

ผลของการใช้ถ่านชีวภาพเป็นส่วนผสมในดินปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกึ๋นใบ 3 ชนิดที่ปลูกในกระบะ

EFFECT OF BIOCHAR AS AMENDMENT OF POTTING SOIL ON GROWTH AND YIELD OF THREE LEAF VEGETABLES GROWN IN RAISED GARDEN BEDS

ธนชัย ฉลาดเฉลียว^{1*} จันทร์เพ็ญ ชุมแสง² พจนีย์ แสงมณี³

Thanachai Chalatchaliao^{1*}, Chanphen Chumsang², Podjane Sangmanee³

^{1*} นักศึกษาหลักสูตรการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำหลักสูตรการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำหลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Received: 2 March 2022

*Corresponding, E-mail: g57572660103@live.ur.ac.th

Revised: 17 April 2022

Accepted: 19 April 2022

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพ เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำทำให้น้ำหนักเบา เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การวิจัยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ ถ่านชีวภาพจากการเผากิ่งไม้ เศษไม้ไผ่ เปลือกทุเรียน และถ่านชีวภาพที่ได้จากการผสมถ่านชีวภาพดังกล่าว (mixed biochar : MB) ในอัตรา 50, 30 และ 20 % โดยน้ำหนักตามลำดับ และศึกษาผลของ MB ผสมร่วมกับดินปลูกทางการค้า (commercial potting soil: CP) และมูลวัวหมัก (cow manure: CM) ในอัตราที่แตกต่างกัน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตผักกึ๋นใบ 3 ชนิด ได้แก่ ผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และผักคะน้าในกระบะ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก 5 กรรมวิธี 48 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น ได้แก่ 1) CP 100%, 2) CP 80% + MB 20%, 3) CP 50% + MB 50%, 4) CP 40% + MB 30% + CM 30% และ 5) CP 50 % + CM 50 % เก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักที่อายุ 45 วันหลังปลูก วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินปลูกหลังเก็บเกี่ยว ผลการศึกษา พบว่า ถ่านชีวภาพทุกชนิดเป็นด่าง pH อยู่ในช่วง 8.06 – 9.87 ค่า CEC แปรผันตามค่า pH ถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ค่ามากที่สุด คือ 2,374 และ 32,627 mg kg⁻¹ ตามลำดับ ผลของดินปลูกจากการผสม MB, CM และ CP พบว่า MB และ CM ส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักเมื่อเทียบกับ CP 100% โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ 4 CP 40% + MB 30% + CM 30% ทำให้ผักทั้งสามชนิดเจริญเติบโตทางลำต้นและผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผักกาดกวางตุ้งและฮ่องเต้มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า ส่งเสริมการสังเคราะห์แสงของผักคะน้าเมื่อพิจารณาจากค่าความเขียวของการใส่ MB ทำให้ค่า pH และ CEC ของดินปลูกเพิ่มขึ้นหลังเก็บเกี่ยวผัก แต่ไม่มีผลต่อค่า EC การใส่ MB ยังส่งเสริมประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน การศึกษานี้สนับสนุนความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านชีวภาพผสมลงในดินปลูกทางการค้าได้สูงที่สุด 50% โดยไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผัก

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ, ดินปลูก, กระบะปลูกผัก, ผักกึ๋นใบ

Abstract

Biochar, a material derived from pyrolysis process under limited- oxygen condition, is light weight and can be a source of plant nutrition which mostly made from agricultural waste. The objectives of this study were to characterize biochars that made from tree branches, bamboo, durian shell and biochar mixed (MB) from these biochars at rates of 50, 30 and 20% by weight, respectively. Furthermore, to study effect of biochar combined with commercial potting soil (CP) and cow manure (CM) at different rates on growth and yield of three green vegetables such as Bok Choy, Pak Chai and Chinese kale planted in raised beds. Each of experimental design was randomized complete block (RCB) with 5 treatments and 48 plants or replications such as 1) 100%CP, 2) 80%CP + 20%MB, 3) 50%CP + 50%MB, 4) 40%CP + 30%MB + 30%CM and 5) 50%CP + 50%CM. Growth and yield of vegetables were collected 45 days after transplant as well as potting soil properties were analyzed after harvest. Results showed that all biochars were alkaline have pH at range of 8.06 – 9.87. Cation exchange capacity (CEC) of biochars varied with pH. Durian biochar contains highest concentrations of available P and exchangeable K which were 2,374 and 32,627 mg kg⁻¹, respectively. Results of potting soil mixed from MB, CP, and CM showed that MB and CM promote growth vegetables compared to 100%CP, especially potting soil mixed from 40 % CP + 30 % MB + 30% CM significantly enhanced growth and yield all vegetables. For example, Bok Choy, Pak Chai gained approximately twice of fresh weight and promoted photosynthesis of Chinese kale noticeable from leaf greenness. Adding of MB lead pH and CEC of potting soil mix after harvest but has not effect on EC values also increase nitrogen use efficiency. In conclusion, this study supports the feasibility of adding mixed biochar up to a maximum of 50% in the potting soil that has no effect on growth and yield of the green vegetables.

