ผลงานเรื่องที่ 2

ผลงานฉบับเต็ม

เรื่อง

การประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดิน และเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด

Assessing soil quality and soil carbon sequestration on biochar application for increasing yield of organic vegetable in acid soil

ของ

นางสาวบรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์

นางสาวรติกร ณ ลำปาง

กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

เสนอ

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ ตำแหน่งเลขที่ ๒๔๘

ผู้เชี่ยวชาญด้านปรับปรุงดินเปรี้ยว

กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	(ข)
สารบัญภาพ	(ค)
บทคัดย่อ	6
Abstract	8
คำนำ	10
วัตถุประสงค์	10
การตรวจเอกสาร	11
ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ	15
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	16
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	18
สรุปผลการทดลอง	46
ข้อเสนอแนะ	46
ประโยชน์ที่ได้รับ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	54

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทางเคมีและกายภาพของถ่านชีวภาพ (Biochar)	18
2	ปริมาณธาตุอาหารของวัสดุปรับปรุงดินมูลหมูและมูลวัว	19
3	สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง	19
4	ปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH)ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2	20
5	ปริมาณอินทรียวัตถุในดินในฤดูปลูกที่ 1 และ 2	22
6	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในฤดูปลูกที่ 1 และ 2	23
7	ปริมาณโพแตสเซียมที่สะกัดได้ในดินในฤดูปลูกที่ 1 และ 2	24
8	ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินในฤดูปลูกที่ 1 และ 2	25
9	ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินในฤดูปลูกที่ 1 และ 2	26
10	ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน และเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดิน ฤดูปลูกที่ 1	27
11	ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน และเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดิน ฤดูปลูกที่ 2	27
12	ปริมาณจุลินทรีย์ดินหลังสิ้นสุดการทดลอง ฤดูปลูกที่ 1	30
13	ปริมาณจุลินทรีย์ดิน หลังสิ้นสุดการทดลอง ฤดูปลูกที่ 2	30
14	ปริมาณคาร์บอนในดิน	32
15	ความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ระยะเก็บเกี่ยวในฤดูปลูกที่ 1 และ 2	33
16	ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในฤดูปลูกที่ 1 และ 2	35
17	ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร	36
18	อาชีพทางการเกษตร พื้นที่ในการทำการเกษตรและแรงงานในการทำการเกษตร	37
19	ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	38
20	การวิเคราะห์ดินของเกษตรกร	38
21	ข้อมูลการได้รับข่าวสารและความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพ	39
22	ความพึงพอใจต่อการศึกษาดูงานของเกษตรกร	40
23	ความคิดเห็นต่อการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่ทางการเกษตรของตนเอง	41
24	ข้อมูลทั่วไปของเจ้าหน้าที่	43
25	ข้อมูลการได้รับข่าวสารและความคิดเห็นเกี่ยวกับถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์	44

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
1	ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดิน (1)	55
2	ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดิน (2)	55

สารบัญภาพ

ภาพผนวกที่ **หน้า**

1	ลักษณะโครงสร้างของถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิต่างๆ ตามอุดมคติ: a) โครงสร้างคาร์บอนไม่เป็นระเบียบ (อสัณฐาน), b) โครงสร้างคาร์บอนมีการจัดเรียงตัว, c) โครงสร้างคาร์บอนมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์	56
2	รูพรุนของถ่านชีวภาพจากแกลบ (แสดงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน)	56
3	โรงสีชุมชนที่ตำบลบึงสามพัน อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์	57
4	สาธิตการทำถ่านชีวภาพจากเตาเผาถ่านแบบชาวบ้าน (เตาเผาถ่านอิวาตะ)	57
5	เตรียมพื้นที่เพื่อดำเนินการทดลอง	58
6	ใส่ถ่านชีวภาพที่อัตราต่างๆกันในแปลงทดลองวิจัย	58
7	การให้น้ำแก่ข้าวโพดฝักอ่อน	59
8	นำเกษตรกรดูแปลงทดลองวิจัย	59
9	ทัศนคติของเกษตรกรที่มีต่อการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน	60

การประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์)เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดิน และเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด

บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์ และ รติกร ณ ลำปาง

กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

บทคัดย่อ

การประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด ดำเนินการที่ตำบลบึงสามพัน อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560 ในกลุ่มชุดดินที่ 17 ชุดดินหล่มเก่า โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 5 ตำรับการทดลอง ได้แก่ แปลงควบคุม (T_1) การใช้ถ่านชีวภาพ 500 กก.ต่อไร่ (T_2) การใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ (T_3) การใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ (T_4) และ การใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ (T_5) ผลการทดลองพบว่า หลังสิ้นสุดการทดลอง สมบัติของดินมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) เพิ่มขึ้นในตำรับการทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพ โดยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.9-7.7 ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 1.65 -3.22 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 97-219 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 222-366 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนอยู่ระหว่าง 8,865-9,417 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน 522-589 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของดิน พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพมีผลทำให้เปอร์เซนต์การกระจายของเม็ดดินเพิ่มขึ้นและพบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดินเฉลี่ยขนาดใหญ่ที่สุดเท่ากับ 4.11 มิลลิเมตร ในการใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 3 ตันต่อไร่ ในขณะที่แปลงควบคุมมีเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดินเฉลี่ยขนาดเล็กที่สุดเท่ากับ 3.06 มิลลิเมตร นอกจากนั้นจากผลวิเคราะห์ทางชีวภาพของดินหลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรีย เชื้อราและเชื้อแอคติโนมัยซีสมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณแบคทีเรียสูงที่สุดกว่าทุกตำรับการทดลอง เท่ากับ 1.0×10^6 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง มีปริมาณเชื้อราสูงที่สุดเช่นเดียวกัน เท่ากับ 5.2×10^5 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง และปริมาณเชื้อแอคติโนมัยซีสมี 1.6×10^6 เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง สำหรับปริมาณคาร์บอนในดิน พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ ให้ปริมาณคาร์บอนในดินสูงที่สุดเท่ากับ 1.87 เปอร์เซนต์ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนในดินเท่ากับ 1.40 1.24 และ 1.12 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ จากค่าความสูงของข้าวโพดเฉลี่ย 2 ปี พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆและไม่ใช้ถ่านชีวภาพไม่ทำให้ความสูงแตกต่างกันทางสถิติ อยู่ระหว่าง 139.7-142.2 สำหรับผลผลิตที่ได้รับเฉลี่ย 2 ปี พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนเพิ่มขึ้น โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ ทำให้ข้าวโพดมีผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 881.27 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ แต่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 861.40 831.03 และ 804.93 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แปลงควบคุมได้ผลผลิตต่ำสุด เท่ากับ 791.69 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการศึกษาทัศนคติของ

เกษตรกรที่มีต่อการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความคิดเห็นเชิงบวกต่อการใช้ถ่านชีวภาพ โดยเกษตรกรส่วนใหญ่คิดว่าถ่านชีวภาพมีประโยชน์และควรนำมาใช้ในการปรับปรุงดินและสำหรับความเห็นของนักส่งเสริมการเกษตร พบว่า ถ่านชีวภาพน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชและปรับปรุงบำรุงดิน

คำสำคัญ ถ่านชีวภาพ ไบโอชาร์ คาร์บอนในดิน การกระจายของขนาดเม็ดดิน ข้าวโพดฝักอ่อน

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 58-60-03-12-40000-104-01-26

Assessing soil quality and soil carbon sequestration on biochar application for increasing yield of organic vegetable in acid soil

Bunjirtluk Jintaridth Ratikorn Na Lampaeng

Research and Development for Land Management Division

Land Development Department

Abstract

The quality of soils with biochar application was assessed in acid soil-based areas. The objectives were soil improvement, increasing carbon sequestration and increasing organic crop yields. The location was conducted in Lom Kao soil series (soil group 17), Bung Sampan district, Petchaboon province between 2015-2017. Biochar was produced from rice husk and crop yield was organic baby corn. Randomized Complete Block Design (RCB) was applied for 4 replications and 5 treatments. Treatments were control plots (T_1), 500 kilograms per rai of biochar application (T_2), 1 ton per rai of biochar application (T_3), 2 tons per rai of biochar application (T_4), 3 tons per rai of biochar application (T_5). After experiment, results showed that soil properties had changed as follows: with applying biochar the soil had the pH value between 6.9-7.7; the organic matter percentage increased and accounted for 1.65-3.22 percentage; avail.phosphorus increased between 97-219 milligrams per kilogram, extr.potassium increased between 222-366 milligrams per kilogram, extr. calcium increased between 8,865-9,417 milligrams per kilogram and extr. magnesium in the soil accounted for 522-589 milligrams per kilogram. For physical analysis, they were shown that biochar can increase aggregate size distribution and mean weight diameter of soil. Mean weight diameter is highest at the rate of 3 tons per rai (4.11 millimeters) and lowest at control treatment (3.06 millimeter). Moreover, comparing between each treatment, it was found that the amount of bacteria and fungi had a tendency to increase as follows: for biochar application of 3 tons per rai had the highest amount of bacteria equaling to 1.0×10^6 cells per gram of dry soil, with the highest amount of fungi 5.2×10^5 cells per gram of dry soil, and with the highest amount of actinomycetes 1.6×10^6 cells per gram of dry soil, respectively. For carbon analysis in soil, the highest content of carbon in soil equal to 1.87 percentage at the rate of 3 tons per rai of biochar application. This was followed by using biochar for 2, 1 tons per rai and 500 kilograms per rai with the content of carbon in soil equaling to 1.40, 1.24, and 1.12 percentage, respectively. The experiment results showed that there is no statistical significant between biochar application at different rates and non biochar which were 139.7-142.2 centimeters.

Also at different rate of biochar application had a tendency to increase productivity of baby corn yield whereby using biochar for 2 tons per rai resulted in highest yields of baby corn equaling to 881.27 kilograms per rai which did not have any statistically significant difference with using biochar for 3 tons per rai but different with using 1 tons per rai and 500 kilograms per rai which yielded 861.40, 831.03 and 804.93 kilograms per rai, respectively. Control gave the lowest yield which is 791.69 kilograms per rai.

From studying the data of farmer perception agricultural and officers involving land development in terms of obtaining information and their opinions on biochar, it was found that mostly farmers had positive attitude to biochar and they thought that biochar is good for soil improvement and they are interested in using biochar in their own agricultural areas. In the opinion of officers, biochar is useful for agriculture, therefore, biochar would be an alternative for soil enhancement, which can increase agricultural productivity.

Keywords: biochar, acid soils, aggregate size distribution, **s**oil carbon sequestration

คำนำ

ตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) เน้นเกี่ยวกับการพัฒนาการผลิตพืชเศรษฐกิจเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและนำไปสู่การแข่งขันการพึ่งพาตนเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าว (รวมถึงข้าวพื้นเมือง) ยางพารา ข้าวโพด ปาล์มน้ำมัน อ้อย มันสำปะหลัง พืชผัก ผลไม้ และไม้ดอกไม้ประดับ และเน้นกระบวนการวิจัยที่สอดคล้องกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์ มีการถ่ายทอดผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย สร้างเสริมองค์ความรู้ เพื่อเป็นพื้นฐานการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน และเศรษฐกิจสร้างสรรค์อย่างยั่งยืน

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีรายได้หลักของประเทศจากผลิตผลทางการเกษตร ในแต่ละปีประเทศไทยมีวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร ประมาณ 50 ล้านตันต่อปี ซึ่งหากไม่มีระบบการจัดการที่ดี จะก่อให้เกิดผลระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งหากนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ ซังข้าวโพด และขุยมะพร้าว มาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรหรือเป็นพืชพลังงานทดแทนได้ ก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในปัจจุบันมีงานวิจัยบางส่วน พยายามที่จะศึกษาวิธีการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ย อาหารสัตว์หรือตัวดูดซับ อย่างไรก็ตาม สัดส่วนปริมาณที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่อปริมาณที่ผลิตได้ยังถือว่ามีปริมาณน้อย

การใช้ถ่านชีวภาพในบริเวณพื้นที่ดินกรดจึงน่าสนใจและศึกษา ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นดินเปรี้ยวจัดมีข้อจำกัดต่อการปลูกพืช ดินมีความเป็นกรดสูงและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ทำให้พืชผักหรือพืชไร่ที่ปลูกในพื้นที่เหล่านั้นเจริญเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร พืชมีแนวโน้มที่จะขาดธาตุอาหารหลัก อาทิเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ดังนั้น การนำถ่านชีวภาพ (Biochar) มาใช้ทางการเกษตร น่าจะเป็นการลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยเคมีแล้ว ยังสามารถปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มปริมาณคาร์บอน (carbon sequestration) ในดิน และยังเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ดีได้อีกทางหนึ่งอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินในพื้นที่ดินกรดเพื่อปลูกข้าวโพดฝักอ่อน
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดินหลังใช้ถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงดิน และปริมาณคาร์บอนในดินจากการใช้ถ่านชีวมวล
3. ศึกษาทัศนคติของเกษตรกรและนักส่งเสริมการเกษตรที่มีต่อการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน

การตรวจเอกสาร

ดินกรด (Acid soils) คือดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างหรือค่าพีเอช (pH) ต่ำกว่า 5.5 ดินกรดพบกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทยและยังมีแนวโน้มจะเป็นกรดรุนแรงเพิ่มมากขึ้นตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดินกรดเป็นดินที่มีการพัฒนาการเป็นระยะเวลานาน พบได้ทั้งดินลึก ดินตื้น ดินปนกรวด และเนื้อดินค่อนข้างหยาบถึงหยาบ ลักษณะความแตกต่างของชั้นดินเห็นเด่นชัดมาก เป็นดินที่ผ่านการชะล้างมานาน ทำให้ธาตุประจุบวกที่เป็นด่างเหลืออยู่ในชั้นดินปริมาณน้อยมาก ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำและมีความชื้นในดินต่ำอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินในพื้นที่ดอนจะมีปัญหาทางกายภาพและทางเคมีมากกว่าในพื้นที่ลุ่ม ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นปัญหาที่แก้ไขได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากมีการชะล้างสูง การเติมวัสดุปรับปรุงดินลงไปในดินจะถูกอิทธิพลของการชะล้างทำให้ลดประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินลงไปได้อย่างมาก (เจริญ, 2541)

ถ่านชีวภาพ หรือ “Biochar” มีลักษณะเหมือนถ่านหินที่มีรูพรุน ซึ่งสสารเหล่านั้นอาจจะได้มาจากซากต้นไม้ การนำเอาซากพืชเหล่านี้ใส่เข้าไปในเครื่องที่มีลักษณะเหมือนถังแปดเหลี่ยมที่สามารถให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงมาก สสารเหล่านั้นจะถูกให้ความร้อนผ่านกระบวนการย่อยสลาย ด้วยการให้ความร้อนทางเคมีเรียกว่า ไพโรไลซิส (Pyrolysis) หลังจากผ่านกระบวนการดังกล่าวภายในไม่กี่ชั่วโมง สสารจากสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นวัตถุที่มีลักษณะกลมเหมือนถ่านหินซึ่งชาวไร่สามารถใช้สสารเหล่านี้เป็นปุ๋ย ปัจจุบันถ่านชีวภาพเป็นอีกหนึ่งทางเลือกใหม่ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การสร้างพลังงาน ผลิตภัณฑ์อาหารและการลดภาวะโลกร้อน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มการย่อยสลายและแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เอาไว้ในดิน ถ่านชีวภาพทำหน้าที่เสมือนกับอ่างคาร์บอนธรรมชาติ ช่วยป้องกันการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสารชีวภาพขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและการช่วยให้พืชดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างช้าๆในขณะที่พืชสังเคราะห์แสง (Lehmann, 2007)

ประโยชน์ของถ่านชีวภาพนั้น จะช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นบรรเทาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เนื่องจากถ่านชีวภาพสามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในระยะยาวได้ด้วยการกักเก็บคาร์บอนในดิน ช่วยปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงดินจากลักษณะความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพจะช่วยกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน ทำให้เกิดกิจกรรมต่างๆ ขึ้นส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น ช่วยลดการสูญเสียปุ๋ยจากการชะล้าง เนื่องจากการใส่ถ่านชีวภาพจะเพิ่มความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารในดิน ทำให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายทางการเกษตร และส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มรายได้ นอกจากนั้นแล้วยังช่วยผลิตพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานทางเลือก เนื่องจากกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากมวลชีวภาพเป็นการแยกสลายด้วยความร้อน จะทำให้ได้พลังงานชีวภาพซึ่งสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทน ในการขนส่งและในระบบอุตสาหกรรมได้ อาทิเช่น เชื้อเพลิงชีวภาพ และยังสามารถได้รับการพัฒนาเพื่อการพาณิชย์ในด้านต่างๆ เช่น ผลิตกระแสไฟฟ้า การสกัดสารชีวภาพ และเป็นองค์ประกอบของยา เป็นต้นและช่วยในกระบวนการจัดการเศษวัสดุอินทรีย์ได้ เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีถ่านชีวภาพมีศักยภาพในการกำจัดของเสียโดยเฉพาะการกำจัดกลิ่น ทำให้เกิดการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Lehmann and Joseph, 2009)

นอกจากนั้นแล้วกระบวนการเผาถ่านชีวภาพสามารถผลิตน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพ ปัจจุบันเกษตรกรและหน่วยงานต่างๆ ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากผลพลอยได้ของน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้ในการไล่แมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่า กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพโดยทั่วไปมีกระบวนการทางเคมีที่สำคัญ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการแรกเป็นการไล่ความชื้น (Dehydration) กระบวนการที่สอง เป็นการเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (Carbonization) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 270-400 องศาเซลเซียส เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก และกระบวนการสุดท้ายเป็นกระบวนการทำถ่านให้บริสุทธิ์ (Refinement) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 500-600 องศาเซลเซียส (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551) ปฏิกิริยาทั้งสามขั้นตอนสามารถเขียนได้ดังสมการข้างล่างนี้ (Demirbas, 2004)

$$\text{Biomass} \longrightarrow \text{Water} + \text{Unreacted residue}$$

$$\text{Unreacted residue} \longrightarrow (\text{Volatile} + \text{Gases})_1 + (\text{Char})_1$$

$$(\text{Char})_1 \longrightarrow (\text{Volatile} + \text{Gases})_2 + (\text{Char})_2$$

ระหว่างกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลจะค่อยๆ สูญหายไป (ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ระเหยได้) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุพรชัย (2551) ที่กล่าวว่ากระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในเนื้อไม้จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส และเสร็จสิ้นสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งสังเกตได้จากมีควันออกมาที่ปล่องควัน โดยควันที่ออกมาจะประกอบด้วยสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นใหม่มากมายหลายชนิดจากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน ดังนั้นระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โครงสร้างคาร์บอนของไม้จะยังคงปรากฏอยู่ ทำให้ถ่านชีวภาพที่ได้มีรูพรุน

ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพนอกจากขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผลิต (ชีวมวล) ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ระหว่างกระบวนการเผาถ่าน ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราความร้อน และ ระยะเวลา (Demirbas and Arin, 2002; Tsai *et al.,* 2006; Lua *et al.,* 2007) ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่เพิ่มขึ้นจาก 250 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส พบว่า พื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียสารอินทรีย์ระเหยได้ในเปลือกถั่วพิตาชิโอเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ Novak et al. (2009) ศึกษาถ่านชีวภาพจากวัสดุที่แตกต่างกันและอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสที่แตกต่างกัน พบว่า กระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และขี้เถ้าเพิ่มสูงขึ้น ขณะเดียวกันองค์ประกอบคาร์บอนของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้นแต่องค์ประกอบของออกซิเจน (O) และ ไฮโดรเจน (H) มีลดลง (Angin, 2013) เช่นเดียวกัน Al-Wabel *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ตระกูลวงศ์สมอ สกุล *Conocarpus* ที่อุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสที่แตกต่างกัน พบว่าผลผลิตของถ่านชีวภาพมีปริมาณลดลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาณถ่านชีวภาพที่ลดลง เนื่องมาจากการสูญเสียของสารอินทรีย์บางอย่างเช่นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ยิ่งอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสเพิ่มสูงขึ้นการสูญเสียสารอินทรีย์ของเศษไม้ก็เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบของถ่านชีวภาพ พบว่า องค์ประกอบของ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส (Ca, Mg, K, และ P) เพิ่มขึ้น

ตามอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสที่สูงขึ้น และจากองค์ประกอบของแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ถ่านชีวภาพมีสมบัติเป็นด่างตามไปด้วย

การศึกษาการใส่ถ่านชีวภาพลงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรนั้น มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น วัสดุที่นำมาผลิต ปริมาณของถ่านชีวภาพที่ใส่ ระยะเวลาที่ทำการทดลอง ชนิดของพืชที่ทำการทดลอง และชนิดของดิน (Lehmann *et al.,* 2003a) ในขณะที่ Antal and Gronli (2003) และ Demirbas and Arin (2002) ศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ พบว่าถ่านชีวภาพมีสภาพคงทนไม่ย่อยสลายและทนต่อปฏิกิริยาทางเคมีทั้งสภาวะกรดและด่าง เช่น กรดไดโครเมทและกลุ่มเปอร์ออกไซด์ โดยคุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผลิตและสภาวะปฏิกิริยาไพโรไลซิส

นอกจากนี้ Oguntunde *et al.* (2008) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางกายภาพของดินในประเทศกานา โดยเปรียบเทียบดินที่ใส่และไม่ใส่ถ่านชีวภาพ พบว่าดินที่มีการใส่ถ่านชีวภาพมีค่าการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นถึง 88 เปอร์เซนต์ สีของดินมีสีคล้ำขึ้น ค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลง 9% มีค่าความพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก 45.7 เปอร์เซนต์ เป็น 50.6 เปอร์เซนต์ ขณะที่ อิสริยาภรณ์ (2552) ได้ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงดินในเขตร้อนชื้นที่มีกระบวนการชะล้างสูงและมีปริมาณอินทรียวัตถุและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และผลการศึกษา พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพช่วยให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความพรุนของถ่านชีวภาพทำให้ดินมีการระบายอากาศได้ดียิ่งขึ้นและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ด้วย จากสภาพดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน เช่น เชื้อราไมคอร์ไรซา และแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้ และยังพบว่าถ่านชีวภาพมีอินทรีย์คาร์บอนที่คงทนต่อการย่อยสลายด้วย

Mulcahy *et al.* (2013) ศึกษาปริมาณของถ่านชีวภาพในอัตราต่างๆ ได้แก่ 0 เปอร์เซนต์, 15 เปอร์เซนต์ และ 30 เปอร์เซนต์ ของปริมาตรถ่านชีวภาพต่อปริมาตรดิน ต่อการต้านทานการเหี่ยวแห้งของต้นมะเขือเทศในดินทราย พบว่า ถ่านชีวภาพที่อัตรา 15 เปอร์เซนต์ – 30 เปอร์เซนต์ ของปริมาตรถ่านชีวภาพต่อปริมาตรดิน ต้นมะเขือเทศจะสามารถทนต่อการเหี่ยวแห้งได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การใส่ถ่านชีวภาพควรกระจายอยู่บริเวณรากของต้นพืช เพราะคุณสมบัติของถ่านชีวภาพสามารถเก็บกักความชื้นไว้ได้

นอกจากนี้ Masto *et al*. (2013) ศึกษาการใช้เถ้าลอย (fly ash) ร่วมกับถ่านชีวภาพในการเพิ่มธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงทดลอง พบว่า สามารถแก้ไขปัญหาดินกรด โดยทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงขึ้น เนื่องจากเถ้าลอยและถ่านชีวภาพมีองค์ประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สูง (เถ้าลอยมีแคลเซียม 4,280 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียม 989 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ถ่านชีวภาพมีแคลเซียม 5,880 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียม 1,010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และดินมีธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้นเพราะเถ้าลอยและถ่านชีวภาพมีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสะสมอยู่มาก (เถ้าลอยมีปริมาณฟอสฟอรัส 760 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และถ่านชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียม 711 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ขณะเดียวกันโลหะหนักในดิน (สังกะสี นิเกิล โคบอลท์ ทองแดง แมงกานีส แคดเมียม และตะกั่ว) มีปริมาณลดลงเพราะมีการดูดซับโลหะหนักที่พื้นผิวของถ่านชีวภาพและการตกตะกอนของโลหะหนักในดินจากสภาวะดินที่เป็นกรดลดลง

การปรับวงจรคาร์บอนทางทฤษฎีให้เข้าสู่สมดุลธรรมชาติ ทำโดยควบคุมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ลดการตัดไม้ทำลายป่าและการเผาสารอินทรีย์ เพื่อกักเก็บคาร์บอนให้อยู่ในรูปของแข็ง และเปลี่ยนเป็น CO_2 ช้าลง จึงมีนักวิจัยนำเสนอความคิดว่า หลังจากพืชตายหากนำเศษซากพืชที่มิได้ใช้ประโยชน์มาทำถ่านชีวภาพแล้วใส่ในดิน ก็จะปรับดุลคาร์บอนไปสู่ทิศทางที่ถูกกักเก็บในดินนานขึ้น และหมุนเวียนเป็น CO_2 สู่บรรยากาศช้าลง หรือ สร้างสภาวะคาร์บอนเป็นลบ(carbon negative) ซึ่งเป็นทางหนึ่งที่ช่วยบรรเทาปัญหาโลกร้อน (Lehmann and Joseph, 2009) ประกอบกับการใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดิน มีผลด้านการบำรุงดิน จึงมีการศึกษาในเรื่องนี้ค่อนข้างมาก

การใช้ถ่านชีวภาพนั้นมีผลต่อสมบัติของดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งการศึกษาวิธีบำรุงดินด้วยถ่านชีวภาพที่ผ่านมานั้นมิได้ดำเนินการในดินทั่วไป แต่งานวิจัยในดินเขตร้อนชื้นที่มีการชะละลายสูงและมีสภาพเสื่อมโทรมดินเป็นกรด โพแทสเซียมต่ำและฮิวมัสต่ำมาก เนื่องจากอินทรียวัตถุสลายตัวรวดเร็ว การใส่ปุ๋ยเคมีในดินประเภทนี้ แม้จะแก้ปัญหาได้บางส่วน แต่พบว่าประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยเคมีค่อนข้างต่ำ ส่วนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์แม้จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินได้ดี แต่อินทรียวัตถุที่สลายตัวเร็ว ประโยชน์ที่ได้รับจึงอยู่ในช่วง 2-3 ฤดูกาลปลูกพืช เว้นแต่จะใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่องเท่านั้น เมื่อมีการทดลองใช้ถ่านชีวภาพกับดินประเภทต่างๆ ในเขตร้อนชื้น พบว่าคาร์บอนในสารปรับปรุงดินชนิดนี้เป็นรูปที่มีเสถียรภาพ แม้ว่าจะสลายตัวเล็กน้อยในช่วงแรก แต่ส่วนที่เหลือจะทนทานอย่างยิ่ง (Major et al., 2010)

วิชุตา (2556) พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในดินเหนียวปนทราย อัตรา 1600 กก./ไร่ ในแปลงปลูกข้าวพันธุ์เหลืองและพันธุ์นาสาร พบว่า ต้นข้าวที่ได้รับถ่านชีวภาพมีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ ความสูง น้ำหนักแห้ง ลำต้น และราก การแตกกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1000 เมล็ดเพิ่มขึ้น และข้าวพันธุ์นาสารให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์เหลือง

บรรเจิดลักษณ์และคณะ (2560) เรื่อง สมบัติของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดินและผลผลิตพืชสมุนไพรขมิ้นชันในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดดำเนินการที่มูลนิธิชัยพัฒนา อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก ระหว่างปี พ.ศ.2558-2560 ในกลุ่มชุดดินที่ 11 ชุดดินรังสิต ดำเนินการทดลอง โดยใช้ถ่านชีวภาพอัตราแตกต่างกันร่วมกับการใช้ปุ๋ยขี้ไก่ 1 ตัน/ไร่ ในระบบเกษตรอินทรีย์ จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มมากขึ้น สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และ แคลเซียมในดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในทุกตำรับการทดลอง ส่วนปริมาณแมกนีเซียมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และจากการใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆปรับปรุงดินต่อผลผลิตมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตของขมิ้นชันเพิ่มขึ้น โดยการใช้ถ่านชีวภาพ (จากเปลือกข้าว) 3 ตัน/ไร่ + ปุ๋ยขี้ไก่ 1 ตัน/ไร่ ขมิ้นชันให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 1,800.35 กิโลกรัมต่อไร่ และแตกต่างทางสถิติกับการไม่ใช้ถ่านชีวภาพซึ่งให้ผลผลิตต่ำสุด 1,549.7 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นหากเกษตรกรจะปลูกขมิ้นชันในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด แนะนำให้ใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 3 ตัน/ไร่ + ปุ๋ยขี้ไก่ 1 ตัน/ไร่

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลาดำเนินการ เริ่มต้น เดือนมิถุนายน 2558
สิ้นสุด เดือนกันยายน 2560

สถานที่ดำเนินการ ตำบลบึงสามพัน อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์

สภาพพื้นที่ (Site Characterization)

ชุดดินหล่มเก่า (Fine-loamy, mixed, semi-active, isohyperthermic Typic (Aquic) Paleustults) กลุ่มชุดดินที่ 17 ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลเข้ม มีจุดประสีน้ำตาล หรือสีแดงปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ดินล่างตอนบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลปนแดงถึงสีอ่อนของสีน้ำตาลปนแดง มีจุดประสีแดงปนเหลือง และสีน้ำตาลปนเหลือง ดินล่างดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีเทาปนชมพูหรือสีเทาปนน้ำตาลอ่อน มีจัดประสีแดงปนเหลืองและสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

1. อุปกรณ์การทดลอง

- วัสดุการเกษตรที่เป็นปัจจัยการผลิตต่างๆ ได้แก่ แกลบ ถ่านชีวภาพ ปุ๋ยคอก
- เมล็ดพันธุ์พืช ได้แก่ ข้าวโพดฝักอ่อน
- อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช และอื่นๆ ตามที่จำเป็น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 แผนการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์)เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง ดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 แปลงควบคุม
ตำรับการทดลองที่ 2 ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 3 ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 4 ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ 5 ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่

2.2 วิธีการดำเนินการ

1.นำเปลือกข้าวมาผลิตถ่านชีวภาพโดยใช้เตาเผาถ่านแบบชาวบ้าน (เตาเผาถ่านอิวาตะ) (ภาพผนวกที่ 4)

2. ดำเนินการคัดเลือกพื้นที่ดินกรดที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 4-5

3. เก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลอง หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อน ฤดูปลูกที่ 1 และ 2 ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร โดยเก็บแบบ composite sample เพื่อวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมี ได้แก่ pH, %OM, Avail P, Extr. K, Extr. Ca, Extr. Mg

4. เตรียมพื้นที่ทำแปลงย่อยขนาด 4x6 ตารางเมตร จำนวน 20 แปลงย่อย (ภาพผนวกที่ 5) สำหรับปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในทุกตำรับการทดลอง ได้แก่ ใส่ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่, 1 ตันต่อไร่, 2 ตันต่อไร่ และ 3 ตันต่อไร่ และในทุกตำรับการทดลอง ใส่ปุ๋ยมูลหมูอัตรา 1 ตันต่อไร่ และมูลวัวอัตรา 1 ตันต่อไร่ (ภาพผนวกที่ 6)

5. ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนโดยใช้ระยะปลูก 50x50 เซนติเมตร

6. ให้น้ำข้าวโพดฝักอ่อนทุก 2-3 วัน (ภาพผนวกที่ 7)

5. การเก็บเกี่ยวผลผลิต เริ่มเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดฝักอ่อนอายุ 50 วัน

6. การเก็บบันทึกข้อมูล

- ข้อมูลดิน วิเคราะห์สมบัติของดินทางเคมี ชีวะ และกายภาพ
- เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

7. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธี F-test และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

8. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกันทั้งฤดูปลูกที่ 1 และ 2

9. หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 นำเกษตรกรและเจ้าหน้าที่การเกษตร ดูงานแปลงทดลองวิจัยและสาธิตเปรียบเทียบการใส่และไม่ใส่ถ่านชีวภาพเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับทัศนคติของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่การเกษตรที่มีต่อการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน

10. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้ง 2 ฤดูปลูก และเขียนสรุปรายงานผลงานวิจัย

2.3 วิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างดิน

1. ปฏิกิริยาดิน (Soil reaction) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าปฏิกิริยาของดิน (pH meter) อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965)

2. อินทรียวัตถุในดิน (Organic matter) โดยวิธี Walkey–Black modified (Walkley and Black, 1934)

3. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945)

4. โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ โดยการสกัดด้วย 1 N Ammonium acetate pH 7.0 (Pratt, 1965; Chapman, 1965)

ตัวอย่างถ่านชีวภาพ

1. ศึกษาโครงสร้างสัณฐานและวิเคราะห์ธาตุ โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยวิเคราะห์ที่วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ความเป็นกรดเป็นด่าง (Acidic-alkaline compose) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter) อัตราส่วน เท่ากับ 1:2 (Peech, 1953)

3. ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) โดยดัดแปลงมาจากวิธี Walkey–Black modified (Walkley and Black, 1934)

4. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) โดยการย่อยสลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (conc. $HClO_4$) ในอัตราส่วน 2:1 และวิเคราะห์โดยใช้วิธี Colorimetry (Barton, 1984)

5. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K) โดยการย่อยสลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (conc. $HClO_4$) ในอัตราส่วน 2:1 และวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Flame spectrophotometer (Jackson, 1958)

6. ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Ca, Total Mg) โดยการย่อยสลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (conc. $HClO_4$) ในอัตราส่วน 2:1 และวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (Isaac and Kerber, 1971)

7. ความพรุนทั้งหมด โดยความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (ดัดแปลงจาก ASTM D4607-94, 2011)

8. โครงสร้างสัณฐานและลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพด้วย Scanning electron microscopy (SEM) (Goldstein, J., 2003)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติของถ่านชีวภาพที่ใช้ในงานทดลอง

1.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของถ่านชีวภาพ

การศึกษานี้ได้ใช้เปลือกข้าวจากโรงสีชุมชน มาผลิตเป็นถ่านชีวภาพสำหรับการทดลองอิทธิพลของถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินกรดสำหรับปลูกข้าวโพดฝักอ่อน โดยใช้เตาอิวาเตะ (Iwate kiln) ที่มีอุณหภูมิการเผาที่ 400 องสาเซลเซียส และจากการเผาถ่านด้วยเตาอิวาเตะวิธีนี้จะได้ถ่านที่มีประสิทธิภาพ **(ภาพที่ 1)**

ก.แกลบ (วัตถุดิบ) ก่อนเผา

ข.ถ่านชีวภาพจากการเผาแกลบด้วยเตาอิวาเตะ

ภาพที่ 1 แกลบ (วัตถุดิบ) ก่อนเผา (ก) และถ่านชีวภาพหลังเผา (ข)

ถ่านชีวภาพที่ผ่านการบด นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ (ตารางที่ 1) ประกอบด้วยธาตุอาหารดังนี้ ได้แก่ pH เท่ากับ 8.2, ปริมาณอินทรียวัตถุ 7.57 เปอร์เซนต์, Total P_2O_5 0.90 เปอร์เซนต์, Total K_2O 0.42 เปอร์เซนต์, Total CaO 0.23 เปอร์เซนต์, Total MgO 0.12 เปอร์เซนต์ และ SiO_2 38.5 เปอร์เซนต์ และความพรุนรวม (porosity) 175 มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุ

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณธาตุอาหาร (%) ของถ่านชีวภาพ (Biochar)

ถ่านชีวภาพ	ค่าที่วัด
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.2
ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) (%)	7.57
ปริมาณฟอสฟอรัส (Total $P_2O_{5)}$) (%)	0.90
ปริมาณโพแทสเซียม (Total K_2O) (%)	0.42
ปริมาณแคลเซียม (Total CaO) (%)	0.23
ปริมาณแมกนีเซียม (Total MgO) (%)	0.12
ปริมาณ SiO_2(%)	38.5
ความพรุนรวม (porosity) (มิลลิกรัมต่อกรัมวัสดุ)	175

ที่มา: กลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 กรมพัฒนาที่ดิน

1.2 สมบัติทางเคมีของปุ๋ยคอก

สำหรับวัสดุปรับปรุงดินมูลหมูและมูลวัวที่นำมาใส่ในแปลงทดลองเพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืชมีส่วนประกอบ ดังนี้ มูลหมูประกอบด้วยธาตุอาหารปริมาณไนโตรเจน 1.69 เปอร์เซนต์, ปริมาณฟอสฟอรัส 5.24 เปอร์เซนต์,และปริมาณโพแทสเซียม 0.62 เปอร์เซนต์ มูลวัวประกอบด้วยธาตุอาหารปริมาณไนโตรเจน 0.87 เปอร์เซนต์, ปริมาณฟอสฟอรัส 0.16 เปอร์เซนต์ และปริมาณโพแทสเซียม 2.14 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณธาตุอาหารของมูลหมูและมูลวัว

ปริมาณธาตุอาหาร	มูลหมู (เปอร์เซนต์)	มูลวัว (เปอร์เซนต์)
ปริมาณไนโตรเจน	1.69	0.87
ปริมาณฟอสฟอรัส	5.24	0.16
ปริมาณโพแทสเซียม	0.62	2.14

ที่มา: กลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 กรมพัฒนาที่ดิน

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

2.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

พารามิเตอร์	ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร
pH	5.8
%OM	1.05
Avail. P_2O_5 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	13
Extr.K_2O (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	60
Extr.Ca (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	849
Extr.Mg (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	348

ที่มา: กลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 กรมพัฒนาที่ดิน

ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลองแบบ composite sample ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน (ตารางที่ 3) พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 5.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สภาพดินอยู่ที่ระดับเป็นกรดปานกลาง ปริมาณอินทรียวัตถุในดินค่อนข้างต่ำเท่ากับ 1.05 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 13 และ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณแคลเซียมอยู่ในระดับต่ำเท่ากับ 849 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลางเท่ากับ 348 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.2 สมบัติทางเคมีของดินในฤดูปลูกที่ 1 และหลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร

2.2.1 ปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของดิน (ตารางที่ 4) มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนดำเนินการทดลองและมีค่าใกล้เคียงกันทุกตำรับการทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.3-6.6 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางทางสถิติกับแปลงควบคุม ซึ่งปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงลดลง หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.9-7.7 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากถ่านชีวภาพซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 8.2 ช่วยปรับสภาพ pH ของดินมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ศิริลักษณ์และอรสา (2556) ศึกษาการใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในการปลูกผักคะน้า พบว่า ถ่านชีวภาพช่วยทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นและ จากการศึกษาของ เสาวคนธ์ (2557) โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินปลูก รวมถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดคอส พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้คุณสมบัติทางเคมีของดินปลูกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่า เนื่องจากบริเวณพื้นผิวถ่านชีวภาพจะมีประจุลบของหมู่ฟีนอลิก หมู่ไฮดรอกซิล และหมู่คาร์บอนิล ซึ่งจะทำหน้าที่จับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ละลายอยู่ในดิน นอกจากนี้ ซิลิเกตคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตที่ปรากฏอยู่ในถ่านชีวภาพยังช่วยในการจับไฮโดรเจนไอออนอีกทางหนึ่ง ทำให้ไฮโดรเจนไอออนที่ละลายอยู่ในดินมีปริมาณลดลงส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดลดลง (pH เพิ่มขึ้น) (Brewer and Brown, 2012) และ (Chintala *et al.*,2014)

ตารางที่ 4 ปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ค่า pH (1:1)	
ก่อนการทดลอง	5.8	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม	5.5 c	5.7 c
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	6.3 b	6.9 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	6.5 a	7.0 b
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	6.6 a	7.2 b
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	6.6 a	7.7 a
ค่าเฉลี่ย	6.4	7.6
$p<0.05$	*	*
CV (%)	4.7	5.6

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

2.2.2 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซนต์) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีเพียง 1.05 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (ตารางที่ 5) มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุดเท่ากับ 1.84 เปอร์เซ็นต์และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆและปริมาณอินทรียวัตถุจัดอยู่ในระดับปานกลาง รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัมต่อไร่ และ 2 และ 1 ตันต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 1.58 1.54 และ 1.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลางเช่นเดียวกัน ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 1.12 เปอร์เซ็นต์ หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุดและอยู่ในระดับสูงเท่ากับ 3.22 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตำรับการทดลองอื่นๆ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2 และ 1 ตันต่อไร่ และ การใช้ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 2.41 2.13 และ 1.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 1.65 เปอร์เซ็นต์ และแตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองการใช้ถ่านชีวภาพทุกอัตรา (ตารางที่ 5) จะเห็นได้ว่า การใส่ถ่านชีวภาพในอัตราที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีปริมาณเปอร์เซนต์อินทรียวัตถุสูงและจากการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพ พบว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงถึง 7.57 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและช่วยเพิ่มของปริมาณชีวมวลในดินจากปริมาณเศษซากพืชนั้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองปลูกไม้ผลชนิดต่างๆ ในสภาพดินที่ค่อนข้างเป็นทรายจัด พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับถ่านชีวภาพ ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ไม้ผลเจริญเติบโตได้ดีและบางชนิดเริ่มให้ผลผลิต (พินิจภณ, 2557) และจากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินปลูก รวมถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดคอส พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุของดินปลูก มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น (เกศศิรินทร์และคณะ, 2557) นอกจากนั้นการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับการให้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวไร่ พบว่า มีผลทำให้ดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (จิตนิภา, 2558)

ตารางที่ 5 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซนต์) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	อินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซนต์)	
ก่อนการทดลอง	1.05	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม	1.12 c	1.65 c
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	1.42 b	1.93 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	1.54 b	2.13 b
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	1.58 b	2.41 b
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	1.84 a	3.22 a
ค่าเฉลี่ย	1.50	2.27
p<0.05	*	**
CV (%)	14.5	16.2

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

** หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

2.2.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีเพียง 13 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระดับปานกลาง หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลอง (ตารางที่ 6) และอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัมต่อไร่ และ 1 ตันต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินใกล้เคียงกันเท่ากับ 37 และ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 6) หลังสิ้นสุดการทดลอง ในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับสูงมาก โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 219 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2 และ1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 151 149และ 97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ อาจเนื่องจากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งมีความพรุนรวมสูง จึงช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดีและช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ทำให้ดินมีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ (Peterson, 2009 และ Masto *et al.,* 2013) และสอดคล้องกับการศึกษาทดลองของ Zhang et al. (2016) ศึกษาบทบาทของถ่านชีวภาพที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์และการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสในดิน พบว่า ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดิน แต่ปริมาณการดูดซับนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำถ่านชีวภาพ และสอดคล้องกับการศึกษาทดลองของกฤษณาและกฤษฎา (2558) พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่

แตกต่างกันทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสความเป็นประโยชน์ในดินปลูกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	13	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม	26 c	85 c
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	37 b	97 c
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	36 b	149 b
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	51 a	151 b
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	53 a	219 a
ค่าเฉลี่ย	40.6	140.2
p<0.05	*	**
CV (%)	17.8	18.5

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD
** หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

2.2.4 ปริมาณโพแตสเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดในดินมีเพียง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับสูงมาก (ตารางที่ 7) โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 168 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 3 และ 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินเท่ากับ 160 156 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับสูงมาก โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 366 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2 และ 1 ตันต่อไร่ และ500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินเท่ากับ 324 310 และ 222 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 214 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าทั้ง 2 ฤดูปลูก มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ การใส่ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก คุณสมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งมีความพรุนรวมและมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดี(Peterson, 2009) และสอดคล้องกับการศึกษาทดลองของพุทธิภณและคณะ, 2557 พบว่า ดินที่มีการใส่ถ่านชีวภาพทำให้โพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินไม่ถูกชะล้างให้สูญหายไปในดินได้โดยง่าย เนื่องจากถ่านชีวภาพมีค่าความจุใน

การแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงมีผลทำให้หลังสิ้นสุดการทดลองดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่สะกัดได้ในดินสูง

ตารางที่ 7 ปริมาณโพแตสเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณโปแตสเซียมที่สะกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	60	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม	128 c	214 b
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	150 b	222 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	156 a	310 a
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	168 a	324 a
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	160 a	366 a
ค่าเฉลี่ย	152.4	287.2
p<0.05	*	**
CV (%)	14.8	19.1

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD
** หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

2.2.5 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน 849 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณแคลเซียมในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับสูงมาก (ตารางที่ 8) โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 7,339 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 7,321 7,236 และ 7,171 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งการใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 3 และ 2 ตันต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงควบคุมซึ่งมีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 6,904 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับสูงมาก โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินในดินสูงที่สุดเท่ากับ 9,417 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ 500 กก.ต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินในดินเท่ากับ 9,339 9,129 และ 8,865 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และการใช้ถ่านชีวภาพทุกอัตรามีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงควบคุม ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมเป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 2,890 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 8) จากค่าวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ทั้ง 2 ฤดูปลูก พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ การใส่ถ่านชีวภาพทุกอัตราช่วยเพิ่มปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

เนื่องจาก ถ่านชีวภาพมีองค์ประกอบของแคลเซียมที่สูง (Masto *et al.,* 2013) นอกจากนี้ การใส่ถ่านชีวภาพจะช่วยเพิ่มปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน (Brady and Weil, 2008; Liang *et al.,* 2006) และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งมีความพรุนรวมสูง จะช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับการให้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวไร่ มีผลทำให้ดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (จิตนิภา, 2558)

ตารางที่ 8 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแคลเซียมในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	849	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม	6,904 b	2,890 c
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	7,171 ab	8,865 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	7,236 ab	9,129 a
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	7,321 a	9,339 a
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	7,339 a	9,417 a
ค่าเฉลี่ย	7,194.2	7,928
p<0.05	*	*
CV (%)	9.8	12.8

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

2.2.6 ปริมาณแมกนีเซียมในดินที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน 348 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับสูง (ตารางที่ 9) โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 683 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ 500 กก.ต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 665, 580 และ 549 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 482 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 9) หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับสูง โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 589 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ 500 กก.ต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมในดินเท่ากับ 567, 540 และ 522 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงควบคุมซึ่งมีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 451 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจากค่าปริมาณแมกนีเซียมเซียมที่ที่เป็นประโยชน์ในดินทั้ง 2 ฤดูปลูกมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ การใส่ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมที่ที่เป็นประโยชน์ในดิน เนื่องจาก ถ่านชีวภาพมีองค์ประกอบของแมกนีเซียมที่สูง

(Masto *et al.,* 2013) นอกจากนั้นแล้วการใส่ถ่านชีวภาพจะช่วยเพิ่มปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินสูง (Brady and Weil, 2008; Liang *et al.,* 2006) อีกทั้งคุณสมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งมีความพรุนรวมสูง จึงช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดี

ตารางที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแมกนีเซียมในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	348	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม	482 b	451 b
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	549 b	522 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	580 ab	540 ab
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	665 a	567 a
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	683 a	589 a
ค่าเฉลี่ย	591.8	533.8
p<0.05	*	*
CV (%)	19.1	17.0

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

3. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดิน

3.1 ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน > 2 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้การกระจายของขนาดเม็ดดิน > 2 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน > 2 มิลลิเมตรสูงที่สุด 37.81 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ 500 กก.ต่อไร่ และ 1 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน > 2 มิลลิเมตรเท่ากับ 36.99 36.60 และ 36.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน > 2 มิลลิเมตรต่ำที่สุด 32.67 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

หลังสิ้นสุดการทดลองพบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน > 2 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน > 2 มิลลิเมตรสูงที่สุด 50.26 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ 1 ตันต่อไร่ แปลงควบคุม และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน > 2 มิลลิเมตรเท่ากับ 50.19, 49.67, 48.46 และ 49.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 การกระจายของขนาดเม็ดดิน (%) และเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดิน (มิลลิเมตร) ฤดูปลูกที่ 1

ตำรับการทดลอง	การกระจายของขนาดเม็ดดิน (%)					เส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดินเฉลี่ย[1/] (มม.)
	> 2 มม.	1-2 มม.	0.5-1 มม.	0.25-0.5 มม.	0.105-0.25 มม.	
1.แปลงควบคุม	32.67 b	19.08	12.67 b	9.48	11.2	0.49 b
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	36.60 ab	22.67	12.82 b	9.41	10.74	0.42 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	36.07 ab	23.65	15.83 a	9.98	11.24	0.43 b
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	36.99 ab	25.46	15.19 a	8.67	6.73	0.57 a
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	37.81 a	27.7	16.20 a	8.42	5.35	0.64 a
ค่าเฉลี่ย	36.03	23.71	14.54	9.59	9.05	0.51
p<0.05	*	ns	*	ns	ns	*
CV (%)	7.71	6.16	7.62	8.31	7.17	8.52

ตารางที่ 11 การกระจายของขนาดเม็ดดิน (%) และเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดิน (มิลลิเมตร) ฤดูปลูกที่ 2

ตำรับการทดลอง	การกระจายของขนาดเม็ดดิน (%)					เส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดินเฉลี่ย[1/] (มม.)
	> 2มม.	1-2 มม.	0.5-1 มม.	0.25-0.5 มม.	0.105-0.25 มม.	
1.แปลงควบคุม	48.46	19.36	12.47	7.99 b	6.66	3.06 b
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	49.36	19.37	12.09	7.96 b	6.69	3.53 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	49.67	19.28	12.19	8.13 b	6.71	4.02 ab
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	50.26	19.48	12.48	8.26 ab	6.79	4.05 a
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	50.19	19.97	12.91	8.58 a	6.80	4.11 a
ค่าเฉลี่ย	49.79	19.49	12.43	8.18	6.73	3.75
p<0.05	ns	ns	ns	*	ns	*
CV (%)	10.2	9.76	7.34	9.83	12.35	11.29

หมายเหตุ: * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
1/ หมายถึง ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดดินเฉลี่ย(มม.) เป็นดัชนีที่บ่งบอกความคงทนของเม็ดดิน

3.2 ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 1-2 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 1-2 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 1-2 มิลลิเมตรสูงที่สุด 27.7 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 1-2 มิลลิเมตรเท่ากับ 25.46 23.65 และ 22.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 1-2 มิลลิเมตรต่ำที่สุด 19.08 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 1-2 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 1-2 มิลลิเมตรสูงที่สุด 19.97 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ 500 กิโลกรัมต่อไร่ แปลงควบคุม และ 1 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 1-2 มิลลิเมตรเท่ากับ 19.48, 19.37, 19.36 และ 19.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

3.3 ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองมีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตรสูงที่สุด 16.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 1 และ 2 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตรเท่ากับ 15.83 และ 15.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการใช้ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตรเท่ากับ 12.82 เปอร์เซ็นต์ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงควบคุม ซึ่งมีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตรเท่ากับ 12.67 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 10)

หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีการปริมาณกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตรสูงที่สุด 12.91 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ แปลงควบคุม 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.5-1 มิลลิเมตรเท่ากับ 12.48 12.47 12.19 และ 12.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

3.4 ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตรสูงที่สุด 11.98 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ แปลงควบคุม การใช้ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัมต่อไร่ 2 ตันต่อไร่ และ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตรเท่ากับ 9.48, 9.41, 8.67 และ 8.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองมีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตรสูงที่สุด 8.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตรเท่ากับ 8.26 เปอร์เซ็นต์ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.25-0.5 มิลลิเมตรเท่ากับ 8.13 และ 7.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมีของดินและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมและกะหล่ำปลีที่ปลูกในดินทราย พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพ 0, 25, 50 และ 150 กรัมต่อน้ำหนักดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น ดินมีการจับตัวกันเป็นเม็ดดิน มีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น โดยเฉพาะการใส่ถ่านชีวภาพ 150 กรัมต่อน้ำหนักดิน 1 กิโลกรัม (Sarah *et al.,* 2013)

3.5 ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.10-0.25 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.10-0.25 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.10-0.25 มิลลิเมตรสูงที่สุด 11.24 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ แปลงควบคุม การใช้ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัมต่อไร่ 2 และ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.10-0.25 มิลลิเมตรเท่ากับ 11.2, 10.74, 6.73 และ 5.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.10-0.25 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.10-0.25 มิลลิเมตรสูงที่สุด 6.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.10-0.25 มิลลิเมตรเท่ากับ 6.79 6.71 และ 6.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดดิน 0.10-0.25 มิลลิเมตรต่ำที่สุด 6.66 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 11)

3.6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดดิน (MWD)

จากการศึกษาปริมาณเม็ดดินแต่ละขนาดและนำมาคำนวณหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย หรือ Mean Weight Diameter, MWD ซึ่งเป็นดัชนีหนึ่งที่บ่งบอกความคงทนของเม็ดดิน จากผลการวิเคราะห์ในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีขนาดเม็ดดินใหญ่ที่สุด 0.64 มิลลิเมตร รองลงมา ได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ มีขนาดเม็ดดินซึ่งเท่ากับ 0.57 มิลลิเมตร ซึ่งทั้ง 2 ตำรับการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงควบคุม การใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีขนาดเม็ดดินใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.49 0.43 และ 0.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย หรือ Mean Weight Diameter, MWD มากกว่าในฤดูปลูกที่ 1 โดย การใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีขนาดเม็ดดินใหญ่ที่สุด 4.11 มิลลิเมตร ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ และ 1 ตันต่อไร่ ซึ่ง

มีขนาดเม็ดดินเท่ากับ 4.05 และ4.02 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีขนาดเม็ดดินเท่ากับ 3.53 มิลลิเมตร และแปลงควบคุมซึ่งมีขนาดเม็ดดินเล็กที่สุดเท่ากับ 3.06 มิลลิเมตร (ตารางที่ 11) โดย Six *et al.* (2000) แสดงให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์ชักนำให้เกิดเม็ดดินขนาดใหญ่ เนื่องจากวัสดุอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนที่ก่อให้เกิดกิจกรรมจุลินทรีย์ในการสร้างสารเชื่อมเม็ดดิน ประกอบการศึกษาด้วยไอโซโทปตรวจจับคาร์บอนของ Angers *et al.* (1997) และ Tang *et al.* (2011) แสดงให้เห็นว่าเม็ดดินขนาดเล็กถูกสร้างอยู่ในเม็ดดินขนาดใหญ่ ดินที่มีคาร์บอนน่าจะเกิดการสร้างเม็ดดินขนาดใหญ่ได้มากและเม็ดดินขนาดเล็กจะมีปริมาณน้อยลง เพราะส่วนมากถูกกลไกการสร้างตัวของเม็ดดินโดยการเชื่อมตัวของเม็ดดินขนาดเล็กไปอยู่ในเม็ดดินขนาดใหญ่

4. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวภาพของดิน

ก่อนดำเนินการทดลอง ได้ดำเนินการเก็บดินแบบ composite sample แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ดิน พบว่า ปริมาณแอคติโนมัยซีส แบคทีเรีย และเชื้อรา มีค่าดังนี้ แอคติโนมัยซีส $1.2x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง แบคทีเรีย $3.1x10^3$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง และเชื้อรา $6.4x10^3$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง

ตารางที่ 12 ปริมาณจุลินทรีย์ดินหลังสิ้นสุดการทดลอง ฤดูปลูกที่ 1

ตำรับการทดลอง	แอคติโนมัยซีส	แบคทีเรีย	เชื้อรา
1.แปลงควบคุม	$2.5x10^5$	$4.2x10^4$	$6.5x10^3$
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	$3.2x10^5$	$3.7x10^4$	$2.1x10^3$
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	$1.5x10^5$	$1.8x10^4$	$3x10^4$
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	$2.8x10^5$	$4.5x10^4$	$3.7x10^4$
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	$4.7x10^5$	$6.3x10^5$	$2.9x10^4$

ตารางที่ 13 ปริมาณจุลินทรีย์ดินหลังสิ้นสุดการทดลอง ฤดูปลูกที่ 2

ตำรับการทดลอง	แอคติโนมัยซีส	แบคทีเรีย	เชื้อรา
1.แปลงควบคุม	$1.5x10^5$	$1.6x10^5$	$5.5x10^4$
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	$1.9x10^6$	$2.1x10^5$	$2.3x10^5$
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	$1.2x10^6$	$2.8x10^5$	$1.7x10^5$
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	$6.1x10^5$	$3.4x10^5$	$4.5x10^5$
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	$1.6x10^6$	$1.0x10^6$	$5.2x10^5$

4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอคติโนมัยซีส

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 12) พบว่า ปริมาณแอคติโนมัยซีสมีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ มีค่าเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลอง ก่อนดำเนินการทดลอง มีปริมาณแอคติโนมัยซีส $1.2x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง $1.5x10^5$ - $4.7x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง $6.1x10^5$ - $1.6x10^6$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง และ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ถ่านชีวภาพทุกตำรับการทดลองกับแปลงควบคุมซึ่งไม่ใส่ถ่านชีวภาพ หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 จะเห็นได้ว่า การใช้ถ่านชีวภาพมีผลทำให้ปริมาณปริมาณแอคติโนมัยซีสเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 13) ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวภาพมีความพรุนสูง รูพรุนในถ่านชีวภาพจะเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์และดำเนินกิจกรรมย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินเพื่อเป็นธาตุอาหารให้แก่พืช (Lehmann *et al.,* 2011)

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแบคทีเรีย

จากผลการทดลอง พบว่า ก่อนดำเนินการทดลอง มีปริมาณแบคทีเรียในดิน $3.1x10^3$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง $1.8x10^4$ – $6.3x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง (ตารางที่ 12) หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง $1.6x10^5$ - $1x10^6$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง เมื่อเปรียบเทียบการใช้ถ่านชีวภาพกับทุกตำรับการทดลอง พบว่า หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 การใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณแบคทีเรียสูงที่สุด $1x10^6$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแบคทีเรียเท่ากับ $3.4x10^5$ $2.8x10^5$ และ $2.1x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณแบคทีเรียต่ำสุดเท่ากับ $1.6x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง (ตารางที่ 13) ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวภาพมีความพรุนสูงทำให้มีพื้นที่ผิวมาก รูพรุนในถ่านชีวภาพจะเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์และย่อยสลายเป็นธาตุอาหารให้แก่พืช (Lehmann *et al.,* 2011) และสอดคล้องกับการทดลองของ Zhang *et al.*(2014) พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในดินมีผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเชื้อรา

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณเชื้อรามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง ก่อนดำเนินการทดลอง มีปริมาณเชื้อราในดิน $6.4x10^3$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 1 มีค่า อยู่ระหว่าง $2.1x10^3$ – $2.9x10^4$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง (ตารางที่ 12) หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง $5.5x10^4$ - $4.1x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง เมื่อเปรียบเทียบการใช้ถ่านชีวภาพกับแปลงควบคุมแสดงให้เห็นชัดว่า ตำรับการทดลองการใช้ถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณเชื้อราเพิ่มมากขึ้น โดย หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 1 การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่ มีปริมาณเชื้อราสูงสุด เท่ากับ $3.7x10^4$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง และแปลงควบคุมมีปริมาณเชื้อราต่ำสุดเท่ากับ $6.5x10^3$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง หลังสิ้นสุดการทดลองฤดูปลูกที่ 2 การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณเชื้อราสูงสุด เท่ากับ $5.2x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง รองลงมา ได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่ เท่ากับ $4.5x10^5$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง แปลงควบคุมมีปริมาณเชื้อราต่ำสุด เท่ากับ $5.5x10^4$ เซลล์ต่อกรัมดินแห้ง (ตารางที่ 13) ทั้งนี้ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีความพรุนสูง รูพรุนในถ่านถ่านชีวภาพจะเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์และย่อยสลายเป็นธาตุอาหารให้แก่พืช ซึ่ง Oguntunde *et al.* (2008) รายงานว่า ความพรุนของถ่านชีวภาพทำให้ดินมีการ

ระบายอากาศได้ดียิ่งขึ้นและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ด้วย จากสภาพดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน อาทิ เช่น เชื้อราไมคอร์ไรซา และแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้ เป็นต้น

5. การเก็บกักคาร์บอนในดิน (เปอร์เซนต์คาร์บอนในดิน)

ก่อนการทดลอง พบว่าปริมาณคาร์บอนในดิน มีค่าเท่ากับ 0.61 เปอร์เซนต์ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณเปอร์เซนต์คาร์บอนในดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆ โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีเปอร์เซนต์คาร์บอนในดินสูงที่สุดเท่ากับ 1.07 เปอร์เซนต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 2, 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนในดินเท่ากับ 0.61, 0.83, และ 0.92 เปอร์เซนต์ ตามลำดับและแปลงควบคุมมีปริมาณคาร์บอนในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 0.96 เปอร์เซนต์ หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มสูงขึ้นในทุกตำรับการทดลอง โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ มีปริมาณคาร์บอนในดินสูงที่สุดเท่ากับ 1.87 เปอร์เซนต์ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนในดินเท่ากับ 1.40, 1.24, และ 1.12 เปอร์เซนต์ ตามลำดับและแปลงควบคุมมีปริมาณคาร์บอนในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 0.96 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 14) เนื่องจาก ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่อุดมไปด้วยคาร์บอนที่ผลิตจากการให้ความร้อนซึ่งใช้ออกซิเจนน้อยมาก เป็นกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (ไพโรไลซิส) และสามารถเก็บคาร์บอนได้ถึง 50 เปอร์เซนต์ของคาร์บอนที่มีอยู่ในมวลชีวภาพ และถ่านชีวภาพนั้นมีความคงตัว สลายตัวได้ช้า จึงช่วยเก็บกักคาร์บอนในดินได้ (Lehmann, 2007)

ตารางที่ 14 ปริมาณคาร์บอนในดิน (%) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณคาร์บอนในดิน (%)	
ก่อนการทดลอง	0.61	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1.แปลงควบคุม	0.65 c	0.96 c
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	0.92 b	1.12 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	0.83 b	1.24 b
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	0.89 b	1.40 b
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	1.07 a	1.87 a
ค่าเฉลี่ย	0.87	1.32
$p<0.05$	*	*
CV (%)	24.5	21.2

หมายเหตุ: * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

6. การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อน

6.1 ความสูงต้นข้าวโพดฝักอ่อน

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 15) โดยตำรับการทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ ต้นข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด คือ 141.8 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่การใช้ถ่านชีวภาพ 3 และ1 ตันต่อไร่ และ500 กก.ต่อไร่ มีความสูงใกล้เคียงกันเท่ากับ 140.9 140.1 และ 139.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ ต้นข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด คือ 142.5 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่การใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ 500 กก.ต่อไร่ และ 1 ตันต่อไร่ มีความสูงใกล้เคียงกันเท่ากับ 141.2 140.7 และ 139.2 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 15) และจากการศึกษาความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวโพดฝักอ่อนทั้ง 2 ครั้งพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆ ปรับปรุงดินกรดไม่มีผลทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกัน

ตารางที่ 15 ความสูงของต้นข้าวโพดฝักอ่อนที่ระยะเก็บเกี่ยว (เซนติเมตร)ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)		
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1.แปลงควบคุม	140.2	139.5	139.9
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	139.5	140.7	140.1
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	140.1	139.2	139.7
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	141.8	142.5	142.2
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	140.9	141.2	141.1
ค่าเฉลี่ย	140.5	140.6	140.6
p<0.05	ns	ns	ns
CV (%)	13.68	12.32	10.42

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

6.2 ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อน

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในตำรับการทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ ข้าวโพดให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 869.37 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่การใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ และ 3 ตันต่อไร่ ให้ผลผลิตใกล้เคียงกันเท่ากับ 828.43 และ 825.97 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมให้ผลผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 808.90 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 16)

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองมีผลทำให้ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่ใช้

ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ ข้าวโพดให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 896.84 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ และ 1 ตันต่อไร่ ที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 893.18 และ 833.64 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมให้ผลผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 774.79 กิโลกรัมต่อไร่ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ และ500 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 833.64 และ799.16 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

จากการศึกษาผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนทั้ง 2 ฤดูปลูก พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆปรับปรุงดินกรดมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกัน โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 881.27 ตันต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองรองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยใกล้เคียงกันเท่ากับ 861.40 และ กิโลกรัมต่อไร่ และแตกต่างทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 831.03 และ 804.93 ตามลำดับ ส่วนการไม่ใช้ถ่านชีวภาพให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 791.69 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 17) ทั้งนี้เนื่องจากถ่านชีวภาพมีความคงตัว มีพื้นที่ผิวภายในและรูพรุนสูง และช่วยเพิ่มปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เอื้อต่อการใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพดิน เพื่อการเพาะปลูกทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ส่งผลให้ผลผลิตพืชเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วจากการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพ พบว่า มีซิลิคอนอยู่ในองค์ประกอบ ซึ่งมีส่วนช่วยเสริมความแข็งแรงให้เซลล์พืชด้วย (Raven, 1983) สอดคล้องกับการศึกษาผลของการใส่ถ่านชีวภาพต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดพันธุ์ดอกคูณ 49 พบว่า น้ำหนักผลผลิตฝักสดข้าวโพดเมื่อถึงอายุการเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยตำรับการทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 5 เปอร์เซนต์ ของน้ำหนักดินแห้ง ให้ผลผลิตข้าวโพดสูงสุดเท่ากับ 383 กรัมต่อต้น (เสาวคนธ์และศศิธร, 2554) จากการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเหนียวดำภายใต้การจัดการปุ๋ยคอก ปุ๋ยอนินทรีย์ และการใช้ถ่านชีวภาพที่แตกต่างกันในพื้นที่ดินเค็ม พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่และการใส่ปุ๋ยคอกอัตรา 1.6 ตันต่อไร่ ทำให้องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตของข้าวสูงที่สุด (ปรเมศ, 2558) นอกจากนั้นแล้วยังสอดคล้องกับการศึกษาผลของเทคโนโลยีชีวภาพและถ่านชีวภาพในการผลิตผักคะน้า พบว่าการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ทำให้ผักคะน้ามีผลผลิตรวมสูงที่สุดคือ 1,900 กิโลกรัมต่อไร่ (เกศศิรินทร์, 2557) นอกจากนี้ ได้มีงานวิจัยทดลองปลูกข้าวสาลีในภาชนะที่ใส่ดิน และเอาไว้ในเรือนกระจก ดินในบางภาชนะใส่ปุ๋ยถ่านชีวภาพ และบางภาชนะไม่ได้ใส่ ศาสตราจารย์ Mingxin กล่าวว่า ข้าวสาลีในภาชนะที่ใส่ปุ๋ยและถ่านชีวภาพเจริญเติบโตดีกว่า ในการทดลองนั้นนักวิจัยผสมปุ๋ยถ่านชีวภาพ 2 เปอร์เซ็นต์ แต่ศาสตราจารย์ผู้นี้กล่าวว่าเพียงแค่ 1 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ดินที่มีสารอินทรีย์น้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินที่คุณภาพไม่ดี และไม่สามารถเก็บกักน้ำและสารอาหารได้อย่างพอเพียง การใส่ปุ๋ยคอก และทิ้งซากพืชไว้ในท้องทุ่งให้ผลแค่ในวงจำกัด นักวิทยาศาสตร์กล่าวว่าสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไปจะย่อยสลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์อย่างรวดเร็ว การเพิ่มถ่านไม้ลงไปในดินเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และธาตุอาหารลงไปในดิน ทำให้เพิ่มธาตุอาหารที่มีความสำคัญ คือ ฟอสฟอรัส โพแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และไนโตรเจน (Lehmann and Rondon, 2006; Nele, 2016)

ตารางที่ 16 แสดงผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อน (กิโลกรัมต่อไร่) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อน (กิโลกรัมต่อไร่)		
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1.แปลงควบคุม	808.90	774.49 b	791.69 b
2.ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กก.ต่อไร่	810.70	799.16 b	804.93 b
3.ถ่านชีวภาพ อัตรา 1 ตันต่อไร่	828.43	833.64 b	831.03 b
4.ถ่านชีวภาพ อัตรา 2 ตันต่อไร่	869.37	893.18 a	881.27 a
5.ถ่านชีวภาพ อัตรา 3 ตันต่อไร่	825.97	896.84 a	861.40 a
ค่าเฉลี่ย	828.67	839.46	834.06
$p<0.05$	ns	*	*
CV (%)	11.47	14.91	12.87

* หมายถึง: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตอนที่ 2 ทัศนคติของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ด้านการเกษตรที่มีต่อการใช้ถ่านชีวภาพ

ก. ทัศนคติของเกษตรกร

1. ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร

ตารางที่ 17 ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร

n = 34

	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
เพศชาย	13	38.2
เพศหญิง	21	61.8
อายุ (อายุเฉลี่ย 52 ปี)		
น้อยกว่า 21 ปี	2	5.9
21 – 40	5	14.7
41 – 60	16	47.1
60 ปีขึ้นไป	11	32.4
การศึกษา		
ประถมศึกษา	25	73.5
มัธยมศึกษาตอนต้น	4	11.8
มัธยมศึกษาตอนปลาย	4	11.8
อื่นๆ คือ อนุปริญญา	1	2.9

จากข้อมูลของเกษตรกรที่ใช้ในการวิจัย (ตารางที่ 17) ที่ทำการศึกษาโดยใช้แบบสัมภาษณ์ จำนวน 34 ราย ในอำเภอบึงสามพัน จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 61.8 และเพศชาย ร้อยละ 38.2 โดยมีอายุเฉลี่ย 52.09 ปี ซึ่งอายุน้อยที่สุดคือ 17 ปี และอายุมากที่สุด คือ 77 ปี ข้อมูลด้านการศึกษา พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่สำเร็จการศึกษา ระดับประถมศึกษา ร้อยละ 73.5 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลาย ร้อยละ 11.8 และระดับอนุปริญญา ร้อยละ 2.9

การศึกษาข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรที่ประกอบอาชีพทำนา (ตารางที่ 17) ประกอบด้วย อาชีพทางการเกษตร พื้นที่ในการทำการเกษตร แรงงานในการทำการเกษตร และรายได้ โดยมีรายละเอียดในแต่ละประเด็น ดังนี้

อาชีพทางการเกษตรของเกษตรกรที่ประกอบอาชีพทำนา พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำนาอย่างเดียว ร้อยละ 85.3 เกษตรกรที่ประกอบอาชีพทำนาร่วมกับทำสวนผลไม้ ร้อยละ 35.3 เกษตรกรทำไร่ข้าวโพดหรืออ้อย ร้อยละ 14.7 และประกอบอาชีพอื่นๆ ได้แก่ รับจ้างทั่วไป ร้อยละ 8.8

พื้นที่ในการทำการเกษตร พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ทำการเกษตรในพื้นที่ตนเอง ร้อยละ 70.6 เกษตรกรทำการเกษตรในพื้นที่เช่า ร้อยละ 11.8 และทำการเกษตรในพื้นที่ตนเองและพื้นที่เช่า ร้อยละ 17.6

ตารางที่ 18 อาชีพทางการเกษตรพื้นที่ในการทำการเกษตรและแรงงานในการทำการเกษตร

			n = 34
	จำนวน	**ร้อยละ**	**ค่าเฉลี่ย**
อาชีพทางการเกษตร*			
ทำนา	29	85.3	19.44 ไร่
ทำไร่	5	14.7	4.03 ไร่
ทำสวน	12	35.3	0.88 ไร่
อื่นๆ คือ รับจ้าง	3	8.8	
พื้นที่ในการทำการเกษตร			
พื้นที่ตนเอง	24	70.6	
พื้นที่เช่า	4	11.8	
พื้นที่ตนเองและเช่า	6	17.6	
แรงงานในการทำการเกษตร			
แรงงานในครัวเรือน	(34)	(100.0)	
1 – 2 คน	23	67.6	
3 – 4 คน	10	29.5	
ตั้งแต่ 5 คนขึ้นไป	1	2.9	
แรงงานจ้าง	(7)	(20.6)	
1 – 2 คน	3	8.8	
3 – 4 คน	4	11.8	
รายได้			153,588.2 บาท
≤100,000 บาทต่อปี	8	23.5	
100,001 – 200,000 บาทต่อปี	23	67.7	
200,001 – 300,000 บาทต่อปี	3	8.8	

การใช้แรงงานในการทำการเกษตร ได้แบ่งเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ การใช้แรงงานในครัวเรือน และการใช้แรงงานจ้าง พบว่า การใช้แรงงานในครัวเรือน เกษตรกรทั้งหมดที่ทำการเก็บข้อมูลใช้แรงงานในครัวเรือน ร้อยละ 100 และมีการใช้แรงงาน ร้อยละ 20.6-รายได้ของเกษตรกรที่ทำการเกษตร พบว่า

เกษตรกรมีรายได้จากการทำการเกษตรเฉลี่ย 153,588.2 บาทต่อปี โดยมีรายได้น้อยที่สุด 50,000 บาทต่อปี และมีรายได้มากที่สุด 300,000 บาทต่อปี (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 19 ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

		n = 34
การใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	**จำนวน**	**ร้อยละ**
สารเคมี		
ปุ๋ยเคมี	30	88.2
ยาฆ่าแมลง	23	67.6
ยาปราบวัชพืช	19	55.9
อื่นๆ คือ ยากันเชื้อรา	1	2.9
สารอินทรีย์		
ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด	25	73.5
ปุ๋ยอินทรีย์บรรจุถุง	17	50.0
น้ำหมัก/ สารชีวภัณฑ์ไล่แมลง	15	44.1
อื่นๆ คือ EM ถ่านชีวภาพ	2	5.9

สำหรับการศึกษาข้อมูลการใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร (ตารางที่ 19) พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ที่ใช้สารเคมีในการผลิตพืช มีการใช้ปุ๋ยเคมีมากที่สุด ร้อยละ 88.2 รองลงมาใช้ยาฆ่าแมลง ร้อยละ 67.6 ยาปราบวัชพืช ร้อยละ 55.9 และอื่นๆ คือ ยากันเชื้อรา ร้อยละ 2.9 และเกษตรกรส่วนใหญ่ที่ใช้สารอินทรีย์ร่วมด้วย มีการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสดมากที่สุด ร้อยละ 73.5 รองลงมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์บรรจุถุง ร้อยละ 50ใช้น้ำหมักและสารชีวภัณฑ์ไล่แมลง ร้อยละ 44.1และอื่นๆ คือ EM ถ่านชีวภาพ ร้อยละ 5.9

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์ดินของเกษตรกร

		n = 34
การวิเคราะห์ดิน	**จำนวน**	**ร้อยละ**
เกษตรกรทราบชุดดินที่เพาะปลูก		
ทราบ	5	14.7
ไม่ทราบ	29	85.3
เกษตรกรเคยวิเคราะห์ดิน		
เคย	8	23.5
ไม่เคย	26	76.5

ข้อมูลด้านการวิเคราะห์ดินของเกษตรกร (ตารางที่ 20) พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ทราบว่าชุดดินที่ตนเองเพาะปลูกพืช หรือทำการเกษตรคือชุดดินใด ร้อยละ 85.3 และเกษตรกรไม่เคยนำดินที่ตนเองเพาะปลูกไปวิเคราะห์ ร้อยละ 76.5

ตารางที่ 21 ข้อมูลการได้รับข่าวสารและความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพ

	n=34			
	จำนวน (ร้อยละ)			
การได้รับข่าวสารและความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพ (ก่อนการศึกษาดูงาน)	ใช่	ไม่ใช่	ไม่แน่ใจ	ไม่ตอบ
1. ท่านเคยได้ยินชื่อ “ถ่านชีวภาพ หรือ Biochar”	19 (55.9)	7 (20.6)	8 (23.5)	
2. ท่านทราบว่ามีเพื่อนเกษตรกรของท่านใช้ถ่านชีวภาพ	15 (44.1)	9 (26.5)	10 (29.4)	
3. ท่านทราบว่าถ่านชีวภาพมีประโยชน์ต่อธาตุอาหารในดิน	13 (38.2)	10 (29.4)	11 (32.4)	
4. ถ่านชีวภาพใช้ลดความเปรี้ยวของดิน	10 (29.4)	9 (26.5)	15 (44.1)	
5. *ถ่านชีวภาพเป็นสารเคมีชนิดหนึ่ง	3 (8.8)	17 (50.0)	14 (41.2)	
6. ถ่านชีวภาพเป็นถ่านที่กักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้นาน	17 (50.0)	6 (17.6)	11 (32.4)	
7. ถ่านชีวภาพใช้ดูดซับความชื้นในดินทำให้อุ้มน้ำได้ดีขึ้น	18 (52.9)	4 (11.8)	11 (32.4)	1 (2.9)
8.* ถ่านชีวภาพสามารถใช้แทนปุ๋ยได้	14 (41.2)	7 (20.6)	13 (38.2)	
9.* ถ่านชีวภาพที่ทำจากวัสดุแตกต่างกัน มีธาตุอาหารไม่แตกต่างกัน	10 (29.4)	6 (17.6)	18 (52.9)	
10. ถ่านชีวภาพควรใช้ควบคู่กับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก	14 (41.2)	4 (11.8)	16 (47.1)	

* ข้อคำถามเชิงลบ

การศึกษาข้อมูลของเกษตรกรเกี่ยวกับการได้รับข่าวสารและความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพ (ตารางที่ 21) ก่อนการศึกษาดูงาน พบว่า เกษตรกร ร้อยละ 55.9 รู้จักถ่านชีวภาพหรือถ่านชีวภาพ และมีเกษตรกรที่ทราบว่าเพื่อนเกษตรกรใช้ถ่านชีวภาพ ร้อยละ 44.1 ดังนั้นจึงมีเพียงเกษตรกรบางส่วนที่ทราบคุณลักษณะและประโยชน์ของถ่านชีวภาพ ทั้งนี้ เกษตรกรที่ไม่เคยหรือไม่แน่ใจว่าได้รับข่าวสารและความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพ ส่วนใหญ่ตอบคำถามที่เกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพผิดหรือไม่แน่ใจในข้อคำถาม ในด้าน

ความเป็นประโยชน์ต่อธาตุอาหารในดิน การใช้ลดความเปรี้ยวของดิน การกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้นาน การดูดซับความชื้นในดิน ความแตกต่างของถ่านชีวภาพแต่ละชนิด และการนำถ่านชีวภาพไปใช้คู่กับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก ส่วนในข้อคำถามเชิงลบเกษตรกร ส่วนใหญ่ทราบว่าถ่านชีวภาพไม่ได้เป็นสารเคมี แต่เข้าใจผิดว่าสามารถใช้แทนปุ๋ยได้

ตารางที่ 22 แสดงความพึงพอใจต่อการศึกษาดูงานของเกษตรกร

n = 34

ความพึงพอใจต่อการศึกษาดูงาน	จำนวน (ร้อยละ)		
	มาก	ปานกลาง	น้อย
1. ท่านมีความพึงพอใจต่อสถานที่ศึกษาดูงาน	18 (52.9)	16 (47.1)	
2. ท่านมีความสะดวกในการเดินทางมาศึกษาดูงาน	20 (58.8)	10 (29.4)	4 (11.8)
3. ท่านมีความพึงพอใจต่อวิธีการบรรยายของวิทยากร	23 (67.6)	11 (32.4)	
4. ท่านมีความพึงพอใจต่อผู้เป็นวิทยากร (ภาพรวม)	20 (58.8)	14 (41.2)	
5. ท่านมีความพึงพอใจต่อสื่อที่ใช้ในการศึกษาดูงาน	14 (41.2)	20 (58.8)	
6. ท่านมีความพึงพอใจต่อข้อมูลที่ได้รับในการศึกษาดูงาน	19 (55.9)	14 (41.2)	1 (2.9)
7. ท่านมีความพึงพอใจต่อระยะเวลาในการศึกษาดูงาน	11 (32.4)	22 (64.7)	1 (2.9)
8. ท่านมีความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพมากขึ้นหลังจากได้มาศึกษาดูงาน	15 (44.1)	19 (55.9)	
9. ท่านมีความเข้าใจในการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน	15 (44.1)	18 (52.9)	1 (2.9)
10. ท่านมีความพึงพอใจต่อการศึกษาดูงานในภาพรวม	18 (52.9)	16 (47.1)	

สำหรับความพึงพอใจต่อการศึกษาดูงานของเกษตรกร (ตารางที่ 22) พบว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจต่อการศึกษาดูงานภาพรวมในระดับมาก คิดเป็น ร้อยละ 52.9 ซึ่งสอดคล้องกับข้อคำถามความพึงพอใจภาพรวม โดยเกษตรกรมีความพึงพอใจต่อวิธีการบรรยายของวิทยากรมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 67.6 รองลงมา คือ ภาพรวมของผู้เป็นวิทยากร คิดเป็นร้อยละ 58.8 และสถานที่ศึกษาดูงานเท่ากับร้อยละ 52.9 และเกษตรกรมีความพึงพอใจเกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพมากขึ้นหลังจากได้มาศึกษาดูงาน คิดเป็นร้อยละ 44.1 และ มีความพึงพอใจน้อยที่สุดต่อระยะเวลาในการศึกษาดูงาน คิดเป็นร้อยละ 32.4

ตารางที่ 23 แสดงความคิดเห็นต่อการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่ทางการเกษตรของตนเอง

n = 34

ความคิดเห็นต่อการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่ทางการเกษตรของตนเอง (หลังการศึกษาดูงาน)	จำนวน (ร้อยละ)			
	ใช่	ไม่ใช่	ไม่แน่ใจ	ไม่ตอบ
1. ท่านคิดว่าถ่านชีวภาพมีประโยชน์	27 (79.4)	1 (2.9)	6 (17.6)	
2. ท่านคิดว่าถ่านชีวภาพสามารถขายสร้างรายได้ให้ท่านได้	14 (41.2)	3 (8.8)	17 (50.0)	
3. ท่านคิดว่าถ่านชีวภาพจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น	17 (50.0)	1 (2.9)	16 (47.1)	
4.* ท่านคิดว่าถ่านชีวภาพมีราคาที่สูงเกินไป	9 (26.5)	8 (23.5)	17 (50.0)	
5. ท่านคิดว่ามีความเหมาะสมระหว่างราคาและประโยชน์ของถ่านชีวภาพ	9 (26.5)	5 (14.7)	20 (58.8)	
6. ท่านต้องการทดลองนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่การเกษตรของท่าน	21 (61.8)	2 (5.9)	11 (32.4)	
7. ท่านคิดว่าจะนำเรื่องเกี่ยวกับถ่านชีวภาพไปแนะนำต่อกับเพื่อนเกษตรกร	21 (61.8)	4 (11.8)	8 (23.5)	1 (2.9)
8.* ท่านคิดว่ามีวัสดุทางการเกษตรอื่นที่ดีกว่าการใช้ถ่านชีวภาพ	13 (38.2)	7 (20.6)	14 (41.2)	
9. ท่านคิดว่าจะนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่การเกษตรของท่าน	21 (61.8)	3 (8.8)	10 (29.4)	
10. ท่านคิดว่าจะลงทุนสร้างเตาถ่านชีวภาพในพื้นที่การเกษตรของท่าน	10 (29.4)	5 (14.7)	19 (55.9)	

ในส่วนความคิดเห็นของเกษตรกรต่อการนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่ทางการเกษตรของตนเอง (ตารางที่ 23) หลังจากได้รับการศึกษาดูงาน พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความคิดเห็นเชิงบวกต่อการใช้ถ่านชีวภาพ โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ คิดว่าชีวภาพมีประโยชน์ ร้อยละ 79.4 ต้องการทดลองนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่การเกษตรของตนเอง และจะแนะนำเรื่องเกี่ยวกับถ่านชีวภาพให้กับเพื่อนเกษตรกร ทั้งนี้คิดว่าจะนำถ่านชีวภาพไปใช้ในพื้นที่การเกษตร ร้อยละ 61.8 และเกษตรกรบางส่วนคิดว่าถ่านชีวภาพจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ร้อยละ 50-เกษตรกรที่คาดว่าจะสามารถสร้างรายได้เพิ่ม ร้อยละ 41.2 และเกษตรกรบางส่วนต้องการลงทุนสร้างเตาถ่านชีวภาพ ร้อยละ 29.4 แต่ทั้งนี้ พบว่า เกษตรกรบางรายยังมีความกังวลใจในเรื่องราคาถ่านชีวภาพ และความเหมาะสมของราคาและประโยชน์ที่จะได้รับ

ข.ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการเก็บข้อมูลของเกษตรกรที่ใช้ทำการศึกษา ในอำเภอบึงสามพัน จังหวัดเพชรบูรณ์ สามารถรวบรวมปัญหาและข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถ่านชีวภาพของเกษตรกร ได้ดังนี้

ปัญหา

1. ประสิทธิภาพการผลิตของเตาเผาถ่านชีวภาพสามารถผลิตได้น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการ
   (6 ราย)
2. เกษตรกรไม่แน่ใจถึงประโยชน์ของถ่านชีวภาพต่อการใช้ในการเกษตร (4 ราย)
3. ขาดแคลนวัตถุดิบ สำหรับทำถ่านชีวภาพ (3 ราย)
4. กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพเกิดควันและกลิ่นรบกวน (2 ราย)
5. ขาดปัจจัยสนับสนุนในการผลิตถ่านชีวภาพ เช่น แรงงาน ที่ดิน เป็นต้น (2 ราย)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรให้ข้อมูลและให้ตัวอย่างถ่านชีวภาพสำหรับทดลองใช้ (4 ราย)
2. ควรพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพให้ได้ปริมาณมากในการเผาแต่ละครั้ง (4 ราย)
3. ราคาของถ่านชีวภาพ ควรมีราคาถูกเพียงพอที่เกษตรกรสามารถจะจ่ายได้ (3 ราย)
4. ควรส่งเสริมให้มีการรวมกลุ่มเกษตรกร เพื่อผลิตถ่านชีวภาพใช้ในกลุ่ม (2 ราย)
5. ควรส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรสร้างเตาเผาถ่านชีวภาพไว้ใช้เอง (2 ราย)

ข้อสังเกตของผู้รวบรวมข้อมูล พบว่า

1. เกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนให้ข้อสังเกตว่าข้าวโพดฝักอ่อนในแปลงที่ใช้ถ่านชีวภาพ มีรสชาติหวานและกรอบกว่าแปลงที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ
2. เกษตรกรส่วนใหญ่มีความสนใจการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เกษตรของตนเอง แต่ยังไม่มั่นใจในประโยชน์และวิธีการใช้ถ่านชีวภาพ จึงควรมีการส่งเสริมและถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพให้เกษตรกรเพิ่มเติม และให้ถ่านชีวภาพไปทดลองใช้หรือให้เกษตรกรเข้ามามีส่วนร่วมในแปลงสาธิต เพื่อให้เกษตรกรได้เข้าใจและเห็นประโยชน์ของถ่านชีวภาพด้วยตนเอง
3. เกษตรกรที่รู้จักและเข้าใจในประโยชน์ของถ่านชีวภาพ มีความต้องการใช้ แต่ไม่สามารถจัดหามาใช้ได้ เนื่องจากผู้ผลิตสามารถผลิตถ่านชีวภาพได้น้อย และมีผู้ผลิตไม่มาก

ตอนที่ 2 ทัศนคติของเจ้าหน้าที่ด้านการเกษตร

1. ข้อมูลทั่วไปของเจ้าหน้าที่

ตารางที่ 24 แสดงข้อมูลทั่วไปของเจ้าหน้าที่

n = 20

	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
เพศชาย	5	25.0
เพศหญิง	15	75.0
อายุ (อายุเฉลี่ย 44.32 ปี)		
น้อยกว่า 30 ปี	3	15.0
31 – 40	4	20.0
41 – 50	6	30.0
51 – 60	6	30.0
ไม่ระบุ	1	5.0
ตำแหน่ง		
นักวิชาการเกษตร		
- เชี่ยวชาญ	1	5.0
- ชำนาญการพิเศษ	3	15.0
- ชำนาญการ	3	15.0
- ปฏิบัติการ	1	5.0
- ไม่ระบุ	8	40.0
นักวิชาการ	1	5.0
นักวิเคราะห์นโยบายและแผน	1	5.0
เจ้าพนักงานเกษตร	1	5.0
พนักงานธุรการ	1	5.0

จากข้อมูลทั่วไปของเจ้าหน้าที่ด้านการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 24) โดยการใช้แบบสอบถาม จำนวน 20 ราย พบว่า เจ้าหน้าที่ด้านการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนาที่ดิน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 75-และเพศชาย ร้อยละ 25-โดยมีอายุเฉลี่ย 44.32 ปี ซึ่งอายุน้อยที่สุดคือ 24 ปี และอายุมากที่สุดคือ 59 ปี และข้อมูลการดำรงตำแหน่งของเจ้าหน้าที่ พบว่า เจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่ดำรงตำแหน่งนักวิชาการเกษตร ร้อยละ 80 และดำรงตำแหน่งที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ นักวิชาการ เจ้าพนักงานเกษตร นักวิเคราะห์นโยบายและแผน ร้อยละ 20

2. การได้รับข่าวสารและความคิดเห็นเกี่ยวกับถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอชาร์

การศึกษาข้อมูลของเจ้าหน้าที่ด้านการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 25) เกี่ยวกับการได้รับข่าวสารและความคิดเห็นเกี่ยวกับถ่านชีวภาพ พบว่า เจ้าหน้าที่ทุกรายที่ทำการเก็บข้อมูล (ร้อยละ 100) เคยได้รับข้อมูลเกี่ยวกับถ่านชีวภาพ โดยส่วนใหญ่มีความคิดเห็นในเชิงบวก ร้อยละ 90 เนื่องจากถ่านชีวภาพมีรูพรุนตามธรรมชาติ จึงมีประโยชน์ทางด้านการเกษตร ได้แก่ ใช้ในการปรับปรุงดิน ทำให้ผลผลิตสูงขึ้น ลดการใช้ปุ๋ยเคมีและลดค่าใช้จ่าย ช่วยกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน ช่วยระบายอากาศ การซึมของน้ำ และการอุ้มน้ำในดิน ลดความเป็นกรดของดิน ดินมีความร่วนซุยขึ้น เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะช่วยลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์

ตารางที่ 25 ข้อมูลการได้รับข่าวสารและความคิดเห็นเกี่ยวกับถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์

n = 20

การได้รับข่าวสารและความคิดเห็น	จำนวน	ร้อยละ
การได้รับข้อมูลถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์		
เคย	20	100.0
ไม่เคย	-	-
ความคิดเห็นต่อถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์		
เชิงบวก	18	90.0
เชิงลบ	-	-
ไม่ระบุ	2	10.0
การนำถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์ไปแนะนำ		
แนะนำ	13	65.0
ไม่แนะนำ	2	10.0
ไม่ระบุ	5	25.0

สำหรับการนำความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพไปแนะนำต่อเกษตรกร พบว่า เจ้าหน้าที่ส่วนใหญ่จะนำไปแนะนำ แก่เกษตรกร ร้อยละ 65 เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการปรับปรุงดิน ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ลดต้นทุนการผลิต สามารถเป็นอาชีพเสริมเพิ่มรายได้ และเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ แต่มีเจ้าหน้าที่ร้อยละ 10 ยังไม่แนะนำให้เกษตรกรใช้ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีข้อจำกัดในการผลิตในด้านคุณภาพ มาตรฐาน และปริมาณ และมีเจ้าหน้าที่ ร้อยละ 25 ไม่ระบุว่าจะแนะนำหรือไม่แนะนำแก่เกษตรกร

ข. ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการเก็บข้อมูลของเจ้าหน้าที่ด้านการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนาที่ดิน จำนวน 20 ราย สามารถรวบรวมปัญหาและข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการได้รับข่าวสารและความคิดเห็นเกี่ยวกับถ่านชีวภาพ ดังนี้

ปัญหา

1. กระบวนการผลิตมีความยุ่งยาก ต้องผลิตเตาเผาถ่านชีวภาพขึ้นใช้เอง วัสดุที่นำมาใช้ทำให้คุณภาพมีความแตกต่างกัน เชื้อเพลิงในการเผามีราคาสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง จึงมีราคาแพง

2. การประชาสัมพันธ์ การให้ข้อมูล และการถ่ายทอดความรู้ให้แก่เกษตรกรและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องด้านการเกษตรน้อย จึงทำให้ไม่เป็นที่รู้จักและไม่แพร่หลาย

3. การเผาถ่านชีวภาพทำให้เกิดควัน จึงเป็นการเพิ่มมลภาวะทางอากาศ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยีการผลิต และส่งเสริมการใช้ถ่านชีวภาพแก่เกษตรกรด้วยการนำเสนออย่างเป็นขั้นตอนที่เข้าใจง่าย

2. ควรวิจัยและพัฒนาการผลิตถ่านชีวภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้วิธีการผลิตที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ วิธีการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อลดต้นทุนและให้ได้ผลตอบแทนสูงสุด และลดการเกิดควันเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. ควรมีการประชาสัมพันธ์โดยใช้สื่อที่สามารถเข้าถึงเกษตรกรได้ง่ายและมากที่สุด และใช้สื่อที่หลากหลาย

สรุปผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มมากขึ้น สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และ แคลเซียมในดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในทุกตำรับการทดลอง ส่วนปริมาณแมกนีเซียมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวะของดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆ ทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ได้แก่ แอคติโนมัยซีส แบคทีเรีย และเชื้อรามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆที่เพิ่มขึ้นทำให้การกระจายของขนาดเม็ดดินมีการเปลี่ยนแปลงและขนาดของเม็ดดินเพิ่มขึ้น

4. การเก็บกักคาร์บอนในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆ มีแนวโน้มทำให้การเก็บกักคาร์บอนในดินเพิ่มมากขึ้น โดยแปรผันไปตามอัตราการใช้ถ่านชีวภาพ

5. การใช้ถ่านชีวภาพอัตราต่างๆปรับปรุงดินกรดมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนเพิ่มขึ้น โดยการใช้ถ่านชีวภาพ 2 ตันต่อไร่ ข้าวโพดให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 881.27 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 3 ตันต่อไร่ ที่ให้ผลผลิตเท่ากับ 861.40 ตันต่อไร่ แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ 1 ตันต่อไร่ และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 831.03 และ 804.93 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ดังนั้นหากเกษตรกรจะปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในพื้นที่ดินกรด ชุดดินหล่มเก่า แนะนำให้ใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 2 ตันต่อไร่

6. ทัศนคติของเกษตรกรที่มีต่อการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความคิดเห็นเชิงบวกต่อการใช้ถ่านชีวภาพ โดยเกษตรกรส่วนใหญ่คิดว่าถ่านชีวภาพมีประโยชน์และควรนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน

7. ความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ด้านการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนาที่ดิน คิดว่าถ่านชีวภาพมีประโยชน์ทางด้านการเกษตร เนื่องจาก ถ่านชีวภาพมีรูพรุนตามธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีความร่วนซุยขึ้น ผลผลิตสูงขึ้น ลดการใช้ปุ๋ยเคมี ช่วยกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน ช่วยระบายอากาศและการซึมของน้ำ ลดความเป็นกรดของดิน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ถ่านชีวภาพต้องคำนึงถึงวัตถุดิบในท้องถิ่นที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชที่ปลูก

2.ข้อสังเกตของผู้รวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์และเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ พบว่า เกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนให้ข้อสังเกตว่าข้าวโพดฝักอ่อนในแปลงที่ใช้ถ่านชีวภาพ มีรสชาติหวานและกรอบกว่าแปลงที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ และเกษตรกรมีความสนใจการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เกษตรของตนเอง จึงควรมีการส่งเสริมและถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับถ่านชีวภาพให้เกษตรกรเพิ่มเติมหรือวิจัยเพิ่มเติมในแง่ของคุณภาพผลผลิต

3. จากปัญหาด้านประสิทธิภาพการผลิตของเตาเผาถ่านชีวภาพ คือ สามารถผลิตได้น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และขาดแคลนวัตถุดิบสำหรับทำถ่านชีวภาพ ดังนั้น ควรมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพให้ได้ปริมาณมากในการเผาแต่ละครั้ง

4. ปัญหาด้านกระบวนการผลิตมีความยุ่งยาก ดังนั้น จึงควรมีการถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยีการผลิต และส่งเสริมการใช้ถ่านชีวภาพแก่เกษตรกร ด้วยการนำเสนออย่างเป็นขั้นตอนที่เข้าใจง่าย เพื่อให้เกษตรกรมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ถ่านชีวภาพที่ถูกต้อง นอกจากนี้เจ้าหน้าที่หรือนักวิชาการเกษตร ควรมีการวิจัยและพัฒนาการผลิตถ่านชีวภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้วิธีการผลิตที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำให้แก่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ และควรมีการประชาสัมพันธ์โดยใช้สื่อที่สามารถเข้าใจง่าย และเข้าถึงเกษตรกรได้อย่างทั่วถึง

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เป็นแนวทางให้เกษตรกรใช้ถ่านชีวภาพในการแก้ไขและปรับปรุงพื้นที่ดินกรดเพื่อผลิตข้าวโพดฝักอ่อนอินทรีย์

2. เป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานทั้งภาครัฐ เอกชน เจ้าหน้าที่การเกษตรและเกษตรกรที่สนใจสามารถนำไปใช้ประโยชน์ และศึกษาต่อยอดเพื่อให้ได้วิธีปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

3. นอกจากถ่านชีวภาพใช้เป็นสารปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มคุณภาพดินเพื่อปลูกพืชอินทรีย์แล้ว ยังใช้เป็นแนวทางการลดต้นทุนการผลิตโดยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี

4. การใช้ถ่านชีวภาพเป็นแนวทางลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสนับสนุนการเกษตรเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 1 ดินบนพื้นที่ราบต่ำ**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กฤษณา บุญศิริ และ กฤษฎา ชูช่วย. 2558. ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว. **ว. วิทยาศาสตร์เกษตร.** ปีที่ 46 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2558.

เกศศิรินทร์ แสงมณี, ชัยนาม ดิสถาพร และสุรชัย สุวรรณชาติ. 2557. น. 605-608. การจัดการดินด้วยเทคโนโลยีชีวภาพและถ่านชีวภาพในการผลิตผักคะน้าในดินทราย. **ว. วิทยาศาสตร์เกษตร.** ปีที่ 45 ฉบับที่ 2 (พิเศษ) พฤษภาคม-สิงหาคม 2558.

จิตนิภา ศรีวัธนทรัพย์. 2558. **นักวิจัยแนะเกษตรกรใส่ "ถ่านชีวภาพ" ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพิ่มผลผลิตข้าวไร่.** (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: http//www.kku.ac.th. กองบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เจริญ เจริญจำรัส. 2541. **ดินเปรี้ยวจัดและการจัดการเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในประเทศไทย.** กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.

บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์ และนวลจันทร์ ภาสดา. 2560. **การศึกษาสมบัติของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดินและผลผลิตพืชสมุนไพรขมิ้นชันในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด.** กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.

ปรเมศ บันเทิง. 2558. การตอบสนองของพันธุ์ข้าวเหนียวดำภายใต้การจัดการปุ๋ยและถ่านชีวภาพที่แตกต่างกันในพื้นที่ดินเค็ม. **แก่นเกษตร** 43 (1): 79-92.

พินิจภณ ปิตุยะ. 2557. **เอกสารองค์ความรู้ เรื่อง ถ่านชีวภาพ.** ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. นราธิวาส.

พุทธิภณ ศิริมูล ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช พรทิพย์ ศรีมงคล และ วิมลนันทน์ กันเกตุ. 2557. อิทธิพลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารและผลผลิตของข้าวในสภาพดินเค็ม. **ว. วิทย์. กษ.** 45(2) (พิเศษ): 637-640.

วิชุตา กัลยาศิริ. 2556. **ผลของถ่านชีวภาพที่มีต่อผลผลิตข้าวและคุณภาพดินเหนียวปนทราย กรณีศึกษาตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และอรสา สุกสว่างวาร. 2556. การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. **วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์** 39 (2): 223-229.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551. **เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการพัฒนาการผลิตและการใช้ประโยชน์น้ำส้มควันไม้.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

เสาวคนธ์ เหมวงษ์ และศศิธร เชื้อกุณะ. 2554. การใช้ถ่านปรับปรุงดินเพื่อปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวหวาน. **วารสารเกษตร** 27 (3): 259-266.

เสาวคนธ์ เหมวงษ์. 2557. ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี** 16 (1): 69 -75.

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. 2551. **คู่มือการผลิตถ่านคุณภาพสูงและน้ำส้มควันไม้เพื่อใช้ในครัวเรือน.** สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพมหานคร.

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์. 2552. **ถ่านเพื่อการปรับปรุงดิน.**วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. ยะลา

Al-Wabel, M.I., A. Al-Omran, A.H. El-Naggar, and M. Nadeem. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. **Bioresource Technology.** 131: 374-379.

Angin, D., 2013. Effect of pyrolysis temperature and heating rate on biochar obtained from pyrolysis of safflower seed press cake. Bioresource Technology 128: 593-597.

Angers, D.and S.Recous. 1997. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. **Plant and Soil.** 189: 197-203.

Antal, M.J., and M. Gronli. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. **Industrial & Engineering Chemistry Research.** 42: 1619-1640.

ASTM D4607-94. 2011. **Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon**. ASTM International, West Conshohoeken, Pensylvania.

Barton, C.J. 1948. Photometric analysis of phosphate rock. **Analytical Chemical.** 20: 1068-1073.

Bray, R.H., and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39-45.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of soils.** Thirteenth ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey.

Brewer, C.E. and R.C. Brown. 2012. Biochar. pp. 357-384. In: A. Sayigh, (Ed), **Comprehensive Renewable Energy**. Elsevier, Oxford.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. pp. 891-901. In C.A. Black, ed. Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Methods**. Am. Soc. Monogr.** No. 9, Madison, Wisconsin, USA.

Chintala, R., T.E. Schumacher, S. Kumar, D.D. Malo, J.A. Rice, B. Bleakley, G. Chilom, D.E. Clay, J.L. Julson, S.K. Papiernik, and Z.R. Gu. 2014. Molecular characterization of biochars and their influence on microbiological properties of soil. **J. Hazard.** 279: 244-256.

Demirbas, A. and G. Arin. 2002. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residue. **J. Anal. Appl. Pyrolysis** 72: 243-248.

Goldstein, J. 2003. **Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis**. Kluwer Adacemic/Plenum Pulbishers. The Netherlands.

Isaac, R.A., and J.D. Kerber. 1971. Atomic Absorption and flame photometry: uses in soil, plant and water analysis. pp. 17-37. In L.M. Walsh (ed.) **Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue.** Soil Sci. Sc. of Am., Madison, Wisconsin.

Jackson, M.L. 1958. **Soil Chemical analysis.** Prentice-Hall, Inc., Englewod Cliffs, N.J.

Lehmann, J. 2003a. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant Soil** 249: 343-357.

Lehmann, J. and M. Rondon. 2006. Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics. pp. 517–530. In N. Uphoff *et al. (*eds.) **Biological approaches to sustainable soil systems.** CRC Press, Taylor and Francis Group. Florida.

Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and Environment.** 5: 381–387.

Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. **Biochar for Environmenttal Management Science and Technology**. Earthscan Plb. UK and USA.

Lehmann, J., Matthias C. R., Janice T., Caroline A. M., and C. David. 2011. Biochar effects on soil biota. **Soil Biology and Biochemistry** 43(9):1812-1836.

Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, S. Sohi, J.E. Thies,J.O. Skjemstad, F.J. Luizao, M.H. Engelhard, E.G. Neves, and S. Wirick. 2006. Stability of biomass derived black carbon in soils. **Geochimica** 72: 6096–6078.

Lua, A.C., T. Yang, and J. Guo. 2007. Effects of pyrolysis conditions on the properties of activated carbons prepared from pistachio-nut shells. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis** 72: 279-287.

Major, J., M. Rondon, D. Molina, S.J. Riha, and J. Lehmann. 2010. Maize yield and nutrition after 4 years of doing biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil** 333:117–128.

Major, J., M. Rondon, D. Molina, S.J. Riha, and A. Libutti. 2016. Effect of biochar amendment on nitrate retention in a silty clay loam soil. Italian **Journal of Agronomy.** http://www.dx.doi.org/10.4081/ija.2016.780.

Mulcahy, D.N. and D.L. Mulcahy. 2013. Biochar soil amendment increases tomato seedling resistance to drought in sandy soils. **Journal of Arid Environments** 88: 222–225.

Masto, R.E, Md.A. Ansari, J. George, V.A. Selvi, and L.C. Ram. 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.

Nele, A., 2016. Biochar-induced N_2O emission reductions after field incorporation in a loam soil. **Geoderma** 267:10–16.

Novak, J.M., I. Lima, B. Xing, J.W. Gaskin, C.Steiner, K.C. Das, M. Ahmedna, D. Rehrah, D.W. Watts, W.J. Busscher, and H. Schomberg. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. **Annals of Environmental Science** 3: 195-206.

Oguntunde, P.G. 2008. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. **Biol. Fertil. Soil.** 39: 295-299.

Peech, M., R.A. Olsen, and G.H. Bolt. 1953. The significance of potentiometric measurements involving liquid junction in clay and soil suspension. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 17: 214-218.

Peech, M., 1965. Hydrogen-ion activity. pp. 914-926. In C.A. Black *et al*., Eds. **Methods of Soil Analysis. Part 2.** American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Peterson, D. 2009. **Biochar structure [Online].** Available: http://www.slideplayer.us /slide/799098 (Searched 2 October 2014).

Pratt, P.E. 1965. Potassium. pp. 1022-1030. In C.A.Black. **Methods of Soil Analysis, Part 2.** American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Raven, J. A. 1983. The transport and function of silicon in plants. **Biol. Rev.** 58, 179–207.

Sarah, C., S. Simon, S. Saran, B.S.Tan, and H. Stephan. 2013. Impact of Biochar Application on Soil Properties and Plant Growth of Pot Grown Lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). **Agronomy** 3: 404-418.

Six, J., R.T. Conant, E.A. Paul, and K. Pautian. 2002. Soil structure and organic matter. Distribution of aggregation size class and aggregate size classes and aggregate associated carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64: 681-689.

Tang, J., Y. Mo, J. Zhang, and R. Zhang, 2011. Influence of biological aggregating agents associated with microbial population on soil aggregate stability. **Appl. Soil Ecol.** 47: 153-159.

Tsai, W.T., M.K. Lee, and Y.M. Chang. 2006. Fast pyrolysis rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor. **Journal of Analytical and**

Applied Pyrolysis 76: 230-237. 2007. Fast pyrolysis of rice husk: Production yield and composition. Bioresource Technology 98: 22-28.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** 37: 29-38.

Zhang, Q., F.A.Dijkstra, R.X. Liu X, Y.D. Wang, J. Huang, and N. Lu. 2014. Effects of Biochar on Soil Microbial Biomass after Four Years of Consecutive Application in the North China Plain. **PLOS ONE** 9(7): e102062. doi:10.1371/journal.pone.0102062.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดิน (1)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 1:1)

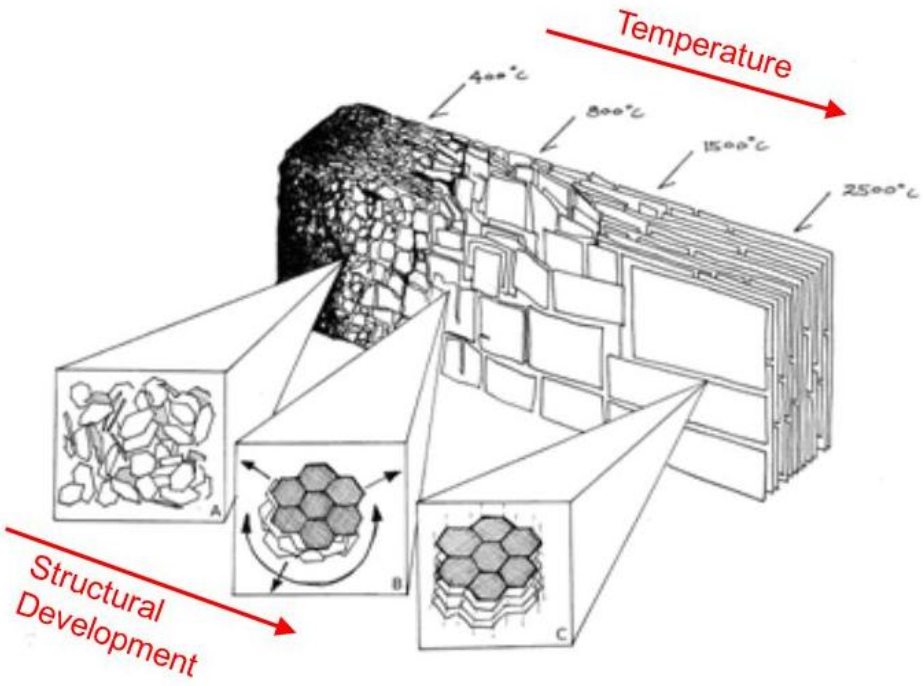
ระดับ	ค่าที่วัดได้
กรดรุนแรงมากที่สุด	<3.5
กรดรุนแรงมาก	3.5-4.5
กรดจัดมาก	4.6-5.0
กรดจัด	5.1-5.5
กรดปานกลาง	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	6.1-6.5
กลาง	6.6-7.3
ด่างเล็กน้อย	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	7.9-8.4
ด่างจัด	8.5-9.0
ด่างจัดมาก	>9.0

ที่มา : Land Classification Division และ FAO Project Staff, 1973 ; Soil Survey Division Staff, 1993

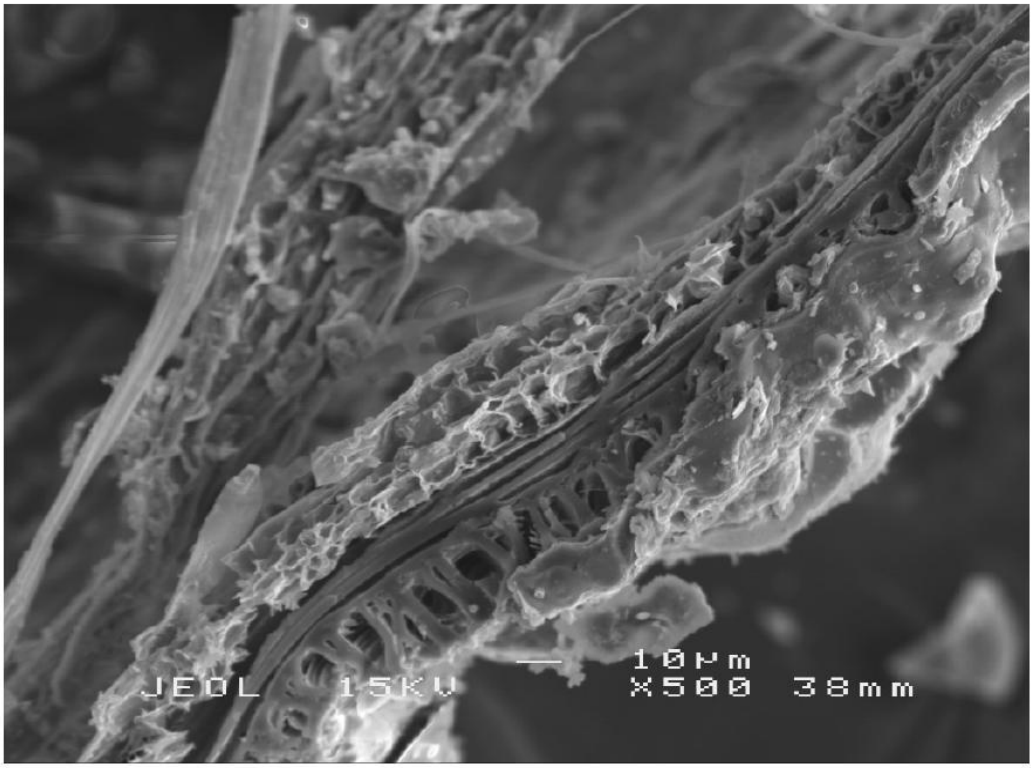
ตารางผนวกที่ 2 ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดิน (2)

ระดับ	%OM	P ($mgkg^{-1}$)	K ($mgkg^{-1}$)	Ca ($mgkg^{-1}$)	Mg ($mgkg^{-1}$)	S ($mgkg^{-1}$)	Na ($mgkg^{-1}$)
ต่ำมาก	<0.5	<3	<30	<400	<36	<5	<25
ต่ำ	0.5-1.5	3-10	30-60	401-1000	36-120	5-10	25-70
ปานกลาง	1.6-2.5	11-15	61-90	1001-2000	121-365	11-20	70-160
สูง	2.6-3.5	16-45	91-120	2001-4000	366-975	21-30	160-450
สูงมาก	>.3.5	>45	>120	>4000	>975	>30	>450

หมายเหตุ ที่มา Standard rating USDA



ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิต่างๆ ตามอุดมคติ: a) โครงสร้าง คาร์บอนไม่เป็นระเบียบ (อสัณฐาน), b) โครงสร้างคาร์บอนมีการจัดเรียงตัว, c) โครงสร้างคาร์บอนมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ (ที่มา: Peterson, 2009)



ภาพผนวกที่ 2 รูพรุนของถ่านชีวภาพจากแกลบ (แสดงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน)

ภาพผนวกที่ 3 โรงสีชุมชนที่ตำบลบึงสามพัน อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์

ภาพผนวกที่ 4 สาธิตการทำถ่านชีวภาพจากเตาเผาถ่านแบบชาวบ้าน (เตาเผาถ่านอิวาตะ)

ภาพผนวกที่ 5 เตรียมพื้นที่เพื่อดำเนินการทดลอง

ภาพผนวกที่ 6 ใส่ถ่านชีวภาพที่อัตราต่างๆกันในแปลงทดลองวิจัย

ภาพผนวกที่ 7 การให้น้ำแก่ข้าวโพดฝักอ่อน

ภาพผนวกที่ 8 นำเกษตรกรดูแปลงทดลองวิจัย

ภาพผนวกที่ 9 ทัศนคติของเกษตรกรที่มีต่อการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน