

ผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*)

ร่วมกับการจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตในผักสลัด (*Lactuca sativa*)

Effect of Bio-charcoal from Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*)

Combined with Fertilizer Management on Yield in Lettuce (*Lactuca sativa*)

นลินอร นุ้ยพลอด*

Nalin-on Nuiploot*

งานวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Office of General Education, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่มีช่วยส่งเสริมให้ดินมีสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น ทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ส่งผลดีต่อการนำมาประยุกต์ใช้ทางการเกษตรและต่อสิ่งแวดล้อม โดยส่วนใหญ่ถ่านชีวภาพมักผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เปลือกทุเรียน กะลามะพร้าว เปลือกมังคุด ในท้องที่ที่ผู้วิจัยสนใจมีผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) อยู่มาก ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย และมีความต้องการปรับปรุงสภาพดินเดิมเพื่อการเพาะปลูกผักสลัด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากผักตบชวาต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต การสะสมธาตุอาหารในผักสลัด (*Lactuca sativa*) รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังจากเก็บเกี่ยว โดยวางแผนการทดลองแบบ 2x4 factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ และประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยแรก คือการใส่หรือไม่ใส่ถ่านชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับวัสดุปลูก ปัจจัยที่สอง คือ การจัดการปุ๋ย 4 กรรมวิธี ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยดิน ใส่ปุ๋ยเคมี และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยปริมาณของปุ๋ยในแต่ละกลุ่มทดลอง คือ อัตราเทียบเท่า 500 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลองพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับปุ๋ยดิน ทำให้ผักสลัดมีการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผลผลิต แต่พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพจากผักตบชวามีผลด้านธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังเก็บเกี่ยว โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าถ่านชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับปุ๋ยดินและวัสดุปลูก สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มการสะสมธาตุอาหารในพืช และช่วยกักเก็บธาตุอาหารเพื่อเป็นประโยชน์ต่อพืชในรอบการปลูกถัดไป

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ ผักตบชวา ปุ๋ยดิน ผักสลัด

* Corresponding author : nalin-on@vru.ac.th

Abstract

Bio-charcoal or Biochar is a material for helps soil properties improve in physical, biological, and chemical fields. This research can apply for beneficial in agricultural field and environmental field. Most of the bio-charcoals are produced from agricultural waste such as durian peels, coconut shells and mangosteen peels. In the area that the researcher was interested in, there were many water hyacinths (*Eichhornia crassipes*) that causing problems with sewage. Also, there is a need to improve the original soil conditions for cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*). The objectives of this research were aimed to study the utilization of bio-charcoal from water hyacinth on growth, yield, nutrient accumulation in lettuce, as well as nutrient content in planting material after harvest. The experiment was planned to be a 2x4 factorial in CRD, 3 replications and 2 factors. The first factor was with or without bio-charcoal from water hyacinth together with the planting material. The second factor was the 4 methods of fertilizer management; without fertilizer, with soil fertilizer, chemical fertilizer, and organic fertilizer. The amount of fertilizer in each experimental group was equivalent rate of 500 kg per rai. The results showed that adding bio-charcoal from water hyacinth together with soil fertilizer resulted in the growth of lettuce, yield and nutrient content significantly higher than without bio-charcoal added. However, different fertilizer management methods had no effect on growth and nutrient content in yield. However, it was found that the application of bio-charcoal from water hyacinth had a nutrient effect on the plant material after harvest with significant differences. Therefore, it could be suggested that bio-charcoal from water hyacinth in combination with soil fertilizer and planting material could help promote growth, increase plant nutrient accumulation, and help store nutrients to benefit plants in the next growing cycle.

Keywords: Bio-charcoal, water hyacinth, soil fertilizer, lettuce

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เกษตรกรรมเป็นอันดับ 1 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังภาพที่ 1 (The World Bank Group, 2018) โดยพื้นที่การเกษตรคิดเป็นร้อยละ 47 ของพื้นที่ทั้งประเทศ อย่างไรก็ตาม ผลผลิตทางการเกษตรยังอยู่ในระดับต่ำเนื่องจากปัญหาดินเสื่อม คิดเป็นร้อยละ 11.2 และยังมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นอีก อันเป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ของดินที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลกระทบต่อภาคเกษตรกรรม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554 อ้างถึงใน ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และ อรสา สุกสว่าง, 2556) หากปัญหาดังกล่าวยังไม่ได้รับการแก้ไขโดยด่วน จะส่งผลให้การเกษตรของประเทศไทยขาดความยั่งยืน นอกจากนี้ยังพบว่าการเกษตรของประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน คิดเป็นร้อยละ 22.6 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศไทย

(สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยเคมีและไถกลบหน้าดิน ส่งผลให้ปล่อยปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้นรวมถึงการเผาเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว ส่งผลให้ปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น ซึ่งวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในประเทศไทยมีมากถึงประมาณ 100 ล้านตัน และยังไม่ได้ใช้ประโยชน์หรือมีการจัดการที่ดีเกินกึ่งหนึ่ง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554 อ้างถึงใน ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และ อรสา สุกสว่าง, 2556) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีถ่านชีวภาพที่สามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้มาเปลี่ยนสภาพเป็นถ่านชีวภาพเพื่อใช้ในการปรับปรุงดิน (สายน้า อุดพ้วย และคณะ, 2559) อันเป็นประโยชน์ต่อการเกษตร และยังเป็นทางเลือกเก็บก๊าซคาร์บอนลงดินอันช่วยลดภาวะก๊าซเรือนกระจกได้อีกด้วย (อรสา สุกสว่าง, 2552)

เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ คือ เทคโนโลยีที่ใช้กระบวนการแยกสลายวัสดุชีวมวลด้วยความร้อน หรือเรียกว่า ไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งได้น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์ (syngas) รวมกัน 20% ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน (H_2) แก๊สคาร์บอนโมโนออกไซด์ (CO) และ แก๊สมีเทน (CH_4) และได้ถ่านชีวภาพ 20% (Fontaine et al., 2004; Lehmann, 2007) โดยถ่านชีวภาพมีสมบัติเป็นรูพรุน ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซิลิเคอร์ รวมทั้งซีเถ้า ซึ่งโครงสร้างของธาตุจะเปลี่ยนไปตามประเภทของวัสดุชีวมวล (Zafar, 2008) โดยเฉพาะธาตุคาร์บอนทั้งหมดในวัสดุชีวมวลจะถูกกักเก็บอยู่ในถ่านชีวภาพครึ่งหนึ่ง เมื่อนำถ่านชีวภาพลงดินก็จะเป็นการกักเก็บคาร์บอนลงดินแทนที่จะมีการแพร่กระจายสู่ชั้นบรรยากาศ ในขณะที่การย่อยสลายโดยธรรมชาติในเวลาประมาณ 5-10 ปี จะเหลือคาร์บอนในวัสดุชีวมวลอีกประมาณ 20% (Lehmann, 2006; ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และ อรสา สุกสว่าง, 2556) ดังนั้น ถ่านชีวภาพจึงเป็นวัสดุที่มีส่วนช่วยส่งเสริมให้ดินมีสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น ทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ส่งผลดีต่อการนำมาประยุกต์ใช้ทางการเกษตรและต่อสิ่งแวดล้อม โดยส่วนใหญ่ถ่านชีวภาพมักผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เปลือกทุเรียน กะลามะพร้าว เปลือกมังคุด แต่ในท้องที่ที่ผู้วิจัยสนใจ มีผักตบชวาอยู่มาก ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย และมีความต้องการปรับปรุงสภาพดินเดิมเพื่อการเพาะปลูกผักสลัด



ภาพที่ 1 พื้นที่เกษตรกรรมในประเทศต่าง ๆ ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในปี 2018

พื้นที่ที่ผู้วิจัยต้องการศึกษามีแหล่งน้ำที่มีผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) เป็นจำนวนมาก ซึ่งผักตบชวาเป็นพืชลอยน้ำ มีการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ทำให้ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ในแหล่งน้ำนั้น ๆ เช่น การคมนาคม การชลประทาน และการประมง โดยทั่วไปในการกำจัดผักตบชวาจะทำการลอกขึ้นมากองไว้ข้างแหล่งน้ำ อาจมีบ้างที่นำไปทำจักสาน ปุ๋ยหมัก แต่ก็ยังเหลือทิ้งไม่ได้ใช้ประโยชน์อีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากนำผักตบชวามาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านชีวภาพ จึงนับได้ว่าเป็นแนวทางที่จะเกิดผลดีต่อส่วนรวมในหลายด้าน โดยในงานวิจัยของ ปิยัญฐ์ โตอ่อน และคณะ (2559) ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงจากผักตบชวาเพื่อทดแทนฟืนและถ่านไม้ พบว่า มีความร้อน 3,234 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ส่วนวิทยานิพนธ์ของณัฐจิรา อินมนต์ (2563) มีการนำผักตบชวามาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด และสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึง 400 องศาเซลเซียส ดังนั้นผักตบชวาจึงเป็นพืชชีวมวลที่สามารถเหมาะสำหรับการนำมาทำถ่านชีวภาพหรือเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ด้วยเช่นกัน ในพื้นที่จึงได้มีการทำถ่านชีวภาพจากผักตบชวา รวมทั้งถ่านจากไม้ชนิดอื่น ๆ ดังภาพที่ 2 โดยถ่านชีวภาพจากผักตบชวามีเปลือกผลไม้และไม้ชนิดต่าง ๆ เป็นตัวประสาน เช่น เปลือกมังคุด หรือไม้ไผ่ ทั้งนี้เพื่อเป็นการกำจัดผักตบชวาทิศทางหนึ่ง และส่งเสริมให้ชาวบ้านมีรายได้เสริมจากการรวมตัวกันผลิตถ่านชีวภาพอีกด้วย โดยคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากผักตบชวาส่งเสริมให้ดินมีสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น ทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ส่งผลดีต่อการนำมาประยุกต์ใช้ทางการเกษตรและต่อสิ่งแวดล้อม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในช่วงต้น



ภาพที่ 2 ตัวอย่างถ่านชีวภาพจากผักตบชวา และถ่านชีวภาพจากไม้ชนิดอื่น ๆ ในพื้นที่

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจในการนำถ่านชีวภาพจากผักตบชวาที่มีอยู่แล้วในพื้นที่ (ประยุกต์ใช้วิธีการผลิตจาก สุมินทร์ญา ทิธา และคณะ, 2557) มาปรับปรุงดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยดินในการปลูกผักสลัด (*Lactuca sativa*) เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย มีคุณค่าทางอาหาร ทานดิบได้ เป็นที่ต้องการของตลาด ปลูกได้ทุกฤดู ใช้เวลาในการเพาะปลูกเพียง 45-60 วัน (วสุ สันติมิตร และคณะ, 2562) และมีกลุ่มรับซื้อผลผลิตในบริเวณใกล้เคียง แต่การใช้ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวก็ยังไม่เพียงพอต่อการปลูกพืชเพื่อรายได้ การใช้ปุ๋ยเพื่อการผลิตพืชก็มีความสำคัญ โดยปกติในพื้นที่มีการทำถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และมีการปรับปรุงปุ๋ยดินให้เป็นสูตรของของท้องถิ่น โดยปุ๋ยดินของพื้นที่ตำบลกระแซง อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

มีส่วนผสมของดินร่วน ปุ๋ยคอก ขุยมะพร้าว แกลบดำ ปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ ผักตบชวา ตามหลักวิชาการเกษตร ซึ่งคุณสมบัติของปุ๋ยดินในพื้นที่ตั้งที่ระบุไว้บนถุงปุ๋ยที่มีการจำหน่าย คือ ทำให้พืชเจริญเติบโตแข็งแรง งอกงาม ช่วยปรับปรุงดิน โดยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ ถือเป็นอินทรีย์ชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับพืชทุกชนิด อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ยังมีการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยอินทรีย์อื่น ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทดลองใช้ถ่านชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับการจัดการปุ๋ยชนิดต่าง ๆ และได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังจากเก็บเกี่ยวอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้ถ่านชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต การสะสมธาตุอาหารในผักสลัด รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตผักสลัด

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวางแผนการวิจัย

ทดลอง ณ โรงเรือนผักบ้านกระแซง ตำบลกระแซง อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized design: CRD) (ดัดแปลงจาก สายชล สุขญาณกิจ และคณะ, 2563) จัดสิ่งทดลองแบบแฟกทอเรียล ที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัย (2x4 factorial in CRD) ปัจจัยแรก คือ การใส่หรือไม่ใส่ถ่านชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับวัสดุปลูก โดยถ่านชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย คือ ถ่านชีวภาพจากผักตบชวา ปัจจัยที่สอง คือ การจัดการปุ๋ย 4 รูปแบบ คือ ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยดิน ใส่ปุ๋ยเคมี (สูตร 46-0-0) และใส่ปุ๋ยอินทรีย์โดยปริมาณของปุ๋ยในแต่ละกลุ่มทดลอง คือ 7 กรัมต่อกระถาง หรืออัตราเทียบเท่าการใช้ปุ๋ย 500 กิโลกรัมต่อไร่ ในการใส่ถ่านชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับปุ๋ย จะผสมถ่านชีวภาพ 1 ส่วน กับดิน 4 ส่วน เข้าด้วยกัน และกวนจนผสมเข้ากันดี ส่วนการทดลองที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ จะใช้ดิน 5 ส่วนเป็นวัสดุปลูก และหากมีการใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ก็จะต้องลดปริมาณดินลง 1 ส่วน และเพิ่มปริมาณปุ๋ยชนิดนั้น 1 ส่วนเข้าไปแทนที่ ทั้งนี้มีการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เบื้องต้นของดินก่อนนำไปใช้ปลูกผักสลัด คือ pH ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณโพแทสเซียม โดยใช้ pH meter ที่มีฟังก์ชันการวัดค่าปริมาณธาตุดังกล่าวในดิน (potentiometric method)

หลังจากนั้น ตวงวัสดุปลูกของแต่ละการทดลอง ปริมาณ 10 กิโลกรัม ใส่กระถางพลาสติกขนาด 30x35 เซนติเมตร และนำเมล็ดพันธุ์ผักสลัดลงปลูก กระถางละ 3 เมล็ด เมื่อเมล็ดงอกแล้ว 7 วัน ให้ถอนแยกเหลือ 1 ต้น/กระถาง ดูแลรดน้ำทุกวัน และเก็บเกี่ยวผลผลิตตั้งแต่ระยะ 45-60 วันหลังปลูก หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว จะสุมนำผักสลัดจากแต่ละกลุ่มทดลองมาชั่งน้ำหนักสด และนำเศษพืชที่เหลือจากการตัดแต่งเพื่อไปประกอบอาหารกลับไปฝังกลบในกระถางเดิม เมื่อครบ 30 วันหลังการฝังกลบ จึงเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกเพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ เบื้องต้นอีกครั้งหนึ่ง

3.2 การเก็บข้อมูลผลการวิจัย

เก็บข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ น้ำหนักสด และความสูง และมีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามวิธีของ ทศนีย์ อัดนันท์ และคณะ (2550) ส่วนปริมาณธาตุอาหารในวัสดุปลูก นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุปลูกหลังนำไปใช้ปลูก ทำเหมือนกับการวิเคราะห์ดินก่อนนำไปใช้ปลูก ตามที่ระบุไว้ข้างต้น

4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เบื้องต้นของดินก่อนนำไปใช้ปลูก

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินก่อนนำไปใช้ปลูก พบว่า ดินที่นำมาใช้ทดลองมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินทราย มีค่า pH = 5.38 ปริมาณไนโตรเจน 0.03% ปริมาณฟอสฟอรัส 8.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียม 44.97 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของดินก่อนนำไปใช้ปลูกฝักสลัด มีค่า pH ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม (ภรภัทร สุชาติกุล, 2560)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของดินหรือวัสดุปลูกโดยเฉลี่ยก่อนนำไปใช้ปลูกฝักสลัด

ลำดับที่	คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้	ค่าที่เหมาะสม
1	ความเป็นกรด ต่าง (pH)	5.38	6.0-6.5
2	ปริมาณไนโตรเจน	0.03%	0.11-0.25%
3	ปริมาณฟอสฟอรัส	8.94 mg/kg	11-30 mg/kg
4	ปริมาณโพแทสเซียม	44.97 mg/kg	>40 mg/kg

4.2 การเจริญเติบโตและผลผลิตของฝักสลัด

พิจารณาจากค่าน้ำหนักสดและความสูงของฝักสลัด (ตารางที่ 2) ผลการทดลองในกลุ่มทดลองที่เปรียบเทียบการใส่/ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพมีผลให้น้ำหนักสดของฝักสลัด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความสูงของฝักสลัด พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านการจัดการปุ๋ย พบว่ากรรมวิธีการจัดการปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ ไม่มีผลต่อความสูงของฝักสลัด โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละกลุ่มทดลอง แต่น้ำหนักสดของฝักสลัดในกลุ่มทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับในกลุ่มทดลองที่ใส่ปุ๋ยดิน ส่วนด้านปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างการจัดการปุ๋ยและถ่านชีวภาพ พบว่าน้ำหนักสดของฝักสลัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยดิน ให้น้ำหนักสดต่อต้นสูงที่สุด (272.44 กรัม/ต้น)

ตารางที่ 2 ผลของถ่านชีวภาพและการจัดการปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัด

กลุ่มทดลอง	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (g)	ค่าเฉลี่ยความสูง (cm)
<i>ปัจจัยที่หนึ่ง (A)</i>		
ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (A1)	74.49*	14.98
ใส่ถ่านชีวภาพ (A2)	217.61*	15.35
<i>ปัจจัยที่สอง (B)</i>		
ไม่ใส่ปุ๋ย (B1)	77.22*	14.55
ใส่ปุ๋ยดิน (B2)	215.11*	15.55
ใส่ปุ๋ยเคมี (B3)	104.94	15.98
<i>ปฏิสัมพันธ์ร่วมปัจจัยที่หนึ่ง และสอง (AxB)</i>		
A1B1	75.22*	14.98
A1B2	95.23	15.35
A1B3	96.98	15.20
A1B4	95.22	15.22
A2B1	101.44	14.55
A2B2	272.44*	14.65
A2B3	109.44	15.00
A2B4	201.77	14.95

*ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าความเชื่อมั่นที่ 0.86

4.3 การสะสมธาตุอาหารในใบของผักสลัด

การสะสมธาตุอาหารจะพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมที่สะสมในใบของผักสลัด (ตารางที่ 3) ผลการทดลองพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพส่งผลต่อการสะสมธาตุอาหารในใบของผักสลัดสูงกว่าการไม่ใช้ถ่านชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการจัดการปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติต่อการสะสมธาตุอาหารในใบของผักสลัด ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับการจัดการปุ๋ย พบว่ามีการใช้ปุ๋ยดินร่วมกับถ่านชีวภาพทำให้มีการสะสมธาตุอาหารในใบผักสลัด โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนโดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการไม่ใช้ถ่านชีวภาพและไม่ใส่ปุ๋ย ทั้งนี้มีค่าการสะสมธาตุไนโตรเจนในใบของผักสลัดสูงสุด (pod weight per plant) ที่ 0.75 (g.plant⁻¹)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้ถ่านชีวภาพและการจัดการปุ๋ยต่อการสะสมธาตุอาหารในใบของผักสลัด

กลุ่มทดลอง	การสะสมธาตุอาหารในใบของผักสลัด (g/plant) ¹		
	N	P	K
<i>ปัจจัยที่หนึ่ง (A)</i>			
ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (A1)	0.36*	0.051*	0.14*
ใส่ถ่านชีวภาพ (A2)	0.72*	0.084*	0.47*
<i>ปัจจัยที่สอง (B)</i>			
ไม่ใส่ปุ๋ย (B1)	0.40	0.054	0.18
ใส่ปุ๋ยดิน (B2)	0.49	0.055	0.23
ใส่ปุ๋ยเคมี (B3)	0.42	0.058	0.18
<i>ปฏิสัมพันธ์ร่วมปัจจัยที่หนึ่ง และสอง (AxB)</i>			
A1B1	0.47*	0.062*	0.24*
A1B2	0.55	0.063	0.35
A1B3	0.48	0.063	0.30
A1B4	0.54	0.069	0.28
A2B1	0.54	0.062	0.34
A2B2	0.75*	0.088*	0.36*
A2B3	0.52	0.068	0.27
A2B4	0.59	0.069	0.26

*ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าความเชื่อมั่นที่ 0.75

4.4 คุณสมบัติของวัสดุปลูกหลังนำไปใช้ปลูก

จากตารางที่ 4 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ในดินหรือวัสดุปลูกหลังนำไปใช้ปลูก พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพในทุกกลุ่มทดลองมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารหลักมีความแตกต่างกับก่อนนำไปใช้ปลูก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปัจจัยด้านการจัดการปุ๋ยในแต่ละกลุ่มทดลองไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4 คุณสมบัติเบื้องต้นของดินหรือวัสดุปลูกโดยเฉลี่ยหลังนำไปใช้ปลูกและมีการใช้ถ่านชีวภาพ

ลำดับที่	คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้	ค่าที่วัดได้	ค่าที่เหมาะสม
		หลังนำไปใช้ปลูก	ก่อนนำไปใช้ปลูก	
1	ความเป็นกรด ต่าง (pH)	7.49	5.38	6.0-6.5
2	ปริมาณไนโตรเจน	0.17%*	0.03%*	0.11-0.25%
3	ปริมาณฟอสฟอรัส	19.50 mg/kg*	8.94 mg/kg*	11-30 mg/kg
4	ปริมาณโพแทสเซียม	49.70 mg/kg*	44.97 mg/kg*	>40 mg/kg

*ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าความเชื่อมั่นที่ 0.95

5. อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากตารางที่ 1 ค่า pH ของดินหรือวัสดุปลูกมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีการลดค่าความเป็นกรดของดินเนื่องจากถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติที่มีค่า pH สูง ทำให้ดินที่ใช้ปลูกมีค่า pH กลับมาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการปลูกผัก สำหรับค่าไนโตรเจนในดินก่อนการนำไปใช้ปลูกมีไม่เพียงพอต่อการปลูกผักสลัด เนื่องจากปลูกผักสลัดซึ่งเป็นผักประเภทกินใบที่ต้องใช้ธาตุไนโตรเจนสูง การใช้ถ่านชีวภาพที่ประกอบด้วยไนโตรเจนเป็นวัสดุปรับปรุงดินโดยเฉพาะถ่านชีวภาพจากผักตบชวาที่เป็นพืชประเภทใบเด่น จึงมีประสิทธิภาพช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ จาวภา มะนาวนอก และคณะ (2560) พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพทำให้มีพื้นที่ใบของขั้วนาหว่านน้ำตมสูงกว่าการไม่ใช้ถ่านชีวภาพ และการศึกษาของ Carter et al. (2013) พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมและกะหล่ำปลี ทำให้มีจำนวนใบสูงกว่าการไม่ใช้ถ่านชีวภาพ จึงมีผลต่อน้ำหนักสดของผักที่เพิ่มขึ้น สำหรับผลการทดลองในส่วนการจัดการปุ๋ยชนิดต่าง ๆ พบว่าไม่มีผลต่อความแตกต่างของความสูงของผักสลัด ซึ่งอาจจะเพราะอัตราส่วนของธาตุอาหารต่าง ๆ ในปุ๋ยแต่ละชนิดในด้านการเจริญเติบโตหรือความสูงไม่แตกต่างกัน แต่ในส่วนนี้ยังไม่ได้มีการตรวจวิเคราะห์ละเอียด ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยครั้งต่อไป อาจกล่าวได้ว่าปุ๋ยเคมีทำให้ผลการเจริญเติบโตของต้นพืชในด้านความสูงเปลี่ยนแปลงผลจากปุ๋ยดินและปุ๋ยอินทรีย์ได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยเคมียังต้องคำนึงถึงผลกระทบในระยะยาวต่อคุณภาพของดินและสิ่งแวดล้อมด้วย เนื่องจากการศึกษาว่าหากใช้ปุ๋ยเคมีต่อเนื่องเป็นเวลานาน จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของพืชลดลง ดินเสื่อมโทรม และเกิดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม (พัชร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และคณะ, 2559) ส่วนค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด การใช้ปุ๋ยดินทำให้มีผลผลิตในด้านน้ำหนักสดของผักสลัดได้สูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีความแตกต่างจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากมีส่วนประกอบใกล้เคียงกันเป็นสารอินทรีย์เหมือนกัน เพียงแต่ปุ๋ยดินสูตรเฉพาะของทางพื้นที่ได้มีการเพิ่มผักตบชวาทากแห้งลงไปด้วยอย่างหนึ่ง ซึ่งแตกต่างกับส่วนประกอบในปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น สูตรจากกรมพัฒนาที่ดินที่ประกอบด้วยฟางข้าว เศษผักผลไม้ และมูลสัตว์ เป็นส่วนใหญ่ (สุชาติ เจริญทอง และ สุทธิจิตต์ เจริญทอง, 2559) อย่างไรก็ตาม ควรมีการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพจากผักตบชวาและปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้ปลูก เพื่อความชัดเจนของผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการสะสมธาตุอาหารในใบของผักสลัดที่พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพส่งผลต่อการสะสมธาตุอาหารในใบของผักสลัดสูงกว่าการไม่ใช้ถ่านชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในเชิงสรีรวิทยาของพืชในการดูดใช้ธาตุอาหาร (สายชล สุขญาณกิจ และคณะ, 2564) ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้ถ่านชีวภาพเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการดูดใช้และสะสมธาตุไนโตรเจนในใบ อาจจะเพราะถ่านชีวภาพมีความสามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารด่างที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Pandian et al. (2016) ที่พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของดินอัลฟิโซลส์ในการปลูกถั่วลิสงในเขตกึ่งร้อน เมื่อมีการใช้ถ่านชีวภาพมากขึ้น ส่งผลให้ถั่วลิสงมีการดูดใช้ธาตุอาหารมากขึ้น และมีการดูดใช้ในโตรเจนและโพแทสเซียมสูงที่สุดตามลำดับ ประกอบกับงานวิจัยนี้ใช้ดินที่มีธาตุไนโตรเจนต่ำเป็นวัสดุปลูก ดังนั้นการใช้ถ่านชีวภาพจึงเห็นผลอย่างชัดเจนในด้านการสะสมธาตุอาหาร และความสามารถในการดูดซับน้ำจึงส่งผลต่อน้ำหนักสดของผักด้วยเช่นกัน

จากตารางที่ 4 พบว่าถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน โดยพบว่าให้มีผลให้ปริมาณธาตุอาหารหลักมีความแตกต่างกับก่อนนำไปใช้ปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีรูพรุนสูงจึงมีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน (Yin et al., 2014; Nipa et al., 2016) ดังนั้นจึงมีการนำถ่านชีวภาพมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในปัจจุบัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Schulz & Glaser (2012) ที่ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีต่อคุณภาพดินและการเจริญเติบโตของข้าวโอ๊ต พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ข้าวโอ๊ตมีผลผลิตสูงสุด และการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับการจัดการปุ๋ยช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว การเจริญเติบโตได้ดีจึงทำให้ส่งผลต่อน้ำหนักสดของพืช ซึ่งนำไปขายได้ราคาดีต่อไป

โดยสรุป การใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับวัสดุปลูกโดยเฉพาะปุ๋ยดิน ให้ผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณผลผลิต และการสะสมธาตุอาหาร อีกทั้งช่วยในเรื่องอินทรีย์วัตถุในวัสดุปลูกหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะพืชกินใบเช่นผักสลัด ในขณะที่การจัดการปุ๋ยชนิดต่าง ๆ เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการใช้ถ่านชีวภาพ ไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตและปริมาณการสะสมธาตุอาหารในวัสดุปลูก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับการจัดการปุ๋ยจะให้ผลดีต่อการปลูกพืชซึ่งรวมไปถึงการเตรียมพร้อมวัสดุปลูกล่วงหน้าสำหรับการปลูกพืชในรอบฤดูกาลถัดไปอีกด้วย อย่างไรก็ตามควรทำการวิจัยเพื่อยืนยันในพืชกินใบชนิดอื่น ๆ ในการวิจัยครั้งต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- จาวภา มะนาวนอก, สันติไมตรี ก้อนคำดี, เกษสุตา เดชภิมล, วรณวิภา แก้วประดิษฐ์ พลพินิจ, และ ดร.ณิ โชติชูขยางกูร. (2560). ถ่านชีวภาพ: ผลต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนาหว่านน้ำตม (การทดสอบในสภาพกระถาง). *วารสารแก่นเกษตร*, 45(2), 209-220. https://agkb.lib.ku.ac.th/kku/search_detail/result/387243
- ณัฐจิรา อินมนต์. (2563). *การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวา* [วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และคณะ. (2550). *โครงการ การจัดการธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่เพื่อการผลิตพืชอย่างยั่งยืน (ข้าวและอ้อย)* [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์]. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สัญญาเลขที่ RDG 4820024).
- ปิยณัฐ โตอ่อน, จรุงรัตน์ พันธุ์สุวรรณ, และ สวลี อุตรา. (2559). การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวา กับถ่านแกลบให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 10(2), 99-107. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/56485>
- พัชร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, สมชาย ชดตระกูล, วรภัทร ลัคนาทินวงศ์, ชวินทร์ ปลื้มเจริญ, ภริญา ชมพูผิว, และ อรประภา เทพศิลป์สุทธิ. (2559). การเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อคุณภาพข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24(5), 753-765. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/61424>
- ภรภัทร สุขชาติกุล. (2560). การแปลผลค่าวิเคราะห์ดิน และคำแนะนำการให้ปุ๋ยทางพาราสำหรับเกษตรกรทั่วไป. *วารสารยางพารา*, 29, 15-24. https://km.raot.co.th/uploads/dip/userfiles/intra_สถาบันวิจัยยาง/20170922114105--PRB-2560-07.pdf
- วสุ สันติมิตร, นชกร ปภาณุโรจน์, และ ศุภวรรณ จิตริศพิทย์. (2562). *การปลูกผักสลัดในวัสดุปลูกแทนดินโดยไม่ใช้สารเคมี จากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน* [รายงานวิจัย]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และ อรสา สุกสว่าง. (2556). การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. *วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์*, 39(2), 212-225. <http://information.soc.ku.ac.th/ojs/index.php/social/article/viewFile/134/135>
- สายชล สุขญาณกิจ, สิริวรรณ สมิตธิอาภรณ์, ธนภัทร ปลื้มพวง, และ ธนวรรณ พาณิชพัฒน์. (2563). ผลของถ่านชีวภาพร่วมกับการจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตและความเข้มข้นธาตุอาหารในถั่วฝักยาวไร้ค้าง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(3), 443-454. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/234758>
- สายน้ำ อุดพ้วย, ชัชชนพร เกื้อหนู, พีรพงษ์ เชาวนพงษ์, และ ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา. (2559). ผลของถ่านชีวภาพจากเห้งจันสำปะหลังต่อสมบัติทางเคมีของดินเหนียวในสภาพโรงเรือน. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54*. (หน้า 328-335). https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php?/kukr/search_detail/download_digital_file/332200/90365
- สุชาติ เจริญทอง และ สุทธิจิตต์ เจริญทอง. (2559). *การผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากน้ำนิ่งปลาสำหรับพืชอาหารสัตว์ในนาร้าง* [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุมินทร์ญา ทิพา, มะลิ นาชัยสินธุ์, และ กลยุทธ์ ดิจิจริง. (2557). *การผลิตเชื้อเพลิงแท่งชีวภาพแบบผสมผสานจากผักตบชวาผสมเปลือกมังคุด* [รายงานการวิจัย]. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). *การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย* [รายงานฉบับสมบูรณ์]. กรุงเทพมหานคร

- อรสา สุกสว่าง. (2552). เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ: วิธีแก้ปัญหาโลกร้อน ดิน และความยากจนในภาคเกษตรกรรม. *การประชุมวิชาการเรื่อง สภาวะโลกร้อน: ความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน*. (หน้า 172-184).
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B., & Haefele, S. (2013). The Impact of Biochar Application on Soil Properties and Plant Growth of Pot Grown Lettuce (*Lettuce sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3, 404-418. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020404>
- Fontaine, S., Bardoux, G., Abbadie, L. & Mariotti, A. (2004). Carbon Input to Soil May Decrease Soil Carbon Content. *Ecology Letters*, 7(4), 314-320. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00579.x>
- Lehmann, J. (2006). Black is the New Green. *Nature*, 442, 624-626. <https://www.nature.com/articles/442624a>
- Lehmann, J. (2007). A handful of Carbon. *Nature*, 447, 143-144. <https://www.nature.com/articles/447143a>
- Nipa, T., Patma, V., Phrueksa, L., & Patcharee, S. (2016). Biochar and Rice Straw Have Different Effects on Soil Productivity, Greenhouse gas Emission and Carbon Sequestration in Northeast Thailand Paddy Soil. *Agriculture and Natural Resources*, 50, 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.01.003>
- Pandian, K., Subramaniyan, P., Gnasekaran, P., & Chitraputhirapillai, S. (2016). Effect of Biochar Amendment on Soil Physical, Chemical and Biological Properties and Groundnut Yield in Rainfed Alfisol of Semi-arid Tropics. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62, 1293-1310. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1139086>
- Schuz, H., & Glazer, B. (2012). Effects of Biochar Compared to Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Quality and Plant Growth in a Greenhouse Experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175, 410-422. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100143>
- The World Bank Group. (2018). *Agriculture Land (% of land area)*. The World Bank. <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS/countries/1W?display=graph>
- Yin, Y.F., He, X.H., Gao, R., Ma, H.L., & Yang, Y.S. (2014). Effects of Rice Straw and Its Biochar Addition on Soil Labile Carbon and Soil Organic Carbon. *Journal of Integrative Agriculture*, 13, 491-498. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60704-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60704-2)
- Zafar, S. (2008). *Biochar and Its Role in Mitigating Climate Change*. Mongabay. http://news.mongabay.com/2008/1217-zafar_biochar.html