ผลของสมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อยต่อการกักเก็บคาร์บอนรูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

EFFECT OF RICE STRAW AND SUGARCANE LEAF RESIDUE BIOCHAR PROPERTIES ON PADDY SOIL CARBON SEQUESTRATION, CARBON FRACTION, RICE GROWTH AND YIELD

นันทนัช ชาวพะเยาว์

NANTANAT CHAOPAYAO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2565

KMITL-2022-AG-M-065-375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF RICE STRAW AND SUGARCANE LEAF RESIDUE BIOCHAR PROPERTIES ON PADDY SOIL CARBON SEQUESTRATION, CARBON FRACTION, RICE GROWTH AND YIELD

NANTANAT CHAOPAYAO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

KMITL-2022-AG-M-065-375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อยต่อการกักเก็บคาร์บอน รูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว
Effect of rice straw and sugarcane leaf residue biochar properties on paddy soil carbon sequestration, carbon fraction, rice growth and yield

นักศึกษา นางสาวนันทนัช ชาวพะเยาว์
รหัสประจำตัว 62604019
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เกษตรศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สุกัญญา แย้มประชา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. พักตร์เพ็ญ	ภูมิพันธ์	
รศ.ดร. มณทินี	ธีรารักษ์	
ผศ.ดร. นิตยา	ผกามาศ	
ผศ.ดร. ภัทรารัตน์	เทียมเก่า	
ผศ.ดร. สุกัญญา	แย้มประชา	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 15 ธันวาคม 2565
สถานที่สอบ A 408 ชั้น 4 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

คณบดีรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พุฒทองศิริ)
คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
วันที่ 22 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อยต่อการกักเก็บคาร์บอน รูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

ชื่อนักศึกษา นางสาวนันทนัช ชาวพะเยาว์

รหัสประจำตัว 62604019

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2565

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สุกัญญา แย้มประชา

บทคัดย่อ

ข้าวและอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย แต่ในช่วงการเก็บเกี่ยวจะเหลือฟางข้าวและเศษใบอ้อยเป็นจำนวนมาก ซึ่งเศษซากพืชเหล่านี้อุดมไปด้วยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช การเปลี่ยนเศษซากพืชให้เป็นถ่านชีวภาพนอกจากช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมี และกายภาพของดินแล้ว และยังช่วยกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้ในระยะยาว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย และเปรียบเทียบผลของการใส่ถ่านชีวภาพและเศษซากพืชและอัตราการใส่ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตของข้าว สมบัติดิน การกักเก็บคาร์บอน และรูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง โดยทดลองปลูกข้าวในกระถาง ในโรงเรือนทดลอง จำนวน 2 ฤดู วางแผนการทดลองแบบ 4 x 3 +1 แฟคทอเรียลในบล็อกสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 13 ทรีตเมนต์ 3 ซ้ำ ประกอบไปด้วยปัจจัย A วัสดุอินทรีย์ 4 ชนิด คือ 1) ฟางข้าว 2) เศษใบอ้อย 3) ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และ 4) ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ปัจจัย B อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ 3 ระดับ คือ 1) การใส่ในอัตรา 2.5% 2) การใส่ในอัตรา 5% 3) การใส่ในอัตรา 7.5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) และ ทรีตเมนต์ควบคุม (ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเปลี่ยนเศษซากพืชเป็นถ่านชีวภาพส่งผลให้ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด มีความเข้มข้นของทุกธาตุอาหาร พื้นที่ผิว และความพรุนสูงกว่าเศษซากพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว พบว่าข้าวฤดูที่ 1 ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้ความสูง และจำนวนหน่อต่อกอในทุกสัปดาห์หลังปักดำ ค่าความเขียวของใบข้าวในระยะแตกกอจนถึงระยะเริ่มตั้งท้อง จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักแห้งของตอซัง และการดูดใช้คาร์บอน โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ และเหล็กในตอซังสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้าวฤดูที่ 2 ชนิดของวัสดุอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดไม่ส่งผลต่อความสูงและความเขียวของใบข้าว การใส่ฟางข้าวทำให้มีจำนวนหน่อ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% น้ำหนักสดและแห้งของตอซังและเมล็ด การดูดใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แมงกานีส และสังกะสีในตอซังและเมล็ดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการใส่วัสดุอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดอื่น ในขณะที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินหลังปลูก ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทองแดงที่สกัดได้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน อนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) อินทรีย์คาร์บอนที่ออกซิไดส์ด้วยเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$-C) อินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) และ heavy fraction (HF) ใน ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพและทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% มีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจากการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 5% ส่งผลให้น้ำหนักสดและแห้งตอซัง ธาตุอาหารในดินหลังปลูก ค่า loss on ignition ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) และ heavy fraction (HF) สูงกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชทุกอัตราและทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Effect of rice straw and sugarcane leaf residue biochar properties on paddy soil carbon sequestration, carbon fraction, rice growth and yield
Student Name	Miss Nantanat Chaopayao
Student ID	62604019
Degree	Master of Science
Program	Agriculture
Year	2022
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Sukunya Yampracha

ABSTRACT

Rice and sugarcane are important economic crops in Thailand, there is a lot of rice straw and sugarcane leaf residue during and after harvest. Rice straw and sugarcane leaf residue are rich in plant nutrients beneficial to plants. Changing plant residue to biochar can improves the chemical and physical soil properties and it also helps with carbon sequestration in the soil in the long term. The purpose of this research was to study the properties of biochar from rice straw and sugarcane leaf residue and compare the effects of biochar and plant residue application and application rates on rice growth, rice yield, soil properties, carbon sequestration, and carbon fraction on paddy soil. The pot experiment was conducted in the greenhouse for two seasons. The experimental design was a 4 x 3 +1 factorial in a randomized complete block design (RCBD) with 13 treatments and three replicates. Factor A consisted of the four organic materials e.g., rice straw (R), sugarcane leaf (S), rice straw biochar (RB), and sugarcane leaf biochar (SB). Factor B consisted of the three application rates, e.g., 2.5%, 5%, and 7.5%, and control treatment (without organic materials application). The result showed that converting plant residues to biochar significantly increased the concentrations of all plant nutrients, specific surface area, and total pore volume in both types of biochar. In the first season the plant height and tiller number every week after transplanting, the SPAD of rice leaves in tillering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stage to booting stage, panicle number/hill, dry weight of straw, the uptake of carbon potassium, sulfur, and iron in the stubble was significantly highest in both biochar treatment. In the second season the four types of organic materials were not significantly different in the plant height and the SPAD of rice leaves. The tiller number, panicle number, fresh and dry weight of straw and grain, and grain weight at 14% moisture were significantly highest in the rice straw treatment. The uptake of carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur, manganese, and zinc in the stubble and grain was also highest in the rice straw treatment. The soil properties after harvesting includes total carbon, total nitrogen, total sulfur, available phosphorus, exchangeable potassium and magnesium, extractable copper, carbon sequestration, particulate organic carbon (POC), light fraction organic carbon (LFOC), permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C), and heavy fraction (HF) were significantly highest in the biochar and the application rates at 7.5% treatments. The analysis of the interaction between type and application rate of organic materials showed that application of rice straw biochar at the rate of 5% gave a highest straw fresh and dry weight. Soil properties after harvesting including loss on ignition, carbon sequestration, total C, available phosphorus, exchangeable potassium, particulate organic carbon (POC), light fraction organic carbon (LFOC) and heavy fraction (HF) were higher than others plant materials and the soil bulk density was decreased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุกัญญา แย้มประชา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ รศ.ดร.มณทินี ธีรารักษ์ ผศ.ดร.นิตยา ผกามาศ และ ผศ.ดร.ภัทรารัตน์ เทียมเก่า กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนทุนวิจัยส่งเสริมส่วนงานวิชาการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณครอบครัว อาจารย์ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และบุคลากร ณ ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังที่ดีตลอดมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดามารดาและครอบครัวของข้าพเจ้าซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นันทนัช ชาวพะเยาว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก
ABSTRACT..... ค
กิตติกรรมประกาศ..... จ
สารบัญ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 2
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... 3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย..... 3
1.5 ขอบเขตการวิจัย..... 4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา..... 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.1 ข้าว..... 5
2.1.1 พื้นที่ปลูกข้าว..... 5
2.1.2 การจัดการฟางข้าว..... 6
2.2 อ้อย..... 6
2.2.1พื้นที่ปลูกอ้อย..... 6
2.2.2 การจัดการเศษใบอ้อย..... 7
2.3 พื้นที่ปลูกข้าวและอ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรี..... 8
2.4 ถ่านชีวภาพ..... 9
2.4.1 สมบัติและผลของถ่านชีวภาพต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน..... 9
2.4.2 ผลของถ่านชีวภาพต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์..... 11
2.5 อินทรีย์คาร์บอน..... 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 13

3.1 ผลของสมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย 13

3.1.1 การเตรียมเศษซากพืชและถ่านชีวภาพ 13

3.1.2 การวิเคราะห์สมบัติตัวอย่างเศษซากพืช 15

3.1.3 การวิเคราะห์สมบัติตัวอย่างถ่านชีวภาพ 15

3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 15

3.2 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษซากพืชจากฟางข้าวและใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว 16

3.2.1 การเตรียมดิน 16

3.2.2 การทดลองในโรงเรือน 16

3.2.3 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช 18

3.2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช 19

3.3 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย เศษซากพืชจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อสมบัติดิน การกักเก็บคาร์บอนและรูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง 19

3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน 19

3.3.2 การวิเคราะห์รูปของคาร์บอน 20

3.3.3 การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดิน 20

3.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 20

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 21

4.1 สมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย 21

4.1.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุอินทรีย์ 21

4.1.1.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ 21

4.1.1.2 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพ 22

4.1.1.3 พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของวัสดุอินทรีย์ 23

4.1.1.4 องค์ประกอบคาร์บอนในเศษซากพืช 24

4.2 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษซากพืชจากฟางข้าวและใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวฤดูที่ 1 25
4.2.1.1 การเจริญเติบโตของข้าว 25
4.2.1.2 องค์ประกอบผลผลิตของข้าว 31
4.2.2 การดูดใช้ธาตุอาหารในตอซังของข้าวฤดูที่ 1 34
4.2.3 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวฤดูที่ 2 36
4.2.3.1 การเจริญเติบโตของข้าว 36
4.2.3.2 องค์ประกอบผลผลิตของข้าว 41
4.2.4 การดูดใช้ธาตุอาหารในตอซังและเมล็ดของข้าวฤดูที่ 2 44
4.3 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย เศษซากพืชจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อสมบัติดิน การกักเก็บคาร์บอนและรูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง 50
4.3.1 สมบัติดินและรูปของคาร์บอนในดินก่อนการทดลอง 50
4.3.2 สมบัติดินหลังหมักวัสดุอินทรีย์เป็นเวลา 1 เดือน ก่อนการปลูกข้าวฤดูที่ 1 52
4.3.3 สมบัติดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 1 55
4.3.4 สมบัติดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 2 58
4.3.4 รูปของคาร์บอนในดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 2 66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 71
บรรณานุกรม 73
ภาคผนวก 81
1. การวิเคราะห์รูปของคาร์บอน 82
ประวัติผู้เขียน 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 Planting areaand yield of in-season rice by each region in planting year 2020/21..... 1
2.2 Planting area and yield of off-season by each region in planting year 2021. 1
2.3 Top 3 planting area in each region in the cultivation year 2020/21..... 7
2.4 Top 4 economic crops area in Suphan Buri Province in 2021..... 8
4.1 Total concentration of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) in organic materials..... 22
4.2 pH, electrical conductivity (EC) and cation exchange capacity (CEC) in biochar..... 22
4.3 Specific surface area and total pores volume in organic materials..... 23
4.4 The content of cellulose, hemi cellulose and lignin in rice straw and sugarcane leaf..... 24
4.5 The height of rice in the first season..... 26
4.6 The SPAD of fully leaf rice in the first season..... 28
4.7 The tiller number of rice in the first season..... 30
4.8 The panicle hill, fresh and dry weight of straw and filled and unfilled of grain percentage in the first season..... 32
4.9 Uptake of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of rice straw in the first season... 35
4.10 The height of rice in the second season..... 37
4.11 The SPAD of fully leaf rice in the second season..... 38
4.12 The tiller number of rice in the second season..... 40
4.13 The panicle number, fresh and dry weight of straw and grain, percentagefilled and unfilled of grain, 1,000 grain weight, grain weight at 14% moisture and harvest index in second season..... 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.14 Uptake of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of rice straw in the second season..... 45

4.15 Uptake of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of grain in second season..... 47

16 Total uptake of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) in second season..... 49

4.17 Soil physical and chemical properties before planting..... 50

4.18 Dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC), particulate organic carbon (POC), permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C), light fraction organic carbon (LFOC), and heavy fraction (HF) contents before planting..... 51

4.19 The soil pH, electrical conductivity, loss on ignition (LOI), total C, N, S and available P and cation exchange capacity (CEC) in soil after 1 month of organic material amendment..... 53

4.20 The exchangeable K, Ca, and Mg and extractable Fe, Mn, Cu, and Zn in soil after 1 month of organic material amendment..... 54

4.21 The soil pH, electrical conductivity, loss on ignition (LOI), total C, N, S and available P in soil after harvesting in the first season..... 56

4.22 The exchangeable K, Ca, and Mg, extractable Fe, Mn, Cu and Zn and cation exchange capacity (CEC) in soil after harvesting in the first season.... 57

4.23 The soil bulk density, pH, electrical conductivity, cation exchange capacity (CEC) loss on ignition (LOI), soil carbon sequestration (Csoil) and total C, N, S in soil after harvesting in the second season..... 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.24 The available P, exchangeable K, Ca, and Mg and extractable Fe, Mn, Cu and Zn in soil after harvesting in the second season..... 62

4.25 Dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC), particulate organic carbon (POC), permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C), light fraction organic carbon (LFOC), and heavy fraction content after second season..... 68

Appendix table 1 Total concentration of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of rice straw in the first season..... 84

Appendix table 2 Total concentration of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of rice straw in the second season..... 85

Appendix table 3 Total concentration of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of grain in second season..... 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

3.1 Rice straw (a), sugarcane leaf (b), rice straw biochar (c), and sugarcane leaf biochar (d)..... 14
3.2 Production process of biochar from rice straw and sugarcane leaf..... 14
3.3 Measure the SPAD of rice leaves with a chlorophyll meter..... 18
4.1 Field emission scanning electron microscope (FESEM) (100x) of rice straw (a), sugarcane leaf (b), rice straw biochar (c) and sugarcane leaf biochar (d)..... 23
4.2 Panicle number in the first season..... 33
4.3 Straw fresh weight in the first season..... 33
4.4 Straw dry weight in the first season..... 33
4.5 Panicle number in second season..... 43
4.6 Straw fresh weight in second season..... 43
4.7 Straw dry weight in second season..... 43
4.8 Soil bulk density in soil after harvesting in the second season..... 63
4.9 pH in soil after harvesting in the second season..... 63
4.10 Loss on ignition in soil after harvesting in the second season..... 63
4.11 Soil carbon sequestration in soil after harvesting in the second season..... 64
4.12 Soil tatal C after harvesting in the second season..... 64
4.13 Soil available P after harvesting in the second season..... 64
4.14 Soil exchangeable K after harvesting in the second season..... 65
4.15 Soil exchangeable Mg after harvesting in the second season..... 65
4.16 Particulate organic carbon (POC) fraction content in soil after second season..... 69
4.17 Permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C) fraction content in soil after second season..... 69
4.18 Light fraction organic carbon (LFOC) fraction content in soil after second season 69
4.19 Heavy fraction content in soil after second season..... 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพภาคผนวกที่ **หน้า**

1 Rice at the harvest maturity first season..... 87

2 Rice at the harvest maturity second season..... 88

3 Panicle of each treatment first season..... 89

4 Panicle of each treatment second season..... 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวและอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย โดยข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรไทย ในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2563/64 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีและนาปรังรวมกันประมาณ 72.77 ล้านไร่และมีผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศประมาณ 31.73 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) จึงส่งผลให้หลังการเก็บเกี่ยวข้าวมีปริมาณฟางข้าวและตอซังจำนวนมาก โดยเฉลี่ยประเทศไทยจะมีตอซังประมาณปีละ 42.33 ล้านไร่ต่อปี ในพื้นที่ปลูก ข้าว 1 ไร่ มีปริมาณฟางข้าวและตอซังเฉลี่ยปีละ 650 kg (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) โดยฟางข้าวเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่ายและมีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชโดยเฉลี่ย ดังนี้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เท่ากับ 5.90 , 0.80 , 15.60 , 3.80 , 2.30 และ 0.80 g/kg ตามลำดับ (พงษ์พันธุ์ กาวิละ, 2548) ซึ่งธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเจริญเติบโตของพืช แต่เกษตรกรส่วนใหญ่มักนำฟางข้าวออกจากแปลงหรือเผาฟางข้าว เพื่อให้เกิดความสะดวกในการไถเตรียมดินสำหรับการปลูกข้าวในรอบต่อไป จึงเป็นสาเหตุหลักทำให้สูญเสียธาตุอาหาร และอินทรียวัตถุในดิน ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ นอกจากนั้นแล้วการเผาตอซังยังก่อให้เกิดปัญหาหมอกควัน ฝุ่นละออง ส่งผลต่อสุขภาพ และเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน (วิรัตน์ นาคเอี่ยม และคณะ, 2557)

อ้อย (*Saccharum spp.*) เป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่สามารถปลูกได้กว่า 70 ประเทศทั่วโลก สามารถสร้างมูลค่าให้กับหลายประเทศที่เพาะปลูก ประเทศไทยส่งออกน้ำตาลทรายเป็นอันดับ 2 ของโลก ในปีการผลิต พ.ศ.2563/64 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกอ้อย 10.86 ล้านไร่ โดยภาคที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออก ตามลำดับ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2564) โดยในพื้นที่ปลูกอ้อย 1 ไร่ หลังจากเก็บเกี่ยวอ้อยจะมีเศษเหลือใบอ้อย (Sugarcane trash) ประมาณ 0.63 – 1.51 ตันต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2556) ในการเก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละครั้งเกษตรกรส่วนใหญ่ มักจะนิยมเผาทำลายใบอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยว เพราะง่ายต่อการจัดการแปลง เป็นการประหยัดแรงงาน แต่วิธีดังกล่าวนั้นส่งผลทำให้ ลดคุณภาพผลผลิต เกิดมลพิษทางอากาศ ดินเสื่อมโทรม สูญเสียอินทรียวัตถุ ทำลายจุลินทรีย์ดินและทำให้สูญเสียธาตุอาหาร เนื่องจากในเศษใบอ้อยมีธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ประมาณ 420 , 4.60-5.40, 0.50-0.90, 4.70-6.60, 1.80-4.10, 0.90-1.70 และ 0.60-1.70 g/kg ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีปริมาณมาก (Robertson and Thorburn, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในจังหวัดสุพรรณบุรี ข้าวและอ้อยถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ในปี พ.ศ. 2564 มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวเป็นอันดับ 1 ในภาคกลาง โดยมีพื้นที่เพาะปลูก 1.87 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ส่วนอ้อยอยู่ในอันดับที่ 3 ของภาคกลาง มีพื้นที่เพาะปลูก 0.59 ล้านไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2564) นอกจากนี้เกษตรกรในจังหวัดสุพรรณบุรีบางพื้นที่มักปลูกข้าวแล้วอ้อยสลับกันในพื้นที่เดียวกัน ขึ้นอยู่กับระบบชลประทาน และปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี จังหวัดสุพรรณบุรีจึงมีความน่าสนใจในการศึกษาผลของการจัดการเศษซากพืชจากข้าวและอ้อยในปัจจุบันพบว่ามีเทคโนโลยีที่สามารถนำเศษซากพืช เช่น ฟางข้าว เศษใบอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง กิ่งไม้ นำมาเปลี่ยนสภาพให้เป็นถ่านชีวภาพ (Biochar) โดยถ่านชีวภาพ เป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอนผลิตจากชีวมวล หรือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จากธรรมชาติ นำมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ประโยชน์ของถ่านชีวภาพมีหลายด้าน เช่น การปรับปรุงดินเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร ปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน จึงช่วยเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร และยังช่วยกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้ในระยะยาวอีกด้วย เนื่องจากเมื่อนำถ่านชีวภาพใส่ลงดิน ลักษณะความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพจะช่วยกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน และเป็นที่อยู่ให้กับจุลินทรีย์สำหรับทำกิจกรรมเพื่อสร้างอาหารให้ดิน (Suksawang, 2009) ดังนั้นการเปลี่ยนฟางข้าวและเศษใบอ้อยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากและยังอุดมไปด้วยธาตุอาหารให้กลายเป็นถ่านชีวภาพอาจเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับเกษตรกร โดยจากการทดลองของ Zhao et al. (2014) พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 22.5 ตันต่อแฮกแตร์ต่อฤดูปลูก เป็นเวลาหนึ่งปีทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้น 1.11 unit และเพิ่มผลผลิตข้าวสาลีได้ 150% ในการปลูกพืชระบบ ข้าวสาลี-ข้าวฟ่าง อีกทั้งยังเป็นการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน จากการทดลองของ Coomes and Miltner (2016) พบว่า การเติมถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในถ่านชีวภาพมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง มีโครงสร้างที่เป็นคาร์บอนอะโรมาติกจำนวนมากที่ยึดติดกันอย่างหนาแน่น จึงส่งผลให้มีศักยภาพในการคงทนอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลานาน และอาจมีผลต่อรูปของคาร์บอนในดิน ซึ่งจากงานวิจัยของ Lin et al. (2012) พบว่า ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดินโดยเฉพาะอินทรีย์คาร์บอนในรูปที่สกัดได้ด้วยน้ำ (water-extractable organic carbon) และยังมีรูปของคาร์บอนอื่นๆที่มีความสามารถในย่อยสลายที่แตกต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์รูปของคาร์บอนทำให้เห็นถึงประโยชน์ของถ่านชีวภาพในด้านการกักเก็บคาร์บอนได้ชัดเจนมากขึ้น

ดังนั้นหากนำฟางข้าวและเศษใบอ้อยออกจากแปลง เพื่อเปลี่ยนเป็นถ่านชีวภาพแล้วนำกลับไปใส่ในแปลงอาจเป็นแนวทางจัดการฟางข้าวและเศษใบอ้อยที่ดีกว่าการเผาเศษซากพืช และยังอาจส่งผลถึงรูปของคาร์บอนในดินที่มีความทนทานมากขึ้น จึงส่งผลต่อคาร์บอนในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย เศษซากพืชจากฟางข้าวและใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตของข้าว

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย เศษซากพืชจากฟางข้าวและใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อสมบัติดิน การกักเก็บคาร์บอนและรูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใส่เศษซากพืชช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดิน เนื่องจากในเศษซากพืชอุดมไปด้วยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และการเปลี่ยนเศษซากพืชเป็นถ่านชีวภาพเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนให้อยู่ในรูปที่สลายตัวได้ยาก และใส่ลงในแปลงปลูกข้าวอาจช่วยเพิ่มการกักเก็บคาร์บอน รวมทั้งเพิ่มการกักเก็บธาตุอาหารอื่นๆไว้ในดิน เพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้อย่างช้าๆ ลดการสูญเสียธาตุอาหารไปจากดินได้ดีกว่าการใส่เศษซากพืชที่ยังไม่เปลี่ยนเป็นถ่านชีวภาพ เพราะคาร์บอนเปลี่ยนเป็นรูปที่มีความทนทานต่อการย่อยสลายตัวมากขึ้น และยังเป็นการช่วยลดมลพิษจากการเผาเศษซากพืชในพื้นที่โล่ง (open burning)

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าวและเศษใบอ้อย มาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารในดิน โดยการทิ้งไว้ในแปลงเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน แต่หากเปลี่ยนเศษซากพืชเป็นถ่านชีวภาพก็จะช่วยในการปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตทางเกษตรได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงดินจากลักษณะความเป็นรูพรุนมีพื้นผิว และความสามารถในการดูดซับประจุบวกสูงของถ่านชีวภาพทำให้ดินมีการระบายอากาศได้ดียิ่งขึ้น ช่วยกักเก็บน้ำและเพิ่มธาตุอาหารในดิน เป็นที่อยู่และแหล่งอาหารให้แก่จุลินทรีย์ดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น ช่วยลดการสูญเสียปุ๋ยจากการชะล้าง ส่งผลให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายของเกษตรกร นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในระยะยาวได้ด้วยการกักเก็บคาร์บอนในดิน เนื่องจากรูปของคาร์บอนในถ่านชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นการนำเศษซากพืชอย่างฟางข้าวและเศษใบอ้อยมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย

1.5.2 ศึกษาผลของชนิดและอัตราวัสดุอินทรีย์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในดิน การดูดใช้ธาตุอาหารของข้าว การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

1.5.3 ศึกษาผลของชนิดและอัตราวัสดุอินทรีย์ต่อการกักเก็บคาร์บอน รูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

เก็บตัวอย่างดินนาจากแปลงนาในจังหวัดสุพรรณบุรี และเก็บตัวอย่างฟางข้าวและเศษใบอ้อยจากแปลงเกษตรกรจังหวัดสุพรรณบุรี เตรียมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อยโดยนำไปเผาในเตาเผาถ่านชีวภาพภายใต้กระบวนการไพโรไลซิส ทำการทดลองปลูกข้าวในกระถาง บนโรงเรือนทดลอง จำนวน 2 ฤดู หลังจากการปลูกข้าวเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช เก็บตัวอย่างดินก่อน-หลังการทดลอง นำตัวอย่างพืชมาวิเคราะห์ปริมาณของธาตุอาหารในพืช และตัวอย่างดินในแต่ละรอบการปลูกพืชมาวิเคราะห์สมบัติดิน รูปของคาร์บอนในดินหลังปลูกในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

2.1.1 พื้นที่ปลูกข้าว

ข้าวเป็นพืชอาหารหลักของประชากรโลก โดยเป็นอาหารหลักของคนไทยมาช้านานแล้ว การผลิตข้าวในประเทศไทย เป็นส่วนสำคัญของเศรษฐกิจไทย เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรรมเป็นหลัก ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2563/64 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีประมาณ 62.43 ล้านไร่ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่การเพาะปลูกมากที่สุด รองลงมาคือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ตามลำดับ มีผลผลิตเฉลี่ย 26.42 ล้านตันต่อปี (Table 2.1) และมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังประมาณ 8.34 ล้านไร่ โดยภาคกลางมีพื้นที่การเพาะปลูกมากที่สุด รองลงมาคือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ตามลำดับ มีผลผลิตเฉลี่ย 5.31 ล้านตันต่อปี (Table 2.2)

Table 2.1 Planting area and yield of in-season rice by each region in planting year 2020/21.

Country/Region	Planting area (rai)	Yield (tons)
Northeast	38,593,847	13,190,334
North	14,702,834	7,965,669
Central	8,332,804	4,907,011
South	808,057	360,808
Including country	62,437,542	26,423,822

(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

Table 2.2 Planting area and yield of off-season by each region in planting year 2021.

Country/Region	Planting area (rai)	Yield (tons)
Central	3,368,880	2,329,519
North	3,025,021	1,872,221
Northeast	1,873,850	1,067,704
South	74,958	41,002
Including country	8,342,709	5,310,446

(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การจัดการฟางข้าว

หลังการเก็บเกี่ยวข้าวแต่ละปี ประเทศไทยมีปริมาณตอซังเฉลี่ยประมาณปีละ 42.33 ล้านตันต่อปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) โดยเกษตรกรมีการจัดการฟางและตอซังข้าวที่เหลือได้หลายวิธี เช่น ปล่อยทิ้งให้ย่อยสลาย นำไปอัดเป็นฟางก้อนจำหน่าย นำไปเป็นอาหารสัตว์ นำไปปกคลุมพืชอื่นเพื่อรักษาความชื้น และการเผาฟางและตอซัง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้สูญเสียธาตุอาหาร และอินทรียวัตถุ ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ นอกจากนี้การเผาตอซังยังทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพมนุษย์ ในปัจจุบันการนำฟางกลับมาใส่ในแปลงได้รับการแนะนำอย่างกว้างขวางว่าเป็นวิธีปฏิบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในการจัดการการกักเก็บคาร์บอน (C) ในระบบนิเวศเกษตร จากงานทดลองของ นันทนัช ชาวพะเยาว์ และคณะ (2563) พบว่า ในฟางข้าวมีปริมาณของคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เท่ากับ 346–353.48, 5.32-7.46, 0.50-0.66, 0.66-18.50, 2.60-3.08, 1.61-2.11, 1.90-2.99 g/kg ตามลำดับ มีปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง เท่ากับ 219-436, 308- 387, 10.01-12.81 และ 15.35-15.60 mg/kg ตามลำดับ และจากงานวิจัยของ Liu et al. (2014) ระบุว่าการคืนฟางข้าวกลับลงไปในดินสามารถเพิ่มปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) อย่างมีนัยสำคัญโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12.8±0.4 % เพิ่มขึ้นจาก 27.4±1.4 % เป็น 56.6±1.8 % ในส่วนคาร์บอนในดิน การคืนฟางข้าวกลับลงไปในดินไม่เพียงเพิ่มคาร์บอนลงในดินโดยตรงเท่านั้น แต่ยังมีอิทธิพลต่อสมบัติของดิน เช่น เพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เป็นต้น และยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Lal, 2008) อย่างไรก็ตามการใส่ฟางข้าวกลับลงสู่แปลง ทำให้เกิดการย่อยสลายของคาร์บอนได้ค่อนข้างรวดเร็วในดินเขตร้อนอย่างประเทศไทย และในการทำนาน้ำขังยังมีโอกาสเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้

2.2 อ้อย

2.2.1 พื้นที่ปลูกอ้อย

อ้อย (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Saccharum spp.*) เป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เพราะไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลทรายรายใหญ่เป็นอันดับที่ 2 ของโลก รองจากประเทศบราซิล เป็นอุตสาหกรรมที่มีผู้เกี่ยวข้องมากมายในทุกระดับ ตั้งแต่ระดับไร่นาถึงโรงงานน้ำตาลและอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น การผลิตไฟฟ้า ไม้อัด กระดาษ เอทานอล สุรา ผลิตภัณฑ์อาหาร และอาหารสัตว์ เป็นต้น อุตสาหกรรมนี้มีส่วนช่วยสร้างงานได้มากกว่า 1 ล้านคน ในปีการผลิต 2563/64 ผลิตอ้อยได้เฉลี่ย 7.21 ตันต่อไร่ ปีการผลิต 2563/64 มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยทั่วประเทศ 10.86 ล้านไร่ โดยภาคที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากเป็นอันดับหนึ่ง คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมด 4.59 ล้านไร่ รองลงมาคือ ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออก มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมด 2.93, 2.66 และ 0.66 ล้านไร่ ตามลำดับ โดยภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยจำนวน 9, 12, 20 และ 6 จังหวัด ตามลำดับ โดยจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุด 3 อันดับแรกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ จังหวัดอุดรธานี ขอนแก่น นครราชสีมา ตามลำดับ ภาคกลาง คือ จังหวัดกาญจนบุรี ลพบุรี สุพรรณบุรี ตามลำดับ ภาคเหนือ คือ จังหวัดกำแพงเพชร นครสวรรค์ และเพชรบูรณ์ ตามลำดับ และภาคตะวันออก คือ จังหวัดสระแก้ว ชลบุรี ปราจีนบุรี ตามลำดับ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2564)

Table 2.3 Top 3 planting area in each region in the cultivation year 2020/21.

Region	Rank	Province	Planting area (rai)
Northeast	1	Udon Thani	699,332
	2	Khon Kaen	619,091
	3	Nakhon Ratchasima	579,209
Central	1	Kanchanaburi	702,225
	2	Lop Buri	657,415
	3	Suphan Buri	599,031
North	1	Kamphaeng Phet	782,571
	2	Nakhon Sawan	774,705
	3	Phetchabun	496,743
East	1	Sa Kaeo	448,065
	2	Chon Buri	139,478
	3	Prachin Buri	40,826

(สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2564)

2.2.2 การจัดการเศษใบอ้อย

ในพื้นที่ปลูกอ้อย 1 ไร่ หลังจากเก็บเกี่ยวอ้อยจะมีเศษเหลือใบอ้อย (Sugarcane trash) ที่ประกอบด้วย ยอดอ้อย ใบอ้อยสด และใบอ้อยแห้ง เป็นเศษเหลือทิ้งอยู่ในแปลงอ้อยประมาณ 0.63-1.51 ตันต่อไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2556) ในการเก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละครั้งมีการจัดการเศษใบอ้อยหลายวิธี เช่น การทิ้งไว้คลุมดินในแปลง อัดม้วนใบอ้อยขาย และการไถกลบ แต่เกษตรกรส่วนมากนิยมเผาใบอ้อยทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อความสะดวกในการจัดการแปลงอ้อย และลดปัญหาการขาดแคลนแรงงาน นอกจากนี้การทิ้งเศษใบอ้อยไว้ในแปลงอาจมีโอกาสเกิดไฟไหม้ในช่วงฤดูแล้งได้ โดยในเศษใบอ้อยอุดมไปด้วยธาตุอาหารจำนวนมาก จากงานทดลองของ ประสิทธิ์ ขุนสนิท และสุนทรี ยิ่งชัชวาล (2555) รายงานว่า อ้อยพันธุ์ K95-84 มีปริมาณของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในใบสด เท่ากับ 15.50, 2.50, 15.70, 3.10 และ 1.70 g/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ และในใบแห้ง เท่ากับ 4.90, 1.00, 2.20, 7.20 และ 2.10 g/kg ตามลำดับ เช่นเดียวกับงานทดลองของ สุรเดช จินตกานนท์ และคณะ (2542) ที่พบว่า ใบอ้อยรวมกาบใบ มีปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เท่ากับ 6.60, 1.20, 13.00, 2.20, 1.40 และ 2.50 g/kg ตามลำดับ มีปริมาณ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโบรอน เท่ากับ 248, 241, 34.40, 10.90 และ 8.20 mg/kg ตามลำดับ

2.3 พื้นที่ปลูกข้าวและอ้อยในจังหวัดสุพรรณบุรี

จังหวัดสุพรรณบุรีถือได้ว่าเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีอาชีพทำการเกษตรเป็นหลัก มีแหล่งน้ำธรรมชาติและการชลประทานเหมาะสมแก่การเกษตร การเกษตรกรรมสำคัญได้แก่ การกสิกรรม การทำนา ทำสวน ทำไร่ เป็นต้น ซึ่งเป็นอาชีพหลักของประชากรมากกว่า 80 % โดยข้าวและอ้อยถือเป็นพืชเศรษฐกิจในจังหวัดสุพรรณบุรี (Table 2.4) ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2563/64 มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีเป็นอันดับ 1 ในภาคกลาง มีพื้นที่เพาะปลูก 1.15 ล้านไร่ ส่วนอ้อยอยู่ในอันดับที่ 3 ของภาคกลาง มีพื้นที่เพาะปลูก 0.59 ล้านไร่ โดยเกษตรกรในจังหวัดสุพรรณบุรีส่วนใหญ่มักจะทำการเพาะปลูกข้าวและอ้อยสลับกันในพื้นที่เดียวกัน หรือปลูกในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ขึ้นอยู่กับระบบชลประทาน และปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี อำเภอที่ทำการปลูกข้าวมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ อำเภอบางปลาม้า อำเภอเมืองสุพรรณบุรี และอำเภอเดิมบางนางบวช ตามลำดับ และอำเภอที่ทำการปลูกอ้อยมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ อำเภอด่านช้าง อำเภอหนองหญ้าไซ และอำเภอสองพี่น้อง ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

Table 2.4 Top 4 economic crops area in Suphan Buri Province in 2021.

Economic crops	Area (rai)
1. In-season rice	1,157,093
2. Sugarcane	599,031
3. Cassava	107,846
4. Mize	73,547

(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอชาร์ (Biochar) เป็นวัสดุที่อุดมไปด้วยคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ของวัสดุธรรมชาติในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน หรือที่เรียกว่า “กระบวนการไพโลไลซิส” ซึ่งการผลิตถ่านชีวภาพเป็นการหมุนเวียนและเพิ่มประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้งในด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่ม pH และค่าความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity ; CEC) (ประมาณ 40%) เนื่องจากถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวสูงจึงทำให้มีค่าความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) ที่สูงเป็นผลมาจากพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพที่มากขึ้น (Lehmann and Rondon, 2006) และมีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารไว้ในดิน ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดีช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมี โดยสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต จากงานวิจัยของ Jeong et al. (2015) ทำการศึกษาลักษณะองค์ประกอบพื้นฐานและโมเลกุลของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษซากพืชของอ้อยและข้าวที่อุณหภูมิ 450, 550, 650 และ 750 °C ตามลำดับ พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง ของถ่านชีวภาพจากใบอ้อย ชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ มีค่าอยู่ในช่วง 6.11-9.63, 4.43-8.81, 5.90-9.88 และ 5.15-8.67 ตามลำดับ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าสูงในถ่านชีวภาพจากใบอ้อย เท่ากับ 83.0-113.7 cmol/kg รองลงมา คือ ถ่านชีวภาพจากชานอ้อย ฟางข้าว และแกลบ เท่ากับ 50.0-92.8, 48.0-68.0 และ 30.5-62.6 cmol/kg ตามลำดับ โดยอุณหภูมิในการผลิตถ่านชีวภาพมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าสูงที่อุณหภูมิ 550 °C ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity ; WHC) ของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนรูพรุนที่เพิ่มขึ้นโดยถ่านชีวภาพจากชานอ้อย มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด เท่ากับ 1.97-2.38 g/g ในขณะที่ถ่านชีวภาพจากแกลบมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.41-0.50 g/g

2.4.1 สมบัติและผลของถ่านชีวภาพต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน

การกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) หมายถึง การกักเก็บคาร์บอนที่อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้มาอยู่ในรูปอื่น ที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยและใช้ระยะเวลานาน อย่างไรก็ตามระดับของการกักเก็บคาร์บอนในดินขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และวิธีการจัดการดิน ปัจจุบันการจัดการดิน มุ่งเน้นการเพิ่มศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอน โดยการใส่คาร์บอนลงไปในดิน เช่น ปุ๋ยคอก และถ่านชีวภาพ ถ่านชีวภาพได้รับการยอมรับอย่างมากในปัจจุบันในแง่ของการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความเสถียร ปริมาณคาร์บอนสูง และมีศักยภาพในการคงทนอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลานานประมาณ 244–1,700 ปี (Peng et al., 2011) ดังนั้นสมบัติดังกล่าวทำให้ถ่านชีวภาพปลดปล่อยเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ (Steiner et al., 2007) การใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินจึงสามารถช่วยลดการเกิดสภาวะเรือนกระจก (greenhouse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

effect) ได้ นอกจากนี้มีงานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่าการใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินช่วยลดการชะละลายของธาตุอาหารและสารอื่นๆได้ จากสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ทำให้สามารถดูดยึดธาตุอาหาร พืชได้สูง นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีความสามารถในการเพิ่มความจุของการอุ้มน้ำในดิน ซึ่งอาจช่วยในการปรับปรุงการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชในดินได้ด้วย (Leifeld et al., 2007; Major et al., 2010)

Inyang et al. (2010) ศึกษาผลของการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต่อกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากชานอ้อย จากการทดลอง พบว่า ถ่านชีวภาพจากชานอ้อยมีค่า pH พื้นที่ผิว ความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) สูงขึ้น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion exchange capacity ; AEC) ความไม่ชอบน้ำ และค่าประจุลบที่ผิวมากขึ้น โดยสมบัติเหล่านี้ช่วยในการปรับปรุงดิน การแก้ไขสิ่งปนเปื้อนหรือการบำบัดน้ำเสีย

Coomes and Miltner (2016) ศึกษาการผลิตถ่านและถ่านชีวภาพเพื่อศึกษาศักยภาพในการปรับปรุงดินภายใต้ระบบปลูกแบบไร่เลื่อนลอย พบว่า การเติมถ่านชีวภาพและเถ้าเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างมีนัยสำคัญ โดยทั้งสองชนิดเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณของธาตุอาหารอื่น ๆ ลดความเป็นกรดและการแลกเปลี่ยนได้ของอะลูมินั่มและเพิ่มความพรุนของดิน

Zhang et al. (2012) ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อคุณภาพดิน ผลผลิตพืช และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในดินนาของประเทศจีนโดยปลูกข้าว 2 ฤดูติดต่อกัน พบว่าถ่านชีวภาพจากฟางข้าวสาลี ช่วยส่งผลในเชิงบวก เนื่องจากช่วยลดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และ ก๊าซมีเทน (CH_4) เพิ่มความเข้มข้นคาร์บอน (Carbon intensity) สูงถึง 30% และเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดิน และผลผลิตพืชสูงถึง 20-30%

Zhang et al. (2019) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวและสมบัติของดินที่ได้รับการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับการกักเก็บคาร์บอน ในปากแม่น้ำแยงซี ประเทศจีน เป็นเวลา 3 ปี พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดิน อินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในรูปละลายน้ำ ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น และการเติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวในอัตรา 10-15% (น้ำหนักชีวภาพแห้ง / น้ำหนักดินเปียก) ลงในดินโคลนจะเหมาะสมที่สุดสำหรับการเพิ่มผลผลิตข้าวและการปรับปรุงดินในช่วงปีแรกหลังการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ผลของถ่านชีวภาพต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์

การใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินมีผลต่อกิจกรรม และความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน โดยถ่านชีวภาพจะไปกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นแหล่งธาตุอาหาร และช่วยปรับปรุงสภาพแวดล้อมของดิน ทำให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้ความหลากหลาย และกิจกรรมของจุลินทรีย์ยังมีความสัมพันธ์อย่างมากกับ pH ของดิน ถ่านชีวภาพจะช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินให้กับจุลินทรีย์ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) สูง (Sparkes and Stoutjesdijk, 2011) อย่างไรก็ตามถ่านชีวภาพซึ่งมีความเสถียรต้านทานต่อการย่อยสลาย ทำให้ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน อาจทำให้ไม่เหมาะกับการเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งแตกต่างจากสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่น ซากพืช ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยคอก ที่มักจะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในเขตร้อนชื้น

2.5 อินทรีย์คาร์บอน

อินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil organic carbon ; SOC) เป็นสมบัติดินสำคัญที่ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของดิน (Lal, 2002) โดยมีบทบาทต่อสมบัติดินทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพซึ่งสะท้อนถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลิตภาพของดิน มีบทบาทสำคัญต่อการหมุนเวียนและกักเก็บคาร์บอนโดยทำหน้าที่เป็นทั้งแหล่งให้ (sources) และแหล่งรับ (sinks) ของคาร์บอนที่เชื่อมกับบรรยากาศ (Llorente et al., 2010; Mujuru et al., 2013; Smith et al., 2000) การกักเก็บคาร์บอนในดินเป็นวิธีการที่มีศักยภาพสูงในการลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกและฟื้นฟูคุณภาพดิน (Singh et al., 2007) อย่างไรก็ตาม ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งในทิศทางเพิ่มขึ้นและลดลงซึ่งเกิดจากกิจกรรมการใช้ที่ดิน และการจัดการดิน (Zhang et al., 2012) จึงส่งผลต่อสมบัติดิน อินทรีย์คาร์บอนในดิน กิจกรรมจุลินทรีย์ในดิน และปริมาณการสะสมคาร์บอนในดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของพืชปลูกที่ให้เศษซากพืชและใบไม้ที่ร่วงหล่นสู่ดิน รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีของเศษซากพืชนั้นๆ ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น อีกทั้งยังส่งผลต่อรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยเฉพาะรูปที่ย่อยสลายตัวได้ง่าย (Labile carbon pools) ได้แก่ มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) อนุภาคของอินทรียวัตถุ (POM) อินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ออกซิไดซ์ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (POXC) และเศษอินทรีย์ส่วนเบา (LFOC) เป็นต้น ในงานทดลองของ Demisie et al. (2014) ใช้ถ่านชีวภาพจากไม้โอ๊คและไม้ไผ่ในดินบ่ม พบว่า รูปของอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่าย (labile organic carbon) ที่พบมากที่สุด คือ light fraction organic carbon, permanganate oxidizable carbon, microbial biomass carbon, hot-water extractable carbon และ water soluble carbon ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yang et al. (2017) ศึกษารูปของคาร์บอนในดินหลังจากการใช้ถ่านชีวภาพ โดยทำการทดลองในภาคสนามเป็นระยะเวลา 3 ปี พบว่า ถ่านชีวภาพส่งผลให้อินทรีย์คาร์บอนที่อยู่ในรูป soil organic carbon, particulate organic carbon, easily oxidizable carbon, light fraction organic carbon และ microbial biomass carbon เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามปริมาณของถ่านชีวภาพที่ใช้ยกเว้น microbial biomass carbon (MBC)

Yin et al. (2014) ศึกษาผลของการใส่ฟางข้าวและถ่านชีวภาพจากฟางข้าวต่อรูปของคาร์บอนในดินปลูกอ้อย โดยบ่มดินเป็นเวลา 112 วัน พบว่า การใส่ฟางข้าวส่งผลให้ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (dissolved organic carbon) และชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวกลับทำให้มีค่าลดลง นอกจากนี้การใส่ฟางข้าวยังเพิ่มมิเนอรัลไลเซชันของคาร์บอนอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การใส่ถ่านชีวภาพทำให้มิเนอรัลไลเซชันของคาร์บอน ลดลงแต่เพิ่มอินทรียวัตถุ ดังนั้นการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในดินอาจเป็นแนวทางการจัดการที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย

3.1.1 การเตรียมเศษซากพืชและถ่านชีวภาพ

เก็บตัวอย่างฟางข้าวและเศษใบอ้อย จากแปลงเกษตรกร ตำบลเดิมบาง อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี โดยฟางข้าวเก็บจากแปลงนาที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน พิกัด 14°54'03.6"N, 100°04'16.9"E ส่วนเศษใบอ้อยเก็บจากแปลงที่ใกล้เคียงกัน พิกัด 14°53'49.6"N, 100°04'17.6"E แบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 เก็บไว้ในรูปที่เป็นฟางข้าวและเศษใบอ้อย โดยนำตัวอย่างมาตัดให้มีขนาดประมาณ 2 cm (รูปที่ 3.1 (a,b)) เพื่อใช้สำหรับการทดลองในกระถาง สุ่มตัวอย่างประมาณ 250 g เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน กำมะถัน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ในรูปทั้งหมด และส่งวิเคราะห์องค์ประกอบคาร์บอนใน เศษซากพืช ได้แก่ ลิกนิน (lignin) เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้ detergent method ของ Goering and Van Soest (1970) ส่งตัวอย่างวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนด้วยวิธี Brunauer–Emmett–Teller (BET) (Brunauer et al. 1938) ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร วิเคราะห์ภาพพื้นที่ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ Field emission scanning electron microscope (FESEM)

ส่วนที่ 2 นำไปผลิตถ่านชีวภาพ โดยนำเศษซากพืชไปผึ่งลมให้แห้งประมาณ 1 สัปดาห์ เนื่องจากเศษซากมีความชื้น หลังจากนั้นนำไปเผาในเตาเผาถ่านชีวภาพ ภายใต้กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ที่อุณหภูมิ 500-600 °C เวลา 2 hour (รูปที่ 3.2) และสุ่มตัวอย่างถ่านชีวภาพ (รูปที่ 3.1 (c,d)) ประมาณ 250 g เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และกำมะถัน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ในรูปทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ส่งตัวอย่างวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน ด้วยวิธี Brunauer–Emmett–Teller (BET) (Brunauer et al. 1938) และวิเคราะห์ภาพพื้นที่ผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ Field emission scanning electron microscope (FESEM) ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3.1 Rice straw (a), sugarcane leaf (b), rice straw biochar (c), and sugarcane leaf biochar (d)

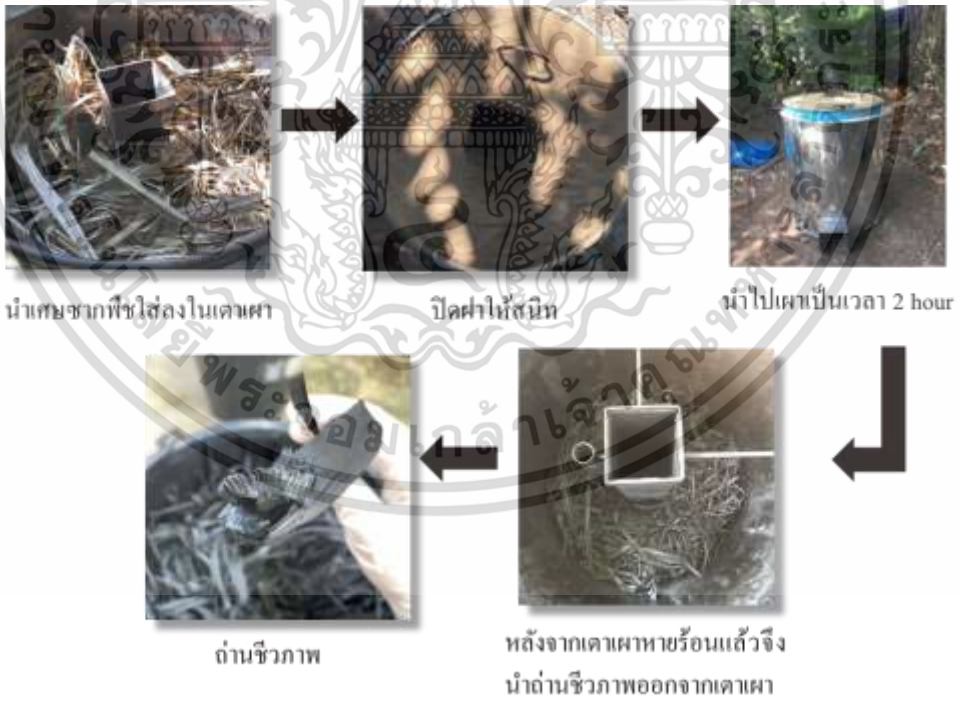


Figure 3.2 Production process of biochar from rice straw and sugarcane leaf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การวิเคราะห์สมบัติตัวอย่างเศษซากพืช

นำตัวอย่างฟางข้าวและเศษใบอ้อย ไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 hour ก่อนมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด คาร์บอนทั้งหมด และกำมะถันทั้งหมด วัดด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Corporation, 2016) วิเคราะห์ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กแมงกานีส สังกะสี และทองแดง ในรูปทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างด้วยวิธี Dry ashing เผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 6 hour ละลายเถ้าด้วย aqua regia วัดความเข้มข้นของธาตุอาหารด้วยเครื่อง Inductively couple plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES) ส่งตัวอย่างเศษซากพืชเพื่อวิเคราะห์ ลิกนิน (lignin) เซลลูโลส (cellulose) และ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้ detergent method ของ Goering and Van Soest (1970) และส่งตัวอย่างวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุน ด้วยวิธี Brunauer–Emmett–Teller (BET) (Brunauer et al., 1938) ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.1.3 การวิเคราะห์สมบัติตัวอย่างถ่านชีวภาพ

นำตัวอย่างถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และกำมะถันทั้งหมด วัดด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Corporation, 2016) วิเคราะห์ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในรูปทั้งหมด โดยทำการย่อยตัวอย่างด้วย Aqua regia (Chen and Ma, 2001) วัดเข้มข้นของธาตุด้วยเครื่อง Inductively couple plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในอัตราถ่านชีวภาพต่อน้ำ 1:5 (Jeong et al., 2015) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ชะดิน (leaching) ด้วย 1 *M* NH_4COOH (Yuan et al., 2011) ส่งตัวอย่างวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุน ด้วยวิธี Brunauer–Emmett–Teller (BET) (Brunauer et al., 1938) ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Ducan’s multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษซากพืชจากฟางข้าวและใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

ทำการทดลองในกระถาง ในโรงเรือนทดลอง โดยมีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

3.2.1 การเตรียมดิน

เก็บตัวอย่างดินจากแปลงนาใน ตำบลเดิมบาง อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี พิกัด 14°54'03.6"N, 100°04'16.9"E เป็นชุดดินชัยนาท (Fine, mixed, active, nonacid, isohyperthermic aeric (Vertic) endoaquepts) อ้างอิงจากแผนที่กรมพัฒนาที่ดิน มาตราส่วน 1: 25,000 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564) ประมาณ 1,000 kg โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทั่วทั้งแปลงที่ความลึก 0-15 cm หลังจากนั้นคลุกเคล้าดินให้เข้ากัน สุ่มตัวอย่างดิน 2 ส่วน ส่วนที่ 1 สุ่มตัวอย่างดินประมาณ 1 kg สำหรับการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น และรูปของคาร์บอน โดยนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม นำมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm ส่วนที่ 2 สุ่มตัวอย่างดินประมาณ 250 g ในภาชนะที่สามารถรักษาอุณหภูมิที่ 4 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial biomass carbon, MBC) และ อินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved organic carbon, DOC) ส่วนที่เหลือนำไปทำการทดลองในกระถาง นอกจากนี้เก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนตัวอย่างดิน (Undisturbed soil) ด้วยวิธี core method จำนวน 2 ซ้ำต่อแปลง เพื่อนำไปวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดินด้วยวิธี core method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

3.2.2 การทดลองในโรงเรือน

ทำการทดลองในโรงเรือน วางแผนการทดลองแบบ 4 x 3 +1 Factorial in Randomized Complete Block Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ประกอบไปด้วยปัจจัย A วัสดุอินทรีย์ 4 ชนิด คือ 1) ฟางข้าว 2) เศษใบอ้อย 3) ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว 4) ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ปัจจัย B อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ 3 ระดับ คือ 1) การใส่ในอัตรา 2.5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) 2) การใส่ในอัตรา 5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) 3) การใส่ในอัตรา 7.5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) และทรีตเมนต์ควบคุม (ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์) จึงประกอบไปด้วย 13 ทรีตเมนต์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ไม่ใส่ถ่านชีวภาพและเศษซากพืช (Control)
2. ใส่ฟางข้าวอัตรา 2.5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (R2.5)
3. ใส่ฟางข้าวอัตรา 5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (R5)
4. ใส่ฟางข้าวอัตรา 7.5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (R7.5)
5. ใส่เศษใบอ้อยอัตรา 2.5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (S2.5)
6. ใส่เศษใบอ้อยอัตรา 5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (S5)
7. ใส่เศษใบอ้อยอัตรา 7.5% (น้ำหนักแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (S7.5)
8. ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 2.5% (น้ำหนักถ่านชีวภาพแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (RB2.5)
9. ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 5% (น้ำหนักถ่านชีวภาพแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (RB5)
10. ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 7.5% (น้ำหนักถ่านชีวภาพแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (RB7.5)
11. ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยอัตรา 2.5% (น้ำหนักถ่านชีวภาพแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (SB2.5)
12. ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยอัตรา 5% (น้ำหนักถ่านชีวภาพแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (SB5)
13. ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยอัตรา 7.5% (น้ำหนักถ่านชีวภาพแห้ง/น้ำหนักดินแห้ง) (SB7.5)

สาเหตุที่เติมเศษซากพืชและถ่านชีวภาพในอัตรา 5-15% (น้ำหนักชีวภาพแห้ง/น้ำหนักดินเปียก) อ้างอิงจากการทดลองของ Zhang et al. (2019) เติมถ่านชีวภาพในอัตรา 10-15% ลงในดินโคลนสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ดีที่สุด และการใช้ถ่านชีวภาพจากกากตะกอนอ้อยในอัตรา 5% หรือ 10 % (น้ำหนักถ่านชีวภาพแห้ง) ในดินเขตร้อนสามารถเพิ่มการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ดีที่สุด (Eykelbosh et al., 2014)

ปลูกข้าว 2 ฤดู ฤดูแรกปักดำข้าววันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2564 และเก็บเกี่ยวผลผลิตวันที่ 5 กรกฎาคม 2564 ข้าวมีอายุ 134 Day after transplanting (DAT) ฤดูที่สองปักดำข้าววันที่ 23 สิงหาคม 2564 และเก็บเกี่ยวผลผลิตวันที่ 29 ธันวาคม 2564 ข้าวมีอายุ 129 DAT โดยในฤดูแรกนำตัวอย่างดินใส่ในกระถางทดลอง 10 กิโลกรัม ใส่วัสดุอินทรีย์ตามแต่ละทรีตเมนต์ที่กำหนด โดยคลุกเคล้าให้เข้ากันกับดินและขังน้ำก่อนปลูกข้าว 30 วัน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ โดยข้าวที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ปักดำกล้าข้าวที่มีอายุ 14 วัน ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ที่อัตรา 26 kg N/rai โดยแบ่งการใส่ 2 ครั้ง คือ หลังปักดำ 7 วัน และเมื่อข้าวอยู่ในระยะกำเนิดช่อดอก ครั้งละ 50% ของอัตราปุ๋ย

การปลูกข้าวฤดูที่ 2 หลังจากเก็บเกี่ยวผลิตรอบแรก โดยปลูกในกระถางเดิม (ไม่เติมวัสดุอินทรีย์) ผสมดินและขังน้ำเป็นเวลา 30 วัน ก่อนปักดำกล้าข้าวที่มีอายุ 21 วัน ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ที่อัตรา 12 kg N/rai และปุ๋ยโพแทสเซียมในรูปปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ที่อัตรา 12 kg K_2O/rai โดยปุ๋ยทั้งสองชนิดแบ่งการใส่ 2 ครั้ง คือ ก่อนปักดำ 7 วัน และเมื่อข้าวอยู่ในระยะกำเนิดช่อดอก ครั้งละ 50% ของอัตราปุ๋ย ในระยะเวลาการทดลองทั้ง 2 ฤดู ทำการวัดการเจริญเติบโตของพืชในทุกสัปดาห์หลังปักดำ และเมื่อข้าวอยู่ในระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บเกี่ยวจะเก็บผลผลิต และในส่วนเหนือดินออกจากกระถางให้หมด เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช และเก็บตัวอย่างดินหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยใช้ Soil tube เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดินหลังปลูก รูปของคาร์บอน และคำนวณการกักเก็บคาร์บอน

3.2.3 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช

การเจริญเติบโตของในฤดูที่ 1 บันทึกข้อมูลเมื่อข้าวอายุ 7-91 DAT และในฤดูที่ 2 บันทึกการเจริญเติบโตตั้งแต่ข้าวอายุ 7-56 DAT เนื่องจากการเจริญเติบโตคงที่ในช่วงเวลานั้น ส่วนในฤดูที่ 1 ข้าวได้รับผลกระทบความเป็นพิษจากกรดอินทรีย์ที่เกิดจากย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จึงทำให้ข้าวเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ช้ากว่า โดยเก็บข้อมูลในทุกสัปดาห์หลังปักดำ โดยนับจำนวนหน่อต่อกอ วัดความสูงด้วยตลับเมตรวัดจากส่วนเหนือดินถึงปลายใบของต้นข้าว และวัดค่าความเขียวของใบข้าววัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (ยี่ห้อ Minolta รุ่น SPAD-502 Plus) (Figure 3.3) โดยการเจริญเติบโตในระยะแรกวัดใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ หลังจากระยะออกรวงวัดที่ใบธง บริเวณโคน กลาง และปลายใบ แล้วจึงหาค่าเฉลี่ย

เมื่อข้าวถึงระยะสุกแก่เก็บเกี่ยวผลผลิตโดยตัดส่วนเหนือดินแยกเป็นเมล็ด และตอซัง บันทึกจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี/เมล็ดลีบ น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% และน้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดและตอซัง เพื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว โดยคำนวณจากสูตร ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว = ผลผลิต (น้ำหนักเมล็ด)/น้ำหนักแห้ง (ทั้งหมด) (Kalasin University, n.d.) จากนั้นนำส่วนของตอซังและเมล็ดมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืช เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร

Figure 3.3 Measure the SPAD of rice leaves with a chlorophyll meter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

3.2.4.1 วิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด คาร์บอนทั้งหมด และกำมะถันทั้งหมด วัดด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Corporation, 2016)

3.2.4.2 วิเคราะห์ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กแมงกานีส สังกะสี และทองแดง ในรูปทั้งหมด วัดด้วยวิธี Dry ashing โดยเผาตัวอย่างพืชที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 6 hour ละลายเถ้าด้วย aqua regia วัดความเข้มข้นของธาตุอาหารด้วยเครื่อง Inductively couple plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES) นำข้อมูลมาคำนวณการดูดใช้ธาตุอาหาร โดยคำนวณจาก % ความเข้มข้นของธาตุอาหารคูณกับน้ำหนักแห้งพืชหาร 100 (Kabir et al., 2011)

3.3 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย เศษซากพืชจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อสมบัติดิน การกักเก็บคาร์บอนและรูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง

3.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นทางเคมีของดิน ทำการวิเคราะห์ 4 ครั้ง ได้แก่ 1. ดินก่อนการทดลอง (ตัวอย่างดินจากแปลงนา จังหวัดสุพรรณบุรี) 2. ดินหลังหมักวัสดุอินทรีย์เป็นเวลา 1 เดือน ก่อนการปลูกข้าวฤดูที่ 1 (ตัวอย่างดินในกระถาง) 3. ดินหลังการปลูกข้าวฤดูที่ 1 (ตัวอย่างดินในกระถาง) และ 4. ดินหลังการปลูกข้าวฤดูที่ 2 (ตัวอย่างดินในกระถาง)

วิเคราะห์เนื้อดิน ด้วยวิธีปิเปต (Gee and Bauder, 1986) วิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน ด้วยวิธี Core method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในอัตราส่วนดินต่อน้ำที่ 1:1 วัดด้วยเครื่อง pH meter (National soil survey center, 1996) วิเคราะห์การนำไฟฟ้า ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 วัดด้วยเครื่อง EC meter (Richard, 1954) วิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก สกัดด้วย 1 *N* NH_4COOH (pH 7.0) แล้วกลั่นด้วยเครื่องกลั่น Distillation apparatus (IITA, 1979) วิเคราะห์อินทรียวัตถุ ด้วยวิธี Loss on ignition method (Jones, 2001) วิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดด้วย Bray II วัดโดย Spectrophotometer wavelength 882 nm (Bray and Kurtz, 1945) วิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน สกัดด้วย 1*N* NH_4COOH (pH 7) (Soil chemical research center, 2001) วิเคราะห์เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ที่สกัดได้ในดินด้วย 0.005 *M* DTPA pH 7.3 วัดปริมาณของธาตุอาหารด้วยเครื่อง Inductively couple plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES) (Lindsay and Norvell, 1978) วิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด คาร์บอนทั้งหมด และกำมะถันทั้งหมด วัดด้วยเครื่อง CNS analyzer (LECO Corporation, 2016) โดยการวิเคราะห์เนื้อดิน และความหนาแน่นรวมของดินวิเคราะห์ในดินก่อนการทดลองและดินหลังการปลูกข้าวครั้งที่ 2 เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวิเคราะห์รูปของคาร์บอนในดิน

วิเคราะห์รูปของคาร์บอนจำนวน 7 รูป โดยวิเคราะห์ในตัวอย่างดินก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวพืชครั้งที่ 2 ตัวอย่างดินแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มก่อนนำมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.1 mm เพื่อวิเคราะห์คาร์บอนในรูป total organic carbon (TOC) (LECO Corporation, 2016) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 mm เพื่อวิเคราะห์คาร์บอนในรูป permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C) (Blair et al., 1995) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm เพื่อวิเคราะห์คาร์บอนในรูป particulate organic carbon (POC) (Cambardella and Elliott, 1992) และ light fraction organic carbon (LFOC) and heavy fraction (HF) (Cambardella and Elliott, 1992) ส่วนที่ 2 เก็บเป็นตัวอย่างดินสดเพื่อนำไปวิเคราะห์ microbial biomass carbon (MBC) (Vance et al., 1987) และ dissolved organic carbon (DOC) (Jones and Willett, 2006)

3.3.3 การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดิน

ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดิน จำนวน 2 ครั้ง 1. ดินก่อนการทดลอง และ 2. ดินหลังการปลูกข้าวฤดูที่ 2 โดยปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินคำนวณได้จากปริมาณคาร์บอนในรูปทั้งหมด (%) คูณด้วยความหนาแน่นดินและปริมาตรดิน (Bharat, 2007; Jaiarree et al., 2006) สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$C_{soil} = C \times D \times V$$

โดยที่ C_{soil} ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน (kg C/m^3)

C ปริมาณคาร์บอนในรูปทั้งหมด (%)

D ความหนาแน่นดิน (g/cm^3)

V ปริมาตรดินต่อพื้นที่ (m^3)

โดยที่ ปริมาตรดินในพื้นที่ 1 rai ลึก 15 cm = 1600 m^2 x 0.15 m = 240 m^3

3.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยหัวข้อที่ 3.2 และ 3.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ใช้แผนการทดลองแบบ 4x3+1 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์(RCBD) ประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Ducan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปลายผล

4.1 สมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย

4.1.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุอินทรีย์

4.1.1.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ โดยความเข้มข้นของคาร์บอน แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็กทั้งหมดในเศษใบอ้อยมีค่าสูงกว่าฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมงกานีส และสังกะสีทั้งหมดในฟางข้าวมีค่าสูงกว่าเศษใบอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อนำเศษซากพืชไปผลิตเป็นถ่านชีวภาพส่งผลให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงขึ้น โดยความเข้มข้นของธาตุอาหารในถ่านชีวภาพจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุอาหารในเศษซากพืชที่นำมาผลิต เช่น ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวสูงกว่าเศษใบอ้อยก็จะส่งผลให้ในถ่านชีวภาพจากฟางข้าวสูงกว่าถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย (Table 4.2) ยกเว้นความเข้มข้นของคาร์บอนและซัลเฟอร์ทั้งหมด อาจเกิดจากธาตุอาหารทั้ง 2 สามารถสูญเสียไปในรูปของก๊าซในระหว่างกระบวนการไพโรไลซิส โดยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แมงกานีส และสังกะสีทั้งหมดสูงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับวัสดุอินทรีย์อื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 553, 8.83, 4.63, 28.47, 9.32 g/kg, 403 และ 24.03 mg/kg ตามลำดับ ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยมีความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กทั้งหมดสูงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับวัสดุอินทรีย์อื่นๆ มีค่าเท่ากับ 9.73, 3.54 และ 3.52 g/kg ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.1 Total concentration of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) in organic materials.

Organic materials	Total C	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total S	Total Fe	Total Mn	Total Zn	Total Cu
	----------(g/kg)----------								--------(mg/kg)-------		
Rice straw	383^{d}	6.41^{b}	1.38^{b}	11.81^{b}	2.27^{d}	0.83^{d}	1.84^{c}	0.26^{b}	139^{c}	16.54^{b}	nd
Sugarcane leaf	419^{c}	2.80^{d}	0.57^{c}	4.25^{d}	4.36^{c}	1.59^{c}	2.36^{bc}	0.55^{b}	69^{d}	10.92^{c}	nd
Rice straw biochar	553^{a}	8.83^{a}	4.63^{a}	28.47^{a}	5.38^{b}	2.71^{b}	9.32^{a}	0.63^{b}	403^{a}	24.03^{a}	5.08
Sugarcane leaf biochar	458^{b}	4.34^{c}	1.54^{b}	10.11^{c}	9.73^{a}	3.54^{a}	3.51^{b}	3.52^{a}	202^{b}	11.04^{c}	6.41
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
CV (%)	1.92	4.7	5.62	3.98	5.81	4.38	12.52	24.45	2.87	11.47	39.4

** and * are significantly differenced at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns is not significantly differenced at $p \leq 0.05$. nd is not detected. Values followed by the lowercase letter in the column of each factor.

4.1.1.2 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพ (Table 4.2) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 7.98 (ด่างปานกลาง) และ 7.71 (ด่างเล็กน้อย) ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 1.98 และ 0.68 mS/cm อยู่ในระดับไม่เค็ม ตามลำดับ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่าเท่ากับ 7.96 และ 8.65 cmol/kg ตามลำดับ

Table 4.2 pH, electrical conductivity (EC) and cation exchange capacity (CEC) in biochar.

Analyze	Rice straw biochar	Sugarcane leaf biochar
pH (soil : water = 1:20)	7.98	7.71
EC (soil : water = 1:20) (mS/cm)	1.98	0.68
Cation exchange capacity (cmol/kg)	7.96	8.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของวัสดุอินทรีย์

ผลวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) พบว่า ฟางข้าว ใบอ้อย ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1.43, 0.87, 3.10 และ 3.83 m^2/g ตามลำดับ มีผลรวมช่องว่างทั้งหมด (Total pore volume) มีค่าเท่ากับ 0.0012, 0.0005, 0.0025 และ 0.0036 cm^3/g ตามลำดับ การเปลี่ยนฟางข้าวและเศษใบอ้อยเป็นถ่านชีวภาพทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวและความพรุน เนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (Slow pyrolysis) จะทำให้ลักษณะผิวของชีวมวลเปลี่ยนไปคือ เริ่มมีรูพรุน (กลุธิดา สะอาด, 2564) โดยคุณสมบัติความพรุนของไบโอชาร์ทำให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากช่องว่างในพื้นผิวจะเป็นที่ยึดเหนี่ยวน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชตลอดจนธาตุอาหารต่างๆ (Table 4.3) ในด้านลักษณะพื้นผิวพบว่า ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะช่องว่างเป็นเหลี่ยม ขนาดของช่องว่างไม่สม่ำเสมอ แต่มีความพรุนตัวสูง (Figure 4.1 (c, d)) ส่วนเศษซากพืชทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะพื้นผิวเรียบ มีความพรุนเล็กน้อย และมีเส้นใยของพืช (Figure 4.1 (a, b))

Table 4.3 Specific surface area and total pores volume in organic materials.

Organic materials	Specific surface Area (m^2/g)	Total pores volume (cm^3/g)
Rice straw	1.43	0.0012
Sugarcane leaf	0.87	0.0005
Rice straw biochar	3.10	0.0025
Sugarcane leaf biochar	3.83	0.0036

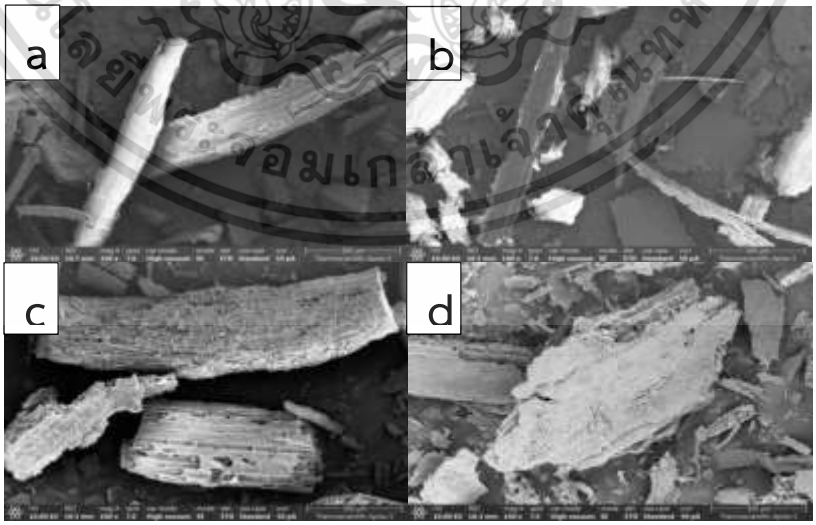


Figure 4.1 Field emission scanning electron microscope (FESEM) (100x) of rice straw (a), sugarcane leaf (b), rice straw biochar (c) and sugarcane leaf biochar (d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.4 องค์ประกอบคาร์บอนในเศษซากพืช

เศษใบอ้อยมีปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน สูงกว่าฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4.4) โดยมีค่าเท่ากับ 420, 254 และ 63.90 g/kg ตามลำดับ ในเศษซากพืชทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณเซลลูโลส สูงที่สุด รองลงมาคือ เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee et al. (2008) กล่าวไว้ว่าสัดส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุอินทรีย์ โดยทั่วไปพบเซลลูโลส 40-60% เฮมิเซลลูโลส 20-30% และ ลิกนิน 15-30% ซึ่ง ลิกนิน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบหลักของคาร์บอน เนื่องจากมีคาร์บอนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล และปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ โดยเฉพาะลิกนินเป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ของพืชทำหน้าที่เป็นสารช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับต้นพืช โดยลิกนินห่อหุ้มเส้นใยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส (Buranov and Mazza, 2008) หากพืชมีลิกนินสูงส่งผลให้การย่อยสลายของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลงทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารลดลง เนื่องจากการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นการที่เศษใบอ้อยที่มีปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มากกว่าฟางข้าว โดยเฉพาะลิกนินที่มีมากกว่าถึงสองเท่าจึงอาจทำให้มีปริมาณธาตุอาหารที่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร (Table 4.1) ที่พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอน แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ และเหล็กทั้งหมดในเศษใบอ้อยมีมากกว่าฟางข้าว แต่การย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารอาจช้ากว่าฟางข้าว

Table 4.4 The content of cellulose, hemi cellulose and lignin in rice straw and sugarcane leaf.

Sample	Cellulose	Hemi cellulose	Lignin
		(g/kg)	
Rice straw	413[b]	215[b]	37.10[b]
Sugarcane leaf	420[a]	254[a]	63.90[a]
F-test	*	**	**
CV (%)	0.47	0.74	2.64

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. Mean followed by the lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษซากพืชจากฟางข้าวและใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

4.2.1 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวฤดูที่ 1

4.2.1.1 การเจริญเติบโตของข้าว

ความสูงของข้าวฤดูที่ 1 (Table 4.5) พบว่าความสูงของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 7-63 DAT และเริ่มคงที่ในช่วงอายุ 70-91 DAT ชนิดวัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ความสูงของข้าวในทุกสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความสูงของข้าวทุกสัปดาห์หลังปักดำในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นข้าวที่อายุ 7, 14, 21, 70, 77, 84 และ 91 DAT การใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ทำให้ข้าวมีความสูงไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ควบคุม โดยความสูงของข้าวที่อายุ 91 DAT ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ควบคุม ทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว และทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 132, 132, 130, 120 และ 117 cm ตามลำดับ

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ความสูงของข้าวในทุกสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความสูงที่อายุข้าว 7, 14 และ 49 DAT โดยความสูงของข้าวหลังจากข้าวอายุ 35 DAT ใน ทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต แต่ไม่แตกต่างกับทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% ยกเว้นข้าวที่อายุ 21 และ 28 DAT ในข้าวที่อายุ 91 DAT ความสูงของข้าวที่ใส่วัสดุอินทรีย์ในอัตรา 0%, 2.5%, 5% และ 7.5% มีค่าเท่ากับ 130, 129, 124 และ 122 cm ตามลำดับ ความสูงหลังจากอายุข้าว 56 DAT หรือระยะแตกตอสูงสุดใกล้เคียงกับลักษณะประจำพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 โดยมีความสูงประมาณ 104–133 cm (กรมการข้าว, 2564) ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์มีผลต่อความสูงของข้าวที่อายุ 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 และ 77 DAT (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.5 The height of rice in the first season.

Factor	Height (cm)												
	Days after transplanting (DAT)												
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91
Organic material (A)													
Control	29.16^{a}	41.00^{a}	60.16^{a}	70.58^{b}	76.91^{b}	81.88^{b}	88.00^{b}	105^{b}	111^{b}	122^{a}	127^{a}	129^{a}	130^{a}
R	27.8^{ab}	27.77^{b}	31.52^{b}	43.02^{c}	56.27^{c}	65.64^{c}	78.22^{c}	90^{c}	99^{c}	105^{b}	108^{b}	118^{b}	120^{b}
S	26.19^{b}	25.63^{b}	27.61^{c}	37.75^{d}	47.72^{d}	54.06^{d}	65.33^{d}	78^{d}	85^{d}	97^{c}	107^{b}	112^{b}	117^{b}
RB	30.36^{a}	44.86^{a}	63.22^{a}	78.16^{a}	85.16^{a}	90.78^{a}	101.22^{a}	114^{a}	120^{a}	125^{a}	129^{a}	131^{a}	132^{a}
SB	29.27^{a}	43.91^{a}	64.13^{a}	79.50^{a}	84.72^{a}	89.40^{a}	99.11^{a}	111^{a}	116^{ab}	129^{a}	132^{a}	132^{a}	132^{a}
Application rate (B)													
0%	29.16	41.00	60.16^{A}	70.58^{A}	76.91^{A}	81.88^{A}	88.00	105^{A}	111^{A}	122^{A}	127^{A}	129^{A}	130^{A}
2.5%	28.75	36.95	48.60^{B}	63.29^{B}	73.04^{A}	79.74^{A}	89.25	104^{A}	110^{A}	119^{AB}	124^{A}	127^{A}	129^{A}
5%	28.43	35.50	46.60^{BC}	59.79^{B}	67.87^{B}	73.30^{B}	85.83	97^{B}	103^{B}	114^{BC}	117^{B}	122^{AB}	124^{AB}
7.5%	28.04	34.18	44.66^{C}	55.75^{C}	64.50^{B}	71.87^{B}	82.83	94^{B}	101^{B}	109^{C}	115^{B}	120^{B}	122^{B}
F-test													
A	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
B	ns	ns	*	**	**	**	ns	**	**	**	**	*	*
A*B	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	ns
CV(%)	8.24	11.45	7.04	5.39	5.45	6.01	6.93	5.08	5.24	5.81	4.65	5.17	4.79

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเขียวของใบข้าวในการปลูกฤดูที่ 1 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกสัปดาห์จนถึงอายุ 91 DAT ซึ่งอยู่ในระยะสุกแก่ (Table 4.6) พบว่าชนิดวัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ค่าความเขียวของข้าวในทุกสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่าความเขียวที่อายุข้าว 49 DAT โดยค่าความเขียวของข้าวที่อายุ 7, 14, 21, 28 และ 35 DAT ซึ่งอยู่ในระยะแตกกอในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ควบคุม ยกเว้นข้าวที่อายุ 14 DAT และไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว ในข้าวที่อายุ 21 และ 35 DAT ข้าวที่อายุ 42 DAT ในทรีตเมนต์ควบคุมและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 33.65 และ 33.52 unit ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้าวที่อายุ 56 DAT ในทรีตเมนต์ควบคุม ทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 36.40, 35.47, 34.18 และ 34.82 unit ตามลำดับ สูงกว่า ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวไม่แตกต่างกับทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย ค่าความเขียวของใบข้าวหลังจากข้าวอายุ 63 DAT ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชทั้งสองชนิดมีแนวโน้มสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าในข้าวที่อายุ 84 และ 91 DAT ค่าความเขียวของทั้งสองทรีตเมนต์ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ควบคุม อาจเกิดจากทรีตเมนต์ควบคุมและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด มีจำนวนหน่อที่มากกว่า (Table 4.7) จึงทำให้การดูดใช้ไนโตรเจนเฉลี่ยต่อหน่อได้น้อยกว่าส่งผลให้มีค่า SPAD น้อยกว่า

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ค่าความเขียวของข้าวที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 DAT ในทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 28.70, 33.70, 38.60 และ 37.86 unit ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และข้าวที่อายุ 42 DAT ในทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ ทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% และ 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% และ 7.5% ไม่แตกต่างกับอัตรา 5% โดยหลังจาก 49 DAT จนถึงระยะเก็บเกี่ยวอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ไม่ทำให้ค่า SPAD แตกต่างกัน จากค่าความเขียวของใบข้าวสามารถบอกได้ถึงปริมาณ relative chlorphyll ในใบข้าวและค่านี้มีความสัมพันธ์มากกับปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบข้าว โดยค่าวิกฤติ (critical SPAD values) คือ 32-37 หากต่ำกว่าควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทันที่เพื่อป้องกันไม่ให้ผลผลิตลดลงจากการขาดไนโตรเจน (ชุติวัฒน์ วรรณสาย, 2547) และจากผลการทดลองพืชไม่แสดงอาการขาดไนโตรเจน ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อค่าความเขียวของข้าวที่อายุ 14, 21, 28, 35, 42 และ 56 DAT (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.6 The SPAD of fully leaf rice in the first season.

Factor	SPAD												
	Days after transplanting (DAT)												
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91
Organic material (A)													
Control	28.70^{a}	33.70^{b}	38.60^{a}	37.86^{a}	35.10^{a}	33.65^{a}	38.10	36.40^{a}	32.56^{b}	36.33^{b}	36.20^{ab}	38.33^{a}	37.06^{a}
R	19.48^{b}	17.68^{c}	26.80^{a}	33.02^{b}	32.42^{ab}	30.95^{ab}	34.93	35.47^{a}	35.70^{a}	39.57^{a}	38.75^{a}	37.33^{a}	39.55^{a}
S	18.75^{b}	17.35^{c}	23.21^{c}	26.52^{c}	29.60^{b}	29.36^{b}	34.50	32.14^{b}	33.3^{ab}	37.31^{ab}	33.35^{b}	37.92^{a}	38.78^{a}
RB	28.87^{a}	37.41^{a}	39.07^{a}	37.32^{a}	34.36^{a}	33.52^{a}	34.38	34.18^{ab}	30.77^{b}	36.78^{ab}	36.16^{ab}	30.82^{b}	28.49^{b}
SB	27.52^{a}	36.60^{a}	39.28^{a}	36.56^{a}	33.66^{a}	28.40^{b}	32.97	34.82^{a}	32.30^{b}	36.00^{b}	35.38^{ab}	31.24^{b}	29.94^{b}
Application rate (B)													
0%	28.70^{A}	33.70^{A}	38.60^{A}	37.86^{A}	35.10	33.65^{A}	38.10	36.40	32.56	36.33	36.20	38.33	37.06
2.5%	25.02^{B}	31.15^{B}	34.82^{B}	34.42^{B}	32.88	32.57^{AB}	35.01	34.41	34.11	36.63	36.67	34.04	35.13
5%	23.66^{BC}	26.55^{C}	30.56^{C}	33.62^{B}	32.55	29.26^{B}	32.41	34.70	32.04	38.07	34.44	33.96	33.99
7.5%	22.29^{C}	28.16^{C}	30.89^{C}	33.26^{B}	32.10	30.33^{AB}	34.77	33.60	33.05	37.55	36.63	34.98	33.46
F-test													
A	**	**	**	**	**	**	ns	*	**	*	**	**	**
B	**	**	**	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	**	*	**	*	**	ns	**	ns	na	ns	ns	ns
CV(%)	6.98	6.41	9.05	5.92	7.53	8.93	6.97	6.21	6.29	6.32	7.75	14.37	11.52

** and * = significantly differences at p ≤ 0.01 and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนหน่อของข้าวในการปลูกฤดูที่ 1 (Table 4.7) พบว่าข้าวเริ่มมีการแตกหน่อเมื่อข้าวอายุ 14 DAT และค่อยๆเพิ่มจำนวนหน่ออย่างรวดเร็วในระยะแตกกอ (ข้าวอายุ 21-56 วัน) ก่อนที่จะคงที่ในระยะสร้างรวง (ข้าวอายุ 63-91 วัน) ถึงระยะเก็บเกี่ยว และชนิดวัสดุอินทรีย์ส่งผลให้จำนวนหน่อในทุกสัปดาห์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในสัปดาห์แรก เนื่องจากยังไม่เกิดการแตกหน่อ โดยจำนวนหน่อของข้าวหลังจากข้าวอายุ 14 DAT ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ควบคุม ยกเว้นข้าวที่อายุ 14, 21 และ 28 DAT ในข้าวที่อายุ 91 DAT มีจำนวนหน่อในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว ทรีตเมนต์ควบคุม ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว และทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 19.83, 19.00, 18.67, 8.28 และ 7.33 tiller/hill ตามลำดับ Chen et al. (2021) รายงานว่าการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวทำให้จำนวนหน่อของข้าวเพิ่มขึ้น 8.85-12.17% เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์ควบคุม

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้จำนวนหน่อของข้าวที่อายุ 14 DAT ในทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ การใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 5% และ 7.5% มีแนวโน้มสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ข้าวที่อายุ 21, 28, 56, 63, 70, 77, 84 และ 91 DAT ในทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 5% ที่ข้าวอายุ 21 DAT อาจเกิดจากการใส่วัสดุอินทรีย์ในอัตราที่ใช้เป็นอัตราที่สูงทำให้เกิดกระบวนการหมักและเกิดกรดอินทรีย์ซึ่งเป็นพิษต่อรากข้าวโดยไปลดอัตราการเจริญเติบโตและการหายใจของของรากข้าว ทำให้การแตกหน่อลดลง ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อจำนวนหน่อที่ข้าวอายุ 14, 21, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84 และ 91 DAT (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.7 The tiller number of rice in the first season.

Factor	Tiller number (tiller/hill)												
	Days after transplanting (DAT)												
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91
Organic material (A)													
Control	3.00	3.50^{b}	6.00^{c}	8.83^{b}	14.33^{a}	15.67^{a}	16.83^{a}	18.67^{a}	18.67^{a}	18.83^{a}	19.00^{a}	19.00^{a}	19.00^{a}
R	3.00	3.00^{b}	3.00^{d}	3.00^{c}	3.28^{b}	4.17^{b}	7.39^{b}	8.00^{b}	8.22^{b}	8.22^{b}	8.28^{b}	8.28^{b}	8.28^{b}
S	3.00	3.00^{b}	3.00^{d}	3.00^{c}	3.89^{b}	4.56^{b}	6.00^{b}	6.33^{c}	6.61^{b}	6.94^{b}	7.33^{b}	7.33^{b}	7.33^{b}
RB	3.00	4.50^{a}	8.29^{a}	12.38^{a}	15.33^{a}	15.89^{a}	18.11^{a}	19.00^{a}	19.28^{a}	19.39^{a}	19.44^{a}	19.83^{a}	19.83^{a}
SB	3.00	4.58^{a}	7.43^{b}	11.71^{a}	15.22^{a}	15.50^{a}	16.39^{a}	17.94^{a}	17.94^{a}	18.56^{a}	18.56^{a}	18.67^{a}	18.67^{a}
Application rate (B)													
0%	3.00	3.50^{AB}	6.00^{A}	8.83^{A}	14.33	15.67	16.83	18.67^{A}	18.67^{A}	18.83^{A}	19.00^{A}	19.00^{A}	19.00^{A}
2.5%	3.00	3.45^{B}	4.91^{B}	7.35^{B}	9.88	10.96	12.71	13.75^{B}	13.92^{B}	14.21^{B}	14.21^{B}	14.21^{B}	14.21^{B}
5%	3.00	4.00^{A}	5.68^{A}	7.96^{B}	9.17	9.54	11.92	12.92^{BC}	13.21^{BC}	13.54^{BC}	13.63^{BC}	13.83^{B}	13.83^{B}
7.5%	3.00	3.50^{AB}	4.80^{B}	6.30^{C}	9.25	9.58	11.29	11.79^{C}	11.92^{C}	12.08^{C}	12.38^{C}	12.54^{B}	12.54^{B}
F-test													
A	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
B	ns	**	**	*	ns	ns	ns	**	**	**	*	*	*
A*B	ns	*	**	ns	ns	*	**	**	**	**	**	**	**
CV(%)	0.00	11.63	10.68	8.53	12.32	14.02	18.03	9.50	10.71	10.66	10.87	10.42	10.42

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 องค์ประกอบผลผลิตของข้าว

การใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักสดและแห้งของตอซัง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี โดยทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีจำนวนรวงต่อกอ เท่ากับ 67.55 และ 64.77 number/hill ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทรีตเมนต์ควบคุมมีน้ำหนักสดของตอซัง เท่ากับ 373 g/pot สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทรีตเมนต์ควบคุม ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีน้ำหนักแห้งของตอซัง เท่ากับ 90.99, 93.31 และ 94.07 g/pot ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ เท่ากับ 98.53, 99.90 และ 99.97 % ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชมีจำนวนรวง และน้ำหนักสดและแห้งในตอซังน้อยกว่าทรีตเมนต์อื่น อาจเกิดจากจำนวนหน่อที่น้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นมากถึง 50 % (Table 4.7) เนื่องจากจำนวนรวงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนหน่อหรือหน่อที่มีช่อดอก และน้ำหนักของตอซังก็ขึ้นอยู่กับจำนวนหน่อเช่นเดียวกัน ความเป็นพิษของกรดอินทรีย์ส่งผลให้เมล็ดข้าวลีบ

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์พบว่าทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์มีน้ำหนักสดและแห้งของตอซัง เท่ากับ 373 และ 90.99 g/pot ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเกิดจากทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ (Table 4.7) มีจำนวนหน่อต่อกอสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากองค์ประกอบผลผลิตจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนหน่อ ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักสดและแห้งของตอซัง (Table 4.8) โดยจำนวนรวงต่อกอในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดในอัตรา 5% และ 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4.2) น้ำหนักสดของตอซังในทรีตเมนต์ควบคุมสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4.3) น้ำหนักแห้งของตอซังในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวในทุกอัตรา (2.5%, 5%, 7.5%) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ การใส่ที่อัตรา 2.5% เพียงพอต่อการให้ผลผลิต และสูงการทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.8 The panicle hill, fresh and dry weight of straw and filled and unfilled of grain percentage in the first season.

Factor	Panicle (Panicle /hill)	Straw fresh weight (g/pot)	Straw dry weight (g/pot)	Filled grain	Unfilled grain
				(%)	
Organic material (A)					
Control	57.66^{b}	373^{a}	90.99^{a}	2.20	98.53^{ab}
R	41.22^{c}	163^{c}	49.29^{b}	5.55	95.06^{b}
S	32.33^{d}	118^{d}	37.38^{c}	3.88	96.11^{b}
RB	67.55^{a}	305^{b}	93.31^{a}	0.42	99.90^{a}
SB	64.77^{a}	306^{b}	94.07^{a}	0.29	99.97^{a}
Application rate (B)					
0%	57.66	373^{A}	90.99^{A}	2.20	98.54
2.5%	52.75	240^{B}	73.88^{B}	4.73	97.64
5%	52.75	224^{BC}	67.16^{BC}	4.14	97.24
7.5%	48.91	205^{C}	64.50^{C}	3.17	98.41
F-test					
A	**	**	**	ns	**
B	ns	**	**	ns	ns
A*B	**	**	**	ns	ns
CV(%)	9.98	10.60	10.53	91.84	2.95

** = significantly differences at $p \leq 0.01$, ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

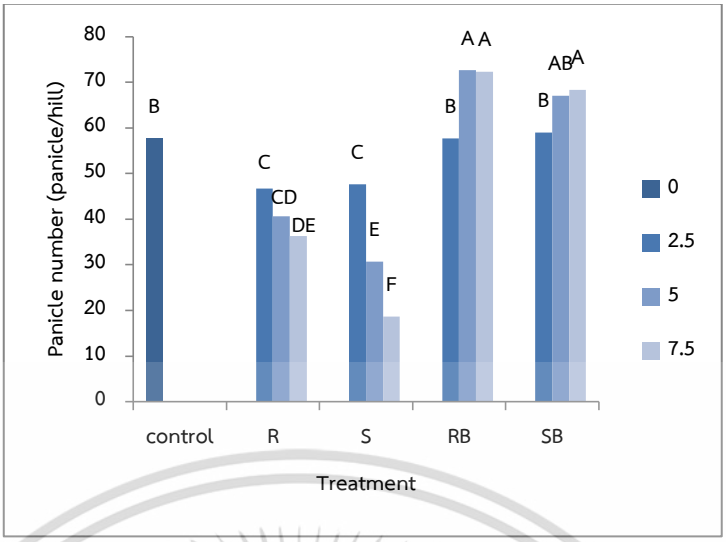


Figure 4.2 Panicle number in the first season.

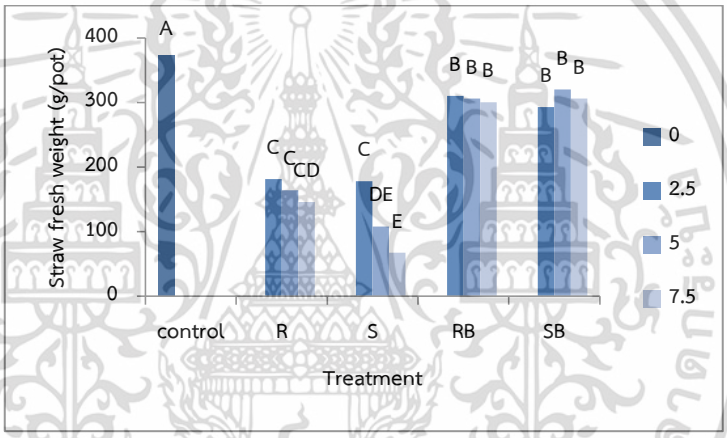


Figure 4.3 Straw fresh weight in the first season.

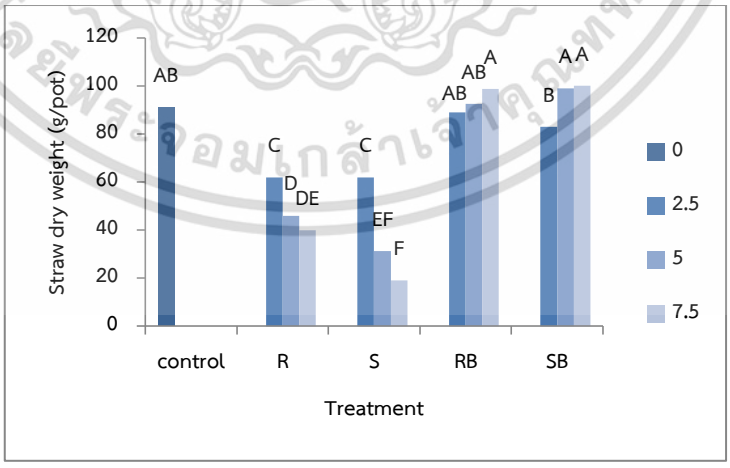


Figure 4.4 Straw dry weight in the first season.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การดูดใช้ธาตุอาหารในตอซังของข้าวฤดูที่ 1

การดูดใช้ธาตุอาหารในตอซังข้าว (Table 4.9) โดยคำนวณจากน้ำหนักแห้งและความเข้มข้นของธาตุอาหารใน Appendix table 1 พบว่าชนิดวัสดุอินทรีย์ส่งผลให้การดูดใช้ทุกธาตุอาหารแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การดูดใช้คาร์บอนในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 33.65 g/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นทรีตเมนต์ควบคุมและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว การดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในทรีตเมนต์ควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.74, 0.16, 0.45, 0.27, 0.23 g/pot, 39.47, 21.93, 1.83 และ 0.34 mg/pot ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการดูดใช้ซัลเฟอร์และเหล็กไม่แตกต่างจาก ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด และการดูดใช้โพแทสเซียมในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 1.53 g/pot สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์พบว่าการดูดใช้ทุกธาตุอาหารแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการดูดใช้ซัลเฟอร์ เหล็ก และสังกะสี โดยการดูดใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และทองแดงในทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 32.99, 0.74, 0.16, 0.45, 0.27 g/pot, 21.93 และ 0.34 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การดูดใช้โพแทสเซียมในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์ในอัตรา 5% และ 7.5% มีค่าเท่ากับ 1.06 และ 1.12 g/pot ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สาเหตุที่การดูดใช้ธาตุอาหารสูงในทรีตเมนต์ควบคุมหรือทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์อาจเกิดจากการสะสมกรดอินทรีย์ในขณะที่วัสดุอินทรีย์กำลังถูกย่อยสลายจึงส่งผลให้ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชชะงักการเจริญเติบโตหรือพืชมีการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าทรีตเมนต์ควบคุม (Table 4.5 and 4.7) ส่งผลให้น้ำหนักของตอซังต่ำ (Table 4.8) จึงทำให้ดูดใช้ธาตุอาหารได้น้อยกว่า และในด้านถ่านชีวภาพมีโครงสร้างที่แข็งแรงจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้า ทำให้ปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและดูดใช้ธาตุอาหารได้น้อยกว่า จึงพบธาตุอาหารจึงสะสมอยู่ในดินสูงในดินหลังปลูก (Table 4.21 and 4.22) แสดงให้แห็นว่าการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์ต่ำกว่าทรีตเมนต์ควบคุม ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อการดูดใช้ทุกธาตุอาหารยกเว้นการดูดใช้ทองแดง (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.9 Uptake of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of rice straw in the first season.

Factor	Plant nutrient uptake in rice straw										
	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
	----------(g/pot)----------							----------(mg/pot)----------			
Organic material (A)											
Control	32.99^{a}	0.74^{a}	0.16^{a}	0.36^{d}	0.45^{a}	0.27^{a}	0.23^{a}	39.47^{a}	21.93^{a}	1.83^{a}	0.34^{a}
R	15.65^{b}	0.47^{b}	0.10^{c}	0.69^{c}	0.12^{c}	0.09^{c}	0.14^{b}	17.31^{b}	7.93^{c}	0.63^{c}	0.17^{b}
S	11.95^{c}	0.24^{d}	0.07^{d}	0.44^{d}	0.10^{c}	0.07^{c}	0.10^{c}	15.34^{b}	5.87^{d}	0.57^{c}	0.08^{c}
RB	32.23^{a}	0.36^{c}	0.13^{b}	1.53^{a}	0.26^{b}	0.17^{b}	0.21^{a}	30.93^{a}	9.83^{b}	1.57^{b}	0.19^{b}
SB	33.65^{a}	0.46^{b}	0.14^{b}	1.28^{b}	0.28^{b}	0.19^{b}	0.22^{a}	34.72^{a}	10.79^{b}	1.47^{b}	0.20^{b}
Application rate (B)											
0%	32.99^{A}	0.74^{A}	0.16^{A}	0.36^{C}	0.45^{A}	0.27^{A}	0.23	39.47	21.93^{A}	1.83	0.34^{A}
2.5%	25.90^{B}	0.46^{B}	0.12^{B}	0.78^{B}	0.22^{B}	0.15^{B}	0.18	25.57	11.08^{B}	0.99	0.20^{B}
5%	22.69^{C}	0.32^{C}	0.11^{BC}	1.06^{A}	0.19^{BC}	0.13^{BC}	0.16	24.26	8.07^{C}	1.07	0.15^{BC}
7.5%	21.51^{C}	0.38^{C}	0.10^{C}	1.12^{A}	0.17^{C}	0.11^{C}	0.15	25.16	6.67^{C}	1.16	0.13^{C}
F-test											
A	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**	**	ns	ns	**	ns	**
A*B	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	ns
CV(%)	10.70	14.74	12.48	14.82	14.31	14.57	21.02	31.93	16.95	15.92	26.65

** and * = significantly differences at p ≤ 0.01 and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวฤดูที่ 2

4.2.3.1 การเจริญเติบโตของข้าว

ความสูงของข้าว (Table 4.10) พบว่าความสูงของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 7-42 DAT และเริ่มคงที่ในช่วงอายุ 49-56 DAT (ระยะแตกกอสูงสุด) ซึ่งชนิดของวัสดุอินทรีย์ไม่ทำให้ความสูงของข้าวในแต่ละสัปดาห์แตกต่างกันทางสถิติ การที่ความสูงของข้าวไม่แตกต่างทางสถิติอาจเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เท่ากันในทุกทรีตเมนต์ทำให้ข้าวได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ เนื่องจากธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุหลักที่เกี่ยวข้องกับการยืดขยายเซลล์ของข้าว (Islam et al., 2015) ในขณะที่อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ความสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อข้าวมีอายุ 7, 14 และ 21 DAT โดยความสูงเมื่อข้าวอายุ 7 DAT ในทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 41.66 cm ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% และ 5% โดยมีความสูงเท่ากับ 41.45 และ 39.08 cm ตามลำดับ แต่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 37.16 cm

ข้าวอายุ 14 DAT ในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5 และ 5% มีค่าเท่ากับ 62.50 และ 62.83 cm ตามลำดับ ข้าวอายุ 21 DAT ในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% และ 5% มีค่าเท่ากับ 75.75 และ 75.58 cm ตามลำดับ ซึ่งอายุข้าวทั้ง 2 วัน สูงกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความสูงของข้าวที่ข้าวอายุ 56 DAT (ระยะแตกกอสูงสุด) ใกล้เคียงกับลักษณะประจำพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 โดยมีความสูงประมาณ 104 – 133 cm ทั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อความสูงของข้าวในทุกสัปดาห์ เนื่องจากความสูงของข้าวคงที่ในข้าวอายุ 56 DAT จึงทำการหยุดวัดความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.10 The height of rice in the second season.

Factor	Height (cm)							
	Days after transplanting (DAT)							
	7	14	21	27	35	42	49	56
Organic materials (A)								
Control	41.66	62.66	74.66	83.66	96.68	105	118	121
R	40.77	62.00	74.66	83.44	94.74	106	118	122
S	38.55	60.11	72.55	80.22	94.30	103	113	120
RB	38.00	61.00	73.77	82.11	92.28	103	114	121
SB	39.61	61.66	75.22	83.33	94.74	105	105	119
Application rate (B)								
0%	41.66^{A}	62.66^{A}	74.66^{AB}	83.66	96.68	105	118	121
2.5%	41.45^{A}	62.50^{A}	75.75^{A}	83.33	95.80	107	119	122
5%	39.08^{AB}	62.83^{A}	75.58^{A}	83.50	94.60	103	115	120
7.5%	37.16^{B}	58.25^{B}	70.83^{B}	80.00	91.64	102	111	118
F-test								
A	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B	*	**	**	ns	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	9.21	6.10	5.30	7.81	5.76	6.58	6.37	6.36

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเขียวของใบข้าว (SPAD) พบว่าชนิดของวัสดุอินทรีย์ (Table 4.11) ไม่ส่งผลให้แตกต่างกันทางสถิติ อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ค่า SPAD แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในข้าวอายุ 42 DAT โดยการใส่ในอัตรา 2.5%, 5% และ 7.5% มีค่าความเขียวของใบข้าว เท่ากับ 39.91, 39.80 และ 38.70 unit ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในสัปดาห์อื่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุกับอัตราการใส่อินทรีย์ต่อค่าความเขียวของข้าวในทุกสัปดาห์ โดยค่า SPAD สามารถบอกได้ถึงความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบข้าว ซึ่งค่าวิกฤติของค่า SPAD มีค่าเท่ากับ 32-37 ถือว่าข้าวไม่ขาดไนโตรเจน ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าข้าวไม่ขาดไนโตรเจน

Table 4.11 The SPAD of fully leaf rice in the second season.

Factor	SPAD									
	Days after transplanting (DAT)									
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
Organic material (A)										
Control	29.70	32.33	31.16	31.73	37.36	38.30	39.93	35.53	39.13	34.36
R	29.32	29.11	30.47	32.21	36.76	40.03	39.52	37.21	39.33	37.22
S	27.70	30.41	30.60	31.35	36.35	38.71	39.60	37.95	38.71	35.21
RB	31.06	29.37	31.72	32.46	35.65	39.82	39.71	37.87	38.72	35.66
SB	31.03	29.75	30.14	34.02	36.51	39.34	39.83	37.21	39.81	35.53
Application rate (B)										
0%	29.70	32.33	31.16	31.73	37.36	38.30^{B}	39.93	35.53	39.13	34.36
2.5%	30.04	29.15	29.78	32.58	36.04	39.91^{A}	40.25	37.63	39.36	26.39
5%	30.35	30.50	30.99	32.37	37.00	39.80^{A}	39.51	37.76	39.65	35.74
7.5%	28.94	29.32	31.43	32.58	35.92	38.70^{AB}	39.22	37.35	38.40	35.59
F-test										
A	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	9.47	11.86	7.08	8.24	8.11	2.84	3.62	4.83	3.61	4.56

* = significantly differences at p ≤ 0.05. ns = not significantly differences at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนหน่อของข้าว (Table 4.12) พบว่าจำนวนหน่อของข้าวค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 7-56 DAT และเริ่มคงที่ตั้งแต่อายุ 56 DAT (ระยะแตกกอสูงสุด) และชนิดวัสดุอินทรีย์ส่งผลให้จำนวนหน่อแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกสัปดาห์ ยกเว้นการเจริญเติบโตช่วงแรก (ข้าวอายุ 7, 14 และ 21 DAT) โดยในช่วงอายุข้าว 28, 35, 42, 49, 56, 63 และ 70 DAT ทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวมีจำนวนหน่อ เท่ากับ 9.55, 12.33, 15.00, 17.22, 21.11, 21.3, 21.33 tiller/hill ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นข้าวที่อายุ 28, 35 และ 42 DAT ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด หลังจากวันที่ 49 DAT จำนวนหน่อในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างทางสถิติกับทรีตเมนต์ควบคุม และการใส่เศษใบอ้อยมีจำนวนหน่อเท่ากับ 10.77 tiller/hill ซึ่งต่ำกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยและทรีตเมนต์ควบคุม ขณะที่อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ไม่ส่งผลให้แตกต่างกันทางสถิติในทุกสัปดาห์ของการเจริญเติบโต ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อจำนวนหน่อที่ข้าวอายุ 35, 49, 56, 63 และ 70 DAT (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.12 The tiller number of rice in the second season.

Factor	Tiller number (tiller/hill)									
	Days after transplanting (DAT)									
	7	**14**	**21**	**28**	**35**	**42**	**49**	**56**	**63**	**70**
Organic material (A)										
Control	3.00	3.00	4.33	7.00^{c}	8.66^{b}	11.00^{b}	11.33^{bc}	13.00^{d}	13.33^{d}	13.33^{d}
R	3.00	3.88	5.77	9.55^{a}	12.33^{a}	15.00^{a}	17.22^{a}	21.11^{a}	21.33^{a}	21.33^{a}
S	3.00	3.55	4.44	7.44^{bc}	9.11^{b}	9.88^{b}	10.77^{c}	14.11^{cd}	14.33^{cd}	14.33^{cd}
RB	3.00	3.55	4.44	8.66^{ab}	10.66^{ab}	12.88^{ab}	14.00^{b}	17.11^{b}	17.22^{b}	17.22^{b}
SB	3.00	3.66	5.00	8.66^{ab}	10.66^{ab}	12.22^{ab}	13.55^{bc}	16.22^{bc}	16.44^{bc}	16.44^{bc}
Application rate (B)										
0%	3.00	3.00	4.33	7.00	8.66	11.00	11.33	13.00	13.33	13.33
2.5%	3.00	3.75	4.91	9.00	10.66	12.58	13.83	16.83	16.83	16.83
5%	3.00	3.75	5.08	8.66	10.91	12.83	14.00	17.08	17.33	17.33
7.5%	3.00	3.50	4.75	8.08	10.50	12.08	13.83	17.50	17.83	17.83
F-test										
A	ns	ns	ns	**	*	**	**	*	**	**
B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	*
CV(%)	0	25.05	24.81	14.16	18.85	21.00	17.92	13.42	13.40	13.40

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 องค์ประกอบผลผลิตของข้าว

องค์ประกอบผลผลิตของข้าว (Table 4.13) พบว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวมีจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักสดและแห้งของตอซังและเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% มีค่าเท่ากับ 19.33 number/pot, 117, 30.72, 32.26, 29.43 และ 33.90 g/pot ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ทรีตเมนต์อื่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวมีการดูดใช้ไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในส่วนของตอซังและเมล็ด (Table 4.14 and 4.15) จึงทำให้มีน้ำหนักผลผลิตสูง เนื่องจากธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กับการพัฒนาเมล็ด และอาจเกิดจากในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวมีจำนวนหน่อสูง (Table 4.12) จึงส่งผลให้มีจำนวนรวงและน้ำหนักของผลผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย จากการทดลองของ บังอร อุบล และคณะ (2555) พบว่าการไม่เผาตอซังข้าวให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการเผาตอซัง และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการไม่เผาตอซังเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุลงในดิน เพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, 2542) โดยจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักสดและแห้งของตอซังและเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% ในการใช้ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มที่สูงกว่าทรีตเมนต์ควบคุม และเปอร์เซ็นเมล็ดดีและเมล็ดลีบ ในทุกทรีตเมนต์มีค่าปกติ โดยปกติในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเมล็ดดีในรวงข้าวมีประมาณ 85% ที่เหลือ 15% เป็นเมล็ดลีบ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2558) ซึ่งแตกต่างจากข้าวในฤดูที่ 1 ที่มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูงกว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และตามลักษณะประจำพันธุ์ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีผลผลิตประมาณ 650-774 kg/rai โดยเมื่อคำนวณน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% เทียบเป็น kg/rai พบว่า ทรีตเมนต์ควบคุม ทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีผลผลิตข้าวเท่ากับ 397, 532, 381, 409 และ 407 kg/rai ตามลำดับ อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบของพืชแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักสดและแห้งของตอซัง โดยจำนวนรวงต่อกอในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อยและถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดในทุกอัตราไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 4.5) น้ำหนักสดของตอซังในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวในอัตรา 5% และ 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4.6) น้ำหนักแห้งของตอซังในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวในอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.13 The panicle number, fresh and dry weight of straw and grain, percentage filled and unfilled of grain, 1,000 grain weight, grain weight at 14% moisture and harvest index in second season.

Factor	Panicle (panicle /hill)	Straw fresh weight	Straw dry weight	Grain fresh weight	Grain dry weight	Filled grain	Unfilled grain	1,000 grain weight	Grain weight at 14% moisture	Harvest index
		----------(g/pot)----------				(%)		(g/pot)	(g/pot)	
Organic material (A)										
Control	12.00[b]	77.81[c]	19.51[c]	23.80[b]	21.92[b]	95.54	4.45	22.28	25.30[b]	0.55
R	19.33[a]	117[a]	30.72[a]	32.26[a]	29.43[a]	95.02	4.98	22.67	33.90[a]	0.50
S	12.77[b]	89.46[b]	22.64[b]	22.75[b]	21.08[b]	94.54	5.46	22.29	24.30[b]	0.46
RB	14.33[b]	92.39[b]	24.69[b]	24.69[b]	22.59[b]	94.18	5.81	22.30	26.04[b]	0.46
SB	14.33[b]	91.37[b]	24.28[b]	24.43[b]	22.46[b]	94.63	5.37	21.31	25.91[b]	0.48
Application rate (B)										
0%	12.00	77.81	19.51	23.80	21.92	95.55	4.45	22.28	25.30	0.54
2.5%	14.83	98.67	24.35	25.27	23.18	95.01	4.99	22.44	26.73	0.51
5%	14.83	98.57	25.77	24.97	22.90	94.69	5.31	22.38	26.37	0.48
7.5%	15.91	96.12	26.61	29.39	26.98	93.98	6.02	22.06	31.12	0.45
F-test										
A	**	**	**	*	*	ns	ns	ns	*	ns
B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A*B	*	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	13.20	10.22	11.05	22.31	22.16	2.25	40.28	3.94	22.11	17.79

** and * = significantly differences at p ≤ 0.01 and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

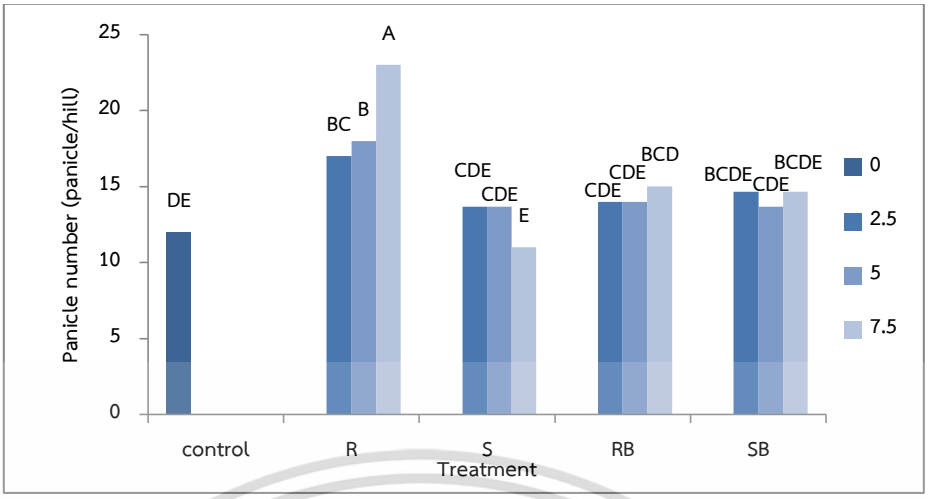


Figure 4.5 Panicle number in second season.

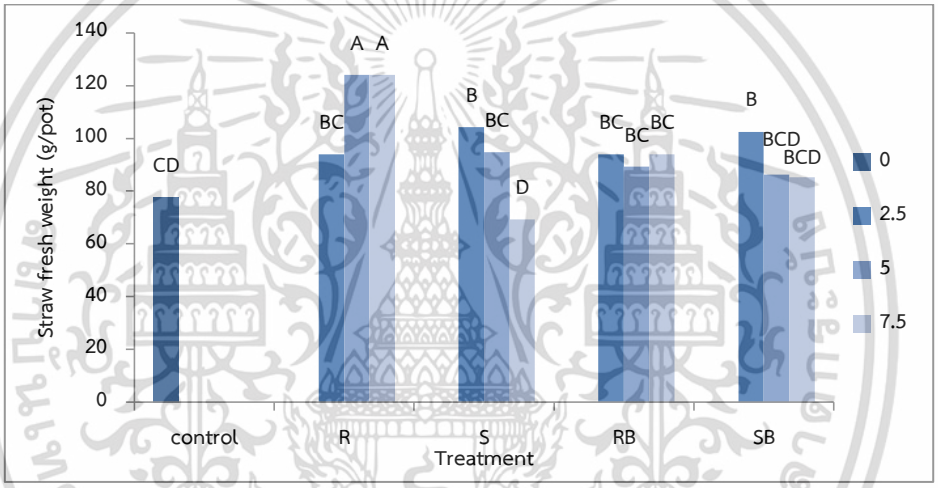


Figure 4.6 Straw fresh weight in second season.

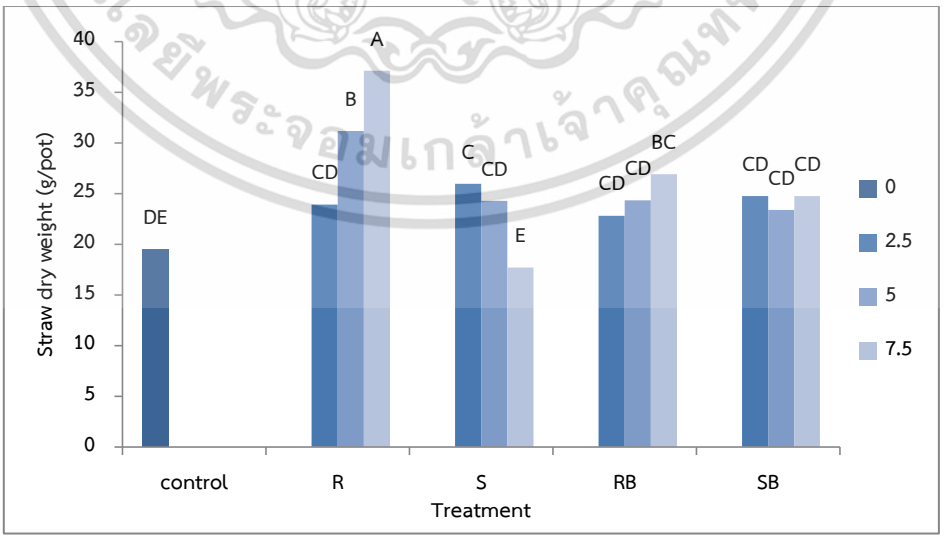


Figure 4.7 Straw dry weight in second season.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การดูดใช้ธาตุอาหารในตอซังและเมล็ดของข้าวฤดูที่ 2

การดูดใช้ธาตุอาหารในตอซัง (Table 4.14) คำนวณจากน้ำหนักแห้ง (Table 4.13) และความเข้มข้นของธาตุอาหารในตอซังใน Appendix table 2 พบว่าชนิดวัสดุอินทรีย์ส่งผลให้การดูดใช้ธาตุอาหารทุกธาตุแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการดูดใช้ทองแดง โดยการดูดใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แมงกานีส และสังกะสีในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 9.28, 0.23, 0.04, 0.52, 0.05 g/pot, 8.05 และ 0.36 mg/pot ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการดูดใช้ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในตอซังมีค่าสูงสุดในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ใส่เศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย และทรีตเมนต์ควบคุม ตามลำดับ ในขณะที่การดูดใช้โพแทสเซียมมีค่าสูงในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย และทรีตเมนต์ควบคุม ตามลำดับ การดูดใช้ธาตุอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของตอซัง ยกเว้นการดูดใช้แมกนีเซียม ซึ่งทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวมีน้ำหนักแห้งของตอซังสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 4.13) การใส่ฟางข้าวทำให้ดูดใช้ธาตุอาหารสูงเนื่องจากฟางข้าวย่อยสลายได้ง่ายกว่าวัสดุอินทรีย์อื่นจึงทำให้ปลดปล่อยธาตุอาหารได้เร็วกว่า ส่งผลให้ข้าวดูดใช้ธาตุอาหารได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับถ่านชีวภาพที่ต้องใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลาย

การดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมของตอซัง มีค่าสูงสุดในทรีตเมนต์ควบคุม รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย ตามลำดับ การดูดใช้ซัลเฟอร์และเหล็ก มีค่าสูงสุดในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และทรีตเมนต์ควบคุม ตามลำดับ แม้ว่าปริมาณซัลเฟอร์ในดินก่อนปลูกฤดูที่ 2 (Table 4.21) ของทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยสูงที่สุดก็ตาม แสดงว่าธาตุอาหารย่อยสลายจากถ่านชีวภาพได้ช้ามากกว่าเศษซากพืช การดูดใช้แมงกานีสและสังกะสีมีค่าสูงสุดในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ควบคุม ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ตามลำดับ

การไม่ใส่วัสดุอินทรีย์มีการดูดใช้แมกนีเซียม มีค่าเท่ากับ 0.05 g/pot สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% มีการดูดใช้โพแทสเซียม มีค่าเท่ากับ 0.54 g/pot สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อการดูดใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็ก สังกะสี และทองแดง (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.14 Uptake of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of rice straw in the second season.

Factor	Plant nutrient uptake in rice straw										
	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
	----------(g/pot)----------							----------(mg/pot)----------			
Organic material (A)											
Control	6.61^{b}	0.14^{c}	0.02^{c}	0.19^{c}	0.09^{a}	0.05^{a}	0.03^{b}	5.72^{b}	6.51^{ab}	0.23^{b}	0.04
R	9.28^{a}	0.23^{a}	0.04^{a}	0.52^{a}	0.08^{a}	0.04^{b}	0.05^{a}	10.66^{a}	8.05^{a}	0.36^{a}	0.04
S	7.06^{b}	0.19^{b}	0.03^{b}	0.32^{b}	0.05^{c}	0.02^{d}	0.04^{ab}	8.99^{ab}	5.47^{bc}	0.19^{bc}	0.06
RB	7.51^{b}	0.15^{c}	0.02^{c}	0.48^{a}	0.06^{bc}	0.03^{cd}	0.03^{b}	6.39^{b}	5.02^{bc}	0.16^{c}	0.06
SB	7.19^{b}	0.15^{c}	0.02^{c}	0.45^{a}	0.07^{ab}	0.03^{bc}	0.03^{b}	6.95^{ab}	3.76^{c}	0.16^{c}	0.06
Application rate (B)											
0%	6.61	0.14	0.02	0.19^{C}	0.09	0.05^{A}	0.04	5.72	6.51	0.23	0.04
2.5%	7.66	0.18	0.03	0.36^{B}	0.07	0.04^{B}	0.04	8.47	6.27	0.19	0.05
5%	7.78	0.18	0.03	0.42^{B}	0.07	0.03^{C}	0.04	8.57	5.69	0.23	0.06
7.5%	7.85	0.18	0.03	0.54^{A}	0.06	0.03^{C}	0.04	7.70	4.77	0.23	0.05
F-test											
A	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	ns
B	ns	ns	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
A*B	**	**	**	**	*	*	**	*	ns	**	*
CV(%)	11.81	13.73	16.57	15.23	20.91	17.71	21.49	38.57	36.81	21.39	35.88

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดใช้ธาตุอาหารในเมล็ด (Table 4.15) คำนวณจากน้ำหนักแห้ง (Table 4.13) และความเข้มข้นในเมล็ดใน Appendix table 3 พบว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวมีการดูดใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง มีค่าเท่ากับ 12.04, 0.43, 0.09, 0.11, 0.04, 0.06 g/pot, 13.88, 1.01, 0.43 และ 0.05 mg/pot ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการดูดใช้คาร์บอนในทรีตเมนต์ควบคุมและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด และการดูดใช้ทองแดงในทรีตเมนต์ควบคุม เกิดจากน้ำหนักแห้งของเมล็ด (Table 4.13) และความเข้มข้นของธาตุอาหารในเมล็ด (Appendix table 3) ในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงส่งผลให้มีการดูดใช้ธาตุอาหารได้สูง ขณะที่อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อการดูดใช้ไนโตรเจนและแมงกานีส (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.15 Uptake of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of grain in second season.

Factor	Plant nutrient uptake in grain										
	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
	----------(g/pot)----------							----------(mg/pot)----------			
Organic material (A)											
Control	9.15^{ab}	0.32^{b}	0.06^{b}	0.08^{b}	0.01	0.03^{b}	0.05^{ab}	8.57^{b}	0.76b	0.32^{b}	0.04^{ab}
R	12.04^{a}	0.43^{a}	0.09^{a}	0.11^{a}	0.02	0.04^{a}	0.06^{a}	13.88^{a}	1.01a	0.43^{a}	0.05^{a}
S	7.58^{b}	0.27^{b}	0.06^{b}	0.07^{b}	0.01	0.02^{b}	0.04^{b}	7.55^{b}	0.61bc	0.28^{b}	0.03^{b}
RB	8.63^{ab}	0.26^{b}	0.05^{b}	0.07^{b}	0.01	0.02^{b}	0.04^{b}	6.47^{b}	0.49c	0.24^{b}	0.03^{b}
SB	8.66^{ab}	0.25^{b}	0.06^{b}	0.07^{b}	0.01	0.02^{b}	0.04^{b}	7.20^{b}	0.50c	0.22^{b}	0.03^{b}
Application rate (B)											
0%	9.15	0.32	0.06	0.08	0.01	0.03	0.04	8.57	0.76	0.32	0.04
2.5%	9.56	0.33	0.07	0.08	0.01	0.03	0.05	8.74	0.73	0.31	0.04
5%	9.02	0.30	0.06	0.08	0.01	0.03	0.04	9.41	0.66	0.29	0.04
7.5%	9.10	0.28	0.06	0.08	0.01	0.03	0.04	8.29	0.58	0.28	0.04
F-test											
A	*	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**
B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
CV(%)	30.89	27.04	30.31	30.83	31.82	30.28	30.44	32.25	30.05	29.38	34.20

** and * = significantly differences at p ≤ 0.01 and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดใช้ธาตุอาหารทั้งหมดในพืช (Table 16) คำนวณจากน้ำหนักแห้ง (Table 13) และความเข้มข้นในเมล็ดใน Appendix table 2 and 3 พบว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวมีการดูดใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี มีค่าเท่ากับ 21.33, 0.67, 0.13, 0.63, 0.10, 0.08, 0.11 g/pot, 24.54, 9.05 และ 0.79 mg/pot ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการดูดใช้แคลเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีสไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ควบคุม ขณะที่อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นการดูดใช้โพแทสเซียมในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% มีค่าเท่ากับ 0.62 g/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อการดูดใช้ทุกธาตุอาหาร ยกเว้นการดูดใช้แมงกานีส (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 16 Total uptake of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) in second season.

Factor	Plant nutrient total uptake										
	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
	----------(g/pot)----------							----------(mg/pot)----------			
Organic material (A)											
Control	15.76^{b}	0.46^{b}	0.08^{b}	0.27^{d}	0.10^{a}	0.08^{a}	0.08^{b}	14.29^{b}	7.27^{ab}	0.55^{b}	0.08
R	21.33^{a}	0.67^{a}	0.13^{a}	0.63^{a}	0.10^{a}	0.08^{a}	0.11^{a}	24.54^{a}	9.05^{a}	0.79^{a}	0.09
S	14.64^{b}	0.46^{b}	0.09^{b}	0.39^{c}	0.07^{c}	0.05^{b}	0.07^{b}	16.55^{b}	6.08^{bc}	0.47^{bc}	0.09
RB	16.14^{b}	0.41^{b}	0.07^{b}	0.55^{ab}	0.08^{bc}	0.05^{b}	0.07^{b}	12.85^{b}	5.51^{bc}	0.39^{c}	0.09
SB	15.85^{b}	0.40^{b}	0.07^{b}	0.52^{b}	0.09^{ab}	0.06^{b}	0.08^{b}	13.34^{b}	4.20^{c}	0.35^{c}	0.09
Application rate (B)											
0%	15.76	0.46	0.08	0.27^{C}	0.10	0.08	0.08	14.28	7.27	0.55	0.08
2.5%	17.22	0.51	0.09	0.44^{B}	0.09	0.07	0.09	16.49	6.94	0.47	0.09
5%	16.80	0.48	0.09	0.50^{B}	0.07	0.06	0.08	17.98	6.35	0.52	0.10
7.5%	16.95	0.47	0.09	0.62^{A}	0.08	0.06	0.09	15.99	5.35	0.51	0.09
F-test											
A	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
B	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A*B	**	**	*	**	*	*	**	**	ns	**	**
CV(%)	19.09	16.15	24.72	16.45	19.22	18.79	20.80	26.28	33.02	21.08	25.35

** and * = significantly differences at p ≤ 0.01 and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย เศษซากพืชจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย (วัสดุอินทรีย์) และอัตราการใส่ต่อสมบัติดิน การกักเก็บคาร์บอนและรูปของคาร์บอนในดินนาน้ำขัง

4.3.1 สมบัติดินและรูปของคาร์บอนในดินก่อนการทดลอง

จากการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น (Table 4.17) พบว่าเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clay) ความหนาแน่นรวมของดิน มีค่าเท่ากับ 1.70 g/cm^3 อยู่ในระดับสูง การกักเก็บคาร์บอน มีค่าเท่ากับ 474 kg C/m^3 ดินมีค่า pH มีค่าเท่ากับ 6.80 (ดินเป็นกลาง) ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.08 mS/cm (แสดงว่าดินไม่เค็ม) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่าเท่ากับ 23.16 cmol/kg อยู่ในระดับสูง ค่า Loss on ignition มีค่าเท่ากับ 25.20 g/kg อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งแสดงถึงปริมาณคาร์บอนในดิน คาร์บอนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 11.59 g/kg อยู่ในระดับปานกลาง ไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1.20 g/kg อยู่ในระดับต่ำ ซัลเฟอร์ทั้งหมดและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 0.50 g/kg และ 16.51 mg/kg ตามลำดับ อยู่ในระดับปานกลาง โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าเท่ากับ 51.60 mg/kg อยู่ในระดับต่ำ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าเท่ากับ 2,405 mg/kg อยู่ในระดับสูง แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าเท่ากับ 288 mg/kg อยู่ในระดับปานกลาง เหล็ก แมงกานีส ทองแดงที่สกัดได้ มีค่าเท่ากับ 102, 33.05 และ 2.58 mg/kg ตามลำดับ อยู่ในระดับสูง และสังกะสีที่สกัดได้ มีค่าเท่ากับ 2.58 mg/kg อยู่ระดับปานกลาง

Table 4.17 Soil physical and chemical properties before planting.

Soil property	Chainat soil serie	Soil property	Chainat soil serie
Texture	Silty Clay	Available P (mg/kg)	16.51
Bulk density (g/cm^3)	1.70	Exchangeable K (mg/kg)	51.60
pH (soil : water = 1:1)	6.80	Exchangeable Ca (mg/kg)	2,405
EC (soil : water = 1:5) (mS/cm)	0.08	Exchangeable Mg (mg/kg)	288
Cation exchange capacity (cmol/kg)	23.16	Extractable Fe (mg/kg)	102
Loss on ignition (g/kg)	25.20	Extractable Mn (mg/kg)	33.05
Total C (g/kg)	11.59	Extractable Zn (mg/kg)	1.14
Total N (g/kg)	1.20	Extractable Cu (mg/kg)	2.58
Total S (g/kg)	0.50		
Carbon sequestration (kg C /m^3)	474		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์รูปของคาร์บอนในดินก่อนการทดลอง พบว่า มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC) มีค่าเท่ากับ 15.98 mg/kg ชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) มีค่าเท่ากับ 0.77 g/kg อนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) มีค่าเท่ากับ 1.06 g/kg อินทรีย์คาร์บอนที่ออกซิไดส์ด้วยเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$-C) มีค่าเท่ากับ 4.19 g/kg อินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) มีค่าเท่ากับ 1.12 g/kg และ heavy fraction (HF) มีค่าเท่ากับ 9.69 g/kg (Table 4.18) โดย heavy fraction (HF) คิดเป็น 83.60 % ของคาร์บอนทั้งหมด โดยคำนวณจากคาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่างดินก่อนการทดลอง (Table 4.17)

Table 4.18 Dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC), particulate organic carbon (POC), permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C), light fraction organic carbon (LFOC), and heavy fraction (HF) contents before planting.

Carbon fraction	Content
Dissolved organic carbon (mg/kg)	15.98
Microbial biomass carbon (g/kg)	0.77
Particulate organic carbon (g/kg)	1.06
Permanganate oxidizable carbon (g/kg)	4.19
Light fraction organic carbon (g/kg)	1.12
Heavy fraction (g/kg)	9.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 สมบัติดินหลังหมักวัสดุอินทรีย์เป็นเวลา 1 เดือน ก่อนการปลูกข้าวฤดูที่ 1

จากผลการวิเคราะห์สมบัติดินก่อนการทดลอง (Table 4.19, Table 4.20) พบว่า ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่า LOI ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 6.51 (เป็นกรดเล็กน้อย), 78.7, 38.50 g/kg, 327 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับงานทดลองของ Riaz et al. (2018) ที่พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงอย่างมีนัยสำคัญ ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีค่าการนำไฟฟ้า ความเข้มข้นของไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และสังกะสีที่สกัดได้ เท่ากับ 0.46 mS/cm (แสดงว่าไม่เค็ม), 2.20, 2.20 g/kg, 77.50, 730, และ 3.14 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของธาตุอาหารในถ่านชีวภาพจากฟางข้าว (Table 4.2) ที่มีธาตุอาหารเหล่านี้สูงกว่าวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น และงานทดลองของ Gupta et al. (2019) พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวเพิ่มค่าการนำไฟฟ้า ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระบบปลูกข้าว-ข้าวสาลี ทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวมีความเข้มข้นของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 2,204 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ควบคุมมีความเข้มข้นของเหล็กและทองแดงที่สกัดได้และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เท่ากับ 293, 4.22 mg/kg และ 10.79 cmol/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ทุกพารามิเตอร์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส และทองแดงที่สกัดได้ และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI ความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และสังกะสีที่สกัดได้ เท่ากับ 6.40 (กรดเล็กน้อย), 0.43 mS/cm (ไม่เค็ม), 70.3, 31.90, 2.10, 1.90 g/kg, 68.15, 551, 3.19, และ 2.46 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI และความเข้มข้นของธาตุอาหารเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ทรีตเมนต์ที่ใส่อัตรา 2.5% มีความเข้มข้นของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 2,154 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI ความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทองแดง และสังกะสีที่สกัดได้ (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.19 The soil pH, electrical conductivity, loss on ignition (LOI), total C, N, S and available P and cation exchange capacity (CEC) in soil after 1 month of organic materials amendment.

Factor	pH	EC (mS/cm)	LOI (g/kg)	Total C (g/kg)	Total N (g/kg)	Total S (g/kg)	Available P (mg/kg)	CEC (cmol/kg)
Organic material (A)								
Control	6.32^{b}	0.19^{d}	42.2^{c}	19.00^{d}	1.40^{d}	0.20^{c}	42.82^{e}	10.79^{a}
R	6.16^{c}	0.36^{b}	49.4^{b}	20.70^{c}	1.80^{c}	1.30^{b}	51.77^{c}	10.14^{b}
S	6.20^{c}	0.31^{c}	49.8^{b}	21.00^{c}	1.90^{b}	1.90^{a}	46.80^{d}	9.66^{c}
RB	6.51^{a}	0.46^{a}	75.6^{a}	35.20^{b}	2.20^{a}	2.20^{a}	77.50^{a}	9.47^{c}
SB	6.51^{a}	0.35^{b}	78.7^{a}	38.50^{a}	1.90^{b}	1.40^{b}	68.28^{b}	9.21^{c}
Application rate (B)								
0%	6.32^{BC}	0.19^{C}	42.2^{D}	19.00^{D}	1.40^{C}	0.20^{C}	42.82^{D}	10.79
2.5%	6.29^{C}	0.34^{B}	54.4^{C}	25.30^{C}	1.80^{B}	1.40^{B}	53.42^{C}	9.63
5%	6.36^{AB}	0.36^{B}	65.4^{B}	29.50^{B}	2.00^{A}	1.80^{AB}	61.69^{B}	9.44
7.5%	6.40^{A}	0.43^{A}	70.3^{A}	31.90^{A}	2.10^{A}	1.90^{A}	68.15^{A}	9.80
F-test								
A	**	**	**	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**	**	**	ns
A*B	**	**	**	**	**	**	**	ns
CV(%)	0.83	9.35	4.98	4.04	3.94	21.91	3.43	3.91

** = significantly differences at $p \leq 0.01$. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$.

Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.20 The exchangeable K, Ca, and Mg and extractable Fe, Mn, Cu, and Zn in soil after 1 month of organic materials amendment.

Factor	Exc. K	Exc. Ca	Exc. Mg	Ext. Fe	Ext. Mn	Ext. Cu	Ext. Zn
	----------(mg/kg)----------			----------(mg/kg)----------			
Organic material (A)							
Control	58^{e}	1,885^{d}	265^{e}	293^{a}	108	4.22^{a}	1.36^{d}
R	261^{c}	2,204^{a}	307^{c}	289^{a}	106	3.94^{ab}	1.91^{bc}
S	181^{d}	2,192^{a}	318^{b}	257^{b}	97	3.04^{c}	1.66^{cd}
RB	730^{a}	1,977^{c}	296^{d}	257^{b}	100	3.82^{b}	3.14^{a}
SB	322^{b}	2,091^{b}	327^{a}	265^{ab}	91	4.19^{ab}	2.08^{b}
Application rate (B)							
0%	58^{D}	1,885^{C}	265^{C}	293	108	4.22	1.36^{C}
2.5%	196^{C}	2,154^{A}	303^{B}	259	104	3.86	1.82^{B}
5%	374^{B}	2,144^{A}	314^{A}	263	94	3.61	2.31^{A}
7.5%	551^{A}	2,051^{B}	319^{A}	279	98	3.77	2.46^{A}
F-test							
A	**	**	**	*	ns	**	**
B	**	**	**	ns	ns	ns	**
A*B	**	ns	**	ns	ns	*	*
CV(%)	8.20	2.50	2.00	9.24	12.18	8.23	13.28

** and * = significantly differences at p ≤ 0.01 and 0.05, respectively. ns = not significantlys at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 สมบัติดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 1

จากผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 1 (Table 4.21 and 4.22) พบว่า การใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ทุกพารามิเตอร์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง ในทรีตเมนต์ควบคุม เท่ากับ 6.51 (ดินเป็นกรดอ่อน) มีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด มีค่าเท่ากับ 6.48 และ 6.45 ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI ความเข้มข้นของคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทองแดงและสังกะสีที่สกัดได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 0.60 mS/cm (ดินไม่เค็ม), 33.80, 2.30 g/kg, 48.27, 733, 3.63 และ 3.64 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมดและทองแดงที่สกัดได้ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย สอดคล้องกับงานทดลองของ Iqbal et al. (2019) พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน ไนโตรเจนทั้งหมด โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และโบรอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ทั้งหมดและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 1.70 g/kg และ 421 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องจากการใส่ถ่านชีวภาพมีความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูงกว่าทรีตเมนต์อื่น (Table 4.4) และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งมีความพรุนรวมสูง และมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดีและช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ทำให้ดินมีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ (Masto et al., 2009) และการศึกษาอื่น ๆ ยังคาดการณ์ว่าถ่านชีวภาพยังเพิ่มมหธาตุ (P, K และ Ca) และจุลธาตุ (Mg, Fe, Cu, Zn, และ Mn) ซึ่งจำเป็นสำหรับการเกษตรแบบยั่งยืน (Glaser et al., 2002) ความเข้มข้นของเหล็กที่สกัดได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 319 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความเข้มข้นของแมงกานีสที่สกัดได้ในทรีตเมนต์ควบคุม มีค่าเท่ากับ 95.82 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของแมงกานีสที่สกัดได้ใน ทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ 6.51 (ดินเป็นกรดอ่อน) และ 95.82 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI ความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็กและสังกะสีที่สกัดได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% มีค่าเท่ากับ 0.54 mS/cm (ดินไม่เค็ม), 73.60, 31.40, 2.10, 1.40 g/kg, 45.23, 566, 405, 313 และ 3.03 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และสังกะสีที่สกัดได้ไม่แตกต่างจาก ทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเหล็กที่สกัดได้ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% และ5% โดยความเข้มข้นของธาตุอาหารมีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อค่าการนำไฟฟ้า LOI ความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ (ไม่แสดงข้อมูลปฏิสัมพันธ์)

Table 4.21 The soil pH, electrical conductivity, loss on ignition (LOI), total C, N, S and available P in soil after harvesting in the first season.

Factor	pH	EC	LOI	Total C	Total N	Total S	Available P
		(mS/cm)	(g/kg)	----------(g/kg)----------			(mg/kg)
Organic material (A)							
Control	6.51^{a}	0.32^{d}	43.30^{e}	19.40^{c}	1.70^{c}	0.20^{d}	26.69^{e}
R	6.24^{b}	0.42^{c}	53.40^{d}	21.00^{b}	1.90^{b}	1.00^{c}	36.98^{c}
S	6.21^{b}	0.37^{cd}	56.20^{c}	20.70^{bc}	1.90^{b}	0.90^{c}	32.44^{d}
RB	6.48^{a}	0.60^{a}	75.00^{a}	33.80^{a}	2.30^{a}	1.30^{b}	48.27^{a}
SB	6.45^{a}	0.50^{b}	70.30^{b}	35.20^{a}	1.90^{b}	1.70^{a}	40.56^{b}
Application rate (B)							
0%	6.51^{A}	0.32^{C}	43.30^{D}	19.40^{D}	1.70^{C}	0.20^{C}	26.69^{D}
2.5%	6.30^{C}	0.42^{B}	54.20^{C}	23.70^{C}	1.90^{B}	1.10^{B}	33.26^{C}
5%	6.39^{B}	0.46^{B}	63.50^{B}	27.90^{B}	2.00^{B}	1.20^{B}	40.19^{B}
7.5%	6.35^{BC}	0.54^{A}	73.60^{A}	31.40^{A}	2.10^{A}	1.40^{A}	45.23^{A}
F-test							
A	**	**	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**	**	**
A*B	ns	**	**	**	**	**	**
CV(%)	0.89	12.38	3.07	4.46	4.43	11.36	4.39

** = significantly differences at p ≤ 0.01. ns = not significantly differences at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.22 The exchangeable K, Ca, and Mg, extractable Fe, Mn, Cu and Zn and cation exchange capacity (CEC) in soil after harvesting in the first season.

Factor	Exc. K	Exc. Ca	Exc. Mg	Ext. Fe	Ext. Mn	Ext. Cu	Ext. Zn	CEC
	----------(mg/kg)----------			----------(mg/kg)----------				(cmol/kg)
Organic material (A)								
Control	38.61^{d}	2,579	343^{d}	293^{d}	95.82^{a}	3.26^{b}	1.48^{c}	19.62
R	284^{b}	2,650	372^{c}	308^{bc}	87.60^{b}	3.13^{b}	2.61^{b}	19.07
S	186^{c}	2,772	395^{b}	319^{a}	84.14^{b}	3.16^{b}	2.26^{b}	19.96
RB	733^{a}	2,645	392^{b}	310^{b}	78.55^{c}	3.65^{a}	3.64^{a}	19.43
SB	301^{b}	2,676	421^{a}	301^{c}	68.39^{d}	3.55^{a}	2.27^{b}	20.07
Application rate (B)								
0%	38.61^{D}	2,579	343^{C}	293^{B}	95.82^{A}	3.26	1.48^{C}	19.62
2.5%	190^{C}	2,720	383^{B}	306^{A}	85.20^{B}	3.38	2.26^{B}	20.05
5%	372^{B}	2,686	396^{A}	310^{A}	81.58^{B}	3.40	2.79^{A}	19.23
7.5%	566^{A}	2,652	405^{A}	313^{A}	72.22^{C}	3.33	3.03^{A}	19.61
F-test								
A	**	ns	**	**	**	**	**	ns
B	**	ns	**	*	**	ns	**	ns
A*B	**	ns	**	**	**	ns	**	ns
CV(%)	7.01	4.82	2.96	2.03	5.64	4.61	14.48	6.04

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 สมบัติดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 2

จากผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 2 (Table 4.23 and 4.24) พบว่า ชนิดวัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ทุกพารามิเตอร์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทรีตเมนต์ควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน มีค่าเท่ากับ 1.65 g/cm^3 สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความหนาแน่นรวมของดินในทรีตเมนต์ควบคุม ทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อย ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ลดลง ตามลำดับ เนื่องจากการใส่เศษซากพืชทำให้ดินโปร่งขึ้นและโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ถ่านชีวภาพที่มีลักษณะเป็นรูพรุนจึงทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง Mankasingh (2011) พบว่าการเติมถ่านชีวภาพลงในดินทำให้ความหนาแน่นของดินลดลงจาก 1.66 g/cm^3 เป็น 1.53 g/cm^3 ความหนาแน่นของดินเป็นตัวบ่งชี้อย่างหนึ่งของระดับการอัดตัวของอนุภาคของดิน โดยทั่วไปดินไร่ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกจะมีค่าความหนาแน่นระหว่าง 1.1-1.5 g/cm^3

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ควบคุม โดยในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 6.58 (ดินเป็นกรดอ่อน), 0.63 mS/cm (ดินไม่เค็ม) และ 19.78 cmol/kg ตามลำดับ และในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 6.58 (ดินเป็นกรดอ่อน), 0.58 mS/cm (ดินไม่เค็ม) และ 19.87 cmol/kg ตามลำดับ

ค่า LOI และความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมดในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 72.70 และ 42.00 g/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ1,155 kg C/m^2 และ 1,237 kg C/m^3 ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 2.30 และ 2.20 g/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 77.43 และ 670 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ทั้งหมดในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 2.20 g/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อยและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 2,913 และ 2,990 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่า ทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และทองแดงที่สกัดได้ ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใน ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 1,155 และ 4.08 mg/kg ตามลำดับ และในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย มีค่าเท่ากับ 1,237 และ 4.15 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แมงกานีสที่สกัดได้ในทรีตเมนต์ควบคุม มีค่าเท่ากับ 85.70 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสังกะสีที่สกัดได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 5.38 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ส่งผลให้ทุกพารามิเตอร์แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความเป็นกรด-ด่าง และเหล็กที่สกัดได้ โดยทรีตเมนต์ควบคุมมีความหนาแน่นรวมของดิน มีค่าเท่ากับ 1.65 g/cm^3 สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความหนาแน่นรวมของดินลดลงตามอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากย่อยสลายเศษซากพืช ช่วยให้ดินร่วนซุยเพิ่มความพรุนและถ่านชีวภาพที่มีลักษณะเป็นรูพรุนจึงทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และทองแดงและสังกะสีที่สกัดได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% มีค่าเท่ากับ 0.65 mS/cm (ดินไม่เค็ม), 70.70 g/kg, 19.79 cmol/kg, 36.30, 2.30, 2.00 g/kg, 1,064 kg C/m^3, 64.74, 477, 1,064, 3.99 และ 4.28 mg/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทองแดงและสังกะสีที่สกัดได้ไม่แตกต่างจากในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 5%

ความเข้มข้นของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 5% มีค่าเท่ากับ 2,932 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% และ 7.5% และความเข้มข้นของแมงกานีสที่สกัดได้ในทรีตเมนต์ควบคุมมีค่าเท่ากับ 85.70 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งความเข้มข้นของทุกธาตุอาหารมีค่าสูงขึ้นตามอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นความเข้มข้นของแมงกานีสที่สกัดได้เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสที่สกัดได้ลดลง สอดคล้องกับงานทดลองของ ณิชาภัทร สิทธิวรนนท์ และคณะ (2020) พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราตั้งแต่ 1 % (น้ำหนักดิน/น้ำหนักถ่านชีวภาพ) ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ในขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความเป็นกรดด่างของดิน การนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง และยังสูงขึ้นตามอัตราที่ใส่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ต่อความหนาแน่นรวม ค่าความเป็นกรด-ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า LOI ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยความหนาแน่นรวมของดินในทรีตเมนต์ควบคุมสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าวทุกอัตรา ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อยอัตรา 5% และทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 2.5% (Figure 4.8) ค่าความเป็นกรด-ด่างในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 5% และ 7.5% และทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4.9) ค่า LOI (Figure 4.10) ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด (Figure 4.12) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Figure 4.15) ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยอัตรา 5% และทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 7.5% (Figure 4.11) ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ (Figure 4.13) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Figure 4.14) ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ตั้งแต่อัตรา 2.5% ขึ้นไปส่งผลให้ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมดและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าทรีตเมนต์ควบคุมและทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชทุกอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.23 The soil bulk density, pH, electrical conductivity, cation exchange capacity (CEC) loss on ignition (LOI), soil carbon sequestration (C_{soil}) and total C, N, S in soil after harvesting in the second season.

Factor	Bulk density (g/cm^3)	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmol/kg)	LOI (g/kg)	C_{soil} (kg C /m^3)	Total C	Total N	Total S
							----------(g/kg)----------		
Organic materials (A)									
Control	1.65^{a}	6.34^{b}	0.33^{d}	19.35^{ab}	41.20^{d}	765^{b}	19.40^{d}	1.60^{d}	1.00^{d}
R	1.46^{b}	6.23^{c}	0.52^{bc}	18.72^{b}	49.90^{c}	811^{b}	22.60^{c}	1.90^{c}	1.60^{c}
S	1.37^{bc}	6.30^{bc}	0.47^{c}	18.45^{b}	52.30^{c}	754^{b}	23.00^{c}	2.90^{b}	1.50^{c}
RB	1.30^{cd}	6.58^{a}	0.63^{a}	19.78^{a}	69.30^{b}	1,155^{a}	39.00^{b}	2.30^{a}	1.90^{b}
SB	1.20^{d}	6.58^{a}	0.58^{ab}	19.87^{a}	72.70^{a}	1,237^{a}	42.00^{a}	2.20^{a}	2.20^{a}
Application rate (B)									
0%	1.65^{A}	6.35	0.33^{D}	19.34^{AB}	41.20^{D}	765^{C}	19.40^{D}	1.60^{D}	1.00^{D}
2.5%	1.43^{B}	6.41	0.44^{C}	18.77^{B}	51.30^{C}	918^{B}	26.60^{C}	2.00^{C}	1.50^{C}
5%	1.33^{BC}	6.47	0.56^{B}	19.05^{AB}	61.10^{B}	987^{AB}	32.10^{B}	2.10^{B}	1.80^{B}
7.5%	1.25^{C}	6.40	0.65^{A}	19.79^{A}	70.70^{A}	1,064^{A}	36.30^{A}	2.30^{A}	2.00^{A}
F-test									
A	**	**	**	**	**	**	**	**	**
B	**	ns	**	**	**	**	**	**	**
A*B	**	**	ns	ns	**	**	**	ns	ns
CV(%)	7.95	1.15	10.72	3.92	3.77	10.22	3.49	3.07	8.78

** = significantly differences at $p \leq 0.01$. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.24 The available P, exchangeable K, Ca, and Mg and extractable Fe, Mn, Cu and Zn in soil after harvesting in the second season.

Factor	Available P	Exc. K	Exc. Ca	Exc. Mg	Ext. Fe	Ext. Mn	Ext. Cu	Ext. Zn
	(mg/kg)	----------(mg/kg)----------			----------(mg/kg)----------			
Organic materials (A)								
Control	35.77^{d}	50^{e}	2,696^{c}	765^{b}	300^{c}	85.70^{a}	3.30^{c}	1.76^{d}
R	45.31^{c}	203^{c}	2,858^{ab}	811^{b}	319^{b}	79.04^{b}	3.28^{c}	2.76^{c}
S	45.51^{c}	151^{d}	2,913^{a}	754^{b}	336^{a}	77.02^{bc}	3.64^{b}	2.96^{bc}
RB	77.43^{a}	670^{a}	2,778^{bc}	1,155^{a}	301^{c}	72.82^{c}	4.08^{a}	5.38^{a}
SB	62.41^{b}	257^{b}	2,990^{a}	1,237^{a}	304^{c}	67.16^{d}	4.15^{a}	3.66^{b}
Application rate (B)								
0%	35.77^{D}	50^{D}	2,696^{B}	765^{C}	300	85.70^{A}	3.31^{B}	1.76^{C}
2.5%	49.18^{C}	179^{C}	2,812^{AB}	918^{B}	311	79.26^{B}	3.49^{B}	3.16^{B}
5%	59.06^{B}	315^{B}	2,932^{A}	987^{AB}	314	75.39^{B}	3.90^{A}	3.63^{AB}
7.5%	64.74^{A}	477^{A}	2,909^{A}	1,064^{A}	319	67.38^{C}	3.99^{A}	4.28^{A}
F-test								
A	**	**	**	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	ns	**	**	**
A*B	**	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
CV(%)	5.58	9.48	3.82	10.22	2.88	5.65	4.81	17.00

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

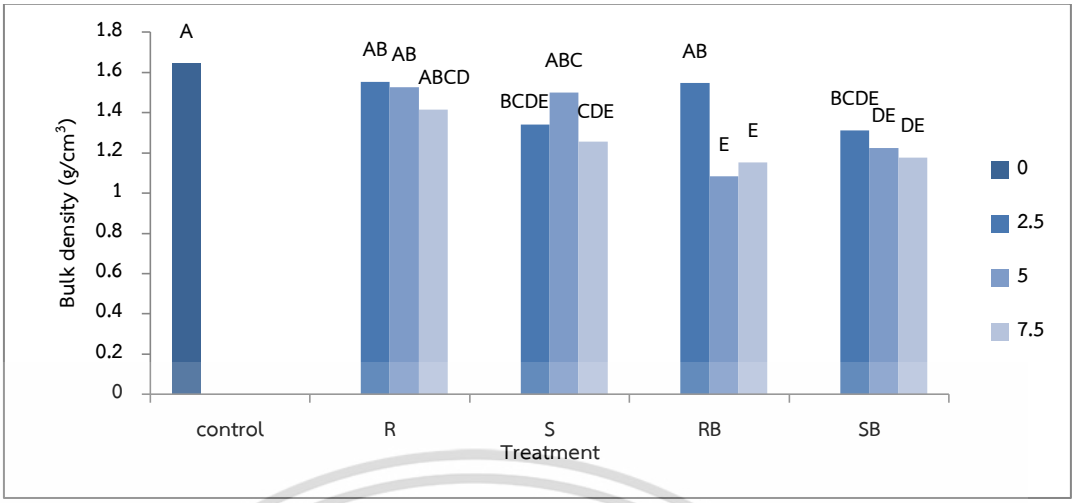


Figure 4.8 Soil bulk density in soil after harvesting in the second season.

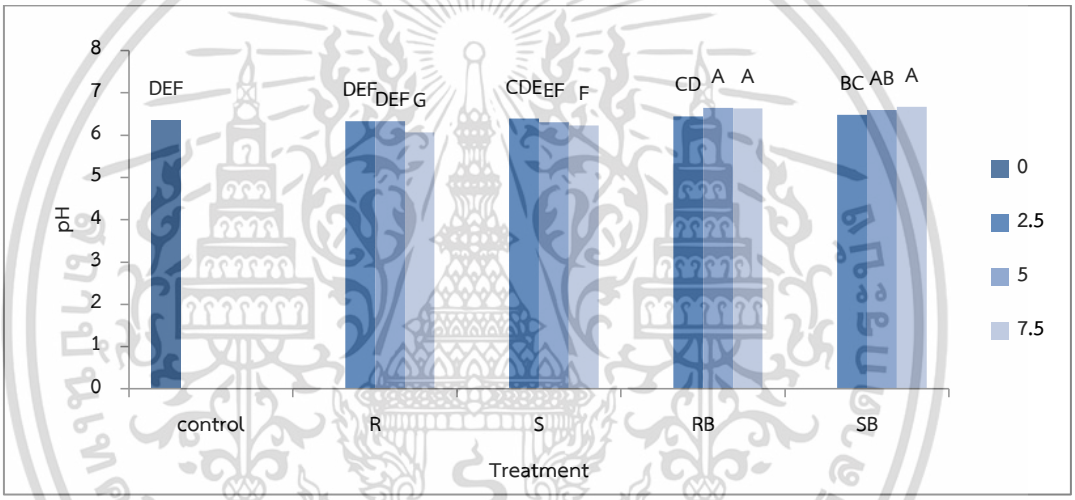


Figure 4.9 pH in soil after harvesting in the second season.

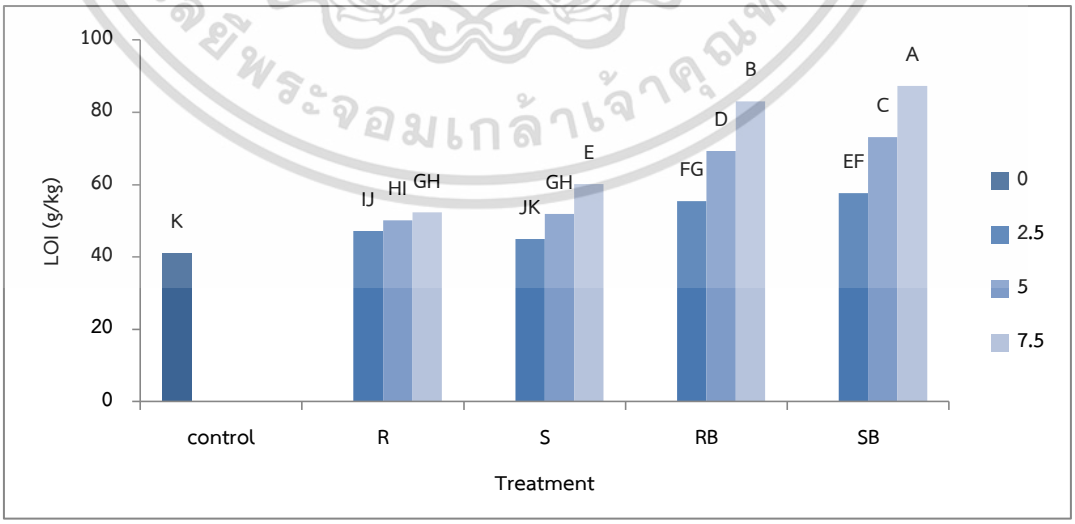


Figure 4.10 Loss on ignition in soil after harvesting in the second season.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

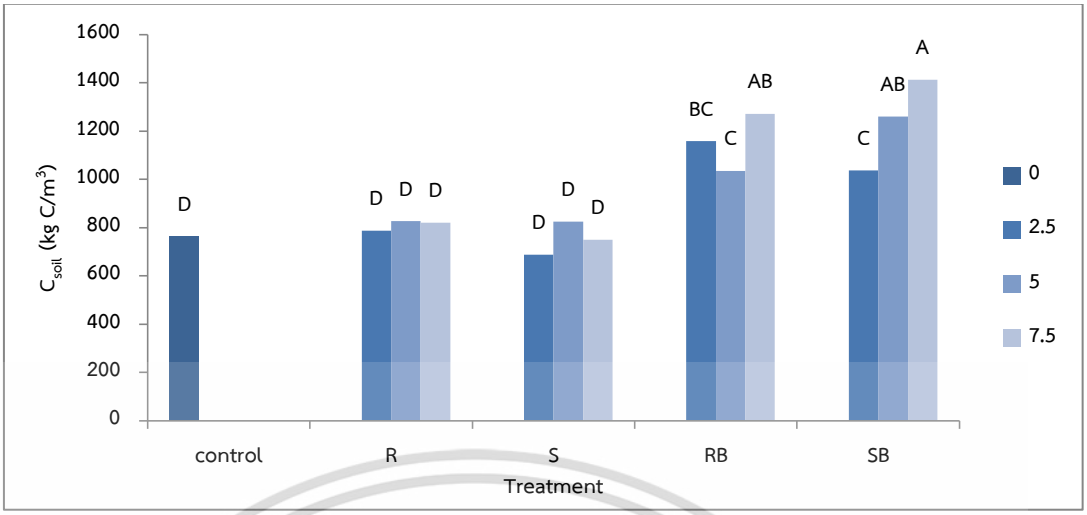


Figure 4.11 Soil carbon sequestration in soil after harvesting in the second season.

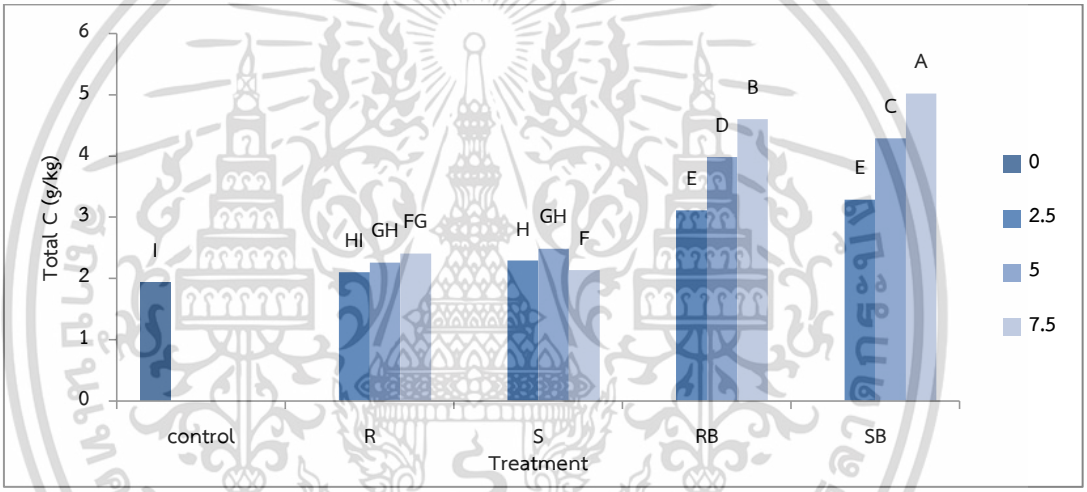


Figure 4.12 Soil total C after harvesting in the second season.

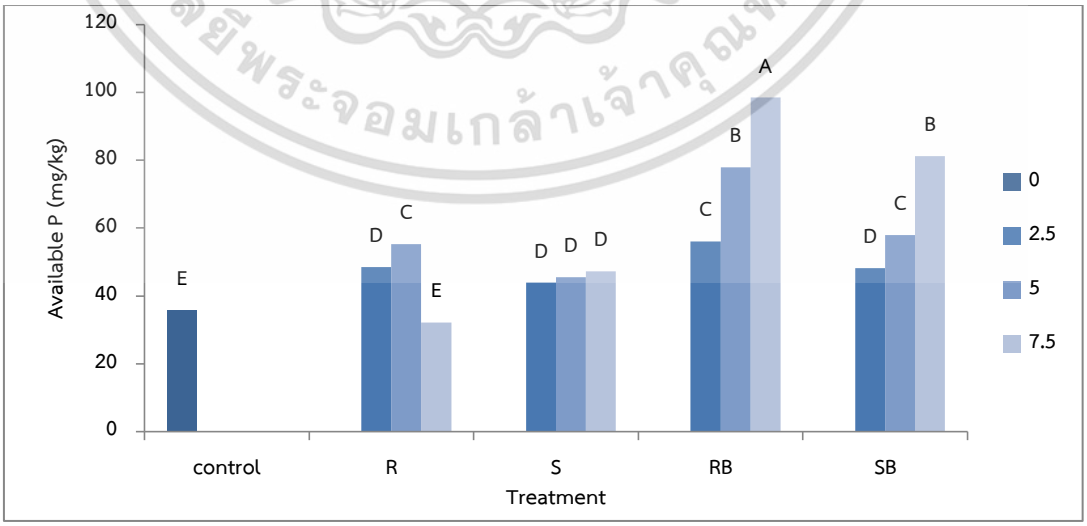


Figure 4.13 Soil available P after harvesting in the second season.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

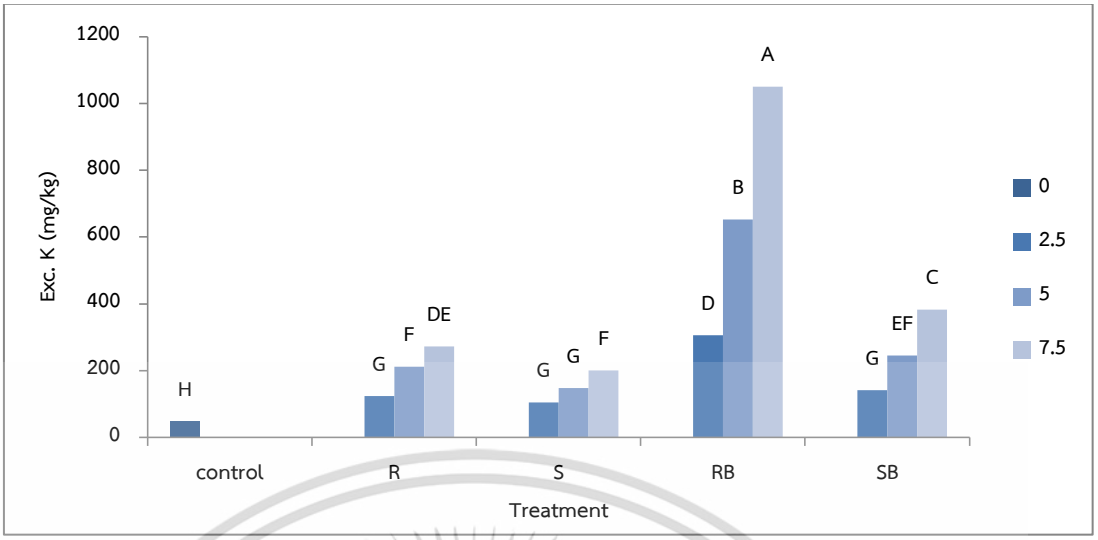


Figure 4.14 Soil exchangeable K after harvesting in the second season.

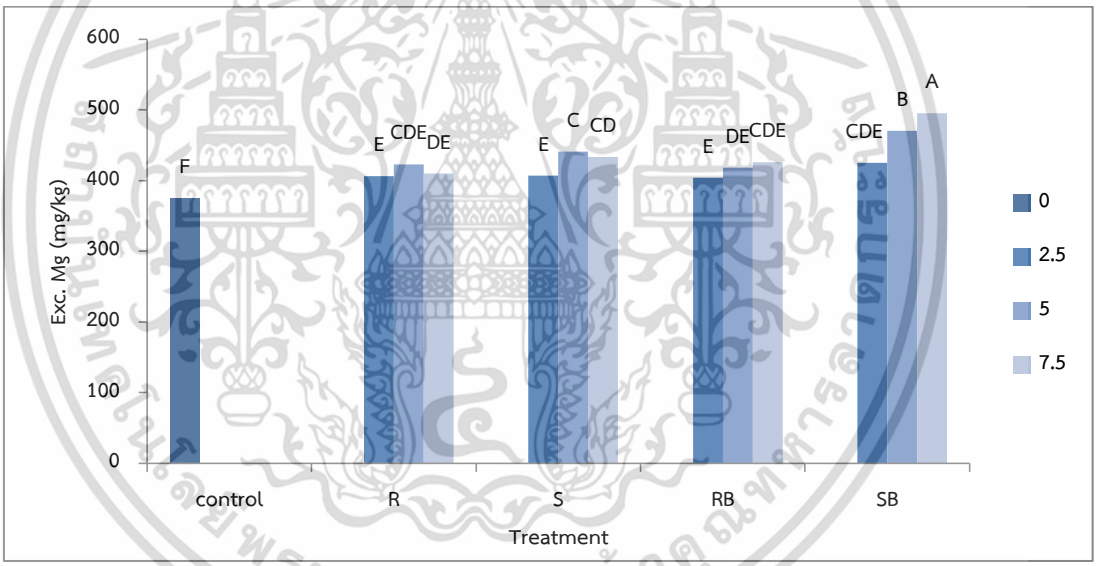


Figure 4.15 Soil exchangeable Mg after harvesting in the second season.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 รูปของคาร์บอนในดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 2

รูปของคาร์บอนในดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 2 (Table 4.25) พบว่า ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) มีค่าเท่ากับ 6.97 g/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีปริมาณ heavy fraction (HF) มีค่าเท่ากับ 30.66 และ 29.88 g/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งคาร์บอนในรูป heavy fraction (HF) นี้เป็นส่วนที่สลายตัวได้ยากแสดงให้เห็นว่ามีการกักเก็บคาร์บอนสูง (Table 4.23)

ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยมีปริมาณอนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) มีค่าเท่ากับ 16.08 และ 15.30 g/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากถ่านชีวภาพอุดมไปด้วยคาร์บอนและประกอบด้วยสารอินทรีย์อะโรมาติกคาร์บอนจำนวนมาก จึงทำให้ถ่านชีวภาพมีความแข็งแกร่งในการต้านทานการย่อยสลายภายใต้กิจกรรมของสิ่งแวดล้อมในระยะยาวและเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Spokas, 2010) ทรีตเมนต์ควบคุมมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC) มีค่าเท่ากับ 28.57 mg/kg สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อยมีปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) และอินทรีย์คาร์บอนที่ออก ซิไดส์ด้วยเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$-C) มีค่าเท่ากับ 0.62 และ 4.16 g/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเศษใบอ้อยที่มีปริมาณลิกนินสูงซึ่งเป็นส่วนคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงยากและต้านทานการสลายตัวส่งผลต่อการสะสมคาร์บอนในดินสูงกว่าในฟางข้าว (Table 4.4) และอาจเกิดจากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายเศษซากพืชได้ง่ายและเร็วกว่าถ่านชีวภาพจึงทำให้มีแหล่งอาหาร และเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มากกว่าส่งให้มีชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าถ่านชีวภาพ

อัตราการใส่วัสดุอินทรีย์พบว่าทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์ในอัตรา 7.5% มีปริมาณอนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) อินทรีย์คาร์บอนที่ออกซิไดส์ด้วยเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$-C) อินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) และ heavy fraction (HF) มีค่าเท่ากับ 13.60, 4.27, 4.47 และ 28.25 g/kg ตามลำดับ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณคาร์บอนในแต่ละรูปเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ที่สูงขึ้น และปริมาณของ heavy fraction สามารถบอกได้ถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจาก heavy fraction เป็นรูปของคาร์บอนที่สลายตัวได้ยาก หากมีปริมาณของ heavy fraction สูงก็จะแสดงถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่สูงขึ้นตามไปด้วย (Table 4.21) งานทดลองของ Jiang et al. (2022) พบว่าความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน (SOC) อนุภาคของสารอินทรีย์คาร์บอน (POC) ดัชนีการกักเก็บคาร์บอนของดิน (Soil carbon pool index) และดัชนีการจัดการการกักเก็บคาร์บอน (Carbon pool management

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

index) เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์กันต่อปริมาณอนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) คาร์บอนที่ออกซิไดส์ด้วยเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$-C) อินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) และ heavy fraction (HF) โดยอนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) (Figure 4.16) ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คาร์บอนที่ออกซิไดส์ด้วยเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$-C) (Figure 4.17) ในทรีตเมนต์ที่ใส่เศษใบอ้อยอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) (Figure 4.18) ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อยอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ heavy fraction (HF) (Figure 4.19) ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดในอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ตั้งแต่อัตรา 2.5% ขึ้นไปส่งผลให้ปริมาณของอนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) อินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) และ heavy fraction (HF) สูงกว่าทรีตเมนต์ควบคุมและทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชทุกอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4.25 Dissolved organic carbon (DOC), microbial biomass carbon (MBC), particulate organic carbon (POC), permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C), light fraction organic carbon (LFOC), and heavy fraction content after second season.

Factor	DOC	MBC	POC	$KMnO_4$-C	LFOC	HF
	(mg/kg)	----------(g/kg)----------				
Organic material (A)						
Control	28.57^{a}	0.33^{bc}	2.90^{c}	2.81^{d}	0.63^{c}	14.81^{c}
R	19.93^{b}	0.39^{b}	5.71^{b}	3.96^{b}	0.86^{c}	17.44^{b}
S	7.26^{d}	0.62^{a}	6.76^{b}	4.16^{a}	1.30^{c}	17.65^{b}
RB	10.16^{cd}	0.15^{c}	16.08^{a}	3.66^{c}	4.59^{b}	29.88^{a}
SB	12.42^{c}	0.29^{bc}	15.30^{a}	3.89^{b}	6.97^{a}	30.66^{a}
Application rate (B)						
0%	28.57	0.33	2.90^{D}	2.81^{D}	0.63^{D}	14.81^{D}
2.5%	12.26	0.30	8.25^{C}	3.55^{C}	2.32^{C}	19.75^{C}
5%	12.20	0.46	11.03^{B}	3.94^{B}	3.49^{B}	23.72^{B}
7.5%	13.28	0.42	13.60^{A}	4.27^{A}	4.47^{A}	28.25^{A}
F-test						
A	**	**	**	**	**	**
B	ns	ns	**	**	**	**
A*B	ns	ns	**	**	**	**
CV(%)	28.65	37.96	13.29	3.89	22.21	5.36

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

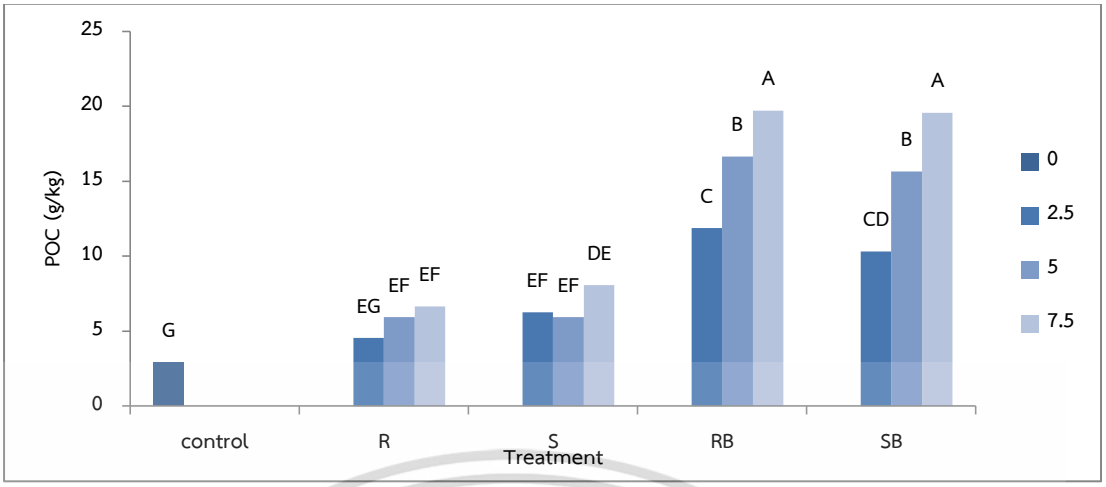


Figure 4.16 Particulate organic carbon (POC) fraction content in soil after second season.

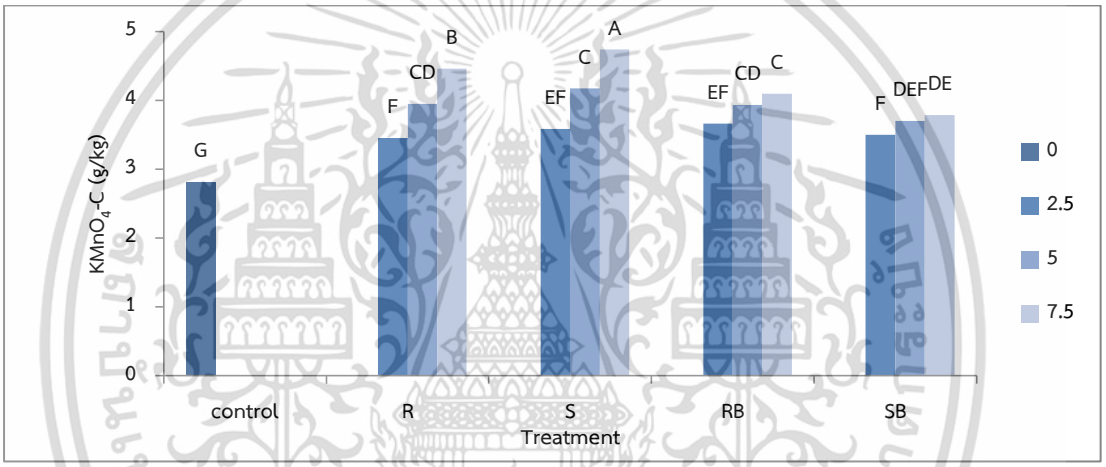


Figure 4.17 Permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C) fraction content in soil after second season.

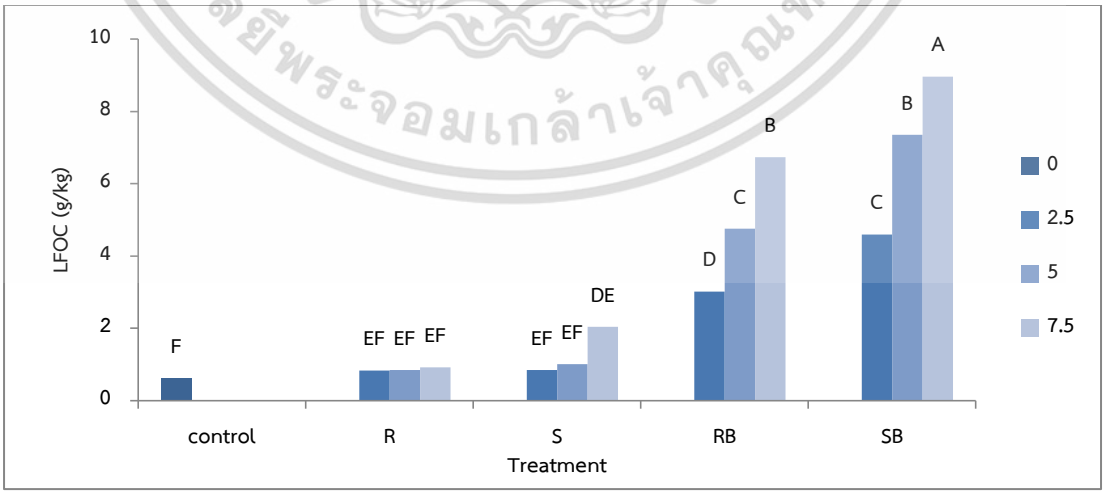


Figure 4.18 Light fraction organic carbon (LFOC) fraction content in soil after second season.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

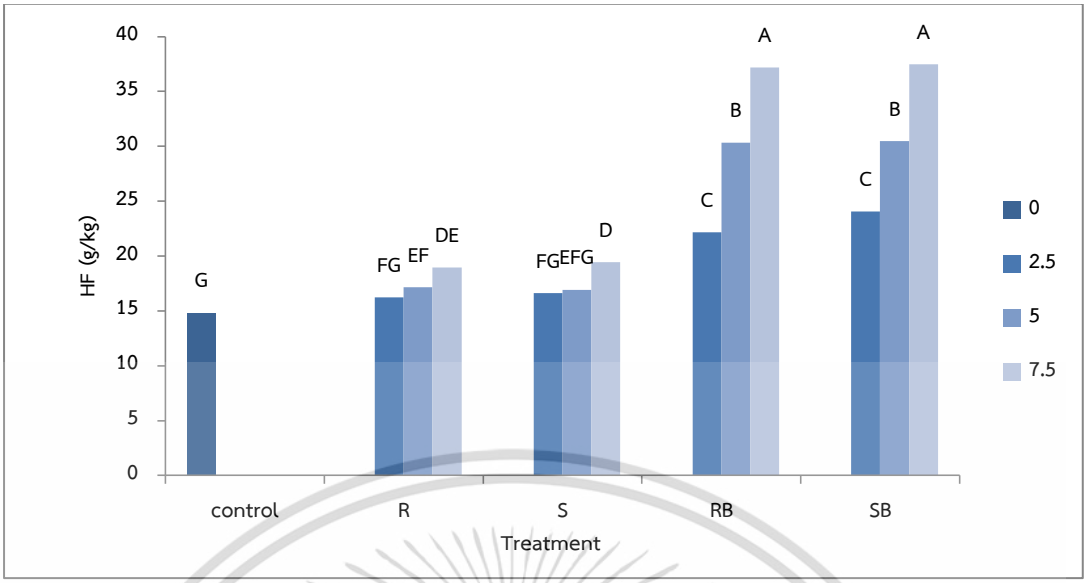


Figure 4.19 Heavy fraction content in soil after second season.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1.1 สมบัติถ่านชีวภาพจากฟางข้าวและเศษใบอ้อย

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ มีความเข้มข้นของคาร์บอน แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เหล็กทั้งหมดในเศษใบอ้อยมีค่าสูงกว่าฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมงกานีส และสังกะสีทั้งหมดในฟางข้าวมีค่าสูงกว่าเศษใบอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปลี่ยนเศษซากพืชเป็นถ่านชีวภาพส่งผลให้ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด มีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงกว่าในเศษซากพืช โดยความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แมงกานีส และสังกะสีทั้งหมดสูงในถ่านชีวภาพจากฟางข้าว ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กทั้งหมดสูงในถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย และเพิ่มพื้นที่ผิวและความพรุนทำให้มีความสามารถการดูดซับธาตุอาหารได้สูง

5.1.2 อิทธิพลของถ่านชีวภาพกับเศษซากพืชต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

ข้าวในฤดูที่ 1 พบว่าทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์และทรีตเมนต์ที่ใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 2.5% ส่งผลให้ความสูงของข้าวในทุกสัปดาห์หลังปักดำ สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความเขียวของใบข้าวในช่วงระยะแตกกอจนถึงระยะเริ่มตั้งท้องในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ระยะออกดอกในทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชทั้ง 2 ชนิด และระยะแตกกอในทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนหน่อของข้าวหลังจากอายุ 14 DAT ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างจากทรีตเมนต์ควบคุม และด้านอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ ทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ หลังจากข้าวอายุ 21 DAT มีจำนวนหน่อสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักแห้งของตอซัง การดูดใช้คาร์บอน โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ และเหล็กในตอซังสูง

ข้าวในฤดูที่ 2 พบว่าชนิดของวัสดุอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ไม่ส่งผลต่อความสูงและความเขียวของใบข้าว การใส่ฟางข้าวทำให้มีจำนวนหน่อสูงที่สุด ส่งผลให้มีจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักสดและแห้งของตอซังและเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% สูง การดูดใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แมงกานีส และสังกะสีในตอซังและเมล็ดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการใส่วัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น ซึ่งมีผลไปในทิศทางเดียวกันกับความเข้มข้นของธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ผลของถ่านชีวภาพและเศษซากพืชต่อสมบัติดิน การกักเก็บคาร์บอน และรูปของคาร์บอน

สมบัติดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 1 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่า LOI ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนมีค่าสูงในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากเศษใบอ้อย ค่าการนำไฟฟ้า ความเข้มข้นของไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และสังกะสีที่สกัดได้มีค่าสูงในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว ความเข้มข้นของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงในทรีตเมนต์ที่ใส่ฟางข้าว ความเข้มนข้นของเหล็กและทองแดงที่สกัดได้ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าสูงในทรีตเมนต์ควบคุม การใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% ส่งผลให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI ความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และสังกะสีที่สกัดได้สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ทีค่าสูงในทรีตเมนต์ที่ใส่อัตรา 2.5%

สมบัติดินหลังการทดลองของข้าวฤดูที่ 2 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทองแดงที่สกัดได้ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมีค่าสูงในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพ ค่าการนำไฟฟ้า ค่า LOI ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ความเข้มข้นของคาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทองแดงและสังกะสีที่สกัดได้ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน ปริมาณอนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) อินทรีย์คาร์บอนที่ออกซิไดส์ด้วยเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$-C) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) และ heavy fraction (HF) การใส่วัสดุอินทรีย์อัตรา 7.5% มีค่าสูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งความเข้มข้นธาตุอาหารมีค่าสูงขึ้นตามอัตราการใส่วัสดุอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินอย่างเห็นได้ชัดในระยะยาวซึ่งยั่งยืนกว่าการใส่เศษซากพืชถึงแม้การใส่เศษซากพืชจะมีการดูดใช้ธาตุอาหารที่ดีกว่าแต่จะดีในช่วงระยะสั้นเท่านั้น

โดยในด้านผลผลิตเพียงอย่างเดียวทรีตเมนต์ที่ฟางข้าวอัตรา 7.5% สูงกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในฤดูที่ 2 ส่วนในภาพรวมด้านผลผลิต ธาตุอาหารในดินหลังปลูก และการกักเก็บคาร์บอน พบว่า จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักสดและแห้งของตอซังในฤดูที่ 1 ค่า LOI ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อนุภาคของอินทรีย์คาร์บอน (POC) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนเบา (LFOC) และ heavy fraction (HF) ในทรีตเมนต์ที่ใส่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวอัตรา 5 % สูงกว่าทรีตเมนต์ที่ใส่เศษซากพืชทุกอัตราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2556. **งานวิจัยเครื่องจักรกลการเกษตร.** Retrieved from: http://www.sugarzone.in.th/cane/cane_machine56.pdf**.**

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **การไถกลบตอซังเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว**. Retrieved from: https://www.ldd.go.th/menu_moc/POSTER/rice/rice.htm.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. **คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ทางกายภาพ**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมการข้าว. 2564. **ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1**. Retrieved from: http://webold.ricethailand .go.th/rkb3/title-index.php file=content.php&id=67.htm.

กลุธิดา สะอาด. 2564. **ถ่านชีวภาพ .** Retrieved from:https://www.scimath.org/articlebiology /item/12471-2021-10-19-04-14-46.

ชุติวัฒน์ วรรณสาย (2547). **การจัดการธาตุอาหารในนาข้าว**. Retrieved from: http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00199.pdf.

ณิชาภัทร สิทธิวรนนท์, ชูชาติ สันธทรัพย์ และ ฟ้าไพลิน ไชยวรรณ. 2563. ผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อสมบัติและการกักเก็บคาร์บอนในดินบนพื้นที่สูง อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. **วารสารเกษตร.** 36(1), 69-78.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ การวิเคราะห์ดินและพืช (Soil and Plant analysis)**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นันทนัช ชาวพะเยาว์, อารดา บุญอาจ, พัชรินทร์ สุรินทร์, จวรรชนก ปรีสงค์ และ สุกัญญา แย้มประชา. 2563. อิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อการสะสมมวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหาร. **งานประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 50**. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บังอร อุบล, ศุภชัย อำคา และ เครือมาศ สมัครการ. 2555. ผลของการไถพรวนและการจัดการเศษเหลือพืชต่อการเติบโต ผลผลิต และการกักเก็บคาร์บอนในพืชและดินในการทำนา. **วารสารดินและปุ๋ย**. 34 (1-4), 17-26.

ประสิทธิ์ ขุนสนิท และ สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. (2555). ปริมาณมหธาตุอาหารของอ้อยพันธุ์ K95-84. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 43(2-3), 217-226.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. **ดิน ธาตุอาหารพืช และปุ๋ยข้าว.** สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิรัตน์ นาคเอี่ยม, สุนันท์ สีสังข์ และ พรชุลีย์ นิลวิเศษ. 2557. การผลิตข้าวและการจัดการตอซังข้าวของเกษตรกรเขตชลประทาน ในอำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก. **การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4**. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2558. **คู่มือการจัดการไร่อ้อยอย่างยั่งยืน**. กรุงเทพฯ

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2564. **รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2563/64**. Retrieved from: http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9200.pdf.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. **ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร**. Retrieved from: http://www.oae.go.th.

สุรเดช จินตกานนท์, เกษม สุขสถาน และ ผกาทิพย์ จินตกานนท์. 2542. การศึกษาผลผลิตและองค์ประกอบธาตุอาหารพืชของอ้อย. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์, 33(1), 10-20.

Bharat, M.S. 2007. **Land use and land use changes effects on organic carbon pools, soil aggregate associated carbon and soil organic matter quality in a watershed of Nepal**. Doctoral dissertation, Norwegian University of Life Sciences.

Blair, G.J., Lefory, R.D.B., and Lise, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural system. **Australian Journal of Agricultural Research**. 46, 1459–1466.

Bray, R. H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Science**. 59, 39-45.

Brunauer, S., Emmett, P. H., and Teller, E. 1938. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. **Journal of the American Chemical Society**. 60(2), 309– 319.

Buranov, A.U. and Mazza, G. 2008. Lignin in straw of herbaceous crops. **Industrial Crops Products**. 28(3), 237-259.

Cambardella, C. A. and Elliott, E. T. 1992. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Science Society of America Journal**. 56(3), 777–783.

Chen, M. and Ma, L.Q. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. **Soil Science Society of America Journal**. 65(2), 491-499.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chen, X., Yang, S., Ding, J., Jiang, Z., and Sun, X. 2021. Effects of Biochar Addition on Rice Growth and Yield under Water-Saving Irrigation. **Water**. 13(2), 209.

Coomes, O. T., and Miltner, B. C. 2016. Indigenous Charcoal and Biochar Production: Potential for Soil Improvement under Shifting Cultivation Systems. **Land & Development**. 28(3), 811–821.

Demisie, W., Liu, Z., and Zhang, M. 2014. Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil. **CATENA**. 121, 214–221.

De Oliveira, M.W., Tivelin, P.C.O., Kingston, G., Barbosa, M.H.P., and Vitti, A.C. 2002. Decomposition and reslease of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. In **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**. (pp.90–296). Queensland : PK Editorial Services Pty Ltd.

Eykelbosh, A. J., Johnson, M. S., Santos de Queiroz, E., Dalmagro, H. J., and Guimarães Couto, E. 2014. Biochar from sugarcane filtercake reduces Soil CO_2 emissions relative to raw residue and Improves water retention and nutrient availability in a highly-weathered tropical soil. **PLOS ONE**. 9(6), e98523.

Gee, G. W. and Bauder, J. W. 1986. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods, 5.1, Second Edition**. USA: The American Society of Agronomy.

Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. **Biology and Fertility of soils**. 35(4), 219–230.

Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. **Forage Fiber Analysis (Apparatus Reagents, Procedures and Some Applications)**. Washington DC: Agricultural Research Service, U.S. Dept. of Agriculture.

Gupta, R. K., Hussain, A., Sooch, S. S., Kang, J. S., Sharma, S., and Dheri, G. S. 2019. Rice straw biochar improves soil fertility, growth, and yield of rice–wheat system on a sandy loam soil. **Experimental Agriculture**. 1–14.

IITA. 1979. Selected methods for soil and plant Analysis. IITA (International Institute for Tropical Agriculture). Manual Series No.1, Ibadan.

Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., and Zimmerman, A.R. 2010. Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**. 101 (22), 8868–8872.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Iqbal, M. T., Ortaş, I., Ahmed, I. A. M., Isik, M., and Islam, M. S. 2019. Rice straw biochar amended soil improves wheat productivity and accumulated phosphorus in grain. **Journal of Plant Nutrition**, 1–19.

Islam, A., Chandrabiswas, J., Karim, A.J.M.S., Salmapervin, MST., and Saleque, MD. A. 2015. Effects of Potassium Fertilization on Growth and Yield of Wetland Rice in Grey Terrace Soils of Bangladesh. **Research on Crop Ecophysiology**. 10(2), 64-82.

Jaiarree, S., Chidthaisong, A., and Tangtham, N. 2006. Soil carbon dynamics and net carbon dioxide fluxes in tropical forest and corn plantation system. In **Proceedings of sustainable energy and environment**. (pp.617-622). Bangkok: Swissotel Nai Lert Park.

Jeong, C.Y., Dodla, S.K., and Wang, J.J. 2015. Fundamental and molecular composition characteristics of biochars produced from sugarcane and rice crop residues and by-products. **Chemosphere**. 142, 4–13.

Jiang, M., Li, C., Gao, W., Cai, K., Tang, Y. and Cheng, J. 2022. Comparison of long-term effects of biochar application on soil organic carbon and its fractions in two ecological sites in karst regions. **Geoderma Regional Journal**. 28, 1-7

Jones, D.L. and Willett, V.B. 2006. Experimental evaluation of methods to quantifydissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. **Soil Biol.Biochem**. 38: 991–999.

Kabir, M. H., Talukder, N.M., Uddin, M.J., Mahmud, H., and Biswas, B.K. 2011.Total nutrient uptake by grain plus straw and economic of fertilizer use of rice mutation STL-655 grown under boro season in saline area. **Journal of Environmental Sciences**. 4(2): 83-87.

Kalasin University. **Harvest index (HI)**. Retrieved from: http://lms.ksu.ac.th/pluginfile.php/4524/mod_resource/content/2/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%A2%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88206.pdf

Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**. 116(3), 353-362.

Lal, R. 2008. Crop Residues and Soil Carbon. In: Conservation Agriculture Carbon Offset Consultation. Indiana: Food and agriculture organization of the united nations and conservation technology information center.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Land Development Department. 2021. **Soil map presentation system scale 1:25,000**. Retrieved from: http://eis.ldd.go.th/lddeis/SoilView.aspx.

LECO Corporation. 2016. **Operation In: Trumac CNS/NS Carbon/Nitrogen/Sulfur Determinators Instruction Manual**. United States of America: LECO Europe B.V.

Lee, J.S., Parameswaran, B., Lee, J.P., and Park, S.C. 2008. Recent developments of key technologies on cellulosic ethanol peoduction. **Journal of Scientific and Industrial Research**. 67, 865-873.

Lehmann J., and Rondon M. 2006 Bio-char soil managementon highly weathered soils in the humid tropics. In: **Uphoff NT et al (eds) Biological approaches tosustainable soil systems**. (pp.517–530). BocaRaton: CRC/Taylor & Francis.

Leifeld, J., Fenner, S. and Müller, M. 2007. Mobility of black carbon in drained peatland soils. **Biogeosciences**. 4, 425-432.

Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper1. **Soil Science Society of America Journal**. 42(3), 421.-428.

Liu, C., Lu, M., Cui, J., Li, B., and Fang, C. 2014. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. **Global Change Biology**. 20(5), 1366–1381.

Lin, Y., Munroe, P., Joseph, S., Henderson, R., and Ziolkowski, A. 2012. Water extractable organic carbon in untreated and chemical treated biochar. **Chemosphere**. 87, 151–157.

Llorente, M., Glaser, B., and Turrion, M.B. 2010. Storage of organic and black carbon in density fractions of calcareous soils under different land uses. **Geoderma**. 159, 31-38.

Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., and Goodale, C. 2010. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. **Global Change Biology**. 16(4), 1366–1379.

Mankasingh, U., Choi, P.C. and Ragnarsdottir, V. 2011. Biochar application in a tropical, agricultural region: A plot scale study in Tamil Nadu, India. **Applied Geochemistry.** 26, 218-221.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Masto, R.E, Ansari, Md.A., George, J., Selvi, V.A., and Ram, L.C. 2013. Co-application of biochar and lignite fly ash on soil nutrients and biological parameter at different crop growth stages of Zea mays. **Ecological Engineering**. 58, 314-322.

Mujuru, L., Mureva, A., Velthorst, E.J., and Hoosbeek, M.R. 2013. Land use and management effect on soil organic matter fraction in Rhodic Ferralsols and Haplic Arenosols in Bindura and Shamva district of Zimbabwe. **Geoderma**. 209-210, 262-272.

National Soil Survey Center. 1996. **Soil survey laboratory method manual**. National resources conservation service. United states department of agriculture, USA.

Orasa Suksawang. 2009. **Biochar**. Retrieved from: http://pirun.ku.ac.th/~fsocoss/whatchar.html.

Peng, X., Ye, L.L., Wang, C. H., Zhou, H., and Sun, B. 2011. Temperature- and duration-dependent rice-straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. **Soil and Tillage Research**. 112(2), 159–66.

Peterson, D. 2009. **Biochar structure**. Retrieved from: http://www.slideplayer.us /slide/799098.

Riaz, M., Khan, M., Ali, S., Khan, M. D., Ahmad, R., Khan, M. J., and Rizwan, M. 2018. Sugarcane waste straw biochar and its effects on calcareous soil and agronomic traits of okra. **Arabian Journal of Geosciences**, 11(23).

Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. Washington, D. C.: Handbook 60.

Robertson, F.A. and Thorburn, P.J. 2007. Decomposition of sugarcane harvest residuein different climatic zones. **Australian Journal of Soil Research**. 45, 1–11.

Singh, S.K., Singh, A.K., Sharma, B.K., and Tarafdar, J.C. 2007. Carbon stocks and organic carbon dynamics In soils of Rajasthan. **Jounal of Arid of environmental**. 68, 408-421.

Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U., Fallooon, P., and Coleman, K. 2000. Meeting Europes climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. **Global Change Biology**. 6, 525-539.

Soil Chemical research center. 2001. Soil and plant analysis manual. Soil science. department of agriculture. Bangkok, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sparkes J. and P. Stoutjesdijk. 2011. Biochar: implications for agricultural productivity. Australian government department of agriculture, Fisheries and Forestry, Australia.

Spokas, K.A. 2010. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molarratios. **Carbon Management**. 1(2), 289–303.

Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Glaser, B., Arruda, M.R., Zech, W., and Blum, W.E.H. 2007. Slash and char as alternative to slash and burn- Soil charcoal amendment maintain soil fertility and establish a carbon sink. In International Agrichar Initiative (IAI) 2007 Conference. (pp.32-33). Australia: Terrigal.

Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. Microbial biomass measurements in forest soils: The use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. **Soil Biology and Biochemistry**. 19(6), 697–702.

Vieira, F.C.B., Bayer, C., Zanatta, J.A., Dieckow, J., Mielniczuk, J., and He, Z.L. 2007. Carbon management index basedon physical fraction of soil organic matter in as Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**. 96, 317-327.

Walkley, A. and Black, I.A. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil Science Society of America Proceedings. 63: 257.

Warembourg, F.R., Roumet, C., and Lafont, F. 2003. Differences in rhizosphere carbon-partitioning among plant species of different families. **Plant and Soil**. 256, 347-357.

Yang, X., Wang, D., Lan, Y., Meng, J., Jiang, L., Sun, Q., Cao, D., Sun, Y., and Chen, W. 2017. Labile organic carbon fractions and carbon pool management index in a 3-year field study with biochar amendment. **Journal of Soils and Sediments**. 18(4), 1569–1578.

Yin, Y., He, X., Gao, R., Ma, H., and Yang, Y. 2014. Effects of Rice Straw and Its Biochar Addition on Soil Labile Carbon and Soil Organic Carbon. **Journal of Integrative Agriculture**. 13(3), 491–498.

Yuan, J.H., Xu, R.K., and Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. **Bioresource Technology**. 102(3), 3488–3497.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., Han, X., and Yu, X. 2012. Effects of biochar amendment on soil quality crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: a field study of 2 consecutive rice growing cycles. **Field Crop Research**. 127, 153–160.

Zhang, J., Zhou, S., Sun, H., Lü, F., and He, P. 2019. Three-year rice grain yield responses to coastal mudflat soil properties amended with straw biochar. **Journal of Environmental Management**. 239, 23–29.

Zhao, X., Wang, J. W., Xu, H. J., Zhou, C. J., Wang, S. Q., and Xing, G. X. 2014. Effects of crop-straw biochar on crop growth and soil fertility over a wheat-millet rotation in soils of China. **Soil Use and Management**. 30(3), 311–319.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

1. การวิเคราะห์รูปของคาร์บอน

1.1 Total organic carbon (TOC) (LECO Corporation, 2016)

นำตัวอย่างดินมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.149 mm นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี dry combustion ด้วยเครื่อง CNS analyzer

1.2 Dissolved organic carbon (DOC) (Jones and Willett, 2006)

1. ชั่งดินสด 2.5 กรัม ใส่หลอด Centrifuge ขนาด 50 ml
2. ใส่น้ำยาสกัด 2 M KCl 25 ml (1:10)
3. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 15 นาที ความเร็วรอบ 200 rpm
4. นำไปเหวี่ยงต่อที่ความเร็ว 8000 x g เป็นเวลา 10 นาที
5. กรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 µm
6. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาคาร์บอน (DOC) โดยวิธีของ Walkley and Black

1.3 Microbial biomass carbon (MBC) (Vance et al., 1987)

1. ชั่งดินสด 10 กรัม ปรับความชื้นดิน 0.03 MPa (~40% ของดิน field capacity)
2. บ่มตัวอย่างดิน (Pre-incubated) ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2ºC) เป็นเวลา 7 วันเก็บในที่มืด
3. นำตัวอย่างดินรมควัน (Fumigated) นาน 48 ชั่วโมง ด้วย Chloroform ($CHCl_3$) ที่ปราศจากแอลกอฮอล์ และตัวอย่างดินไม่รมควัน (Non-fumigated) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง
4. ภายหลังจากการรมควัน นำตัวอย่างดินที่ Fumigated และ Non-fumigated มาเติมสารสกัด 0.5M K_2SO_4 40 ml (ดิน:สารละลาย 1:40) เขย่า 200 rpm นาน 30 นาที
5. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
6. นำสารละลายที่กรองได้วัดไปวิเคราะห์ชีวมวลของคาร์บอน (MBC) โดยวิธีของ Vance *et al*. (1987)

1.4 Particulate organic carbon (POC) (Cambardella and Elliott, 1992)

1. ชั่งดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 2 mm 10 กรัม ใส่หลอด Centrifuge ขนาด 50 ml
2. เติม Sodium hexametaphosphate (ที่มีปริมาณ 5.0g/L^{-1}) 30 ml
3. เขย่า 200 rpm นาน 15 ชั่วโมง
4. กรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 53 µm แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น
5. เก็บส่วนที่อยู่บนตะแกรงร่อน นำไปอบที่ 50 ºC ชั่งน้ำหนัก
6. วัดตัวอย่างดินโดยใช้เครื่อง dry combustion รุ่น CNS analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 Permanganate oxidizable carbon ($KMnO_4$-C) (Blair et al.,1995)

1. ชั่งดินที่ร่อนผ่านตะแกรง 0.5 mm 1.xxxx กรัม (15 mg C) ใส่หลอด centrifuge 50 ml
2. เติม 0.033 M $KMnO_4$ 25 ml และเขย่า 120 rpm นาน 1 ชั่วโมง
4. เหวี่ยงที่ 1030 x g นาน 5 นาที
5. นำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1
6. ดูดสารละลายที่กรองมา 2 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นใน Volumetric flask 50 ml
7. นำไปวัดที่ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 565 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

1.6 Light fraction organic carbon (LFOC) and heavy fraction (HF) (Cambardella and Elliott, 1992)

1. ดิน 10 กรัม ใส่หลอด centrifuge 50 ml
2. เติม Sodium iodide 30 ml ที่มีความหนาแน่น 1.80 g cm^{-3}
3. เขย่า 200 rpm นาน 60 นาที
4. เหวี่ยงที่ความเร็ว 1000 x g เป็นเวลา 10 นาที
5. กรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 µm
6. ล้างด้วย 0.01 M calcium chloride และน้ำกลั่น 3 ครั้ง
7. นำดินที่อยู่บนกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 48 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักดิน
8. นำดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.15 µm
9. วัดด้วยเครื่อง dry combustion รุ่น CNS analyzer
10. นำดินด้านล่างของ light fraction มาวิเคราะห์ heavy fraction
11. เติมน้ำกลั่น 40 ml เขย่า
12. เหวี่ยงที่ความเร็ว 1000 x g เป็นเวลา 10 นาที
13. เทสารละลายอกจากหลอด centrifuge ทำ 3 ครั้ง
14. นำดินใส่ moisture can อบที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 48 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักดิน
15. นำดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.15 µm วัดด้วยเครื่อง dry combustion รุ่น CNS analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix table 1 Total concentration of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of rice straw in the first season.

Factor	Total C	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total S	Total Fe	Total Mn	Total Zn	Total Cu
	----------(g/kg)----------							----------(mg/kg)----------			
Organic material (A)											
Control	364^{a}	8.17^{b}	1.86^{b}	4.06^{c}	5.02^{a}	2.99	2.61^{ab}	453	242^{a}	23.55	3.75^{a}
R	316^{c}	9.58^{a}	2.15^{a}	14.45^{b}	2.50^{c}	1.94	2.92^{a}	364	150^{b}	13.75	3.53^{a}
S	323^{c}	7.31^{c}	1.86^{b}	12.93^{b}	2.50^{c}	1.89	2.50^{b}	423	136^{bc}	14.53	2.42^{b}
RB	345^{b}	3.94^{e}	1.46^{c}	16.38^{a}	2.84^{bc}	1.86	2.25^{b}	335	114^{cd}	16.89	2.15^{b}
SB	358^{ab}	4.96^{d}	1.48^{c}	13.45^{b}	3.01^{b}	2.03	2.27^{b}	371	105^{d}	15.40	2.09^{b}
Application rate (B)											
0%	364^{A}	8.17^{A}	1.86^{A}	4.06^{C}	5.02^{A}	2.99^{A}	2.61	453^{A}	242^{A}	23.55^{A}	3.75
2.5%	346^{B}	6.95^{B}	1.74^{B}	10.54^{B}	3.04^{B}	2.14^{B}	2.64	318^{B}	159^{B}	13.57^{B}	2.75
5%	334^{BC}	5.81^{C}	1.71^{B}	15.49^{A}	2.68^{C}	1.91^{C}	2.48	336^{B}	121^{C}	15.64^{B}	2.36
7.5%	327^{C}	6.96^{B}	1.77^{AB}	16.89^{A}	2.41^{C}	1.74^{C}	2.34	467^{A}	98^{C}	16.23^{B}	2.53
F-test											
A	**	**	**	**	**	ns	**	ns	**	ns	**
B	**	**	ns	**	**	**	ns	**	**	**	ns
A*B	ns	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**
CV(%)	4.38	7.58	4.60	12.11	9.92	9.06	11.91	13.72	16.78	21.43	20.83

** = significantly differences at $p \leq 0.01$. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$.

Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix table 2 Total concentration of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of rice straw in the second season.

Factor	Total C	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total S	Total Fe	Total Mn	Total Zn	Total Cu
	----------(g/kg)----------							----------(mg/kg)----------			
Organic material (A)											
Control	337^{a}	7.44^{a}	1.03^{b}	9.78^{c}	4.64^{a}	2.66^{a}	1.90^{a}	273^{b}	288^{a}	13.35^{a}	2.02^{a}
R	303^{bc}	7.53^{a}	1.20^{a}	16.70^{ab}	2.71^{bc}	1.47^{bc}	1.71^{ab}	328^{a}	249^{ab}	11.59^{b}	1.33^{b}
S	309^{b}	8.22^{a}	1.36^{a}	14.55^{b}	2.40^{c}	1.19^{d}	1.65^{ab}	296^{ab}	241^{ab}	8.40^{c}	2.50^{a}
RB	305^{bc}	6.24^{b}	0.81^{c}	19.22^{a}	2.53^{bc}	1.27^{cd}	1.40^{b}	271^{b}	216^{b}	6.28^{d}	2.33^{a}
SB	296^{c}	6.30^{b}	0.86^{bc}	18.72^{a}	3.04^{b}	1.56^{b}	1.74^{ab}	277^{b}	133^{c}	6.51^{d}	2.48^{a}
Application rate (B)											
0%	337^{A}	7.44	1.03	9.79^{C}	4.65^{A}	2.66^{A}	1.90	273	288^{A}	13.35	2.03
2.5%	314^{B}	7.47	1.06	14.98^{B}	3.00^{B}	1.71^{B}	1.68	303	277^{A}	7.74	2.21
5%	301^{C}	6.71	1.09	16.66^{B}	2.35^{C}	1.27^{C}	1.56	305	194^{B}	8.61	2.42
7.5%	294^{C}	6.93	1.03	20.26^{A}	2.66^{BC}	1.14^{C}	1.68	276	173^{B}	8.22	1.01
F-test											
A	*	**	**	**	*	**	*	*	**	**	**
B	**	ns	ns	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns
A*B	ns	ns	**	ns	ns	*	*	**	**	*	**
CV(%)	3.25	12.32	13.98	12.91	16.92	14.36	17.61	10.26	19.37	15.62	25.39

** and * = significantly differences at p ≤ 0.01 and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at p ≤ 0.05. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

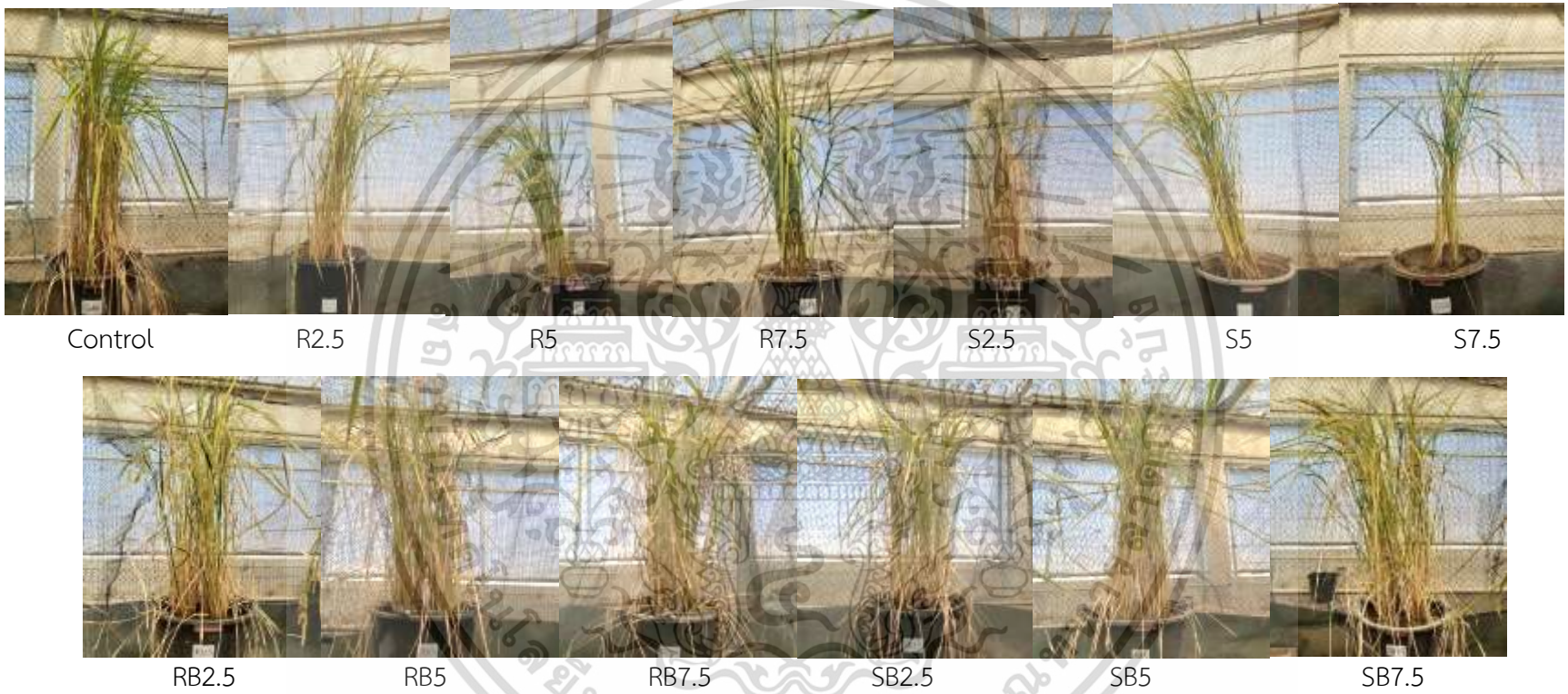
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix table 3 Total concentration of plant macronutrients (Total C, N, P, K, Ca, Mg, and S) and micronutrients (Total Fe, Mn, Zn, and Cu) of grain in second season.

Factor	Total C	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total S	Total Fe	Total Mn	Total Zn	Total Cu
	----------(g/kg)----------							----------(mg/kg)----------			
Organic material (A)											
Control	41.79^{a}	1.47^{a}	2.83^{a}	3.48^{b}	0.54^{b}	1.29^{a}	0.20	396^{bc}	35.24^{a}	14.80^{a}	1.91^{a}
R	40.89^{b}	1.49^{a}	3.10^{a}	3.67^{a}	0.55^{b}	1.32^{a}	0.20	473^{a}	34.32^{a}	14.69^{a}	1.79^{a}
S	40.99^{b}	1.48^{a}	3.05^{a}	3.67^{a}	0.56^{b}	1.31^{a}	0.19	419^{ab}	32.42^{a}	15.16^{a}	1.61^{b}
RB	41.54^{a}	1.25^{b}	2.64^{c}	3.40^{b}	0.63^{ab}	1.10^{b}	0.18	301^{d}	22.73^{b}	11.35^{b}	1.59^{b}
SB	41.22^{ab}	1.18^{b}	2.65^{c}	3.34^{b}	0.67^{a}	1.13^{b}	0.19	339^{cd}	23.92^{b}	10.43^{b}	1.59^{b}
Application rate (B)											
0%	41.67	1.47^{A}	2.83^{BC}	3.48	0.54^{B}	1.29^{A}	0.20^{A}	396	35.24^{A}	14.80^{A}	1.91^{A}
2.5%	41.29	1.43^{AB}	2.94^{A}	3.53	0.64^{A}	1.26^{AB}	0.20^{A}	368	30.84^{B}	13.25^{B}	1.57^{C}
5%	41.09	1.35^{BC}	2.88^{AB}	3.56	0.62^{AB}	1.23^{B}	0.19^{AB}	419	29.54^{B}	13.12^{B}	1.75^{AB}
7.5%	41.10	1.26^{C}	2.79^{C}	3.48	0.54^{B}	1.17^{C}	0.18^{B}	364	25.24^{C}	12.59^{B}	1.61^{BC}
F-test											
A	*	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	*
B	ns	**	**	ns	**	**	**	ns	**	ns	*
A*B	ns	*	**	**	ns	*	ns	*	ns	*	ns
CV(%)	1.05	7.26	2.74	3.69	12.53	3.41	6.03	14.15	11.44	8.04	9.03

** and * = significantly differences at $p \leq 0.01$ and 0.05, respectively. ns = not significantly differences at $p \leq 0.05$. Mean followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Appendix figure 1 Rice at the harvest maturity first season.

Control R2.5 R5 R7.5 S2.5 S5 S7.5

RB2.5 RB5 RB7.5 SB2.5 SB5 SB7.5

Appendix figure 2 Rice at the harvest maturity second season.

Control R2.5 R5 R7.5 S2.5 S5 S7.5 RB2.5 RB5 RB7.5 SB2.5 SB5 SB7.5

Appendix figure 3 Panicle of each treatment first season.

Control R2.5 R5 R7.5 S2.5 S5 S7.5 RB2.5 RB5 RB7.5 SB2.5 SB5 SB7.5

Appendix figure 4 Panicle of each treatment second season.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวนันทนัช ชาวพะเยาว์

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Nantanat Chaopayao

วัน เดือน ปีเกิด 21 พฤษภาคม 2540

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 51 หมู่ 3 ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย รหัสไปรษณีย์ 57100

โทรศัพท์ 087-2216428

E-mail address 62604019@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วท.บ. (เกษตรศาสตร์) วิชาเอกปฐพีวิทยา ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

นันทนัช ชาวพะเยาว์, อารดา บุญอาจ, พัชรินทร์ สุรินทร์, จวรรชนก ปรีสงค์ และ สุกัญญา แย้มประชา. 2563. อิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อการสะสมมวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหาร. **งานประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 50**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นันทนัช ชาวพะเยาว์ และ สุกัญญา แย้มประชา. 2565. ผลของการใส่ตอซังข้าวและใบอ้อยต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินหลังปลูกข้าว. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60 สาขาพืช**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จวรรชนก ปรีสงค์, อารดา บุญอาจ, นันทนัช ชาวพะเยาว์, ทราย ห้วยหงษ์ทอง และ สุกัญญา แย้มประชา. 2565. การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์และการทำนายปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินพื้นที่ลุ่ม (Lowland) และพื้นที่ดอน (Upland). **การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 7**. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้