- Liou, T. H. (2010). Development of meso-porous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation. *Chemical Engineering Journal*, 158, 129-142.
- Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agri-cultural residues as precursors for activated carbon production: A review. *Re-newable and Sustainable Energy Re-views*, 1, 1966-2005.
- Ma, X., & Ouyang, F. (2013). Adsorption properties of biomass-based activated carbon prepared with spent coffee grounds and pomelo skin by phosphoric acid activation. *Appl. Surf. Sci*, 268, 566-570.
- 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.
- Sohi, S. (2009). *Biochar*. climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report.
- Saygili, H., Güzel, F., & Önal, Y. (2015). Con-version of grape industrial processing waste to activated carbon sorbent and its performance in cationic and anionic dyes adsorption, *Journal of Cleaner Production*, 93, 84-93.
- Sriburi, T. & Wijitkosum, S. (2016). Biochar amendment experiments in Thailand: practical examples. In V.J. Bruckman, E.A. Varol, B.B. Uzun, J. Liu (eds.).

Biochar a regional supply chain approach in view of climate change mitigation, 368-389.

- 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.
- Wijitkosum, S., & Sriburi, T. (2018). Increasing the Amount of Biomass in Field Crops for Carbon Sequestration and Plant Biomass Enhancement Using Biochar. In *Biochar - An Imperative Amendment for Soil and the Environment*. doi: 10.5772/intechopen.82090.
- 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, 408-413.
- Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X., & Gao, B. (2019). Biochar amendment improves crop production in problem soils: a review. *Journal of Environmental Management*, 232, 8-21.
- Zhang, H., Tang, Y., Cai, D., Liu, X., Wang, X., Han, X., & Yu, X. (2010). Hexavalent chromium removal from aqueous solution by algal bloom residue derived activated carbon: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Hazardous Materials* 181, 801–808.
- 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.