รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ด้วยไบโอชาร์ ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช

Study of the use of bio char to improve of effective biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and PGPR to improve soil fertility and to increase productivity of plant

โดย

นางจันจิรา แสงสีเหลือง

นางนวลจันทร์ ชะบา

นายวุฒิชัย จันทรสมบัติ

ทะเบียนวิจัยเลขที่ : 57 59 17 09 020203 005 103 00 12

กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพการจัดการมลพิษทางดินและน้ำ

กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

กรมพัฒนาที่ดิน

แบบ วจ.3

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทะเบียนวิจัย **57 59 17 09 020203 005 103 00 12**

ชื่อโครงการวิจัยศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ด้วยถ่านไบโอชาร์ (ไบโอชาร์) ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช

Study of the use of bio char to improve of effective biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and PGPR to improve soil fertility and to increase productivity of plant.

ผู้รับผิดชอบ นางจันจิรา แสงสีเหลือง นักวิชาการเกษตร ชำนาญการพิเศษ

หน่วยงาน กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

ผู้ร่วมดำเนินการ นางนวลจันทร์ ชะบา นักวิชาการเกษตร ชำนาญการพิเศษ

นายวุฒิชัย จันทรสมบัติ นักวิชาการเกษตร ชำนาญการพิเศษ

หน่วยงานกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

เริ่มต้นเดือน ตุลาคม พ.ศ.2557

สิ้นสุดเดือน กันยายนพ.ศ.2559

รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 2 ปี

สถานที่ดำเนินการ ตำบลดอนแร่อำเภอเมืองจังหวัดราชบุรี

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งสิ้น

ปีงบประมาณ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน	รวม
2558	-	150,000	0
2559	-	150,000	0

แหล่งงบประมาณที่ใช้

พร้อมนี้ได้แนบรายละเอียดประกอบตามแบบฟอร์มที่กำหนดมาด้วยแล้ว

ลงชื่อ .....

(นางจันจิรา แสงสีเหลือง)

ผู้รับผิดชอบโครงการ

ลงชื่อ .....

(.....)

ประธานกรรมการกลั่นกรองผลงานวิชาการของหน่วยงานต้นสังกัด

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ. .....

ทะเบียนวิจัยเลขที่ **57 59 17 09 020203 005 103 00 12**

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) : ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ด้วยถ่านไบโอชาร์ (ไบโอชาร์) ต่อการเพิ่มควาอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช

(ภาษาอังกฤษ) : Study of the use of bio char to improve of effective biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and PGPR to improve soil fertility and to increase productivity of plant.

กลุ่มชุดดินที่ -

สถานที่ดำเนินการ ตำบลดอนแร่ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี

ผู้ร่วมดำเนินการ

หัวหน้าโครงการ: นางจันจิรา แสงสีเหลือง นักวิชาการเกษตร ชำนาญการพิเศษ
กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน

ผู้ร่วมดำเนินการ: นางนวลจันทร์ ชะบา นักวิชาการเกษตร ชำนาญการพิเศษ
นายวุฒิชัย จันทรสมบัติ นักวิชาการเกษตร ชำนาญการพิเศษ
กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน

บทคัดย่อ

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ด้วยถ่านไบโอชาร์ (ไบโอชาร์) ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช ระหว่างปี 2558 - 2559 ณ แปลงทดลองตำบลดอนแร่ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี เพื่อศึกษาวิธีการและอัตราส่วนของถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 และศึกษาประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ด้วยถ่านไบโอชาร์ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืชโดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD มี 7 ตำรับ จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้ ตำรับที่ 1 ควบคุม ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน ตำรับที่ 3 ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ขยายเชื้อปุ๋ยหมัก 300 กก./ไร่ ตำรับที่ 4 ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว อัตรา 300 ลิตร/ไร่ ตำรับที่ 5 6 และ 7 ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ อัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กก./ไร่ พบว่า การใช้น้ำกากส่าความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ขยายนาน 2 วัน เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการขยายปริมาณเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว โดยใช้อัตราส่วนระหว่างถ่านไบโอชาร์ 1 ส่วน ต่อปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว 2 ส่วน แช่นาน 1 ชั่วโมง และจากการทดสอบประสิทธิภาพ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกคะน้า 25 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญของต้นคะน้า และเพิ่มอินทรียวัตถุ ปริมาณโพแทสเซียมในดินได้

Abstract

The effect of using bio char to improve effective biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and PGPR, soil fertility and to increase productivity of plant were studied during 2015-2016 at Ratchaburi province. The experimental design was RCBD with 7 treatments and 3 replications. There were (1) control method (without fertilizer), (2) chemical fertilizer recommend by Department of Agriculture (CF), (3) 75 % chemical fertilizer + LDD-12 300 kg/rai, (4) 75 % chemical fertilizer + LDD-12 liquid 300 liter/rai, (5) 75 % chemical fertilizer + LDD 12 mix bio cha 1,000 kg/rai, (6) 75 % chemical fertilizer + LDD 12 mix bio cha 1,500 kg/rai (7) 75 % chemical fertilizer + LDD 12 mix bio cha 2,000 kg/rai. The results showed that increasing microbial biomass of liquid fertilizer LDD 12 by culture in molasses alcohol slop (10%V/V) and molasses (5%V/V) added oxygen for 48 hours in fermenter, is the best method for microbial enrichment. Before using in field, liquid fertilizer LDD 12 was mixed with bio cha ratio 2 : 1 and soaked for 1 hour. For field experiment in Kale plantation, application of 100 % chemical fertilizer with 1,500 kg/rai of bio cha mixed with liquid fertilizer LDD 12 increased plant growth, crop yield, organic metter and potassium in soil. From this result, using 1,500 kg/rai of bio cha mixed with liquid fertilizer LDD 12 could reduce using 25 %.chemical fertilizer.

หลักการและเหตุผล

ถ่านไบโอชาร์ หรือ Biochar เป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากมวลชีวภาพ (Biomass) ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิเกิน 300 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของ Liang และคณะ (2006) พบว่า ถ่านไบโอชาร์ เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและมีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมีในดิน การหมุนเวียนธาตุอาหาร ปริมาณของถ่านไบโอชาร์ สูงจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน CEC ได้ดี (การแลกเปลี่ยนได้ดีอยู่ที่ pH 7) และการดูดซับของถ่านไบโอชาร์ จะเปลี่ยนแปลงตามหนาแน่น (ประสิทธิภาพ CEC ต่อพื้นที่) ซึ่งจะมีการเกิดทั้ง anion และ cationที่ผิวของถ่านไบโอชาร์ จะมีผลต่อการดูดซับธาตุอาหารเข้าไปในอนุภาคของถ่านไบโอชาร์ ซึ่งการแลกเปลี่ยนอยู่ภายใต้อุณหภูมิและความชื้น และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของพื้นที่ผิวถ่านไบโอชาร์ กับอนุภาคดินเหนียวและก้อนดิน มีการการใช้ถ่านไบโอชาร์ (Biochar) ในการปรับปรุงบำรุงดินในประเทศลาวใช้ถ่านไบโอชาร์ ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวไร่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศลาว ในระหว่างปี 2007 ช่วงฤดูฝน พบว่า การใช้ถ่านไบโอชาร์ ที่อัตราต่ำสุด 640 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีต่อการปรับปรุง saturated hydraulic conductivity ในช่วงบนของดินและการหมุนเวียนใน xylem sap ของต้นข้าว ผลที่ได้ถ่านไบโอชาร์ ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสต่ำ และช่วยในการตอบสนองต่อไนโตรเจน และปุ๋ยเคมีไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Hidetosh *et al*., 2009) และจุดเด่นของถ่านไบโอชาร์ ที่มีความพรุนสูง อุ้มน้ำ รักษาความชื้นได้ดี รวมทั้งมีปริมาณธาตุอาหาร ส่งผลต่อการการประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในดิน (จันทร์จรัส และคณะ, ม.ป.ป.)

การใช้ประโยชน์ถ่านไบโอชาร์ เพื่อใช้เป็นวัสดุพาหะ ดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับการอยู่รอดของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน *(Rhizobium, Azotobacter, Azospirillum และ Beijerinckia*) จุลินทรีย์ย่อยหินฟอสเฟต (Phosphate solubilizer) และจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซี่ยม (Silicate bacteria) และประสิทธิภาพของเชื้อต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ใช้เป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์ในดิน (Lauren and David, 2014) และจากรายงานการเพิ่มปริมาณถ่านไบโอชาร์ในดินพื้นที่เกษตรกรรม มีผลต่อการสะสมจุลินทรีย์กลุ่มผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตพืช (PGPR) และจากรายงานของ Johannes *et al*. (2011) คุณสมบัติของถ่านไบโอชาร์ที่มีรูพรุนสูงและมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีผลต่อความสามารถในการซับเซลล์แบคทีเรียจากหัวเชื้อรูปของเหลวได้ดี ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มขึ้นของรากพืชและผลผลิต

ดังนั้นในการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ เพื่อให้จุลินทรีย์มีชีวิตรอดได้สูง และส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช โดยศึกษาวิจัยและพัฒนาการปรับปรุงคุณภาพถ่านไบโอชาร์ เพื่อพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพที่มีประสิทธิภาพการนำใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการและอัตราส่วนของถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.12
2. ศึกษาประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ด้วยถ่านไบโอชาร์ ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช

การตรวจเอกสาร

ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างธาตุอาหารหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและสร้างฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 4 ประเภท (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุอาหารไนโตรเจนเป็นจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดินสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกิจกรรมเอนไซม์ไนโตรจีเนส ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ *Azotobacter tropicalis* เป็นจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดินสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกิจกรรมเอนไซม์ไนโตรจีเนส มีค่าการตรึงไนโตรเจน 1,246 nmol C_2H_4 /ต้น/ชั่วโมง ในการทดสอบกับข้าวโพด (พิกุล และดารารัตน์, 2552) จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุฟอสฟอรัส เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ ปลดปล่อยออกมาละลาย สารประกอบอนินทรีย์

ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปไม่ละลาย เช่น หินฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ ได้แก่ แบคทีเรียละลายสารประกอบฟอสเฟต *Burkholderia unamae* มีประสิทธิภาพละลายในดินที่มีสภาพ pH เป็นกรด กลาง และด่างเล็กน้อย ให้อยู่ในรูปฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น 14.27 % 13.76% และ 48.22% ตามลำดับ (ฉวีวรรณ, 2552) จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุโพแทสเซียม เป็นจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ช่วยละลายแร่ธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบในกลุ่มไมก้า เช่น ไบโอไทต์ มัสโคไวต์ และกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่น ไมโครไคลน์ ออโทเดลส ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ แบคทีเรียละลายสารประกอบโพแทสเซียม *Bacillus subtilis* เป็นจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์ช่วยละลายแร่ธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สามารถละลายโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น 9.02% (ฉวีวรรณ และคณะ, 2552) และจุลินทรีย์ที่สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือฮอร์โมนพืช ฮอร์โมนพืชที่แบคทีเรียสร้าง ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน การเจริญของรากขนอ่อน และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากทำให้ความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้นได้แก่ แบคทีเรียสร้างสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช *Azotobacter chroococcum* สามารถสร้างฮอร์โมนออกซิน 56.18 mg/l (Leaungvutiviroj *et al*., 2010) มีผลกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวและคะน้า จาก 76.67% และ 60% เป็น 93.33% (พิมพ์ธิดา และคณะ, 2552) ช่วยกระตุ้นการเจริญของรากขนอ่อน และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวราก ทำให้มีความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้นจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถเจริญที่อุณหภูมิระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส และเจริญในสภาพที่มีความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6-8

วิธีการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 จำนวน 1 ซอง (100 กรัม) และรำข้าว 3 กิโลกรัม ในน้ำ 1 ปี๊บ(20 ลิตร) คนให้เข้ากันนาน 5 นาที รดสารละลายปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ลงบนกองปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัม และคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปรับความชื้นให้ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักในที่ร่มเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าความสูง 50 เซนติเมตร และใช้วัสดุคลุมกองปุ๋ยเพื่อรักษาความชื้น บ่มเป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วจึงนำไปใช้วิธีการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ดังกล่าว สามารถเพิ่มปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระแบคทีเรียละลายสารประกอบฟอสเฟต แบคทีเรียละลายสารประกอบโพแทสเซียม และแบคทีเรียสร้างสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้ปริมาณเชื้อสูงสุด 1.4×10^{8}, 3.9×10^{13}, 6.1×10^{12}, และ 1.07×10^{14} เซลล์/กรัม ตามลำดับ (ฉวีวรรณ, 2552)

ถ่านแกลบยังช่วยปรับปรุงค่า pH มีธาตุอาหารโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ การระบายอากาศ ความหนาแน่นดินรวม และช่วยในการซึมซาบน้ำ ลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็กเรียงกันเป็นแนว และโครงสร้างภายในมีความพรุนมาก โครงสร้างนี้เกิดจากส่วนสำคัญสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์จำพวกเซลลูโลส ลิกนิน และส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ซึ่งมีซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักสมบัติเด่นของถ่านแกลบ คือ ความพรุนหรือซิลิกาในถ่านแกลบที่มีขนาดเล็กจิ๋วระดับนาโนเมตร (เท่ากับหนึ่งในสิบล้านส่วนของมิลลิเมตร) จากค่าวิเคราะห์สมบัติของถ่านแกลบมีค่า pH 7.81 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน:น้ำ 1:10 (EC) เท่ากับ 0.57 dS/m อินทรียวัตถุ (OM) 6.22 % ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) 0.09 % ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) 0.15 % โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K) 0.60 % ค่า C:N ratio เท่ากับ 40.2:1 (จันทร์จรัส และคณะ, ม.ป.ป.) และมีการนำถ่านแกลบมาใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์เม็ดถ่านแกลบ หรือถ่านทั่วๆ ไป ถ้าเอากล้องจุลทรรศน์ส่องดูจะเห็นเป็นรูจิ๋วๆ อยู่เต็มไปหมด รูพรุนเหล่านี้มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก แกลบที่กะเทาะจากข้าวเมล็ดเดียว เมื่อเผาเป็นถ่านจะมีรูพรุนนำมาเป็นวัสดุทำปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากมูลไก่ อัตราส่วนมูลไก่ต่อแกลบดำในอัตราส่วน 3 : 1 (มงคล, 2551)

ถ่านไบโอชาร์ หรือ Biochar เป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากมวลชีวภาพ (Biomass) ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิเกิน 300 องศาเซลเซียส (อรสา, 2552) จากการศึกษาของ Liang และคณะ (2006) พบว่า ถ่านไบโอชาร์เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและมีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมีในดิน การหมุนเวียนธาตุอาหาร โดยศึกษาในดินอับดับAnthrosols จาก Brazilian Amazon กับมีชีวมวลของถ่านคาร์บอนจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนค่า CEC ต่อ Unit ของ organic carbon ที่อยู่ใกล้ผิวดิน ปริมาณของถ่านไบโอชาร์ สูงจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน CEC ได้ดี (การแลกเปลี่ยนได้ดีอยู่ที่ pH 7) ต่อ organic carbon เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของถ่านไบโอชาร์ที่มีค่าต่ำ การออกซิไดซ์ของถ่านไบโอชาร์และการดูดซับของถ่านไบโอชาร์จะเปลี่ยนแปลงตามหนาแน่น (ประสิทธิภาพ CEC ต่อพื้นที่) ซึ่งจะมีการเกิดทั้ง

anion และ cation ที่ผิวของถ่านไบโอชาร์ จะมีผลต่อการดูดซับธาตุอาหารเข้าไปในอนุภาคของถ่านไบโอชาร์ ซึ่งการแลกเปลี่ยนอยู่ภายใต้อุณหภูมิและความชื้น และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของพื้นที่ผิวถ่านไบโอชาร์ กับอนุภาคดินเหนียวและก้อนดิน การใช้ถ่านไบโอชาร์ (Biochar) ในการปรับปรุงบำรุงดินในประเทศลาวใช้ถ่านไบโอชาร์ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวไร่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศลาวในระหว่างปี 2007 ช่วงฤดูฝน พบว่า การใช้ถ่านไบโอชาร์ ที่อัตราต่ำสุด 640 กก./ไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีต่อการปรับปรุง saturated hydraulic conductivity ในช่วงบนของดินและการหมุนเวียนใน xylem sap ของต้นข้าว ผลที่ได้ถ่านไบโอชาร์ ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสต่ำ และช่วยในการตอบสนองต่อไนโตรเจน และปุ๋ยเคมีไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Hidetosh *et al.,* 2009) ซึ่งให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ Liang และคณะ (2006) ถ่านไบโอชาร์ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและมีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมีในดิน การหมุนเวียนธาตุอาหาร โดยศึกษาในดินอับดับ Anthrosols จาก Brazilian Amazon กับมีชีวมวลของถ่านคาร์บอนจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนค่า CEC ต่อ Unit ของ organic carbon ที่อยู่ใกล้ผิวดิน ปริมาณของถ่านไบโอชาร์ สูงจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน CEC ได้ดี (การแลกเปลี่ยนได้ดีอยู่ที่ pH 7) ต่อ organic carbon และยังมีเพิ่มความจุความชื้นสนามของดินด้วย (Joseph *et al.,* 2007)

กากน้ำตาล หรือ โมลาสเป็นน้ำตาลที่ได้จากน้ำอ้อยที่เหลือจากกระบวนการทำให้เกิดการตกผลึกเป็นน้ำตาลทรายแล้ว มีลักษณะเหนียวข้นสีน้ำตาลเข้ม มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ มีสมบัติเป็นกรด pH 5.09-5.25 มีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง ระหว่าง 7.5-13.79 เดซิซีเมนต่อเมตร แสดงว่ามีความเข้มข้นของเกลือสูง ธาตุไนโตรเจนมีประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ 0.13-0.19 เปอร์เซ็นต์ และโพแทช 2.5-4.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนธาตุอาหารรองมีแคลเซียมและแมกนีเซียม 1.1-1.4 และ 0.4-0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสำคัญที่มีประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ คือ สารอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารสำคัญของจุลินทรีย์หรือเป็นตัวเริ่มต้นหรือสตาร์ทเตอร์สูงถึง 35 เปอร์เซ็นต์ประโยชน์ของกากน้ำตาลนอกจากเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ระยะเริ่มต้นแล้วกากน้ำตาลยังทำหน้าที่ดูดน้ำเลี้ยงออกจากเซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์ทำให้เซลล์เหี่ยวและแตก จึงง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ส่งผลให้กระบวนการหมักของปุ๋ยน้ำเกิดได้รวดเร็วขึ้น

น้ำกากส่า (Distillery Slop) เป็นน้ำทิ้งที่ออกจากหอกลั่นประเภท mash column ในการกลั่นสุราโดยวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักสุรา ได้แก่ กากน้ำตาล (Sugar cane molasses) จากการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นสูงทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเกิดจากสารคาราเมล (Caramel) ในน้ำกากส่า สารคาราเมลนี้เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชั่น (Polymerization) ในกระบวนการผลิตน้ำตาล ดังนั้นสารคาราเมลจึงมีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่ไม่ทราบโครงสร้างที่แน่นอน โดยทั่วไปเรียกสารประกอบพวกนี้ว่า เมลานอยดินสีน้ำตาล (brown melanoidin) สารเมลานอยดินจะอยู่ในสภาพคอลลอยด์และมีประจุลบ (Kato and Tsuchida, 1981)

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลาทำการวิจัย เดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 - เดือนกันยายน พ.ศ. 2559

สถานที่ทำการทดลอง - ห้องปฏิบัติการสำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน
- แปลงพื้นที่เกษตรกร ตำบลดอนแร่ อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สารเคมี อาหารเลี้ยงเชื้อ อุปกรณ์เครื่องแก้ว และเครื่องมือในการศึกษาสมบัติทางชีวภาพ
2. อุปกรณ์ในการเตรียมแปลง ได้แก่ เทปวัดระยะ ไม้ปักหลัก เครื่องมือไถพรวน (รถแทรกเตอร์) คราด และจอบ
3. อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างพืช ได้แก่ ถุงตาข่ายสำหรับเก็บตัวอย่าง ไม้เมตรสำหรับวัดความสูง เครื่องชั่งน้ำหนักพืชในสนาม

4. อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ พลั่วตักดินหรือขุดดิน (spades) ท่อเก็บตัวอย่างดิน (core sampling) ถุงเก็บตัวอย่างดิน (sample bags) และพลั่วตักดินขนาดเล็ก (minispades)

5. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางเคมีและฟิสิกส์ของดิน

5.1 pH meter (420A model)

5.2 Electrical conductivity meter (4010 model)

5.3 Micro-Kjeldahl distillation apparatus (Gerhard: VAP20 model)

5.4 Digestion apparatus (Gerhard: Ger 704000 model)

5.5 เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง

5.6 ตู้อบ (WTB Binder: EED 240 model)

6. เครื่องปั๊มออกซิเจน

7. ถังพลาสติก

8. ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลอง

9. กากน้ำตาล

10. ถ่านแกลบชีวภาพ

11. ปุ๋ยชีวภาพ พด.12

12. เมล็ดพันธุ์คะน้า

วิธีการ

1. การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 4 ชนิด ได้แก่ จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixing Bacteria, NFB) จุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัส (Phosphate Solubilizing Bacteria, PSB) จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม (Potassium Solubilizing Bacteria, KSB) จุลินทรีย์ที่สร้างฮอร์โมนให้พืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR) การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ผลิตปุ๋ยชีวภาพมาใช้ในการทดลอง เชื้อสด ทำการเลี้ยงเชื้อที่จะนำมาทดสอบใน incubator shaker ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 12 ชั่วโมง และดำเนินการเตรียมหัวเชื้อแห้ง โดยใช้ปุ๋ยหมัก 1.8 กิโลกรัม กล้าเชื้อ (inoculum) 300 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปผึ่งลม (air dry) ตรวจนับปริมาณเชื้อภายหลังการผึ่งลม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

2. ศึกษาอัตราส่วนผสม สำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลวต่อการเพิ่มปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์

1) วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 8 ตำรับทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

ตำรับที่ 1 น้ำ
ตำรับที่ 2 กากน้ำตาล 5 %
ตำรับที่ 3 น้ำกากส่า 10 %*+กากน้ำตาล 5 %
ตำรับที่ 4 น้ำกากส่า 20 %+กากน้ำตาล 5 %
ตำรับที่ 5 น้ำกากส่า 30 %+กากน้ำตาล 5 %
ตำรับที่ 6 น้ำกากส่า 40 %+กากน้ำตาล 5 %
ตำรับที่ 7 น้ำกากส่า 50 %+กากน้ำตาล 5 %
ตำรับที่ 8 น้ำกากส่า100%+กากน้ำตาล 5 %

หมายเหตุ : * เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของกากน้ำตาล เป็นแหล่งสารตั้งต้น สัดส่วน 1 : 10 กากน้ำตาลต่อน้ำ ในการขยายจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด. 6 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)

2) นำเชื้อจุลินทรีย์ที่เลี้ยงและเพิ่มปริมาณในอาหารเหลว ใส่ลงในวัสดุเป็นวัสดุพาหะ อัตราส่วนตามตำรับการทดลองใช้วิธีการ spread plate ในการตรวจนับปริมาณเชื้อ วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณของจุลินทรีย์แต่ละชนิด และการเติมออกซิเจนตลอด 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องปั๊มออกซิเจนปลา

3) ตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อนการทดลองและเก็บตัวอย่างทุกวันจนกว่าปริมาณเชื้อจะลดลง เพื่อตรวจนับปริมาณเชื้อทั้ง 4 ชนิด

3. ศึกษาวิธีการและอัตราการใช้ที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว

1. วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ทำการทดลอง 4*3 ซ้ำ 3 ประกอบด้วยตำรับ ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ระยะเวลาถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 เวลา 1 ชม.

ระยะที่ 2 เวลา 3 ชม

ระยะที่ 3 เวลา 6 ชม.

ปัจจัยที่ 2 อัตราส่วนของถ่านไบโอชาร์ ต่อปริมาตรเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว

ตำรับที่ 1 ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว : ถ่านไบโอชาร์ อัตราส่วน 2 : 1

ตำรับที่ 2 ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว : ถ่านไบโอชาร์ อัตราส่วน 3 : 1

ตำรับที่ 3 ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว : ถ่านไบโอชาร์ อัตราส่วน 4 : 1

2) นำเชื้อจุลินทรีย์ที่เลี้ยงและเพิ่มปริมาณในแต่ละตำรับ เมื่อขยายเชื้อครบกำหนดนำเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ขยายปริมาณเชื้อเรียบร้อยแล้วมาผสมกับถ่านไบโอชาร์ ตามอัตราที่กำหนดในแต่ละกรรมวิธี โดยแช่ถ่านไบโอชาร์อัตราส่วนตามตำรับการทดลองและเก็บตัวอย่าง เพื่อตรวจดูการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในถ่านไบโอชาร์ และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิด

3) การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixing Bacteria, NFB) ทำการแยกเชื้อโดย spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีแหล่งไนโตรเจน (MIA) โดยวิธี soil dilution plating method selective media จุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัส (Phosphate Solubilizing Bacteria, PSB) ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีการ spread plate ในอาหาร Pikovskaya’s medium บ่มเป็นเวลา 2-3 วัน สังเกตวงใสรอบโคโลนี ปรากฏ clear zone รอบโคโลนี จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม (Potassium Solubilizing Bacteria, KSB) ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารที่มี dihydrogen potassium phosphate เป็นส่วนประกอบและมี bromthymol blue ผสมอยู่เพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้การผลิตกรดอินทรีย์ของจุลินทรีย์สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหารจากสีเขียวเป็นสีเหลือง และจุลินทรีย์ที่สร้างฮอร์โมนให้พืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR) โดยใช้วิธี spread plate บนอาหาร glucose peptone agar บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน

4. การทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตคะน้าในแปลง

1) วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ 7 ตำรับ ดังนี้

ตำรับที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย (control)

ตำรับที่ 2 ปุ๋ยเคมี 100 %

ตำรับที่ 3 ปุ๋ยเคมี 75% + ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ขยายเชื้อปุ๋ยหมัก 300 กก. /ไร่ (กรมฯแนะนำ)

ตำรับที่ 4 ปุ๋ยเคมี 75% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว อัตรา 300 ลิตร/ไร่

ตำรับที่ 5 ปุ๋ยเคมี 75% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ อัตรา 1,000 กก. /ไร่

ตำรับที่ 6 ปุ๋ยเคมี 75% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ อัตรา 1,500 กก. /ไร่

ตำรับที่ 7 ปุ๋ยเคมี 75% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ อัตรา 2,000 กก. /ไร่

2) การดำเนินงาน

ปลูกคะน้าพันธุ์ยอดซึ่งมีพื้นที่ในการปลูก 1.5 เมตร x 4 เมตรต่อซ้ำ เริ่มหว่านเมล็ดโดยทำการหว่านเม็ดคะน้า 15 กรัม ลงในแปลงเมื่อคะน้ามีอายุได้ 21 วันจึงการถอนแยกให้มีระยะห่างระหว่างต้นเท่ากับ 20 เซนติเมตร

3) การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1) ความสูงของต้น ความเขียวใบ พื้นที่ใบของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยว 45 วัน แล้วคำนวณค่าเฉลี่ย

3.2) น้ำหนักสดต่อตารางเมตร และน้ำหนักแห้งต่อต้น ของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยว 45 วัน แยกใส่ซองกระดาษที่สะอาดนำมาชั่งน้ำหนักสดแล้วนำเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน เพื่อหาน้ำหนักแห้งของต้น

3.3) การเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ ความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

3.4) การเก็บตัวอย่างพืชวิเคราะห์ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

4) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ผลของการศึกษาอัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลวต่อการเพิ่มปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์

ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน จากการขยายเชื้อในกากน้ำตาล (ตารางที่ 1) พบว่า การขยายเชื้อร่วมกับการเติมออกซิเจนตลอด 24 ชั่วโมง นาน 24 และ 48 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณเชื้อแบคทีเรียไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเติมออกซิเจนตลอด 24 ชั่วโมง ใช้เวลาขยายเชื้อนาน 48 ชั่วโมง ส่งผลให้มีปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน มีค่าระหว่าง 6.41-7.00 $log_{10}CFU\ g^{-1}$ และปริมาณเชื้อจะลดลงเมื่อขยายเชื้อนาน 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่ขยายหัวเชื้อแต่สูตรแต่ละช่วงระยะเวลา

ตำรับ	ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน ($log_{10}CFUg^{-1}$)				
	0 ชม.	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
สูตร 1	nd	7.30	6.95	6.66[a]	nd
สูตร 2	4.95[b]	6.48	6.54	5.23[b]	nd
สูตร 3	4.23[b]	6.78	6.41	nd	nd
สูตร 4	nd	7.04	6.67	nd	nd
สูตร 5	nd	6.48	6.70	nd	nd
สูตร 6	6.30[a]	7.08	nd	nd	nd
สูตร 7	6.30[a]	6.66	7.00	nd	nd
สูตร 8	nd	nd	nd	6.70[a]	nd
F-test	**	ns	ns	**	-
%CV	7.64	4.96	5.36	1.71	-

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส จากการขยายเชื้อในกากน้ำตาล (ตารางที่ 2) พบว่า ต้องใช้ระยะเวลาขยายปริมาณเชื้อนาน 48 และ 72 ชั่วโมง ส่งผลให้การขยายปริมาณเชื้อแบคทีเรียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการเลี้ยงเชื้อนาน 48 ชั่วโมง แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัสสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำกากส่าทุกระดับความเข้มข้น มีค่าเท่า 7.77-9.44 $\log_{10}$ CFU g^{-1} และมีปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นที่ 72 ชั่วโมง มีค่าเท่า 8.84-9.31 $\log_{10}$ CFU g^{-1}และมีค่าลดลงเมื่อขยายเชื้อนาน 96 ชั่วโมง แต่ขณะที่การใส่น้ำกากส่าที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเชื้อน้อยที่สุด

ปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม จากการขยายเชื้อในกากน้ำตาล (ตารางที่ 4) พบว่า การขยายเชื้อร่วมกับการเติมออกซิเจนตลอด 24 ชั่วโมง นาน 48 ชั่วโมง ส่งผลให้การขยายปริมาณเชื้อแบคทีเรียมีค่าสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง8.09-9.43 $\log_{10}$ CFU g^{-1} ปริมาณเชื้อลดลงที่ 72 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณเชื้อมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใส่น้ำกากส่าที่ความเข้มข้น 20 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเชื้อสูงสุดเมื่อขยายเชื้อนาน 72 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 8.64-9.53 $\log_{10}$ CFU g^{-1}

ปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมน จากการขยายเชื้อในกากน้ำตาล (ตารางที่ 4) พบว่า การขยายเชื้อร่วมกับการเติมออกซิเจนตลอด 24 ชั่วโมง ส่งผลให้การขยายปริมาณเชื้อแบคทีเรียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตำรับที่ 1 มีค่าสูงสุดเท่า 7.15 $\log_{10}$ CFU g^{-1} ขณะที่การใส่น้ำกากส่าอัตรา 100 % ไม่สามารถตรวจนับปริมาณเชื้อได้โดยที่ระดับความเข้มข้นน้ำกากส่าอัตรา 10 % และ20 % มีผลให้ปริมาณเชื้อที่ขยายนาน 48 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกันมีปริมาณเชื้อเท่า 6.39-6.92 $\log_{10}$ CFU g^{-1} และลดลงเมื่อขยายเชื้อนาน 72 ชั่วโมง มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณเช่นเดียวกับแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน

จากการศึกษาอัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลวต่อการเพิ่มปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์จากการใช้น้ำกากส่าและกากน้ำตาล พบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถส่งเสริมการขยายปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่ขณะที่การใช่น้ำกากส่าที่ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนและแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัสและแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมสามารถเจริญได้ทุกระดับความเข้มข้น ดังนั้นจึงเลือกตำรับที่ 3 การใส่น้ำกากส่าความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้ง 4 ชนิด โดยที่มีปริมาณเชื้อไม่แตกต่างกัน ทั้งเนื่องจากถ้าใช้ระดับความเข้มข้นของกากน้ำตาลมากเกินไปจะมีผลต่อเจริญโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากกากน้ำตาล มีสมบัติเป็นกรด pH 5.09-5.25 มีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง ระหว่าง 7.5-13.79 เดซิซีเมนต่อเมตร และยังทำหน้าที่ดูดน้ำเลี้ยงออกจากเซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์ทำให้เซลล์เหี่ยวและแตก จึงง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ส่งผลต่อการเจริญเติบของจุลินทรีย์

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัสที่ขยายหัวเชื้อแต่ละสูตรในแต่ละช่วงระยะเวลา

ตำรับ	ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส (log_{10}CFU g^{-1})				
	0 ชม.	24ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
สูตร 1	nd	nd	7.12^{d}	7.34^{b}	nd
สูตร 2	nd	nd	9.72^{a}	8.85^{a}	8.31^{b}
สูตร 3	nd	7.97	7.77^{cd}	8.84^{a}	9.48^{a}
สูตร 4	nd	7.40	8.51^{abcd}	9.21^{a}	9.27^{ab}
สูตร 5	nd	7.20	9.44^{ab}	9.29^{a}	9.22^{ab}
สูตร 6	nd	nd	8.18^{bcd}	9.31^{a}	7.06^{c}
สูตร 7	nd	6.47	8.78^{abc}	9.13^{a}	6.80^{c}
สูตร 8	nd	nd	7.20^{d}	7.29^{b}	nd
F-test	-	ns	**	**	**
%CV					

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมที่ขยายหัวเชื้อแต่ละสูตรในแต่ละช่วงระยะเวลา

ตำรับ	ปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (log_{10}CFU g^{-1})				
	0 ชม.	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
สูตร 1	6.90^{ab}	7.64	8.38	8.01^{bc}	6.96^{b}
สูตร 2	5.87^{c}	8.51	8.63	8.10^{bc}	7.51^{ab}
สูตร 3	5.77^{c}	8.27	8.09	8.17^{bc}	8.08^{a}
สูตร 4	5.47^{c}	7.39	8.50	9.09^{ab}	7.22^{ab}
สูตร 5	5.69^{c}	7.20	8.34	7.28^{c}	8.18^{a}
สูตร 6	7.31^{a}	7.16	9.08	8.64^{ab}	nd
สูตร 7	6.47^{b}	7.60	9.43	9.53^{a}	6.69^{b}
สูตร 8	6.53^{b}	7.43	8.52	7.05^{c}	7.12^{b}
F-test =	**	ns	ns	**	*
%CV=	4.83	8.16	6.17	8.51	7.42

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 ปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืชที่ขยายหัวเชื้อแต่ละสูตรในแต่ละช่วงระยะเวลา

ตำรับ	ปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช (log_{10}CFU g^{-1})				
	0 ชม.	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
สูตร 1	nd	7.15[a]	6.88	nd	nd
สูตร 2	3.98	6.45[b]	6.59	nd	nd
สูตร 3	3.95	6.47[ab]	6.39	nd	nd
สูตร 4	nd	6.80[ab]	6.92	nd	nd
สูตร 5	nd	6.77[ab]	nd	nd	nd
สูตร 6	nd	5.47[c]	nd	nd	nd
สูตร 7	nd	6.82[ab]	nd	nd	nd
สูตร 8	nd	nd	nd	nd	nd
F-test	ns	**	ns	-	-
%CV	6.77	6.04	6.19		

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการศึกษาอัตราการใช้ที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว

ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนและปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช (ตารางที่ 5) ต่ออัตราที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว เมื่อทดสอบอัตราส่วนของถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว พบว่าอัตราส่วนถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลวที่ 3 อัตราส่วน ได้แก่ 1 : 2 1 : 3 และ 1 : 4 และระยะเวลาการดูดซับที่ 1 3 และ 6 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อที่ดูดซับได้ในถ่านแกลบชีวภาพไม่แตกต่างกันทางสถิต โดยปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนมีค่าอัตราส่วนถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ 3 อัตราส่วน ได้แก่ 1 : 2 1 :3 และ 1 : 4 มีค่าปริมาณเชื้ออยู่ที่ 5.27 5.27 และ 5.37 log_{10} CFU g^{-1} ตามลำดับ และระยะเวลาการดูดซับที่ 1 3 และ 6 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อมีค่าเฉลี่ย 5.13 5.35 และ 5.44 log_{10} CFU g^{-1} ตามลำดับ และปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืชที่ 3 อัตราส่วน ได้แก่ 1 : 2 1 : 3 และ 1 : 4 มีค่าปริมาณเชื้ออยู่ที่ 5.72 5.72 และ 5.69 log_{10} CFU g^{-1} ตามลำดับ และระยะเวลาการดูดซับที่ 1 3 และ 6 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อมีค่าเฉลี่ย 5.715.83 และ 5.53log_{10} CFU g^{-1} ตามลำดับ

ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส (ตารางที่ 6) ต่ออัตราที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลวเมื่อทดสอบอัตราส่วนของถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว พบว่าอัตราส่วนถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลวที่ 3 อัตราส่วน ได้แก่ 1 : 2, 1 : 3 และ 1 : 4 และระยะเวลาการดูดซับที่ 1 3 และ 6 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อที่ดูดซับได้ในถ่านแกลบชีวภาพไม่แตกต่างกันทางสถิต โดยปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัสมีค่าอัตราส่วนถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ 3 อัตราส่วน ได้แก่ 1 : 2, 1 : 3 และ 1 : 4 มีค่าปริมาณเชื้ออยู่ที่ 7.19 7.24 และ 7.32 log_{10} CFU g^{-1} ตามลำดับ และระยะเวลาการดูดซับที่ 1 3 และ 6 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อมีค่าเฉลี่ย 7.22 7.30 และ 7.24 log_{10} CFU g^{-1} ตามลำดับ

ปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (ตารางที่ 6) พบว่า ระยะการแช่ถ่านไบโอชาร์ มีผลต่อค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของระยะเวลาในการดูดซับปุ๋ยชีวภาพพด. 12 ชนิดเหลว โดยระยะเวลาการดูดซับที่ 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมสูงสุด 5.79 log_{10} CFU g^{-1} สูง

กว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลา 3 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อมีค่าเฉลี่ย 5.38 log_{10} CFU g^{-1} แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 6 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 5.51log_{10} CFU g^{-1} ตามลำดับ ขณะที่อัตราส่วนระหว่างถ่านไบโอชาร์ต่อปริมาณปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ทั้ง 3 อัตราส่วน คือ 1 : 2, 1 : 3 และ 1 : 4 มีปริมาณเชื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.56, 5.50 และ 5.62 log_{10} CFU g^{-1}ตามลำดับ

ดังนั้นอัตราการใช้ที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ต่อปริมาณปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว คือ อัตราส่วนระหว่างถ่านไบโอชาร์ 1 ส่วนต่อปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว 2 ส่วน (อัตราส่วน เท่ากับ 1:2) โดยแช่ถ่านไบโอชาร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในแปลง

ตารางที่ 5 ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนและปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืชต่ออัตราที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว

อัตราส่วนถ่านไบโอชาร์ ต่อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว		ระยะเวลาการแช่ (ชม.)							
		ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน				ปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช			
		1 ชม.	3 ชม.	6 ชม.	ค่าเฉลี่ย	1 ชม.	3 ชม.	6 ชม.	ค่าเฉลี่ย
Ratio	1:2	5.31	5.13	5.37	5.27	5.77	5.60	5.70	5.72
	1:3	4.75	5.60	5.45	5.27	5.86	5.76	5.78	5.72
	1:4	5.33	5.31	5.48	5.37	5.85	5.22	5.59	5.69
ค่าเฉลี่ย		5.13	5.35	5.44	-	5.71	5.83	5.53	-
F-test	Hr (a)	ns				ns			
	Ratio (b)	ns				ns			
	(a)*(b)	ns				ns			
%CV		5.34				6.35			

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 6 ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัสและปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมต่ออัตราที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ต่อปริมาณปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว

อัตราส่วนถ่านไบโอชาร์ต่อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว		ระยะเวลาการแช่ (ชม.)							
		ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส				ปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม			
		1 ชม.	3 ชม.	6 ชม.	ค่าเฉลี่ย	1 ชม.	3 ชม.	6 ชม.	ค่าเฉลี่ย
Ratio	1:2	7.20	7.29	7.09	7.19	6.04	5.38	5.27	5.56
	1:3	7.15	7.23	7.34	7.24	5.44	5.46	5.59	5.50
	1:4	7.31	7.37	7.29	7.32	5.88	5.31	5.68	5.62
ค่าเฉลี่ย		7.22	7.30	7.24	-	5.79[a]	5.38[b]	5.51[ab]	-
F-test	Hr (a)		ns				*		
	Ratio (b)		ns				ns		
	(a)*(b)		ns				ns		
%CV			5.10				6.59		

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตคะน้าในแปลง

3.1 ด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าจากการปลูกครั้งที่ 1

ความสูงต้นคะน้า จากการทดลอง (ตารางที่ 7) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวสูงสุด เท่ากับ 35.88 เซนติเมตร สูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักหรือแบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ความสูงต้นคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 28.55-31.24 เซนติเมตร แต่ทุกตำรับการทดลองมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมที่มีค่าความสูงของต้นคะน้าน้อยที่สุด คือ 15.91 เซนติเมตร

ความเขียวใบคะน้า จากการทดลอง (ตารางที่ 7) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความเขียวใบไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 44.46-45.24 SPAD reading สูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าเฉลี่ยความเขียวใบต่ำสุด เท่ากับ 39.10 SPAD reading

พื้นที่ใบ จากการทดลอง (ตารางที่ 7) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักอัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ หรือแบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้พื้นที่ใบของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวสูงสุดไม่แต่ต่างกันทางสถิติมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 107.08-118.56 ตารางเซนติเมตร ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยระหว่าง 77.81-91.40 ตารางเซนติเมตร แต่ทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 34.47 ตารางเซนติเมตร

ผลผลิตคะน้า จากการทดลอง (ตารางที่ 7) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักผลผลิต สูงสุดเท่ากับ 3.40 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ 1,000 และ 2,000 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 2.83 และ 2.76 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ และทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติและมีค่าต่ำสุด 0.63 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

น้ำหนักต้นแห้ง จากการทดลอง (ตารางที่ 7) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว อัตรา 300 ลิตรต่อไร่และปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลวขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้น้ำหนักต้นแห้งของคะน้ามีค่าเฉลี่ยสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.26-2.74 กรัมต่อต้น มีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีค่าไม่แตกต่างกันมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.82-2.01 กรัมต่อต้น และทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุด 0.47 กรัมต่อต้น

ตารางที่ 7 การเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าในแปลงจาการปลูกครั้งที่ 1

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)	ความเขียว (SPAD reading)	พื้นที่ใบ (ตร.ซม.)	นน./ 1 ตรม. (กก.)	นน.ต้นแห้ง/ต้น (กรัม)
T1	15.91^{c}	39.10^{c}	34.47^{d}	0.63^{c}	0.47^{d}
T2	35.88^{a}	44.88^{a}	107.09^{ab}	3.40^{a}	2.47^{ab}
T3	31.24^{b}	41.71^{bc}	118.56^{a}	2.78^{b}	2.74^{a}
T4	30.49^{b}	45.09^{a}	107.08^{ab}	2.95^{ab}	2.26^{abc}
T5	29.57^{b}	45.24^{a}	91.40^{bc}	2.83^{b}	2.01^{bc}
T6	30.17^{b}	44.46^{ab}	81.99^{c}	3.17^{ab}	1.99^{bc}
T7	28.55^{b}	44.74^{ab}	77.81^{c}	2.76^{b}	1.82^{c}
F-test	**	**	**	**	**
%CV	8.14	3.94	11.52	11.54	15.17

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

3.2 ด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าจากการปลูกครั้งที่ 2

ความสูงต้นคะน้า จากการทดลอง (ตารางที่ 8) พบว่า ความสูงต้นคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวมีค่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวสูงสุด เท่ากับ 23.63 เซนติเมตร ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสูงต้นเฉลี่ย 22.03 และ 22.04 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าตำรับควบคุม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 11.70 เซนติเมตร

ความเขียวใบคะน้า จากการทดลอง (ตารางที่ 8) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ หรือรูปแบบการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความเขียวใบไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 45.87-50.14 SPAD reading แต่มีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าเฉลี่ยความเขียวใบต่ำสุด เท่ากับ 41.92 SPAD reading

พื้นที่ใบ จากการทดลอง (ตารางที่ 8) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่และการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้พื้นที่ใบของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวสูงสุดไม่แต่ต่างกันทางสถิติมีค่าเฉลี่ย 60.30-67.08 ตารางเซนติเมตร แต่ทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 18.71 ตารางเซนติเมตร

ผลผลิตคะน้า จากการทดลอง (ตารางที่ 8) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 1.83 กิโลกรัมต่อตารางเมตรแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ 1,000 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.64-1.74 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ แต่ทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุด 0.39 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

น้ำหนักต้นแห้ง จากการทดลอง (ตารางที่ 8) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักต้นแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.48-1.90 กรัมต่อต้น

จากผลการทดลองทั้ง 2 ครั้งของการปลูกคะน้า จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ หรือรูปแบบการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสูงต้น ค่าความเขียวใบ และขนาดพื้นที่ใบคะน้า มีค่าไม่แตกต่างกัน และการใส่ปัจจัยดังกล่าวสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกคะน้า 25 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต จุลินทรีย์โพแทสเซียม และจุลินทรีย์ผลิตฮอร์โมนพืช ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารให้แก่พืช และไบโอชาร์และปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มแหล่งอินทรีย์คาร์บอนให้แก่ดิน เป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์ ส่งเสริมความเป็นประโยชน์ให้จุลินทรีย์ดินในการหมุนเวียนธาตุอาหารพืช อีกทั้งถ่านไบโอชาร์ มีรูพรุนสูง เพิ่มการดูดซับทั้งธาตุอาหารและน้ำให้พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้มาขึ้น ลดการชะล้างโดยการจัดการดินวิธีการดังกล่าว ส่งผลให้ดินมีสมบัติทางชีวภาพที่เหมาะสม มีดุลยภาพด้านชนิด ประชากรและกิจกรรมจุลินทรีย์ พืชย่อมมีแนวโน้มที่จะได้รับธาตุอาหารต่างๆ มากขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช (De Boer *et al.,* 2006) และจาก

รายงานของอุทัย และคณะ (2536) การใช้ถ่านแกลบในพื้นเพาะปลูกสามารถช่วยปรับปรุง pH ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ การระบายอากาศ ความหนาแน่นดินรวม และการซึมซับของดินทรายได้ดี ส่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Hidetosh *et al.* (2009) การใช้ถ่านชาร์ (Biochar) ในการปรับปรุงบำรุงดิน ในประเทศลาวใช้ถ่านชาร์ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวไร่ พบว่า การใช้ถ่านชาร์ที่อัตราต่ำสุด 640 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีผลต่อการปรับปรุง saturated hydraulic conductivity ในช่วงบนของดินและการหมุนเวียนใน xylem sap ของต้นข้าว ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสต่ำ และช่วยในการตอบสนองต่อไนโตรเจน และปุ๋ยเคมีไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และช่วยเพิ่มผลผลิต

ตารางที่ 8 การเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าในแปลงของการปลูกครั้งที่ 2

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)	ความเขียว (ตร.ซม.)	พื้นที่ใบ (SPAD reading)	นน./ 1 ตรม. (กก.)	นน.ต้นแห้ง/ต้น (กรัม)
T1	11.70^{d}	41.92^{b}	18.71^{c}	0.39^{c}	0.48
T2	22.04^{ab}	45.87^{ab}	65.18^{ab}	1.64^{ab}	1.96
T3	20.62^{bc}	48.40^{a}	55.84^{b}	1.43^{b}	1.06
T4	21.16^{bc}	50.14^{a}	62.55^{ab}	1.74^{ab}	1.03
T5	22.03^{ab}	47.34^{a}	60.98^{ab}	1.70^{ab}	1.57
T6	23.63^{a}	49.47^{a}	67.08^{a}	1.83^{a}	1.90
T7	19.40^{c}	49.34^{a}	60.30^{ab}	1.56^{ab}	1.12
F-test	**	*	**	**	ns
%CV	6.24	5.47	10.14	13.55	34.65

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4 สมบัติทางเคมีของดิน

4.1 สมบัติทางเคมีดินก่อนและหลังการทดลอง

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.51 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการทดลอง พบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 9) โดยการใส่ถ่านไบโอชาร์ ในปีที่ 1 พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์อัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับรูปแบบการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าระหว่าง1.69-1.87 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าสูงกว่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และตำรับควบคุมที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุในดินไม่แตกต่าง มีค่าระหว่าง 1.47-1.49 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ก่อนการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (ตารางที่ 9) มีค่าเท่ากับ 271.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ภายหลังการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภายหลังการทดลองอยู่ในช่วง 274.97-318.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 157 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ในดินภายหลังการทดลองมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ตารางที่ 9) โดยการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 271.67-300.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบมีการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และตำรับควบคุมที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 141.33-183.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ก่อนการทดลองดินมีค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 9) โดยมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0.12 - 0.14 dS/m ภายหลังจากการทดลองปลูกข้าวในปีที่ 1 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าทุกตำรับมีค่าเท่ากับ 0.01 dS/m ดินมีระดับความเค็มต่ำมาก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ดินก่อนการทดลอง มีค่าเท่ากับ 8.27 ภายหลังการทดลองพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 9) โดยตำรับควบคุมดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงสุด 8.56 ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าอยู่ระหว่าง 8.13-8.23

ผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินการใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักอัตรา 300 ลิตรต่อไร่ มีผลให้อินทรียวัตถุในดินภายหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 1.51 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในระดับต่ำ เพิ่มเป็น 1.69-1.87 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้การใส่ถ่านแกลบ หรือถ่านไบโอชาร์ มีผลต่อการสะสมอินทรียวัตถุในดิน และธาตุอาหารในดินสูงกว่าการใส่เดี่ยวๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ นลินี (2546) อีกทั้งการการใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองอื่น และการใส่อัตราที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในดินเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ หัวเชื้อได้มาจากการขยายเชื้อในน้ำกากส่าที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในน้ำกากส่ามีองค์ประกอบของโพแทสเซียม สอดคล้องกับจากรายงานของ Johannes *et al.* (2011) คุณสมบัติของถ่านไบโอชาร์ที่มีรูพรุนสูงและมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีผลต่อความสามารถในการซับเซลล์แบคทีเรียจากหัวเชื้อรูปของเหลวได้ดี ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มขึ้นของรากพืชและผลผลิต และการสะสมธาตุอาหารในดิน

ตารางที่ 9 สมบัติทางเคมีดินก่อนและหลังการทดลองของปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ตำรับ	OM (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	EC (dS/m)	pH
ดินก่อนการทดลอง	1.51	271.07	157.00	0.15	8.27
T1	1.49^{b}	274.97	141.33^{b}	0.12	8.56^{a}
T2	1.45^{b}	283.53	146.33^{b}	0.12	8.40^{b}
T3	1.69^{a}	302.33	182.67^{b}	0.14	8.30^{bcd}
T4	1.47^{b}	290.43	183.33^{b}	0.14	8.33^{bc}
T5	1.70^{a}	299.10	271.67^{a}	0.13	8.23^{cde}
T6	1.78^{a}	318.57	300.00^{a}	0.14	8.16^{de}
T7	1.87^{a}	307.67	293.33^{a}	0.14	8.13^{e}
F-test	**	ns	**	ns	**
%CV	6.55	8.31	14.96	9.68	0.99

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ
** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

5 ปริมาณธาตุอาหารในต้นคะน้า

5.1 ปริมาณธาตุอาหารในต้นคะน้าจากการปลูกครั้งที่ 1

ปริมาณไนโตรเจน (ตารางที่ 10) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณไนโตรเจนในต้นพืชไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.28-3.99 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบตำรับควบคุมค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.39 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณฟอสฟอรัส (ตารางที่ 10) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และตำรับควบคุม มีปริมาณฟอสฟอรัสในต้นคะน้าเฉลี่ยระหว่าง 0.52-0.65 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณโพแทสเซียม (ตารางที่ 10) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในต้นคะน้ามีปริมาณสะสมสูงสุดเท่ากับ 4.01 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบตำรับการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และตำรับควบคุม มีค่าเท่ากับ 3.15 และ 2.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.2 ปริมาณธาตุอาหารในต้นคะน้าจากการปลูกคะน้าครั้งที่ 2

ปริมาณไนโตรเจน (ตารางที่ 10) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในต้น

คะน้ามีค่าสูงสุด เท่ากับ 3.56 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าระหว่าง 3.30-3.40 เปอร์เซ็นต์ และทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.21 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณฟอสฟอรัส (ตารางที่ 10) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และตำรับควบคุม มีปริมาณฟอสฟอรัสในต้นคะน้าเฉลี่ยระหว่าง 0.53-0.57 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณโพแทสเซียม (ตารางที่ 10) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในต้นคะน้ามีปริมาณสะสมสูงสุดเท่ากับ 4.02 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ที่อัตรา 1,000 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเท่ากับ 3.92 และ 3.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 แบบเหลวในน้ำกากส่า 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ อัตรา 300 ลิตรต่อไร่ และแบบขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าระหว่าง 3.08-3.57 เปอร์เซ็นต์ และทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.35 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในต้นคะน้า จากการใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ ในอัตรา 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ขยายเชื้อในปุ๋ยหมักอัตรา 300 ลิตรต่อไร่ และรูปแบบการขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก 300 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่อการสะสมของปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมในต้นคะน้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ทั้งเนื่องจากปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน ละลายฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสร้างฮอร์โมนพืช มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และสอดคล้องกับรายงานของ Hidetosh *et al.* (2009) พบว่าการใช้ถ่านชาร์ (Biochar) ในการปรับปรุงบำรุงดิน ในประเทศลาวการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวไร่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศลาว การใช้ถ่านชาร์ที่อัตราต่ำสุดเท่ากับ 640 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีผลต่อการปรับปรุง saturated hydraulic conductivity ในช่วงบนของดินและการหมุนเวียนใน xylem sap ของต้นข้าว ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสต่ำ และช่วยในการตอบสนองต่อไนโตรเจน และปุ๋ยเคมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในต้นคะน้าจากการปลูกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

ตำรับ	**ปริมาณไนโตรเจน (%)**		ปริมาณฟอสฟอรัส (%)		ปริมาณโพแทสเซียม (%)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
T1	2.39^{c}	2.21^{d}	0.52	0.57	2.83^{d}	2.35^{e}
T2	3.95^{a}	3.40^{b}	0.59	0.54	3.15^{cd}	3.08^{d}
T3	3.83^{a}	3.10^{c}	0.54	0.53	3.81^{ab}	3.35^{cd}
T4	3.90^{a}	3.56^{a}	0.60	0.55	3.75^{abc}	3.57^{bc}
T5	3.99^{a}	3.30^{b}	0.64	0.54	3.96^{ab}	3.92^{ab}
T6	3.28^{ab}	3.37^{b}	0.58	0.56	3.40^{bcd}	4.02^{a}
T7	3.69^{ab}	3.38^{b}	0.65	0.53	4.01^{a}	3.83^{ab}
F-test	**	**	ns	ns	**	**
%CV	7.67	2.29	9.95	10.28	9.5	7.03

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการทดลอง

1. อัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว คือ การใส่น้ำกากส่าความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการขยายปริมาณเชื้อ 2 วัน เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการขยายปริมาณเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว

2. อัตราการใช้ที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในแปลง ของถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลว คือ อัตราส่วนระหว่างถ่านไบโอชาร์ 1 ส่วนต่อปุ๋ยชีวภาพ พด.12 ชนิดเหลว 2 ส่วน (อัตราส่วน เท่ากับ 1 : 2) โดยแช่ถ่านไบโอชาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส และแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมมีปริมาณเชื้อมีค่าเฉลี่ย 5.31, 5.77, 7.20 และ 6.04 $\log_{10}$ CFU g^{-1} ตามลำดับ

3. การใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์อัตรา 1,500 กิโลกรัมต่อไร่ ไร่ สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกคะน้า 25 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญของต้นคะน้า เพิ่มอินทรียวัตถุ และปริมาณโพแทสเซียมในดินได้

ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองนี้ทดสอบควรมีการเพิ่มอัตราการทดสอบของปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ชนิดเหลวที่อัตราสูงขึ้น เพื่อดูประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพชนิดเหลวในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร

2. ควรมีการศึกษาการใช้ประโยชน์ถ่านแกลบ อัตราการใช้ที่สามารถส่งเสริม การเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน การดูดซับธาตุอาหาร เนื่องจากถ่านแกลบเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่มีปริมาณมากและหาได้ทั่วประเทศ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. การพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 ด้วยถ่านไบโอชาร์ ที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 4 ชนิด ได้แก่ จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน จุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัส จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม จุลินทรีย์ที่สร้างฮอร์โมนให้พืช

2. นำองค์ความรู้ที่ได้ ถ่ายทอดสู่กลุ่มเกษตรกร นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

3. ลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรสามารถทำให้การเกษตรของประเทศเข้าสู่ระบบการเกษตรที่ยั่งยืนได้

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

เมื่อผลการดำเนินการวิจัยสิ้นสุดจะได้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับถ่านไบโอชาร์ ที่มีจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศ จุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัส จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม และจุลินทรีย์ที่สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือฮอร์โมนพืช ที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตสูงขึ้น ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ได้ดี เพื่อการจัดทำแผ่นผับ คู่มือการผลิต ส่งเสริม การจัดนิทรรศการ รวมทั้งการถ่ายทอดเป็นเทคโนโลยีชีวภาพสู่เจ้าหน้าที่รัฐ เผยแพร่ผ่านเครือข่ายหมอดินอาสา กลุ่มเกษตรกร เครือข่ายเกษตรอินทรีย์ หน่วยงานภาครัฐและเอกชน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

จันทร์จรัส วีรสาร, อตินุช แซ่จิว และไพร มัทธวรัตน์. ม.ป.ป.. การปลดปล่อยธาตุปุ๋ยที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของวัสดุปลูก. ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2552. ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตทางการเกษตร, น.4 *ใน* เอกสารประกอบการประชุม การเสนอผลงานวิชาการภาคนิทรรศการ วันที่ 13-15 พฤษภาคม 2552. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล และจันจิรา แสงสีเหลือง. 2552. ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12 เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตทางการเกษตร, น. 4 ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ กรมพัฒนาที่ดิน ปี 2552 กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

นลินี ว่องมงคลฤทธิ์. 2546. การพัฒนาแกลบและขี้เถ้าแกลบจากโรงสีข้าวเพื่อใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา.

พิกุล หรรษานิมิตกุล และดารารัตน์ โฮตาก้า. 2552. การคัดเลือกอะโซโตแบคเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตพืช, น. 88-89. *ใน* บทคัดย่อการประชุมทางวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 1 เรื่องดินและปุ๋ยในภาวะวิกฤตอาหารและพลังงาน วันที่ 23-24 เมษายน 2552. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิมพ์ธิดา เรืองไพศาล, ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และดารารัตน์ โฮตาก้า. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างฮอร์โมนเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช, น. 51. ใน บทคัดย่อการประชุมทางวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 1 เรื่องดินและปุ๋ยในภาวะวิกฤตอาหารและพลังงาน วันที่ 23-24 เมษายน 2552. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มงคล ต๊ะอุ่น, สมบูรณ์ ประภาพรรณพงษ์, เชาว์วัช หนูแดง และณัฏภูมิ สุดแก้ว. 2551. คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด-ปั้นเม็ด. สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ.

อรสา สุกสว่าง. 2552. Biochar Technology. เอกสารการสัมมนาวิชาการ เรื่องเทคโนโลยีถ่านไบโอชาร์ . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Hidetoshi A., Benjamin K. Samson, Haefele M. Stephan, Khamdok Songyikhangsuthor, Koki Homma, Yoshiyuki Kiyono, Yoshio Inoue, Tatsuhiko Shiraiwa and Takeshi Horie. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield .Field Crop Research 111:81-84.

Joseph S., Chan K Y., Meszaros I., Downie A. and Van Zwieten L. .2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Australian Journal of soil Research.V.45-8.

Johannes Lehmann a, Matthias C. Rillig b, Janice Thies a, Caroline A. Masiello c, William C. Hockaday d and David Crowley e. 2011. Biochar effects on soil biota e A review, Soil Biology & Biochemistry

Kato H. and Tsuchida H. 1981. Estimation of Melanoidin Structure by Pyrolysis and Oxidation. In; *Prob.Fd Nutr.Sci.,* pp. 147-156

Leaungvutiviroj C., P. Ruangphisarn, P. Hansanimitkul, H. Shinkava and K. Sasaki. 2010. Development of a new biofertilizer with a high capacity for N_2 fixation, phosphate and potassium solubilization and auxin production. Biosci. Biotechnol. Biochem. 74 (5):1098-1101.

Liang B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Grossman, B. O'Neill, J. O. Skjemstad, J. Thies, F. J. Luizao, J. Petersen and E. G. Neves. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. Soil Sci. Am. J. 70: 1719-1730.

Lauren Hale and David Crowley. 2014. Evaluation of Varying Biochars as Carrier Materials for Bacterial Soil Inoculants, Geophysical Research Abstracts, United States Vol. 16, EGU2014-9885-1.