Keywords: Biochar, Potting soil, raised bed, Leaf vegetables

1. บทนำ

การเพาะปลูกผักในชุมชนเมือง (Urban Agriculture) ได้รับความนิยมมากขึ้นหลังจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 วิธีการเพาะปลูกผักเป็นการใช้ดินผสมหรือวัสดุปลูกที่มีน้ำหนักเบาบรรจุลงในภาชนะหรือกระบะปลูกผัก และสามารถเพาะปลูกได้หลายรอบจนกว่าดินปลูกจะมีธาตุอาหารลดลงหรือมีการยุบตัว โดยความถี่ในการปรับปรุงดินส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบในดินที่ใช้ปลูก ขณะที่ถ่านชีวภาพ (Biochar) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดหรือไพโรไลซิส ทำให้มีรูพรุนจำนวนมาก ทำให้น้ำหนักเบา คงตัวสูง รักษาความชื้นได้ดี สามารถดูดซับธาตุอาหารที่เป็นบวก และเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน (ม.ป.ป.) [1] ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในการทดลองระดับแปลงและระดับกระถาง เช่น กระเจี๊ยบเขียว เกศศิริพันธ์ แสงมณี, จิตทยา จารุจิตร และพิชญ์ชัย ทองนวัฒน์ (ม.ป.ป.) [2] ถั่วฝักยาวไร้ค้าง สายขลุ่ย สุขญาณกิจ และสิริวรรณ สมบัติอาภรณ์ (2561) [3] ผักสลัดกรีนคอส เกศศิริพันธ์ แสงมณี, ธีระรัตน์ ชินแสน และณัฐพงษ์ พันธภา (2558) [4] ข้าว จาวภา มะนาวนอก และคณะ (2560) [5] ผลของการใช้ถ่านชีวภาพส่วนใหญ่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การตอบสนองของพืชอาจมีความแตกต่างกันในบางกรณี เช่น การเกิดผลกระทบจากอาลีโลพาธี (Allelopathy Effect) การใช้ถ่านจากแกลบหมักรวมกับดินก่อนการเพาะปลูกข้าวในกระถางที่ระยะ 60 วันทำให้การเจริญเติบโตของข้าวลดลงเมื่อเทียบกับการไม่ได้หมักดินก่อนปลูก Butnan, S., J.L. Deenik, B. Toomsan, M. J. Antal and P. Vityakon (2015) [6] การใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นส่วนประกอบในวัสดุเพาะมีผลยับยั้งการงอกของผักสลัดกรีนโอ๊คและมะเขือเปราะแต่ไม่มีผลต่อการงอกของหน่อเห็ดหัวหมู รุ่งเพชร เกิดประกอบ และณัฐพร นันท์แก้ว (2561) [7] จะเห็นได้ว่าผลของการใช้ถ่านชีวภาพที่มีความ

เฉพาะเจาะจงกับชนิดพืชและวัสดุที่นำมาเผาเป็นถ่านชีวภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ในการศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ และผลของการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัวหมักและดินปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และคะน้า ที่ปลูกในกระบะ รวมถึงคุณสมบัติของดินภายหลังจากเก็บเกี่ยว เพื่อนำผลการศึกษาย่อยทอดสร้างองค์ความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ลดการใช้สารเคมี และต้นทุนในการผลิต สร้างความตระหนักในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากพื้นที่การเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เชื่อมโยงกับการดูแลสุขภาพตนเองให้แข็งแรง และส่งเสริมคุณภาพชีวิต ให้เกิดการรักษาฐานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน สร้างจิตสำนึก และความตระหนักเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการจัดการสิ่งแวดล้อมของชุมชนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ และผลของการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัวหมักและดินปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และคะน้า ที่ปลูกในกระบะ รวมถึงคุณสมบัติของดินภายหลังจากเก็บเกี่ยว

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมถ่านชีวภาพทำโดยนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ กิ่งไม้ เศษไม้ไผ่ เปลือกทุเรียน ตัดเป็นท่อนให้มีขนาดยาวประมาณ 20 เซนติเมตร จากนั้นนำมาตากแดดเพื่อลดความชื้นแล้วนำมาเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500-800 องศา นำถ่านชีวภาพที่ได้มาบดให้มีขนาดประมาณ 3-5 มิลลิเมตร สุ่มเก็บตัวอย่างถ่านชีวภาพแต่ละชนิด ถ่านชีวภาพที่เกิดจากการผสมกันของกิ่งไม้ เศษไม้ไผ่ และเปลือกทุเรียน ในอัตรา 50, 30 และ 20% โดยน้ำหนัก รวมถึงดินปลูกทางการค้า และมูลวัวหมัก ไปวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารพืช ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (ดิน: น้ำ 1: 2.5) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity: CEC) สกัดด้วย 1 N NH_4OAc Cottenie, A. (1980) [8] และธาตุอาหารพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen) วิธี Kjeldahl Method Cottenie, A. (1980) [8] ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) สกัดด้วยวิธี Bray II วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) สกัดด้วย 1 N NH_4OAc pH 7.0 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Black, C.A. (1965) [9]

การทดสอบผลของวัสดุปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผัก แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ตามชนิดของพืชทดสอบ ได้แก่ ผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และคะน้า แต่ละการทดลองวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (randomized complete block design) จำนวน 5 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 CP 100%, กรรมวิธีที่ 2 CP 80% + MB 20%, กรรมวิธีที่ 3 CP 50% + MB 50%, กรรมวิธีที่ 4 CP 40% + MB 30% + CM 30% และกรรมวิธีที่ 5 CP 50% + CM 50 %

หน่วยทดลองเป็นกระบะปลูกผักสำเร็จรูปมีปริมาตร 60 x 200 x 30 เซนติเมตร ทำจากผ้าพลาสติก high density polyethylene (HDPE) ต่อกับท่อพลาสติก polyvinyl chloride (PVC) โดยใช้ 10 กระบะต่อการปลูกผักแต่ละชนิด เตรียมต้นกล้าด้วยการเพาะเมล็ดในถาดเพาะกล้าจนต้นกล้ามีอายุ 15 วันจึงทำการย้ายต้นกล้าลงปลูก แต่ละกระบะปลูกผักที่ระยะห่างระหว่างต้น 20 x 25 เซนติเมตร ดังนั้น จะมีผักแต่ละชนิดจำนวน 48 ต้นหรือซ้ำ

การดูแลหน่วยทดลองด้วยการรดน้ำ มีการใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในอัตรา 250 มิลลิลิตรต่อน้ำ 5 ลิตร และผสมเชื้อไตรโคเดอร์มาตามอัตราแนะนำ เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบและควบคุมโรคพืช ทุก 2 สัปดาห์ เมื่อผักมีอายุครบ 45 วัน หลังจากปลูก ทำการเก็บข้อมูล ได้แก่ น้ำจำนวนใบ วัดความสูง ความกว้างใบ ความยาวรากด้วยไม้บรรทัด วัดค่าความเขียวของใบโดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD) ยี่ห้อ Konica รุ่น SPAD-502 พลัส โดยวัดค่าความเขียวตำแหน่งปลายใบ กลางใบ และโคนใบแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งนำหนักสดและน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล ภายหลังจากเก็บเกี่ยว

ผลผลิตผักได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินปลูกจากแต่ละหน่วยทดลองจำนวน 14 จุดต่อกรรมวิธี นำมาวิเคราะห์สมบัติของดินปลูก และธาตุอาหารด้วยวิธีการวิเคราะห์เดียวกับที่อธิบายไว้ข้างต้น

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 21

4. ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพและวัสดุที่ใช้ทำดินปลูก

ถ่านชีวภาพ มูลวัวหมัก ที่นำมาผสมกับดินปลูกทางการค้ามีฤทธิ์เป็นด่าง มีค่า pH ตั้งแต่ 8.06-9.87 โดยถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนมีค่า pH สูงที่สุดคือ 9.87 ส่วนดินปลูกทางการค้ามีฤทธิ์เป็นด่างเล็กน้อยมีค่า pH 7.57 (ตารางที่ 1) สำหรับค่า CEC ของถ่านชีวภาพสูงกว่ามูลวัวและดินปลูกทางการค้าอย่างชัดเจน โดยถ่านชีวภาพมีค่า CEC ตั้งแต่ 20.24-62.75 cmolc kg⁻¹ สำหรับปริมาณธาตุอาหาร มูลวัวมีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น คือ 11.54 % ส่วนฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบมากที่สุดใน ถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน คือ 2,374 และ 32,627 mg kg⁻¹ ตามลำดับ สำหรับถ่านชีวภาพผสม มีคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารรองลงมาจากถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน (ตารางที่ 1) แต่มากกว่าถ่านชีวภาพกึ่งไม้และเศษไม้ไฟ ซึ่งคาดว่าได้รับอิทธิพลจากส่วนผสมที่เป็นถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพถ่านเปลือกทุเรียนของ สายจิต ดาวสุโข, อรุณ คงแก้ว และอรุวรรณ อุณแก้ว (2555) [10] พบว่าถ่านเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบของธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และมีความพรุนสูงกว่าถ่านชีวภาพจากวัสดุอื่น ๆ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพที่ได้จากวัสดุทางการเกษตรแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ชนิดที่ได้จากกึ่งไม้หรือเศษไม้ส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าชนิดที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เป็นแหล่งรับ (Sink) ที่มีการสะสมธาตุอาหารพืชไว้ในปริมาณที่สูงกว่า สังเกตได้ชัดเจนจากปริมาณโพแทสเซียมและค่า CEC เช่น เปลือกทุเรียน กะลาปาล์ม แกลบ เป็นต้น ดังนั้น กรณีที่ต้องการใช้ถ่านชีวภาพเป็นแหล่งของธาตุอาหารจึงควรพิจารณาชนิดของวัสดุที่นำมาเผาเป็นถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารพืชของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Materials	pH	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	Total N (%)	Avail. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (mg kg ⁻¹)
Tree branches	8.06	20.24	0.56	742.17	682.40
Bamboo	9.52	38.85	0.76	627.92	14,537.00
Durian shells	9.87	62.75	1.34	2,374.00	32,627.00
Mixed biochars (MB)	9.38	48.54	1.09	1,281.08	21,690.00
Cow manure (CM)	8.43	6.36	11.54	670.62	1,680.50
Commercial potting soil (CP)	7.57	0.65	0.014	21.36	35.71

4.2 การเจริญเติบโตและผลผลิต

การใช้ถ่านชีวภาพผสมมีผลส่งเสริมการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของผักทั้ง 3 ชนิด สามารถพิจารณาผลของแต่ละการทดลอง ดังนี้

การเจริญเติบโตของผักกาดกวางตุ้ง พิจารณาจากความสูง ความยาวราก ความกว้างใบ จำนวนใบ ความเขียวน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งตอบสนองต่อกรรมวิธีที่ 4 คือ CP 40% + MB 30% + CM 30% ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มีส่วนผสมของทั้งถ่านชีวภาพผสมและมูลวัวหมักในปริมาณที่เท่ากัน (ตารางที่ 2) รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 3 และ 5 ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มี

ส่วนผสมของถ่านชีวภาพผสมหรือมูลวัวหมักผสมกันดินปลูกทางการค้า 50% โดยทั้งสองกรรมวิธีไม่ทำให้การเจริญเติบโต ค่าความเขียว และน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตาม พบว่า หากมีการลดสัดส่วนของถ่านชีวภาพผสมลงเหลือ 20% พบว่าทำให้ผักกาดกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตลดลง เห็นได้อย่างชัดเจนจากความกว้างของใบและน้ำหนักสด ส่วนกรรมวิธีที่ 1 ที่ใช้ดินปลูกทางการค้า 100% พบว่า มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด โดยเฉพาะน้ำหนักสดที่มีค่าต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 2)

สำหรับผักกาดฮ่องเต้ พบว่า มีการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตเมื่อได้รับดินปลูกในแต่ละกรรมวิธี เช่นเดียวกับผักกาดกวางตุ้ง กล่าวคือ กรรมวิธีที่ 4 ยังคงทำให้ผักกาดฮ่องเต้มีการเจริญเติบโตมากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 2) ขณะที่กรรมวิธีที่ 1 ที่ใช้ดินปลูกทางการค้า 100% ทำให้ผักกาดฮ่องเต้ทำให้มีการเจริญเติบโตด้านลำต้นและผลผลิตน้อยที่สุด ยกเว้นค่าความเขียวใบ และน้ำหนักแห้งที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

การเจริญเติบโตของผักคะน้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 4 ทำให้การเจริญเติบโตด้านลำต้นและค่าความเขียวมากกว่ากรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตาม พบว่า เมื่อมีการใช้ถ่านชีวภาพผสมในสัดส่วนที่มากขึ้นเป็น 50% โดยไม่มีส่วนผสมของมูลวัว (กรรมวิธีที่ 3) พบว่าทำให้คะน้ามีน้ำหนักสดมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 4 (ตารางที่ 2)

น้ำหนักสดของผักกาดกวางตุ้งและผักกาดฮ่องเต้ที่ปลูกโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 60 - 80 กรัม/ต้น ส่วนคะน้า 40 - 70 กรัม/ต้น (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีที่ 4 ส่งเสริมให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักสดของผักกาดกวางตุ้งและผักกาดฮ่องเต้เพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า เมื่อเทียบกับดินปลูกทางการค้า ส่วนกรรมวิธีอื่นยังคงให้ผลผลิตผักเหมือนกันการปลูกผัก โดยทั่วไป ส่วนคะน้าพบว่าทุกกรรมวิธีไม่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสดแตกต่างจากการปลูกคะน้าโดยทั่วไป โดยปกติค่าความเขียวของใบเป็นค่าที่แปรผันตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจน ค่าความเขียวจากทุกกรรมวิธีที่มากกว่า 40 SPAD-unit แสดงว่าผักคะน้าเจริญเติบโตได้ตามปกติ จากการศึกษาของ Sendi, H., M.T.M. Mohamed, M.P. Anwar and H.M. Saud (2013) [11] ที่ทดลองปลูกผักคะน้าโดยใช้พีทมอสและวัสดุเหลือทิ้งก้อนเชื้อเห็ดที่ใช้แล้วมาผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ บรรจุลงในถุงปลูก และทดสอบการใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 1.8 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า วัสดุปลูกทุกกรรมวิธีมีค่า pH เพิ่มขึ้นตามอัตราของวัสดุเหลือทิ้งก้อนเชื้อเห็ด ผักคะน้ามีการเจริญเติบโตเป็นปกติและมีค่าความเขียวใบมากกว่า 40 SPAD-unit เฉพาะกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากค่า pH ที่เพิ่มขึ้นจากการใส่วัสดุเหลือทิ้งก้อนเชื้อเห็ดทำให้ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์จึงทำให้ปุ๋ยเคมีเป็นแหล่งธาตุอาหารที่คะน้าใช้ประโยชน์ได้ Sendi, H., M.T.M. Mohamed, M.P. Anwar and H.M. Saud (2013) [11] ขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพผสมทำให้ค่า pH สูงขึ้นเช่นกัน แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร คุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพผสมที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้รับอิทธิพลหลักมาจากถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน ที่มีค่า CEC และเป็นวัสดุที่มีรพูนสูง ซึ่งบริเวณรพูนมีแร่ธาตุหลายชนิด โดยเป็นแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้ดี เช่น archerite (KH_2PO_4), Chlorocalcite (KCaCl_3), Kalicinite (KHCO_3) และ Sylvite (KCl) Prakongkep, N., R.J. Gilkes and W. Wiryakitnateekul (2014) [12] ปริมาณธาตุอาหารพืชในถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนจึงสูงกว่าถ่านชีวภาพชนิดอื่น ๆ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่ใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกิ่งไม้ แกลบ ชังข้าวโพด เป็นต้น

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และผักคะน้า

Experiment	Treatment	Height (cm)	Root length (cm)	Leaf width (cm)	Numbers of leaves	Greenness (SPAD unit)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Bok Choy	1. CP 100%	33.10c	3.72c	9.23d	11.59c	37.7b	67.75d	29.82b
	2. CP 80% + MB 20%	36.00b	4.20ab	9.79c	12.48bc	39.4b	77.05c	31.27b
	3. CP 50% + MB 50%	36.60b	4.04ab	11.35b	13.39ab	39.7ab	87.85b	32.49ab
	4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	41.60a	4.51a	13.68a	14.06a	42.8a	156.45a	46.29a
	5. CP 50% + CM 50%	35.10b	4.27a	10.31bc	12.41bc	40.4ab	85.35b	27.92b
	F-test	*	*	*	*	*	*	*
Pak Chai	1. CP 100%	23.55c	3.64c	6.59c	14.64bc	40.6	62.01c	16.71
	2. CP 80% + MB 20%	28.95ab	3.94c	12.11b	14.26bc	42.8	77.74b	21.78
	3. CP 50% + MB 50%	25.40bc	4.28b	11.10b	15.05ab	41.4	63.49c	18.17
	4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	31.30a	5.59a	15.44a	15.73a	45.8	102.76a	27.81
	5. CP 50% + CM 50%	28.40ab	4.48b	10.80b	13.69c	40.9	74.49b	16.51
	F-test	*	*	*	*	ns	*	ns
Chinese kale	1. CP 100%	28.75b	3.71b	7.62c	9.19c	45.0d	29.38d	2.44c
	2. CP 80% + MB 20%	31.65ab	3.92ab	9.05b	10.61b	49.9b	41.35b	3.63bc
	3. CP 50% + MB 50%	31.90ab	4.17ab	10.03ab	10.33b	49.5b	46.18a	5.42a
	4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	34.55a	4.43a	10.58a	11.96a	51.5a	34.86c	4.31ab
	5. CP 50% + CM 50%	28.55b	4.35ab	8.72bc	10.42b	47.4c	33.06c	2.85bc
	F-test	*	*	*	*	*	*	*

Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test

* = Significantly different at $P < 0.05$, ns = non-significant difference

4.3 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดินปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดินปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยวผักทั้ง 3 ชนิดมีดังนี้ ดินที่ใช้ปลูกผักกาดกวางตุ้งที่มีถ่านชีวภาพผสมทั้ง 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 มีค่า pH ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.88 - 6.68 ค่า EC ของกรรมวิธีที่ 4 คือ CP 40% + MB 30% + CM 30% แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 0.22 dS cm^{-1} ในขณะที่กรรมวิธีอื่นมีค่า EC ในช่วง $0.15 - 0.19 \text{ dS cm}^{-1}$ ค่า CEC มีความแตกต่างเช่นเดียวกับค่า EC กล่าวคือ กรรมวิธีที่ 4 ยังคงมีค่ามากที่สุด คือ $1.50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ และแตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณธาตุอาหารพืช พบว่า ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียม

ที่แลกเปลี่ยนได้ยังคงพบมากที่สุดในกรรมวิธีที่ 4 คือ 0.056%, 243.97 mg kg⁻¹ และ 701.55 mg kg⁻¹ ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ 1 ที่ใช้ดินปลูกทางการค้า 100% พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

สำหรับดินที่ใช้ปลูกผักกาดฮ่องเต้และคะน้าให้ผลเช่นเดียวกับดินที่ใช้ปลูกผักกาดกวางตุ้งทั้งด้านปริมาณและแนวโน้มความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธี โดยภาพรวมพบว่า เฉพาะค่า pH ของดินปลูกที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ถ่านชีวภาพผสม ส่วนกรรมวิธีที่ 1 ดินปลูกทางการค้า 100% พบค่า EC และ CEC ต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านของธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพและมูลวัวหมักลงในดินปลูกทางการค้า (กรรมวิธีที่ 4) มีผลทำให้ดินปลูกมีปริมาณธาตุอาหารสูงที่สุด ขณะที่การผสมถ่านชีวภาพผสม หรือ มูลวัวลงในดินปลูกทางการค้า 50% (กรรมวิธีที่ 3 และ 5) ทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่พบภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการใช้ดินปลูกทางการค้า 100% พบปริมาณธาตุอาหารต่ำที่สุด (ตารางที่ 3) จากการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพและมูลวัวสามารถปรับค่า pH และเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชของดินปลูกได้ไม่ทำให้ค่า EC สูงจนเป็นอันตรายต่อพืช และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างถ่านชีวภาพผสมหรือมูลวัวหมักที่ใส่ลงในดินปลูกทางการค้า 50% พบว่า สามารถใช้ถ่านชีวภาพหรือมูลวัวหมักได้อย่างใดอย่างหนึ่งได้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ให้แหล่งธาตุอาหารหลักส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักทั้ง 3 ชนิด ได้เช่นเดียวกันจากข้อมูลปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเป็นที่น่าสังเกตกรรมวิธีที่ 4 พบปริมาณไนโตรเจนมากกว่ากรรมวิธีที่ 5 ในทุกการทดลอง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่มูลวัวหมักปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ แอมโมเนียมไอออน และไนเตรทไอออน แต่บางส่วนน่าจะถูกดูดซับไว้โดยถ่านชีวภาพจึงทำให้ไนโตรเจนยังคงเหลืออยู่ในดินปลูก ในขณะที่การใส่มูลวัวหมักร่วมกับดินปลูกทางการค้าในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นกลับพบไนโตรเจนต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับค่า CEC เริ่มต้นของดินปลูกทางการค้า (ตารางที่ 1) และค่า CEC ภายหลังการเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 3) ผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าถ่านชีวภาพช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารพืชและลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lehmann, J., J. P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech and B. Glaser (2003) [13], Van Zwieten, L., S. Kimber, A. Downie, S. Morris, S. Petty, J. Rust and K.Y. Chan (2010) [14] และ เสาวคนธ์ เหมวงษ์ (2557) [15]

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดินปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

Treatment	pH	EC (dS cm ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	Total N (%)	Avai. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)
Experiment 1 : Bok Choy						
1. CP 100%	6.39c	0.15c	1.15b	0.014c	228.89c	341.34d
2. CP 80% + MB 20%	6.88a	0.17bc	1.20b	0.042b	236.46b	393.70c
3. CP 50% + MB 50%	6.85a	0.17bc	1.35ab	0.041b	233.14b	638.21b
4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	6.68ab	0.22a	1.50a	0.056a	243.97a	701.55a
5. CP 50% + CM 50%	6.47b	0.19b	1.30ab	0.028c	238.94ab	625.24b
F-test	*	*	*	*	*	*

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Treatment	pH	EC (dS cm ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	Total N (%)	Avai. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)
Experiment 2 : Pak Chai						
1. CP 100%	6.25d	0.18	1.05c	0.014c	226.47c	527.14d
2. CP 80% + MB 20%	6.70b	0.16	1.25bc	0.042ab	249.42b	573.53c
3. CP 50% + MB 50%	6.97a	0.19	1.40abc	0.038ab	242.78b	558.59c
4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	6.58c	0.19	1.55a	0.042a	251.97a	928.47a
5. CP 50% + CM 50%	6.51c	0.14	1.30ab	0.028b	246.74b	633.05b
F-test	*	ns	*	*	*	*
Experiment 3 : Chinese kale						
1. CP 100%	6.39d	0.20b	1.10b	0.014d	244.87d	567.49c
2. CP 80% + MB 20%	6.65b	0.20b	1.25ab	0.028c	289.46b	675.37b
3. CP 50% + MB 50%	7.07a	0.20b	1.40a	0.042b	271.92c	584.23c
4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	6.61bc	0.25a	1.50a	0.056a	297.73a	884.83a
5. CP 50% + CM 50%	6.54c	0.22b	1.35ab	0.028c	262.51c	677.17b
F-test	*	*	*	*	*	*

Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test

* = Significantly different at $P < 0.05$, ns = non-significant difference

5. อภิปรายผล

ถ่านชีวภาพทุกชนิดเป็นต่างมีค่า pH อยู่ในช่วง 8.06 – 9.87 และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) แปรผันตามค่า pH ถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนมีปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุด คือ 2,374, 32,627 mg kg⁻¹ ตามลำดับ การผสมดินปลูกโดยใช้ CP 40% + MB 30% + CM 30% ส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักทั้งสามชนิดเมื่อเทียบกับ CP 100% ผักกาดกวางตุ้งและผักกาดฮ่องเต้มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และส่งเสริมการสังเคราะห์แสงของผักคะน้าเมื่อพิจารณาจากค่าความเขียวของใบ การใส่ MB ทำให้ค่า pH และ CEC ของดินปลูกเพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวผัก แต่ไม่มีผลต่อค่า EC นอกจากนี้การใส่ MB ยังส่งเสริมประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน สามารถใช้ MB เป็นส่วนผสมในดินปลูกผักได้สูงที่สุด 50% โดยไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผัก ผลการศึกษาวิจัยดังกล่าวสรุปได้ว่ามีความสอดคล้องกับแนวคิดในการนำถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นผสมในการปลูกผักอินทรีย์โดยพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุที่มีธาตุอาหารพืชสูง เมื่อนำมาผสมลงในดินปลูกทางการค้าได้สูงที่สุด 50% ส่งผลให้ผักอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดมีการเจริญเติบโตให้ผลผลิตที่ดี และส่งผลให้สมบัติทางเคมีของดินปลูกหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ สายชล สุขญาณกิจ และสิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ (2560) [2] ศึกษาชนิดและอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน การเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ดินมีสมบัติของดินดีขึ้น ดินมีความอุดมสมบูรณ์ เกิดความหลากหลายทางชีวภาพในดินและระบบนิเวศ ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพ ของกระเจี๊ยบเขียว การใช้เปลือกทุเรียนนำมาทำเป็นวัสดุปรับปรุงดินยังไม่มีต้นทุนการผลิต และสอดคล้องกับ สายชล สุขญาณกิจ และสิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ (2561) [3] ศึกษาผลของถ่านชีวภาพร่วมกับ

การจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตและความเข้มข้นธาตุอาหารในถั่วฝักยาวไร้ค้าง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับวัสดุปลูกทำให้ถั่วฝักยาวไร้ค้างมีการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่ ขณะที่กรรมวิธีการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผลผลิต แต่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างถ่านชีวภาพและการจัดการปุ๋ยแบบต่าง ๆ ด้านปริมาณธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังเก็บเกี่ยวพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การศึกษานี้สนับสนุนความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านชีวภาพผสมลงในดินปลูก สำหรับปลูกผักกินใบ เพื่อลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุนในการผลิต และช่วยลดปริมาณขยะจากการนำวัสดุเหลือทิ้งจากพื้นที่การเกษตรมาใช้ผลิตถ่านชีวภาพ นำกลับไปใช้ปรับปรุงบำรุงดินส่งผลให้เกิดประโยชน์สูงสุด

6. ข้อเสนอแนะ

1. สามารถทำการทดลองการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชชนิดอื่นได้โดยมีกรรมวิธีการทดลองเช่นเดียวกัน
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อกักเก็บคาร์บอนในดิน ปริมาณจุลินทรีย์ดิน ในแปลงทดลอง
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงอัตราของถ่านชีวภาพที่เหมาะสมในการผลิตพืชแต่ละชนิดรวมทั้งผลกระทบในระยะยาวต่อคุณภาพของดินและสิ่งแวดล้อม

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พินิจภณ ปิตุยะ, ไวกูมิ ภูทอง, สายฝน สิ้นสมุทไทย, นัยนา พรหมอุดม, ปัญญารัตน์ สิงห์พยัคฆ์, ภัทรมาศ มากมูล, กิตติพัทธ์ โพธิ์ศรี ศุภกร คำงาม และจรีใจ เพชรแก้ว. เอกสารองค์ความรู้ เรื่อง ถ่านชีวภาพ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, จังหวัดเพชรบุรี, หน้า 28.
- [2] เกศศิริพันธ์ แสงมณี, จิตทยา จารุจิตร และพิชัยชัย ทองนวัตน์. การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดินการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด, รายงานวิจัย, กรุงเทพมหานคร, หน้า 101.
- [3] สายชล สุขญาณกิจ และสิริวรรณ สมิตธิอาภรณ์. ผลของถ่านชีวภาพร่วมกับการจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตและความเข้มข้นธาตุอาหารในถั่วฝักยาวไร้ค้าง, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(3), 2561, หน้า 443-454.
- [4] เกศศิริพันธ์ แสงมณี, วีระรัตน์ ชินแสน และณัฐพงษ์ พันธภา. การศึกษาอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินปลูก การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส. เรื่องเติมการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53: สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: 746-752. 2558.
- [5] จาวภา มะนาวนอก, สันติไมตรี ก้อนคำดี, เกษสุตา เดชภิมล, วรณวิภา แก้วประดิษฐ์ พลพินิจ และตรุณี โชติษฐียงกูร. ถ่านชีวภาพ: ผลต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนาหว่านน้ำตม (การทดสอบในสภาพกระถาง), แก่นเกษตร, 45(2), 2560, หน้า 209-220.
- [6] Butnan, S., J.L. Deenik, B. Toomsan, M. J. Antal and P. Vityakon. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy, *Geoderma*, 237(1), 2015, pp. 105-116.
- [7] รุ่งเพชร เกิดประกอบ และนัฐพร นันท์แก้ว. ผลของสารอัลลีโลพาธีจากถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักและวัชพืช. วิทยาศาสตร์บัณฑิต ปัญหาพิเศษ, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์, 2561.
- [8] Cottenie, A. *Soil and Plant Testing as a Basis of Fertilizer Recommendations*. FAO Soils Bulletin No. 38/2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 118, 1980.

- [9] Black, C.A. *Methods of Soil Analysis. Part II: Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. p. 1572, 1965.
- [10] สายจิต ดาวสุโข อรุณ คงแก้ว และอุรวรรณ อุ้นแก้ว. การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และเพิ่มธาตุอาหารสำหรับเกษตรกรรม, *วารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 1(1), 2555, หน้า 133-141.
- [11] Sendi, H., M.T.M. Mohamed, M.P. Anwar and H.M. Saud. *Spent mushroom waste as a media replacement for peat moss in Kai-Lan (Brassica oleracea var. Alboglabra) production*. The Scientific World Journal. 2013, Article ID 258562, doi: 10.1155/2013/258562.
- [12] Prakongkep, N., R.J. Gilkes and W. Wiriyaakittatekul. Agronomic benefits of durian shell biochar. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 24(1), 2014, pp. 7-11.
- [13] Lehmann, J., J. P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech and B. Glaser. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, *Plant and Soil*, 249(1), 2003, pp. 343-357.
- [14] Van Zwieten, L., S. Kimber, A. Downie, S. Morris, S. Petty, J. Rust and K.Y. Chan. A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil, *Australian Journal of Soil Research*, 48(7), 2010, pp. 569-576.
- [15] เสาวคนธ์ เหมวงษ์. ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 16(1), 2557, หน้า 69-75.