

ผลของปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมีของดินและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสภาพดินกรด

Effect of Chicken Manure and Biochar on Soil Chemical Properties and Growth of Green Oak Lettuce Grown in Acid Soil

สุทธวรรณ วชิรณูสร, อรประภา เทพศิลป์วิสุทธิ์*,

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และสมชาย ชคตระการ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Suttawan Wachiratanusorn, Orprapa Thepsilvisut*,

Phakpen Poomipan and Somchai Chakatrakarn

Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology,

Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมีของดินและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD จำนวน 6 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปุ๋ยมูลไก่ 4 ระดับ คือ 0, 500, 1,000 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และถ่านชีวภาพ 3 ระดับ คือ 0, 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยมูลไก่ที่เพิ่มขึ้นทำให้สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกดีขึ้น โดยเฉพาะค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณอินทรีย์วัตถุ ขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นช่วยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินดีขึ้น นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยชีวภาพและถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณผลผลิตสูงสุด คือ 1,723.72 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีความมากกว่าการไม่ใส่ทั้งปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพ (48.31 กิโลกรัมต่อไร่) ถึง 35 เท่า ดังนั้นจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพช่วยทำให้ดินกรดมีสมบัติทางเคมีดีขึ้นและช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตให้กับผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสภาพดินกรด

คำสำคัญ : การเจริญเติบโต; ธาตุอาหารพืช; ปุ๋ยมูลไก่; ผักกาดหอม; สมบัติทางเคมีของดิน

Abstract

The aim of this study was to investigate the efficacy of chicken manure and biochar on soil chemical properties and the growth of green oak lettuce. The experiment was conducted in a factorial in CRD with 6 replications. Twelve treatments included the combination between 4 rates of chicken manure (0, 500, 1,000 and 2,000 kg/rai) and 3 rates of biochar (0, 500 and 1,000 kg/rai) applications. The results showed that the increase of chicken manure provided better soil chemical properties, especially the electrical conductivity and organic matters, while the increase of biochar could improve soil pH. In addition, increasing the rates of both chicken manure and biochar significantly enhanced the growth, yield and concentration of nitrogen and phosphorus of plant ($p \leq 0.05$). Moreover, the application of 2,000 kg/rai rates of chicken manure and 1,000 kg/rai rates of biochar showed the highest yield that was 1,723.72 kg/rai, 35 times higher than that of the control (no chicken manure and biochar) (48.31 kg/rai). Therefore, results of this study reveal that the utilization of chicken manure and biochar can improve soil chemical properties and enhance the yield of green oak lettuce under acid soil condition.

Keywords: growth; plant nutrition; chicken manure; lettuce; soil chemical property

1. บทนำ

ดินกรด (acid soil) ถือเป็นสาเหตุอันดับหนึ่งของดินที่เป็นปัญหาต่อระบบการผลิตพืชของประเทศไทย การสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน [1] พบว่าประเทศไทยมีเนื้อที่ที่เป็นดินกรดอยู่ประมาณ 95 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 30 ของพื้นที่ทางการเกษตรที่ดินมีปัญหา และพบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออก ตามลำดับ โดยเฉพาะในจังหวัดปราจีนบุรี พบว่ามีบริเวณที่ดินเป็นกรดหรือดินเปรี้ยวจัดประมาณ 446,823 ไร่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 15 ของพื้นที่ทั้งหมด [2] ทั้งนี้ดินกรดโดยเฉพาะดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.5 เป็นดินที่มีปริมาณธาตุอาหารพืชค่อนข้างต่ำ อีกทั้งยังอาจพบปัญหาเกี่ยวกับธาตุบางชนิด เช่น เหล็กและอะลูมิเนียมที่ละลายออกมามากจนอยู่ในระดับที่เป็นพิษต่อพืช ซึ่งนอกจากจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของ

พืชแล้ว ยังส่งผลต่อกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ทั้งสัตว์และจุลินทรีย์ในดิน

