ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลาดเท ในกลุ่มชุดดินที่ 55 จังหวัดน่าน

Effect of Biochar on the Growth and Yield of Maize on sloping Land in Soil Series Group No.55, Nan Province.

จัดทำโดย

นายดนัย พรอำนวยลาภ
นายวิวัฒน์ สวยสม

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 62-63-03-12-010000-102-01-23
กลุ่มวางแผนการใช้ที่ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 7
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
(พฤศจิกายน 2564)

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

แบบ วจ.3

แบบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทะเบียนวิจัย 62-63-03-12-010000-102-01-23
ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลาดเท ในกลุ่มชุดดินที่ 55 จังหวัดน่าน
ผู้รับผิดชอบ นายดนัย พรอำนวยลาภ
หน่วยงาน กลุ่มวางแผนการใช้ที่ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 7 กรมพัฒนาที่ดิน
ผู้ร่วมดำเนินการ นายวิวัฒน์ สวยสม
หน่วยงาน กลุ่มวิจัยเคมีดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน
เริ่มต้น เดือน เมษายน พ.ศ.2562 สิ้นสุดเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2563
รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 19 เดือน

สถานที่ดำเนินการ	พิกัด	ชุดดิน	กลุ่มชุดดิน	ชนิดดิน
จังหวัดน่าน อำเภอสันติสุข ตำบลดู่พงษ์ บ้านโป่งคำ	E703306 N2088262	วังสะพุง	55	ดินร่วนปนดินเหนียว

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งสิ้น

ปีงบประมาณ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน	รวม
2562	-	146,000	146,000
2563	-	142,000	142,000
รวม	**-**	**288,000**	**288,000**

แหล่งงบประมาณที่ใช้ เงินงบประมาณแผ่นดิน : ทุนงบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรมปี 2563

พร้อมนี้ได้แนบรายละเอียดประกอบตามแบบฟอร์มที่กำหนดมาด้วยแล้ว

ลงชื่อ.....
(นายดนัย พรอำนวยลาภ)
ผู้รับผิดชอบโครงการ

ลงชื่อ.....
(นายนครินทร์ ชมภู)
ผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานต้นสังกัด
วันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2564

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 62-63-03-12-010000-102-01-23

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย (ภาษาไทย) ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลาดเท ในกลุ่มชุดดินที่ 55 จังหวัดน่าน

(ภาษาอังกฤษ) Effect of Biochar on the Growth and Yield of Maize on sloping Land in Soil Series Group No.55, Nan Province.

กลุ่มชุดดินที่ 55 ชุดดินวังสะพุง Soil Series Group No.55, Wang Saphung series: Ws

สถานที่ดำเนินการ บ้านโป่งคำ หมู่ที่ 5 ตำบลดู่พงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน

ผู้ร่วมดำเนินการ นายดนัย พรอำนวยลาภ Mr. Danai Pornamnuaylap
นายวิวัฒน์ สวยสม Mr. Wiwat Suaysom

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลาดเท ในกลุ่มชุดดินที่ 55 จังหวัดน่าน ดำเนินการที่บ้านโป่งคำ หมู่ที่ 5 ตำบลดู่พงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน ระหว่างปี พ.ศ. 2562-2563 โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ 6 ตำรับการทดลอง ได้แก่ แปลงควบคุม (T1) การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ (T2) การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T3) การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T4) การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ (T5) และการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (T6) ผลการทดลอง พบว่า หลังสิ้นสุดการทดลอง สมบัติของดินมีการเปลี่ยนแปลง โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เพิ่มขึ้นในทุกตำรับการทดลอง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5.1-5.4 ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 2.41-2.92 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 5.4-16.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 71.0-141.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้นอยู่ระหว่าง 243.7-448.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้นอยู่ระหว่าง 104.9-183.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากค่าความสูงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้ง 2 ปี พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพและปุ๋ยหมักในอัตราต่าง ๆ และไม่ใช้ถ่านชีวภาพไม่ทำให้ความสูงแตกต่างกันทางสถิติ สำหรับผลผลิตที่ได้ทั้ง 2 ปี พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพและปุ๋ยหมักในอัตราต่าง ๆ มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้น โดยการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 1,120.33 กิโลกรัมต่อไร่ (ในฤดูปลูกที่ 2) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกตำรับการทดลอง

คำสำคัญ : ถ่านชีวภาพ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Abstract

This study was effect of biochar on the growth and yield of maize on sloping land in soil series group No.55, Nan province. The location was conducted in Pong Kham Baan, Moo 5, Du Phong, Santisuk district, Nan province between 2019-2020. Radomized Complete Block Design (RCBD) was applied for 3 replications and 6 treatments. Treatments were control plots (T1), 500 kilograms per rai of biochar application (T2), 1,000 kilograms ton per rai of biochar application (T3), 2,000 kilograms tons per rai of biochar application (T4), 500 kilograms per rai of compost application (T5), 1,000 kilograms ton per rai of compost application (T6). After experiment, results showed that soil properties had changed as follows: with applying biochar and compost the soil had the pH value between 5.1-5.4; the organic matter percentage increased and accounted for 2.41-2.92 percentage; avail.

phosphorus increased between 5.4-16.7 milligrams per kilogram, extr. potassium increased between 71.0-141.0 milligrams per kilogram, extr. calcium increased between 243.7-448.3 milligrams per kilogram and extr. magnesium in the soil accounted for 104.9-183.6 milligrams per kilogram. The experiment results showed that there is no statistical significant between biochar and compost application at different rates and non biochar and non compost. Also at different rate of biochar and compost application had a tendency to increase productivity of maize yield whereby using biochar for 2,000 kilogram per rai resulted in highest yields of maize equaling to 1,120.33 kilograms per rai which did not have any statistically significant.

Keyword : Biochar, Maize

หลักการและเหตุผล

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Maize หรือ Corn, Zea mays L.) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประทเศไทย ผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ที่มีความต้องหารใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ ในขณะที่ผลผลิตยังไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ในประเทศ จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในปี 2562 ประเทศไทยนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปริมาณ 681,458.60 ตัน มูลค่ารวม 4,772.17 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จึงจัดได้ว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 3 รองจากข้าวสาลี และข้าว โดยที่จังหวัดน่าน มีสภาพภูมิประเทศเป็นพื้นที่สูงชัน 85 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่จังหวัดน่าน การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ก่อให้เกิดปัญหาสังคมและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ปัญหาอุทกภัยอันเนื่องมาจากการมีพื้นที่ป่าลดลง ปัญหาหมอกควันจากการเผาเตรียมพื้นที่ และปัญหาการใช้สารเคมีในการเตรียมพื้นที่ ได้แก่ ยาฆ่าหญ้า ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพ เกิดสารเคมีตกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ แม่น้ำน่าน ซึ่งเป็นหนึ่งของแม่น้ำสายหลักของประเทศ

การคาดคะเนของคณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศแห่งสหประชาชาติ (IPCC) และจากการคาดคะเนปริมาณน้ำฝนในอนาคตของประเทศไทยคาดการณ์ว่า ภาคเหนือจะมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น แต่จำนวนวันฝนตกรวมรายปีลดลง ส่งผลให้ประสบปัญหาภัยแล้งรุนแรงขึ้น ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนำมาซึ่งความแปรปรวนของสภาพอากาศซึ่งมีแนวโน้มว่าอาจมีความถี่มากขึ้นและความรุนแรงมากขึ้นในภาคเหนือของประเทศไทย

การใช้เทคโนโลยีถ่านชีวภาพกักเก็บคาร์บอนลงดิน เป็นการตัดวงจรการกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีนี้กำลังได้รับการยอมรับจากสหประชาชาติให้เป็นเครื่องมือลดภาวะโลกร้อนและเป็นกลไกทางเศรษฐกิจต่อจากพิธีสารเกียวโต สำหรับช่วยให้ประเทศกำลังพัฒนามีแหล่งทุนในการทำโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด ด้วยการนำมวลชีวภาพซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรมาแยกสลายด้วยความร้อนแทนการเผาทิ้ง เพื่อแยกคาร์บอนจากมวลชีวภาพมาอยู่ในรูปของถ่านชีวภาพ เมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงในดิน จะสามารถกักเก็บคาร์บอนซึ่งมีสภาพเสถียรให้อยู่ในดินได้เป็นเวลายาวนาน นอกจากนั้นถ่านชีวภาพยังช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้น เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ลดการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้รายได้มีโอกาสเพิ่มขึ้น สำหรับประเทศไทยถ่านชีวภาพได้รับความสนใจในแง่ของความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยการใช้เป็นเครื่องมือกักเก็บคาร์บอนลงสู่ดิน โดยเฉพาะดินในภาคเกษตรกรรม ประเทศไทยจึงเป็นประเทศที่มีศักยภาพประเทศหนึ่ง เนื่องจากมีผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา ปาล์ม และข้าวโพด การเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลการเกษตรเหล่านี้ มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือชีวมวลจำนวนมาก

งานวิจัยครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินจากการใช้ถ่านชีวภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินจากการใช้ถ่านชีวภาพ
2. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากการใช้ถ่านชีวภาพ

การตรวจเอกสาร

ถ่านชีวภาพ (Biochar) มีลักษณะเหมือนถ่านหินที่มีรูพรุน ซึ่งสสารเหล่านั้นอาจจะได้มาจากซากต้นไม้ การนำเอาซากพืชเหล่านี้ใส่เข้าไปในเครื่องที่มีลักษณะเหมือนถังแปดเหลี่ยมที่สามารถให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงมาก สสารเหล่านั้นจะถูกให้ความร้อนผ่านกระบวนการย่อยสลาย ด้วยการให้ความร้อนทางเคมี เรียกว่า ไพโรไลซิส (Pyrolysis) หลังจากผ่านกระบวนการดังกล่าวภายในไม่กี่ชั่วโมง สสารจากสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นวัตถุที่มีลักษณะกลมเหมือนถ่านหินซึ่งชาวไร่สามารถใช้สสานเหล่านี้เป็นปุ๋ย ปัจจุบันถ่านชีวภาพเป็นอีกหนึ่งทางเลือกใหม่ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การสร้างพลังงานผลิตภัณฑ์อาหารและการลดภาวะโลกร้อน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มการย่อยสลายและแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสารชีวภาพขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและการช่วยให้พืชดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างช้า ๆ ในขณะที่พืชสังเคราะห์แสง (Lehmann, 2007)

ประโยชน์ของถ่านชีวภาพนั้น จะช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เนื่องจากถ่านชีวภาพสามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในระยะยาวได้ด้วยการกักเก็บคาร์บอนในดิน ช่วยปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากเมื่อใส่ถ่านชีวภาพลงดินจากลักษณะความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพจะช่วยกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน ทำให้เกิดกิจกรรมต่าง ๆ ขึ้นส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้นช่วยลดการสูญเสียปุ๋ยจากการชะล้าง เนื่องจากการใส่ถ่านชีวภาพจะเพิ่มความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารในดิน ทำให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายทางการเกษตรและส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มรายได้ นอกจากนั้นแล้วยังช่วยผลิตพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานทางเลือก เนื่องจากกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากมวลชีวภาพเป็นการแยกสลายด้วยความร้อน จะทำให้พลังงานชีวภาพซึ่งสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนในการขนส่งและในระบบอุตสาหกรรมได้ อาทิเช่น เชื้อเพลิงชีวภาพ และยังสามารถได้รับการพัฒนาเพื่อการพาณิชย์ในด้านต่าง ๆ เช่น ผลิตกระแสไฟฟ้า การสกัดสารชีวภาพและเป็นองค์ประกอบของยา เป็นต้น และช่วยในกระบวนการจัดการเศษวัสดุอินทรีย์ได้ เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีถ่านชีวภาพมีศักยภาพในการกำจัดของเสียโดยเฉพาะการกำจัดกลิ่น ทำให้เกิดการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Lehmann and Joseph, 2009)

นอกจากนั้นแล้วกระบวนการเผาถ่านชีวภาพสามารถผลิตน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพ ปัจจุบันเกษตรกรและหน่วยงานต่าง ๆ ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากผลพลอยได้ของน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้ในการไล่แมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่า กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพโดยทั่วไปมีกระบวนการทางเคมีที่สำคัญ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการแรกเป็นการไล่ความชื้น (Dehydration) กระบวนการที่สอง เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก และกระบวนการสุดท้ายเป็นกระบวนการทำถ่านให้บริสุทธิ์ (Refinement) มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 500-600 องศาเซลเซียล (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาเกษตรศาสตร์, 2551) ปฏิกิริยาทั้งสามขั้นตอนสามารถเขียนได้ดังสมการข้างล่างนี้ (Demirbas, 2004)

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

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

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

ระหว่างกระบวนการไพโรไลซิสชีวภาพจะค่อย ๆ สูญหายไป (ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ระเหยได้) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุพรชัย (2551) ที่กล่าวว่ากระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในเนื้อไม้จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียล และเสร็จสิ้นสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียล ซึ่งสังเกตได้จากมีควันออกมาที่ปล่องควัน โดยควันที่ออกมาจะประกอบด้วยสารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นใหม่

มากมายหลายชนิดจากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน ดังนั้นระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โครงสร้างคาร์บอนของไม้จะยังคงปรากฏอยู่ ทำให้ถ่านชีวภาพที่ได้มีรูพรุน

ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพนอกจากขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผลิต (ชีวมวล) ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการเผาถ่าน ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราความร้อน และระยะเวลา (Demirbas and Arin, 2002; Tsai *et al.,* 2007) ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสที่เพิ่มขึ้นจาก 250 องศาเซลเซียล ถึง 500 องศาเซลเซียล พบว่า พื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียสารอินทรีย์ระเหยได้ในเปลือกถั่วพิตาชิโอเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ Novak *et al.,* (2009) ศึกษาถ่านชีวภาพจากวัสดุที่แตกต่างกันและอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสที่แตกต่างกัน พบว่า กระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และขี้เถ้าเพิ่มสูงขึ้น ขณะเดียวกันองค์ประกอบคาร์บอนของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้นแต่องค์ประกอบของออกซิเจน (O) และไฮโดรเจน (H) มีลดลง (Angin, 2013) เช่นเดียวกัน Al-Wabel *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณลักษณะของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ตระกูลวงศ์สมอ สกุล *Conocarpus* ที่อุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสที่แตกต่างกัน พบว่า ผลผลิตถ่านชีวภาพมีปริมาณลดลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาณถ่านชีวภาพที่ลดลง เนื่องมาจากการสูญเสียของสารอินทรีย์บางอย่าง เช่น เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ยิ่งอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสเพิ่มสูงขึ้น การสูญเสียสารอินทรีย์ของเศษไม้ก็เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบของถ่านชีวภาพ พบว่า องค์ประกอบของแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส (Ca, Mg, K และ P) เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสที่สูงขึ้น และจากองค์ประกอบของแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ถ่านชีวภาพมีสมบัติเป็นด่างตามไปด้วย

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

นอกจากนี้ Oguntunde *et al.* (2008) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางกายภาพของดินในประเทศกานา โดยเปรียบเทียบดินที่ใส่และไม่ใส่ถ่านชีวภาพ พบว่า ดินที่มีการใส่ถ่านชีวภาพมีค่าการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวเพิ่มขึ้นถึง 88 เปอร์เซ็นต์ สีของดินมีสีคล้ำขึ้น ค่าความหนาแน่นรวมของดินลดลง 9 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก 45.7 เปอร์เซ็นต์ เป็น 50.6 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ อิสริยาภรณ์ (2552) ได้ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพปรับปรุงดินในเขตร้อนชื้นที่มีกระบวนการชะล้างสูงและมีปริมาณอินทรียวัตถุและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และผลการศึกษา พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพช่วยให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความพรุนของถ่านชีวภาพทำให้ดินมีการระบายอากาศได้ดียิ่งขึ้นและมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ด้วย จากสภาพดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน เช่น เชื้อราไมคอร์ไรซา และแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้ และยังพบว่าถ่านชีวภาพมีอินทรีย์คาร์บอนที่คงทนต่อการย่อยสลายด้วย

Mulcahy *et al.* (2013) ศึกษาปริมาณของถ่านชีวภาพในอัตราต่าง ๆ ได้แก่ 0 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถ่านชีวภาพต่อปริมาตรดิน ต่อการต้านทานการเหี่ยวแห้งของต้นมะเขือเทศในดินทราย พบว่า ถ่านชีวภาพที่อัตรา 15 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรถ่านชีวภาพต่อปริมาตรดิน ต้นมะเขือเทศจะสามารถทนต่อการเหี่ยวแห้งได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การใส่ถ่านชีวภาพควรกระจายอยู่บริเวณรากของต้นพืช เพราะคุณสมบัติของถ่านชีวภาพสามารถเก็บกักความชื้นไว้

นอกจากนี้ Masto *et al.* (2013) ศึกษาการใช้เถ้าลอย (fly ash) ร่วมกับถ่านชีวภาพในการเพิ่มธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงทดลอง พบว่า สามารถแก้ไขปัญหาดินกรด โดยทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงขึ้น เนื่องจากเถ้าลอยและถ่านชีวภาพมีองค์ประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สูง (เถ้าลอยมีแคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 4,280 และ 1,010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และดินมีธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้นเพราะเถ้าลอยและถ่านชีวภาพมีฟอสฟอ รัสและ

โพแทสเซียมสะสมอยู่มาก (เถ้าลอยมีปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 760 และ 711 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ขณะเดียวกันโลหะหนักในดิน (สังกะสี นิเกิล โคบอลท์ ทองแดง แมงกานีส แคดเมียม และตะกั่ว) มีปริมาณลดลงเพราะมีการดูดซับโลหะหนักที่พื้นผิวของถ่านชีวภาพและการตกตะกอนของโลหะหนักในดินจากสภาวะดินที่เป็นกรดลดลง

การปรับวงจรคาร์บอนทางทฤษฎีให้เข้าสู่สมดุลธรรมชาติ ทำโดยควบคุมการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลลดการตัดไม้ทำลายป่าและการเผาสารอินทรีย์ เพื่อกักเก็บคาร์บอนให้อยู่ในรูปของแข็ง และเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช้าลง จึงมีนักวิจัยนำเสนอความคิดว่า หลังจากพืชตาย หากนำเศษซากพืชที่มิได้ใช้ประโยชน์มาทำถ่านชีวภาพแล้วใส่ในดิน ก็จะปรับดุลคาร์บอนไปสู่ทิศทางที่ถูกกักเก็บในดินนานขึ้น และหมุนเวียนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สู่บรรยากาศช้าลง หรือสร้างสภาวะคาร์บอนเป็นลบ (Carbon negative) ซึ่งเป็นทางหนึ่งที่ช่วยบรรเทาปัญหาโลกร้อน (Lehmann and Joseph, 2009) ประกอบกับการใส่ถ่านชีวภาพลงไปดิน มีผลด้านการบำรุงดิน จึงมีการศึกษาในเรื่องนี้ค่อนข้างมาก

การใช้ถ่านชีวภาพนั้นมีผลต่อสมบัติของดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งการศึกษาวิธีบำรุงดินด้วยถ่านชีวภาพที่ผ่านมานั้นมิได้ดำเนินการในดินทั่วไป แต่งานวิจัยในดินเขตร้อนชื้นที่มีการชะละลายสูงและมีสภาพเสื่อมโทรมดินเป็นกรด โพแทสเซียมต่ำและฮิวมัสต่ำมาก เนื่องจากอินทรียวัตถุสลายตัวรวดเร็ว การใส่ปุ๋ยเคมีในดินประเภทนี้ แม้จะแก้ปัญหาได้บางส่วนแต่พบว่า ประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยเคมีค่อนข้างต่ำ ส่วนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์แม้จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินได้ดี แต่อินทรียวัตถุที่สลายตัวเร็ว ประโยชน์ที่ได้รับจึงอยู่ในช่วง 2-3 ฤดูกาลปลูกพืช เว้นแต่จะใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่องเท่านั้น เมื่อมีการทดลองใช้ถ่านชีวภาพกับดินประเภทต่าง ๆ ในเขตร้อนชื้น พบว่า คาร์บอนในสารปรับปรุงดินชนิดนี้เป็นรูปที่มีเสถียรภาพ แม้ว่าจะสลายตัวเล็กน้อยในช่วงแรก แต่ส่วนที่เหลือจะทนทานอย่างยิ่ง (Major *et al.,* 2010)

วิชุตา (2556) พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในดินเหนียวปนทราย อัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ ในแปลงปลูกข้าวพันธุ์เหลืองและพันธุ์นาสาร พบว่า ต้นข้าวที่ได้รับถ่านชีวภาพมีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ ความสูง น้ำหนัก ลำต้น และราก การแตกกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้น และข้าวพันธุ์นาสารให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์เหลือง

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลาดำเนินการ เริ่มต้น เดือนเมษายน 2562
สิ้นสุด เดือนธันวาคม 2563

สถานที่ดำเนินการ บ้านโป่งคำ หมู่ที่ 5 ตำบลดู่พงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน

สภาพพื้นที่ (Site Characterzation)

ชุดดินวังสะพุง (Fine, mixed, active, isohyperthermic Typic Haplustalfs) กลุ่มชุดดินที่ 55 ลักษณะสมบัติของดิน เป็นดินลึกปานกลาง ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลเข้มถึงน้ำตาลปนเทาเข้ม ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงปานกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างตอนบนเป็นดินเหนียว สีแดงปนเหลืองถึงแดง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) ตอนล่างเป็นดินเหนียวมีเศษหินปะปนหนาแน่น และส่วนใหญ่พบชั้นหินพื้นภายในความลึก 100 ซม. สีน้ำตาลปนแดงหรือน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ดินมีความสมบูรณ์ปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์การทดลอง

- วัสดุการเกษตรที่เป็นปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ได้แก่ ถ่านชีวภาพ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยเคมี
- เมล็ดพันธุ์พืช ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
- อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช และอื่น ๆ ตามที่จำเป็น

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 แผนการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลาดเท ในกลุ่มชุดดินที่ 55 จังหวัดน่าน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 6 ตำรับการทดลอง ดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 แปลงควบคุม

ตำรับการทดลองที่ 2 ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับการทดลองที่ 3 ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับการทดลองที่ 4 ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับการทดลองที่ 5 ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับการทดลองที่ 6 ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

2.2 วิธีการดำเนินการ

1. ผลิตถ่านชีวภาพด้วยไม้ลำไย โดยใช้เตาเผาถ่านแบบชาวบ้าน

2. ดำเนินการคัดเลือกพื้นที่ที่มีความลาดชัน

3. เก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลอง หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ฤดูปลูกที่ 1 และที่ 2 ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร โดยเก็บ 3 ตัวอย่างต่อแปลง ได้แก่ 1) บริเวณด้านบนของแปลง 2) บริเวณตรงกลางของแปลง และ3) บริเวณด้านล่างของแปลง เพื่อวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมี ได้แก่ pH, %OM, Avail P, Extr. K, Extr. Ca และ Extr. Mg

4. เตรียมพื้นที่ทำแปลง ขนาด 5x20 เมตร ยาวตามความลาดชัน จำนวน 18 แปลงย่อย ระยะห่างระหว่างแปลง 1 เมตร ฝั่งแผ่นสังกะสี สูง 20 เซนติเมตร รอบแปลง สำหรับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในทุกตำรับการทดลอง ได้แก่ ใส่ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และกำจัดวัชพืชโดยการใช้ยาฆ่าหญ้า ก่อนปลูกข้าวโพด 21 วันในทุกตำรับการทดลอง

5. ปลูกข้าวโพด ระยะปลูก 25x75 เซนติเมตร ตามแนวขึ้นลงของพื้นที่ โดยการกระทุ้งหยอดหลุม หลุมละ 2 เม็ด เมื่อเมล็ดงอกให้ถอนออกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ใส่ถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมัก ตามอัตราของแต่ละวิธีการ ทำกับดักแมลง ได้แก่ หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด วางให้ทั่วแปลง

6. การเก็บเกี่ยวผลผลิต เริ่มเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อายุ 180 วัน

7. การเก็บบันทึกข้อมูล

- ข้อมูลดิน วิเคราะห์สมบัติทางเคมี
- เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

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

9. ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกันทั้งฤดูปลูกที่ 1 และ 2

10. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้ง 2 ฤดูปลูก และเขียนสรุปรายงานผลการวิจัย

2.3 วิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างดิน

1. ปฏิกิริยาดิน (Soil reaction) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าปฏิกิริยาของดิน (pH meter) อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 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. ความเป็นกรดเป็นด่าง (Acidic-alkaline compose) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter) อัตราส่วน เท่ากับ 1:2 (Peech, 1953)

2. ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter) โดยดัดแปลงมาจากวิธี Walkey-Black modified (Walkley and Black, 1934)

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

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

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

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. สมบัติของถ่านชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษานี้ได้ใช้ไม้ลำไยมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพสำหรับการทดลองผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลาดเท ในกลุ่มชุดดินที่ 55 จังหวัดน่าน ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพจากไม้ลำไย พบว่า มีปฏิกิริยาของดิน (pH) 7.31 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) 23.02 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Total P_2O_5) 0.35 เปอร์เซ็นต์ และมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Total K_2O) 0.57 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียม (Total CaO) 2.43 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแมกนีเซียม (Total MgO) 0.14 เปอร์เซ็นต์ ค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในของเหลว (EC) 0.19 ds/m ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 13.35 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณธาตุอาหาร (%) ของถ่านชีวภาพ (Biochar)

ถ่านชีวภาพ	ค่าที่วัด
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.31
ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) (%)	23.02
ปริมาณฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) (%)	0.35
ปริมาณโพแทสเซียม (Total K_2O) (%)	0.57
ปริมาณแคลเซียม (Total CaO) (%)	2.43
ปริมาณแมกนีเซียม (Total MgO) (%)	0.14

2. สมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่นำมาใส่ในแปลงทดลองเพื่อเพิ่มธาตุอาหารพืช มีปฏิกิริยาของดิน (pH) 8.79 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) 5.44 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Total P_2O_5) 0.72 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Total K_2O) 3.10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียม (Total CaO) 15.19 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแมกนีเซียม (Total MgO) 1.14 เปอร์เซ็นต์ ค่าเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในของเหลว (EC) 5.92 ds/m ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 3.15 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก	ค่าที่วัด
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.79
ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) (%)	5.44
ปริมาณฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) (%)	0.72
ปริมาณโพแทสเซียม (Total K_2O) (%)	3.10
ปริมาณแคลเซียม (Total CaO) (%)	15.19
ปริมาณแมกนีเซียม (Total MgO) (%)	1.14

3. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน

3.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลองแบบ composite sample ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน (ตารางที่ 3) พบว่า มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 5.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สภาพดินอยู่ที่ระดับเป็นกรดจัด ปริมาณอินทรียวัตถุในดินปานกลาง เท่ากับ 2.30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ เท่ากับ 4.0, 59.2 และ 107 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณแคลเซียมอยู่ในระดับต่ำมาก เท่ากับ 213 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีของดินก่อนทดลอง ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.0
ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) (%)	2.30
ปริมาณฟอสฟอรัส (Avail. P_2O_5) (mg/kg)	4.0
ปริมาณโพแทสเซียม (Avail. K_2O) (mg/kg)	59.2
ปริมาณแคลเซียม (Avail. Ca) (mg/kg)	213
ปริมาณแมกนีเซียม (Avail. Mg) (mg/kg)	107

3.2 สมบัติทางเคมีของดินในฤดูปลูกที่ 1 และหลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร

3.2.1 ปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพและปุ๋ยหมัก ไม่มีผลทำให้ค่าปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีความแตกต่างกันทางสถิติกับแปลงควบคุม มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนดำเนินการทดลองและมีค่าใกล้เคียงกันทุกตำรับการทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 5.1-5.4 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลดลง หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฤดูปลูกที่ 2 พบว่าทุกตำรับการทดลองปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 5.2-5.4 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมัก ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 7.31 และ 8.79 ตามลำดับ ช่วยปรับสภาพ pH ของดินมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปฏิกิริยาความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ พชรพล และ สุขุมาภรณ์ (2561) ซึ่งศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงของพริกขี้หนูซูเปอร์ฮอทภายใต้สภาวะดินเปรี้ยว พบว่า เมื่อใส่ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในดินเปรี้ยว ทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้น ศิริลักษณ์ และอรสา (2556) ได้ศึกษาการใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยคอกและถ่านชีวภาพในการปลูกผักคะน้า พบว่า ถ่านชีวภาพช่วยทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาของ บรรเจิดลักษณ์ และรติกร (2560)

โดยประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้คุณสมบัติทางเคมีของดินมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนการใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ เกศศิรินทร์ และคณะ (2557) ซึ่งศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมีของดินปลูก รวมถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดคอส พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้สมบัติทางเคมีของดินปลูกมีค่าแตกต่างกันอ่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่า เนื่องจากบริเวณพื้นผิวถ่านชีวภาพจะมีประจุลบของหมู่ฟีนอลิก หมู่ไฮดรอซิล และหมู่คาร์บอนิล ซึ่งจะทำหน้าที่จับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ละลายอยู่ในดิน นอกจากนี้ ซิลิเกตคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตที่ปรากฏอยู่ในถ่านชีวภาพยังช่วยในการจับไฮโดรเจนไอออนอีกทางหนึ่ง ทำให้ไฮโดรเจนไอออนที่ละลายอยู่มในดินมีปริมาณลดลงส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดลดลง (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	5.0	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1. แปลงควบคุม	5.1	5.2 b
2. ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	5.4	5.4 a
3. ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	5.2	5.3 ab
4. ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	5.3	5.3 ab
5. ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	5.1	5.2 b
6. ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	5.4	5.4 a
ค่าเฉลี่ย	5.2	5.3
p<0.05	ns	*
CV (%)	2.34	1.98

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.2.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีเพียง 2.31 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดิน มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุดเท่ากับ 2.81 เปอร์เซ็นต์และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ และปริมาณอินทรียวัตถุจัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง รองลงมา ได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 2.71 2.69 และ 2.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำสุดเท่ากับ 2.31 เปอร์เซ็นต์ หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและอยู่ในระดับค่อนข้างสูง โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุดและอยู่ในระดับค่อนข้างสูงเท่ากับ 2.99 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตำรับการทดลองอื่น ๆ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 และ 500

กิโลกรัมต่อไร่ การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เท่ากับ 2.92 2.81 2.80 และ 2.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำสุดที่สุดเท่ากับ 2.51 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5) จะเห็นได้ว่า การใส่ถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมัก มีปริมาณเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุสูงและจากวิเคราะห์ถ่านชีวภาพและปุ๋ยหมัก พบว่า ถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมัก มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงเท่ากับ 23.02 และ 5.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีส่วนทำให้เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและช่วยเพิ่มปริมาณชีวมวลในดินจากปริมาณเศษซากพืชนั้น ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้น (บรรเจิดลักษณ์ และรติกร, 2560) และจากการศึกษาผลของถ่านชีวภาพร่วมกับการจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตและความเข้มข้นธาตุอาหารในถั่วฝักยาวไร้ค้าง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพมีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าตำรับที่ไม่ใช้ถ่านชีวภาพ (สายชล และ สิริวรรณ ,2563) นอกจากนั้นการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับการให้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวไร่ พบว่า มีผลทำให้ดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (จิตนิภา, 2558)

ตารางที่ 5 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	อินทรียวัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์)	
ก่อนการทดลอง	2.31	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1. แปลงควบคุม	2.41 c	2.51 c
2. ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	2.71 ab	2.81 ab
3. ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	2.81 a	2.92 ab
4. ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	2.81 a	2.99 a
5. ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	2.55 bc	2.68 bc
6. ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	2.69 ab	2.80 ab
ค่าเฉลี่ย	2.66	2.79
p<0.05	*	*
CV (%)	3.14	4.68

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

3.2.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน มีเพียง 4.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นในทุกตำรับการทดลอง (ตารางที่ 6) แต่ยังอยู่ในระดับต่ำ โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 8.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกตำรับการทดลอง รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 7.6 และ 7.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 7.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 5.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับแปลงควบคุมที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 6.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังสิ้นสุดการ

ทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับต่ำถึงสูง โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 16.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 13.4 8.7 และ 8.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของถ่านชีวาภาพซึ่งมีความพรุนรวมสูง จึงช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดีและช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ทำให้ดินมีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ (Peterson, 2009 และ Masto *et al.,* 2013) และสอดคล้องกับการศึกษาทดลองของ Zhang *et al.* (2014) ศึกษาบทบาทของถ่านชีวภาพที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์และการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสในดิน พบว่า ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดิน แต่ปริมาณการดูดซับนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำถ่านชีวภาพ และสอดคล้องกับการศึกษาของ กฤษณาและกฤษฎา (2558) พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพในปริมาณที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการใส่ถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	4.0	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1. แปลงควบคุม	6.3 bc	6.5 d
2. ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	7.0 ab	8.7 c
3. ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	7.6 ab	13.4 b
4. ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	8.2 a	16.7 a
5. ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	5.4 c	6.1 d
6. ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	7.1 ab	8.1 cd
ค่าเฉลี่ย	6.9	9.9
p<0.05	*	*
CV (%)	12.02	11.38

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

3.2.4 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน มีเพียง 59.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (ตารางที่ 7) โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 133.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเท่ากับ 126.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถัดมาส่วนการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเท่ากับ 111.9 107.7 และ 96.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุม มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 154.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

รองลงมาได้แก่ การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเท่ากับ 141.0 132.3 124.0 114.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุม มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 111.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าทั้ง 2 ฤดูปลูก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การใส่ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลองประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้น (บรรเจิดลักษณ์ และรติกร, 2560) เนื่องจาก คุณสมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งมีความพรุนรวมและมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดี (Peterson, 2009) และ สอดคล้องกับการศึกษาทดลองของพุทธิภณและคณะ, 2557 พบว่า ดินที่มีการใส่ถ่านชีวภาพทำให้โพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินไม่ถูกชะล้างให้สูญหายไปในดินได้โดยง่าย เนื่องจากถ่านชีวภาพมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคนไอออนสูง จึงมีผลทำให้หลังสิ้นสุดการทดลองดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูง

ตารางที่ 7 ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	59.2	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1. แปลงควบคุม	71.0 b	111.7
2. ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	107.7 ab	124.0
3. ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	126.7 a	132.3
4. ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	133.5 a	154.1
5. ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	96.9 ab	114.2
6. ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	111.9 ab	141.0
ค่าเฉลี่ย	108.0	129.6
p<0.05	*	ns
CV (%)	19.53	17.20

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.2.5 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน มีเพียง 213 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับต่ำมาก หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ (ตารางที่ 8) โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 434.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ปุ๋ยหมักออัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 395.3 และ 426.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 341.7 และ 330 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุม มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 243.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับต่ำมาก

ถึงต่ำ และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญในทุกตำรับการทดลอง โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 448.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 380.3 352.3 338.0 และ 352.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุม มีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 270 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าทั้ง 2 ฤดูปลูก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การใส่ถ่านชีวภาพทุกอัตราช่วยเพิ่มปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีองค์ประกอบของแคลเซียมที่สูง (Masto *et al.,* 2013) นอกจากนี้ การใส่ถ่านชีวภาพจะช่วยเพิ่มปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน (Brady and Weil, 2008; Liang *et al.,* 2006) และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งมีความพรุนรวมสูง จะช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองการใส่ถ่านชีวภาพร่วมกับการให้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าไร่ มีผลทำให้ดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (จิตนิภา, 2558) และการทดลองประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น (บรรเจิดลักษณ์และรติกร, 2560)

ตารางที่ 8 ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	213	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1. แปลงควบคุม	243.7 b	270.0 d
2. ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	330.0 ab	352.3 bcd
3. ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	395.3 a	380.3 abc
4. ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	434.7 a	448.3 a
5. ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	341.7 ab	338.0 cd
6. ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	426.7 a	434.0 ab
ค่าเฉลี่ย	362.0	370.5
p<0.05	*	*
CV (%)	16.71	13.15

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

3.2.6 ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ก่อนดำเนินการทดลองปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน มีเพียง 107 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 9) โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 181.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 178.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 161.1 146.1 และ 143.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุม มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็น

ประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 120.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังสิ้นสุดการทดลองในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกตำรับการทดลองและอยู่ในระดับต่ำ โดยตำรับการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดเท่ากับ 183.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 179.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 147.5 145.6 และ 136.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาสถิติกับแปลงควบคุมซึ่งมีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุดเท่ากับ 104.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าทั้ง 2 ฤดูปลูก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การใส่ถ่านชีวภาพทุกอัตราช่วยเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีองค์ประกอบของแมกนีเซียมที่สูง (Masto *et al.,* 2013) นอกจากนั้นแล้วการใส่ถ่านชีวภาพจะช่วยเพิ่มปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินสูง (Brady and Weil, 2008; Liang *et al.,* 2006) อีกทั้งคุณสมบัติของถ่านชีวภาพซึ่งมีความพรุนรวมสูง จึงช่วยดูดซับธาตุอาหารได้ดี

ตารางที่ 9 ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
ก่อนการทดลอง	107	
หลังการทดลอง	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1. แปลงควบคุม	120.7 c	104.9 c
2. ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	146.1 bc	136.4 b
3. ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	161.1 ab	147.5 b
4. ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	178.7 a	179.1 a
5. ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	143.5 bc	145.6 b
6. ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	181.7 a	183.6 a
ค่าเฉลี่ย	155.3	149.5
p<0.05	*	*
CV (%)	10.91	8.79

หมายเหตุ: * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

4. การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

4.1 ความสูงต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 10) โดยตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ต้นข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด คือ 210.3 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 1,000 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีความสูงใกล้เคียงกันเท่ากับ 207 206 203.3 และ 198.7 เซนติเมตร ตามลำดับ และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความแตกต่างทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ต้นข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด คือ 229.7 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 1,000 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ มีความสูงใกล้เคียงกันเท่ากับ 226 225 222.7 และ 219.3 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ความสูงต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (เซนติเมตร) ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)	
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1. แปลงควบคุม	196.7	202.7
2. ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	203.3	222.7
3. ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	206.0	225.0
4. ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	207.0	226.0
5. ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	198.7	219.3
6. ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	210.3	229.7
ค่าเฉลี่ย	203.7	220.9
$p<0.05$	ns	ns
CV (%)	3.71	6.25

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.2 ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฤดูปลูกที่ 1 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 11) โดยตำรับการทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวโพดให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 1,005.26 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ การใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน เท่ากับ 1,000.07 986.48 972.17 และ 855.17 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตในฤดูปลูกที่ 2 พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีผลทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความแตกต่างทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวโพดให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 1,120.33 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 500 กิโลกรัมต่อไร่ และใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน เท่ากับ 1,091.12 1,066.90 1,051.59 และ 894.02 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ การใช้ถ่านชีวภาพทำให้ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้น เนื่องจากถ่านชีวภาพมีความคงตัว มีพื้นที่ผิวภายในและรูพรุนสูงและช่วยเพิ่มปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เอื้อต่อการใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพดิน เพื่อการเพาะปลูกทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ส่งผลให้ผลผลิตพืชเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วจากการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพ พบว่า มีซิลิคอนอยู่ในองค์ประกอบ ซึ่งมีส่วนช่วยเสริมความแข็งแรงในเซลล์พืชด้วย (Raven, 1983) สอดคล้องกับการศึกษาผลของการใส่ถ่านชีวภาพต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดพันธุ์ดอกคูณ 49 พบว่า น้ำหนักผลผลิตฝักสดข้าวโพดเมื่อถึงอายุการเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยตำรับการทดลองที่ใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักดินแห้ง ให้ผลผลิตข้าวโพดสูงสุดเท่ากับ 383 กรัมต่อต้น (เสาวคนธ์และศศิธร, 2554) จากการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเหนียวดำภายใต้การจัดการปุ๋ยคอก ปุ๋ยอนินทรีย์ และการใช้ถ่านชีวภาพที่แตกต่างกันในพื้นที่ดินเค็ม พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยคอก อัตรา 1.6 ตันต่อไร่ ทำให้องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตของข้าวสูงที่สุด (ปรเมศ, 2558) นอกจากนั้นแล้วยังสอดคล้องการประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราที่แตกต่างกัน ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดฝักอ่อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (บรรเจิดลักษณ์ และ รติกร, 2560)