การแก้ไขปัญหาดินกรดมีหลากหลายวิธี ได้แก่ การใส่ปูน การชั่งน้ำ และการเติมอินทรีย์วัตถุ [3] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านชีวภาพ (biochar) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงดินกรด เนื่องจากถ่านชีวภาพมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 ซึ่งเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของดินได้ [4] อีกทั้งถ่านชีวภาพยังมีค่าความจุโอออนบวกสูง ช่วยให้ดูดซับธาตุอาหารไม่ให้เกิดการสูญเสียได้ง่าย ในขณะที่เดียวกันยังช่วยในการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ เพื่อให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ [5] และด้วยสมบัติความพรุนสูงของถ่านชีวภาพ ทำให้ดินมีช่องว่างในการดูดซับความชื้นและระบายอากาศได้ดีขึ้น [6] รวมถึงช่องว่างดังกล่าวยังเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายและการแปรสภาพธาตุ

อาหารให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น [7] ทั้งนี้มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช อาทิ Carter และคณะ [8] พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพจากแกลบทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงขึ้น อีกทั้งยังทำให้ปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมและกะหล่ำปลีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ อย่างไรก็ตาม ถ่านชีวภาพถือเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ไม่สามารถใช้ทดแทนการใส่ปุ๋ยเพื่อให้ธาตุอาหารแก่พืช ดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการใช้ถ่านชีวภาพจึงถือเป็นอีกทางเลือกที่จะช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้ได้ผลผลิตพืชที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคด้วย

รายงานของ ศิริลักษณ์ และอรสา [9] ที่ศึกษาอัตราส่วนระหว่างการใส่ปุ๋ยคอกกับถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า พบว่าอัตราส่วนระหว่างการใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพที่เหมาะสม คือ 25 : 75 ซึ่งทำให้ผักคะน้ามีความสูงและน้ำหนักผลผลิตสูงสุด และมีค่ามากกว่าการใส่ปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในอัตรา 0 : 0, 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50 และ 0 : 100 เช่นเดียวกับ เกศศิริพันธ์ [10] ที่รายงานว่า การใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบ ชังข้าวโพด และเปลือกทุเรียนสามารถช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินกรดในการปลูกกระเจี๊ยบเขียว โดยทำให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างจาก 3.5 เป็น 6.2-7.0 ภายในระยะเวลา 2 เดือน และยังพบว่าถ่านชีวภาพช่วยทำให้ดินมีความหลากหลายทางชีวภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และถ่านชีวภาพที่ต่างกันย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ต่างกัน ทั้งนี้ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับถ่านชีวภาพที่เหมาะสมต่อการปลูกผักกาดหอมในสภาพดินกรด โดยเฉพาะ

การใช้ปุ๋ยมูลไก่ที่ง่ายและการผลิตถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่พบมากในจังหวัดปราจีนบุรี ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการใส่ปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนสำหรับการผลิตผักกาดหอมในสภาพดินกรด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงดินกรดสำหรับการเพาะปลูกพืชผักที่ได้ผลผลิตสูงและปลอดภัยต่อผู้บริโภคต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลขนาด 4x3 ในแผนแบบการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (factorial in completely randomized design) จำนวน 6 ซ้ำ (กระถาง) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 การใส่ปุ๋ยมูลไก่ 4 อัตรา คือ ไม่ใส่ปุ๋ยมูลไก่ ใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 500, 1,000 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และปัจจัยที่ 2 การใส่ถ่านชีวภาพ 3 อัตรา คือ ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ใส่ถ่านชีวภาพอัตรา 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

2.2.1 เมล็ดพันธุ์ผักสลัดกรีนโอ๊คอินทรีย์ จากศูนย์การเรียนรู้การผลิตเมล็ดผักเกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

2.2.2 ปุ๋ยมูลไก่ หมักมูลไก่อัตรา 100 กิโลกรัม ต่อสารเร่ง พด.1 จำนวน 1 ซอง (100 กรัม) โดยผสมสารเร่งซูเปอร์ พด.1 ในน้ำ 20 ลิตร รดลงในกองมูลไก่และคลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งกองปุ๋ยหมักให้มีความสูงประมาณ 20-30 เซนติเมตร ใช้วัสดุคลุมเพื่อรักษาความชื้นของกองปุ๋ย หมัก 9-15 วัน พิ้งให้แห้งในที่ร่มและบรรจุใส่ถุงกระสอบ

2.2.3 ตัวอย่างดิน ได้จากดินของเกษตรกร ตำบลศรีมหาโพธิ อำเภอสรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี

ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเนื้อละเอียดลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเร็วถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน [11] เตรียมดินโดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึกไม่เกิน 15-20 เซนติเมตร ผึ่งให้แห้งในที่ร่มบดอย่างละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

2.2.4 ถ่านชีวภาพ ได้จากการนำเปลือกทุเรียนตากแดดให้แห้งและเผาในเตา 2 ชั้น แบบไม่ใช้ออกซิเจน และใช้กระบวนการอบเพื่อไล่ความชื้นออก (pyrolysis) ที่อุณหภูมิ 400-800 องศาเซลเซียส (ในถังชั้นใน) เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ปล่อยให้เตาเย็นสนิท นำถ่านมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บใส่ถุงพลาสติกปิดสนิทก่อนนำไปใช้

2.3 การปลูกและการดูแลรักษา

หยอดเมล็ดผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค จำนวน 3 เมล็ดต่อหลุม ลงในหลุมเพาะขนาดเท่ากับ $2.4 \times 2.4 \times 4.0$ เซนติเมตร ที่บรรจุวัสดุเพาะประกอบด้วยหน้าดิน ปุ๋ยมูลไก่ และขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1 : 1 : 1 โดยปริมาตร วางถาดเพาะกล้าในโรงเรือน รดน้ำทุกวัน และเมื่อต้นกล้ามีอายุ 7 วันหลังเพาะเมล็ด ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม เมื่อต้นกล้ามีอายุ 14 วัน หรือมีใบจริงจำนวน 2-4 ใบ ย้ายปลูกลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ที่บรรจุดินผสมขุยมะพร้าวอัตรา 10 : 1 โดยปริมาตร จำนวน 5 กิโลกรัมต่อกระถาง และใส่ปุ๋ยมูลไก่และ/หรือถ่านชีวภาพตามอัตราที่กำหนดในสิ่งทดลองซึ่งหมักดินทิ้งไว้แล้ว 7 วัน ย้ายปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คลงในกระถาง กระถางละ 1 ต้น ให้น้ำทุกวันในอัตราที่เท่ากันทุกกระถาง ฉีดพ่นสารสกัดจากธรรมชาติเพื่อกำจัดโรคและแมลงเมื่อมีการระบาด กำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอ และเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อผักกาดหอมกรีนโอ๊คมีอายุ 42 วันหลังปลูก

2.4 การเก็บผลการทดลอง

2.4.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูก ปุ๋ยมูลไก่ และถ่านชีวภาพ

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูก โดยทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH; 1:2.5 H₂O) และค่าการนำไฟฟ้า (EC; 1:5 H₂O) ด้วยเครื่อง pH/EC meters ปริมาณอินทรีย์วัตถุด้วยวิธีของ Walkley และ Black [12] และปริมาณธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II method) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (1 N NH₄OAc pH 7.0 extraction method) สำหรับปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน วิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ดิน นอกจากนี้วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยวิธี 1 N NH₄OAc pH 7.0 extraction method และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) และสารหนู (As) ในรูปทั้งหมด (total concentration) โดยย่อยตัวอย่างด้วย HClO₄: HNO₃ อัตรา 1 : 2 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง inductively coupled plasma (ICP) สำหรับแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS) สำหรับสารหนู อีกทั้งวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) โดยวิธี ammonium saturation [13] เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ที่ออกโดยกรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ 1)

2.4.2 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

เก็บผลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง

Table 1 Selected chemical properties of chicken manure and durian shell biochar

Chemical properties	Chicken manure	Durian shell biochar	Standard for organic fertilizer (2014) by the Department of Agriculture
pH ^{1/}	7.10	9.70	5.5-8.5
EC (dS/m) ^{2/}	12.26	9.58	≤ 6.0
CEC (cmol _c /kg) ^{3/}	60.01	64.68	-
Organic matter (%) ^{4/}	53.89	52.79	≥ 30.0
C : N ratio ^{5/}	14.08	20.41	≤ 20 : 1
Total N (%) ^{6/}	2.22	1.50	≥ 1.0
Total P (%) ^{7/}	3.14	4.30	≥ 0.5
Total K (%) ^{8/}	5.00	9.26	≥ 0.5
Total Ca (%) ^{8/}	0.90	0.24	-
Total Mg (%) ^{8/}	0.59	1.62	-
Total Cd (mg/kg) ^{9/}	0.55	0.12	≤ 5.0
Total Cu (mg/kg) ^{9/}	66.00	30.35	≤ 500
Total Pb (mg/kg) ^{9/}	1.25	0.91	≤ 500
Total Cr (mg/kg) ^{9/}	nd	4.10	≤ 300
Total As (mg/kg) ^{9/}	2.21	nd	≤ 50

nd = non detect; ^{1/} pH (1 : 1 H₂O); ^{2/} EC (1 : 5 H₂O); ^{3/} CEC (NH₄OAc method); ^{4/} OM (Walkley and Black method); ^{5/} C : N ratio (Walkley and Black method); ^{6/} N (Kjeldahl method); ^{7/} P (Bray II); ^{8/} K, Ca, Mg (NH₄OAc method); ^{9/} Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, As (acid digestion, Cd, Cu, Pb, Cr analyze by ICP and As analyze by AAS)

จำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่ม ในทุกสัปดาห์จนถึงระยะเก็บเกี่ยว และเมื่อพักกาดหอมมีอายุ 42 วันหลังปลูก เก็บเกี่ยวและบันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน (ใบและลำต้น) และราก โดยน้ำหนักแห้งอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างพืชมาบดให้ละเอียดและวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ด้วยวิธี Kjeldahl method ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสกัดด้วย

mixed acid (HNO₃:H₂SO₄:HClO₄ อัตรา 5 : 1 : 2) โดยฟอสฟอรัสวิเคราะห์ด้วยเครื่อง spectrophotometer ส่วนโพแทสเซียมวิเคราะห์ด้วยเครื่อง flame atomic absorption spectroscopy [13]

2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลอง factorial in CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับ

ความชื้น 95 %

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 สมบัติของดินก่อนและหลังการทดลอง

ดินที่นำมาใช้ในการทดลองมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคทราย 50 เปอร์เซ็นต์ ทรายแป้ง 14 เปอร์เซ็นต์ และดินเหนียว 36 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH เท่ากับ 3.54 ซึ่งมีความเป็นกรดรุนแรงมาก นอกจากนี้ยังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (0.73 เปอร์เซ็นต์) และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ ไนโตรเจน (0.03 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (3.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และโพแทสเซียมแลกเปลี่ยนได้ (38.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในระดับต่ำ แต่ผลการทดลองพบว่า การใส่ปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพมีผลทำให้สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกมีแนวโน้มดีขึ้น กล่าวคือการใส่ถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินหลังปลูกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ ส่วนของค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณอินทรีย์วัตถุพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตามอัตราการใช้ปุ๋ยมูลไก่ที่เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกพบว่าการใส่ทั้งปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการใช้ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ดินหลังปลูกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุด คือ 20.03 และ 273.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่การใช้ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังปลูกมีค่ามากที่สุด คือ

0.089 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ (0.088 เปอร์เซ็นต์) และสิ่งทดลองที่ใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ เพียงอย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (0.084 และ 0.085 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยมูลไก่ที่เพิ่มขึ้นทำให้สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีค่าเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบแนวโน้มดังกล่าวในผักกาดหอม [14] คะน้า [15] และจิงจูฉ่าย [16] โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์นอกจากจะทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหารในดินเนื่องจากอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์เมื่อมีการย่อยสลายจะได้เป็นฮิวมัสที่ช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ และขณะเดียวกันยังช่วยตรึงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ไว้ไม่ให้ถูกชะล้างไปได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างดีขึ้น ซึ่งช่วยส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินให้เพิ่มมากขึ้น [17] โดยเฉพาะผลการทดลองเกี่ยวกับถ่านชีวภาพที่พบว่า ช่วยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินหลังปลูกดีขึ้น (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียว กับงานวิจัยของ เกศศิริรินทร์ และคณะ [18] ที่รายงานว่า การใช้ถ่านชีวภาพที่อัตรา 500-2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มทำให้ดินหลังปลูกผักกาดหอมพันธุ์กรีน คอสมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าดินก่อนปลูก และพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพยังช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารดีขึ้น ทั้งนี้ ถ่านชีวภาพนอกจากจะมีรูพรุนสูงซึ่งช่วยในการเก็บกักน้ำ อากาศ และเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินแล้ว ยังมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) ที่สูงมาก (ตารางที่ 1) ซึ่งจะช่วยให้

Table 2 Chemical properties of soil before and after harvesting of green oak lettuce under different of fertilizer and biochar treatments

Treatments	pH ^{1/}	EC (dS/m) ^{2/}	Organic matter (%) ^{3/}	Total N (%) ^{4/}	Available P (mg/kg) ^{5/}	Exchangeable K (mg/kg) ^{6/}
Before treatment						
	3.54	0.070	0.73	0.030	3.00	38.00
After treatment						
Chicken manure (A)						
CM0	3.78	0.112 b ^{7/}	0.23 c	0.075 b	3.93 d	141.11 d
CM500	3.62	0.125 a	0.27 bc	0.080 ab	7.53 c	165.56 c
CM1,000	3.74	0.126 a	0.30 ab	0.083 ab	12.49 b	191.11 b
CM2,000	3.76	0.130 a	0.34 a	0.086 a	18.00 a	233.33 a
Biochar (B)						
B0	3.54 b	0.124	0.27	0.077 b	9.82 c	145.00 b
B500	3.61 b	0.124	0.28	0.086 a	10.71 b	204.17 a
B1,000	4.02 a	0.122	0.30	0.080 b	10.92 a	199.17 a
CM ₀ B ₀	3.64	0.104 d	0.12 g	0.067 d	3.30 i	136.67 fg
CM ₀ B ₅₀₀	3.60	0.115 c	0.36 h	0.083 bc	4.28 h	163.33 de
CM ₀ B _{1,000}	4.09	0.117 bc	0.20 h	0.077 c	4.20 h	123.33 g
CM ₅₀₀ B ₀	3.52	0.133 a	0.33 f	0.074 c	7.11 g	150.00 ef
CM ₅₀₀ B ₅₀₀	3.56	0.128 a	0.25 f	0.089 a	7.62 f	183.33 d
CM ₅₀₀ B _{1,000}	3.77	0.114 c	0.22 d	0.077 bc	7.85 f	163.33 de
CM _{1,000} B ₀	3.47	0.128 a	0.34 e	0.080 bc	11.35 e	116.67 g
CM _{1,000} B ₅₀₀	3.63	0.124 ab	0.17 d	0.088 abc	14.48 d	220.00 c
CM _{1,000} B _{1,000}	4.10	0.127 a	0.39 d	0.080 bc	11.62 e	236.67 bc
CM _{2,000} B ₀	3.52	0.132 a	0.30 c	0.088 ab	17.50 b	176.67 d
CM _{2,000} B ₅₀₀	3.67	0.129 a	0.35 b	0.084 bc	16.48 c	250.00 b
CM _{2,000} B _{1,000}	4.09	0.129 a	0.37 a	0.085 abc	20.03 a	273.33 a
F-test						
A	ns	**	**	**	**	**
B	**	ns	ns	**	**	**
A x B	ns	**	**	**	**	**
C.V. (%)	4.49	4.02	15.88	6.50	1.60	7.41

ns = not significant; * = significance at the 95 % confidence level; ** = significance at the 99 % confidence level; ^{1/} pH (1 : 1 H₂O); ^{2/} EC (1 : 5 H₂O); ^{3/} OM (Walkley and Black method); ^{4/} N (Kjeldahl method); ^{5/} P (Bray II); ^{6/} K (NH₄OAc method) ^{7/} mean followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

Table 3 Growth and yield of green oak lettuce grown under acid soil with different chicken manure and biochar applications

Treatments	Plant height (cm)	Leaf number	Canopy width (cm)	Yield (kg/rai) ^{1/}
Chicken manure (A)				
CM0	6.95 d	7.02 d	8.11 d	58.81 d
CM500	10.15 c	10.21 c	13.25 c	189.10 c
CM1,000	12.62 b	13.95 b	17.67 b	553.67 b
CM2,000	16.43 a	19.90 a	22.55 a	1,492.85 a
Biochar (B)				
B0	10.09 b	11.79 b	13.79 b	407.18 c
B500	11.85 b	12.58 b	15.67 b	616.55 b
B1,000	13.13 a	13.95 a	17.41 a	697.09 a
CM ₀ B ₀	7.43	7.71 cde ^{4/}	8.29	48.31 h
CM ₀ B ₅₀₀	5.83	5.83 de	7.33	67.77 h
CM ₀ B _{1,000}	7.50	7.50 e	8.67	63.36 h
CM ₅₀₀ B ₀	8.07	9.86 e	11.14	144.07 g
CM ₅₀₀ B ₅₀₀	10.33	9.33 cde	12.50	157.35 g
CM ₅₀₀ B _{1,000}	12.07	11.43 bcde	16.00	265.88 f
CM _{1,000} B ₀	10.14	11.71 bcde	15.00	340.88 e
CM _{1,000} B ₅₀₀	13.36	14.43 abcd	18.29	584.73 d
CM _{1,000} B _{1,000}	14.36	15.71 abcd	19.71	735.40 c
CM _{2,000} B ₀	14.71	17.86 abc	20.71	1,095.47 b
CM _{2,000} B ₅₀₀	16.79	20.71 abc	22.93	1,659.35 a
CM _{2,000} B _{1,000}	17.79	21.14 a	24.00	1,723.72 a
F-test				
A	**	**	**	**
B	**	**	**	**
A×B	ns	*	ns	**
C.V. (%)	20.30	20.07	19.49	6.78

ns = not significant; * = significance at the 95 % confidence level; ** = significance at the 99 % confidence level; ^{1/} yield calculate from the fresh weight/1 plant that cultivate under 25 x 25 cm plant spacing = 25,600 plant/rai; ^{2/} Mean followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05 by Duncan’s multiple range test

สามารถดูยี่ตธาตุอาหารพืชที่เป็นประจวบ ก เช่น โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ไม่ให้สูญเสียไปจากดินได้ง่าย โดยเฉพาะในดินที่มีสภาพความเป็นกรดสูง [19]

3.2 การเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิต

สำหรับการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คพบว่า การใส่ปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสูง จำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าทั้ง 2 ปัจจัย มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในส่วนของจำนวนใบเท่านั้น กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีจำนวนใบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือ 21 ใบ สำหรับค่าประมาณของปริมาณผลผลิตซึ่งคำนวณจากน้ำหนักต่อต้นที่ระยะปลูก 25×25 เซนติเมตร (25,600 ต้นต่อไร่) พบว่าปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีค่าแปรผันตรงกับการได้รับปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณผลผลิตสูงสุด คือ 1,723.72 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสิ่งทดลองที่ใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ทำให้ได้ปริมาณผลผลิต 1,659.35 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งจากผลการทดลองเป็นที่น่าสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยมูลไก่ช่วยส่งเสริมในด้านการให้ผลผลิตมากกว่าปัจจัยของถ่านชีวภาพ เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณการใส่ปุ๋ยมูลไก่มากขึ้นจะพบว่าทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 3-25 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยมูลไก่ (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตาม หากมีการใส่ปุ๋ยมูลไกร่วมกับถ่านชีวภาพ

จะพบว่าปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีค่ามากกว่าการใส่ปุ๋ยมูลไก่หรือถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ปุ๋ยมูลไก่ถือเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่หาง่าย ราคาถูก และมีปริมาณธาตุอาหารพืชหลากหลายชนิด (ยงยุทธ และคณะ, 2554) และหากเป็นปุ๋ยมูลไก่ที่ได้จากแหล่งที่มีวัชตรงพื่นคอก เช่น ชี้อ้อย หรือแกลบดิบ ก็จะช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชในปุ๋ยมูลไก่ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช [20]

3.3. ปริมาณธาตุอาหารในพืช

การใส่ปุ๋ยมูลไก่ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในพืชทั้ง 3 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม แต่พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพืชเท่านั้น ทั้งนี้การใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมในพืชสูงสุด คือ 26.22, 4.13 และ 57.78 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตที่พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพในอัตราดังกล่าวทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีน โอ๊คมีจำนวนใบและปริมาณผลผลิตสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Inal และคณะ [21] ที่พบว่า การใส่ทั้งปุ๋ยมูลสัตว์ปีกและถ่านชีวภาพจากมูลสัตว์ปีกที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมในต้นข้าวโพดและถั่วแขกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้น้ำหนักแห้งของพืชทั้งสองมีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) นอกจากนี้ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Gunes และคณะ [22] ที่พบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักในผักกาดหอมกรีนคอสซึ่งได้จากปุ๋ยมูลสัตว์ปีกและถ่านชีวภาพมีค่ามากกว่าสิ่งทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ทั้ง

สองอย่าง ทั้งนี้จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพ จะเห็นได้ว่าประกอบด้วยธาตุอาหารพืชทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่เมื่อเกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ก็สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารดังกล่าวออกมาให้พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต [21] อีกทั้งการที่ใส่ถ่านชีวภาพยังช่วยปรับปรุงดินกรดให้มีความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีความพรุนและมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) สูง จึงสามารถดูดซับไอออนบวกโดยเฉพาะไอออนบวกที่มีฤทธิ์เป็นกรดอย่าง H^+ มากขึ้น จึงช่วยลดความเป็นพิษของไอออนบวกที่มีฤทธิ์เป็นกรด ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในสภาพดินกรดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้พืชสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น [23,24]

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างปริมาณผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสิ่งทดลองที่ไม่ใส่ทั้งปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพ (ผลผลิตน้อยที่สุด) กับสิ่งทดลองที่ใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (ผลผลิตมากที่สุด) จะเห็นได้ว่า ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คมีปริมาณผลผลิตแตกต่างกันถึงมากกว่า 35 เท่า ดังนั้นการวิจัยนี้แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนถึงประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยมูลไก่ร่วมกับถ่านชีวภาพต่อการให้ผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในสภาพดินกรด ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการเผยแพร่ให้กับเกษตรกรที่ต้องการปลูกผักให้ได้ผลผลิตสูง แม้ว่าดินมีสภาพความเป็นกรดและไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชก็ตาม

4. สรุป

การใส่ปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค

คือ การใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งทำให้ได้ค่าประมาณของปริมาณผลผลิตสูงสุด คือ 1,723.72 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้การใส่ถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินหลังปลูกดีขึ้น ขณะที่การใส่ปุ๋ยมูลไก่ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการใส่ทั้งปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพนอกจากจะช่วยในการปรับปรุงดิน โดยเฉพาะดินที่มีความเป็นกรดแล้ว ยังช่วยทำให้พืชได้รับปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอย่างเพียงพอและยังมีปริมาณธาตุอาหารเหลือในดินสำหรับการปลูกในรอบต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทบ2/23/2561 และขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

6. References

- [1] Land Development Department, 2013, Management of Acid Sulphate Soil, Acidic Soil and Peat Soil, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 40 p. (in Thai)
- [2] Acid Sulphate Soil in Prachinburi Province, Land Development Department, Available Source: http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/Map_acidity/HTML/Acidity_map.html, April 2, 2018. (in Thai)
- [3] Wongkrachang, S. and Rattaneetu, B.,

Table 4 Concentrations of total nitrogen, phosphorus and potassium of green oak lettuce grown under acid soil with different chicken manure and biochar applications

Treatments	Total nitrogen (mg/g)	Total phosphorus (mg/g)	Total potassium (mg/g)
Chicken manure (A)			
CM0	20.61 c ^{1/}	2.86 b	47.20 b
CM500	22.62 b	3.02 b	53.31 a
CM1,000	22.34 b	3.68 a	55.33 a
CM2,000	26.05 a	3.49 a	55.10 a
Biochar (B)			
B0	23.58 a	3.33 ab	51.78
B500	22.60 b	3.08 b	52.03
B1,000	22.55 b	3.38 a	53.55
CM ₀ B ₀	20.08 g	3.44 bcd	46.67 cd
CM ₀ B ₅₀₀	20.20 g	2.43 f	52.92 ab
CM ₀ B _{1,000}	21.53 ef	2.72 ef	42.02 d
CM ₅₀₀ B ₀	23.90 c	3.19 cde	53.61 bc
CM ₅₀₀ B ₅₀₀	23.00 cd	3.08 de	50.28 bc
CM ₅₀₀ B _{1,000}	20.97 gf	2.80 ef	56.06 ab
CM _{1,000} B ₀	23.50 c	3.52 bcd	53.33 ab
CM _{1,000} B ₅₀₀	22.07 de	3.65 abc	54.33 ab
CM _{1,000} B _{1,000}	21.47 ef	3.88 ab	58.33 a
CM _{2,000} B ₀	26.82 a	3.16 cde	53.50 ab
CM _{2,000} B ₅₀₀	25.12 b	3.17 cde	54.03 ab
CM _{2,000} B _{1,000}	26.22 a	4.13 a	57.78 a
F-test			
A	**	**	**
B	**	*	ns
AxB	**	**	*
C.V. (%)	2.54	8.81	5.96

ns = not significant; * = significance at the 95 % confidence level; ** = significance at the 99 % confidence level; ^{1/} mean followed by the same letters are not significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test

- 2014, Acid soil management by using the lime and organic matter, Princess of Naradhiwas Univ. J. 6(1): 103-112. (in Thai)
- [4] Shackley, S., Sohi, S., Ibarrola, R., Hammond, J., Mašek, O., Brownsort, P. and Haszeldine, S., 2012, Biochar as a Tool for Climate Change Mitigation and Soil Management, pp. 183-205, In Meyers, R. (Ed.), Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Springer, New York.
- [5] Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W., 2002, Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-A review, Biol. Fert. Soils 35: 219-230.
- [6] Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M. and Bastos, A.C., 2011, A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis, Agric. Ecosyst. Environ. 144: 175-187.
- [7] Al-Wabel, M.I., Hussain, Q., Usman, A.R.A., Ahmad, M., Abduljabbar, A., Sallam, A.S. and Ok, Y.S., 2017, Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review, Land Degradat. Develop. 29: 2124-2161.
- [8] Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B. and Haefele, S., 2013, The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*), Agronomy 3: 404-418.
- [9] Sirising, S. and Suksawang, O., 2013, Biochar application to soil improvement for agriculture, J. Soc. Sci. Hum. 39(2): 212-225. (in Thai)
- [10] Sangmanee, K., 2017, Study of Type and Ratio of Biochar on Soil Property, Growth, Yield and Yield Quality of Okra Growing in Acid Sulphate Soil, Research Report, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 51 p. (in Thai)
- [11] Office of Soil Survey and Land Use Planning, 2005, Miracle of Soil: Soil Series for Economic Plants Cultivation in Thailand, Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, 138 p. (in Thai)
- [12] Walkley, A. and Black, I.A., 1934, An examination of Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents, Soil Sci. 63: 251-263.
- [13] Land Development Department, 2010, Method of Plant, Fertilizer, and Soil Amendment Analysis, 1st Ed., Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, 52 p. (in Thai)
- [14] Anugoolprasert, O. and Rithichai, P., 2015, Effect of high quality organic fertilizer on yield and quality of lettuce, Thai J. Sci. Technol. 4(1): 81-94. (in Thai)
- [15] Lesing, S. and Anugoolprasert, O., 2016,

- Efficacy of high quality organic fertilizer on growth and yield of chinese kale, Thai Sci. Technol. J. 24(2): 320-332. (in Thai)
- [16] Thepsilvisut, O., 2017, Comparative study on effect of organic and chemical fertilizer on productivity of white mugwort, Thai Sci. Technol. J. 25(4): 615-626. (in Thai)
- [17] Osotsapa, Y., Wongmaneerot, A. and Hongprayoon, C., 2011, Fertilizer for sustainable agriculture, 2nd Ed., Kasetsart University Press, Bangkok, 519 p. (in Thai)
- [18] Sangmanee, K., Chinnasaen, T. and Puntupa, N., A study of biochar ratio on soil chemical properties, growth and yield of green cos (*Lactuca sativa* L. cv. Green Cos), 2015, pp. 746-752, In 53th Kasetsart University Annual Conference, Major of plant, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- [19] Lehmann, J., Gaunt, J. and Rondon, M., 2006, Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: A review, Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change 11: 403-427.
- [20] Masarirambi, M.T., Dlamini, P., Wahome, P.K. and Oseni, T.O., 2012, Effects of chicken manure on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.), J. Agric. Environ. Sci. 12: 399-406.
- [21] Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M.B. and Kaya, E.C., 2015, Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize, Soil Use Manag. 31: 106-113.
- [22] Gunes, A., Inal, A., Taskin, M.B., Sahin, O., Kaya, E.C. and Atakol, A., 2014, Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil, Soil Use Manag. 30: 182-188.
- [23] Wang, L., Butterfly, C.R., Wang, Y., Herath, H., Xi, Y.G. and Xiao, X.J., 2014, Effect of crop residue biochar on soil acidity amelioration in strongly acidic tea garden soils, Soil Use Manag. 30: 119-128.
- [24] Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S. and Ogawa, M., 2006, Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia, Soil Sci. Plant Nutr. 52: 489-495.