ตารางที่ 11 ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (กิโลกรัมต่อไร่) ที่ความชื้น 14.5 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูปลูกที่ 1 และ 2

ตำรับการทดลอง	ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (กิโลกรัมต่อไร่)	
	ค่าเฉลี่ย	
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2
1. แปลงควบคุม	763.60	1,028.36
2. ถ่านชีวภาพ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	972.17	1,066.90
3. ถ่านชีวภาพ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	986.48	1,091.12
4. ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่	1,005.26	1,120.33
5. ปุ๋ยหมัก อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่	855.17	894.02
6. ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่	1,000.07	1,051.59
ค่าเฉลี่ย	930.46	1,042.05
p<0.05	ns	ns
CV (%)	10.91	12.59

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

สรุปผล

1. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมักในการปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มมากขึ้น สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในทุกตำรับการทดลอง

2. การใช้ถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมักในอัตราต่าง ๆ ปรับปรุงดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บนพื้นที่ลาดชัน มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้น โดยในฤดูปลูกที่ 2 การใช้ถ่านชีวภาพ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 1,120.33 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ถ่านชีวภาพอัตรา 1,000 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 1,091.12 และ 1,066.90 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 1,051.59 และ 894.02 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังนั้นหากเกษตรกรจะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลาดชัน ชุดดินวังสะพุง แนะนำให้ใช้ถ่านชีวภาพในอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ หรือใช้ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ถ่านชีวภาพต้องพิจารณาใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ เพื่อให้ได้ปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช

2. ปัญหาด้านการขนส่งของถ่านชีวภาพและปุ๋ยหมัก คือ สภาพพื้นที่เป็นที่ลาดชันสูง เกษตรกรจึงไม่สามารถนำปุ๋ยหมัก หรือถ่านชีวภาพไปใส่ในแปลงปริมาณมาก ๆ ได้ ควรให้เกษตรกรใช้ถ่านชีวภาพและปุ๋ยหมัก ในอัตราน้อย ๆ ต่อปี แต่ให้ใช้เป็นประจำต่อเนื่อง

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เป็นแนวทางให้เกษตรกรใช้ถ่านชีวภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ลาดชัน
2. เป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานทั้งภาครัฐ เอกชน เจ้าหน้าที่การเกษตร และเกษตรกรที่สนใจสามารถนำไปใช้ประโยชน์
3. การใช้ถ่านชีวภาพเป็นแนวทางลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสนับสนุนการเกษตรเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามชุดดิน เล่มที่ 1 ดินบนพื้นที่ดอน.** 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.

บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์ และรติกร ณ ลำปาง. 2560. **การประเมินคุณภาพดินและการใช้ถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เพื่อเพิ่มคาร์บอนในดินและเพิ่มผลผลิตพืชผักอินทรีย์ในพื้นที่ดินกรด.** กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.

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.

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

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. **ปริมาณการนำเข้าส่งออกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปี 2561 – 2562.** https://data.go.th/dataset/cornmarket61-62 เข้าถึงข้อมูลวันที่ 25 ตุลาคม 2564.

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

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

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.

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

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.

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

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 soil. **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.

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.** Pretice-Hall, Inc., Englewod Cliffs, N.J.

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.

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.

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.

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.

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

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.

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., 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 1 November 2021).

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

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.

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่ามาตรฐานความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil reaction)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (Ultra acid)	<3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.5
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.6-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	>9.0

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

ตารางภาคผนวกที่ 2 ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบระดับอินทรียวัตถุในดิน (organic matter)

ระดับ (rating)	วิธีการของ Walkley and Black
	พิสัย (ร้อยละ)
ต่ำมาก (very low)	< 0.5
ต่ำ (low)	0.5–1.0
ค่อนข้างต่ำ (moderately low)	1.0–1.5
ปานกลาง (medium)	1.5–2.5
ค่อนข้างสูง (moderately high)	2.5–3.5
สูง (high)	3.5–4.5
สูงมาก (very high)	> 4.5

ที่มา :สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ค่ามาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Avai.P)

ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)	Ca ($mg\ kg^{-1}$)	Mg ($mg\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (very low)	< 3	< 30	< 400	< 36
ต่ำ (low)	3-10	30-60	400-1000	36-120
ปานกลาง (medium)	11-15	61-90	1001-2000	121-365
สูง (high)	16-45	91-120	2001-4000	366-975
สูงมาก (very high)	> 45	> 120	> 4000	> 975

ที่มา :สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน (2547)

ภาพภาคผนวกที่ 1 เตาเผาถ่านชีวภาพแบบชาวบ้าน โดยใช้เศษไม้ลำไย ซึ่งมีมากในจังหวัดน่าน

ภาพภาคผนวกที่ 2 การสำรวจดิน และจำแนกดิน พบว่า เป็นชุดดินวังสะพุง กลุ่มชุดดินที่ 55

ภาพภาคผนวกที่ 3 การวางผังแปลงทดลอง พร้อมฝังสังกะสีรอบขอบแปลง

ภาพภาคผนวกที่ 4 การใช้ถ่านชีวภาพ และปุ๋ยหมัก ตามตำรับการทดลอง

ภาพภาคผนวกที่ 5 ต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตามตำรับการทดลอง

ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน