เค้าโครงผลงานที่จะส่งประเมิน ตำแหน่งประเภทวิชาการ ระดับผู้เชี่ยวชาญ

ของ นางจันจิรา แสงสีเหลือง

เพื่อประกอบการพิจารณาประเมินบุคคล ตำแหน่งผู้เชี่ยวชาญด้านบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ

(นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ)

ตำแหน่งเลขที่ ๕ สังกัด กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

ลำดับที่ ๒

๑. เรื่อง ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ด้วยไบโอชาร์ ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช

๒. วัตถุประสงค์

๒.๑ เพื่อศึกษาวิธีการและอัตราการใช้ที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด. ๑๒ แบบเหลว

๒.๒ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด. ๑๒ แบบเหลว ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเจริญเติบโต และผลผลิตของคะน้าในแปลงทดลอง

๓. ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

ระยะเวลา เริ่มต้น เดือนตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๘ สิ้นสุด เดือนกันยายน พ.ศ. ๒๕๕๙

สถานที่ดำเนินการ ห้องปฏิบัติการจุลินทรีย์ กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน พื้นที่แปลงเกษตรกร ตำบลดอนแร่ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี

๔. ความรู้ ความชำนาญงาน หรือความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

๔.๑ ความเชี่ยวชาญด้านจุลชีววิทยาในการจำแนกชนิด และวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน ทำการแยกเชื้อโดย spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีแหล่งไนโตรเจน โดยวิธี soil dilution plating method selective media แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีการ spread plate ในอาหาร pikovskaya’s medium แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารที่มี dihydrogen potassium phosphate แบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช โดยใช้วิธี spread plate บนอาหาร glucose peptone agar และวิธีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชื้อแต่ละชนิด

๔.๒ ความเชี่ยวชาญด้านการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์

๔.๓ ความรู้ด้านการใช้เครื่องมือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)

๔.๔ ความรู้ด้านปฐพีวิทยา

๔.๕ ความรู้ด้านเกษตรศาสตร์

๔.๖ ความรู้ด้านการวางแผนวิจัยและการวิเคราะห์ทางสถิติ

๕. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน

๕.๑ หลักการและเหตุผล

ถ่านไบโอชาร์ เป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากมวลชีวภาพ (biomass) ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจน (pyrolysis) ที่อุณหภูมิเกิน ๓๐๐ องศาเซลเซียส จากการศึกษาของ Liang *et al*. (๒๐๐๖) พบว่า ถ่านไบโอชาร์เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและมีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมีในดิน การหมุนเวียนธาตุอาหาร ปริมาณของถ่านไบโอชาร์สูงจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน CEC ได้ดี (การแลกเปลี่ยนได้ดีอยู่ที่ pH ๗) และการดูดซับของถ่านไบโอชาร์จะเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่น (ประสิทธิภาพ CEC ต่อพื้นที่) ซึ่งจะมีการเกิดทั้ง anion และ cation ที่ผิวของถ่านไบโอชาร์ จะมีผลต่อการดูดซับธาตุอาหารเข้าไปในอนุภาคของถ่านไบโอชาร์ ซึ่งการแลกเปลี่ยนอยู่ภายใต้อุณหภูมิและความชื้น และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของพื้นที่ผิวถ่านไบโอชาร์กับอนุภาคดินเหนียวและก้อนดิน มีการใช้ถ่านไบโอชาร์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ในประเทศลาวใช้ถ่านไบโอชาร์ปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวไร่ทางตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างปี ๒๐๐๗ ช่วงฤดูฝน พบว่า การใช้ถ่านไบโอชาร์ ที่อัตราต่ำสุด ๖๔๐ กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีต่อการปรับปรุง saturated hydraulic conductivity ในช่วงบนของดินและการหมุนเวียนใน xylem sap ของต้นข้าว ผลที่ได้ถ่านไบโอชาร์ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสต่ำ และช่วยในการตอบสนองต่อไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Hidetosh *et al.,* ๒๐๐๙) และจุดเด่นของถ่านไบโอชาร์ที่มีความพรุนสูง อุ้มน้ำ รักษาความชื้นได้ดี รวมทั้งมีปริมาณธาตุอาหาร ส่งผลต่อประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในดิน (จันทร์จรัส และคณะ, ม.ป.ป.)

การใช้ประโยชน์ถ่านไบโอชาร์เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ในดิน (soil microorganisms) อนุภาคถ่านไบโอชาร์มีพื้นผิวภายใน และรูพรุนค่อนข้างมาก ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการทางชีววิทยา โดยอนุภาคของถ่านไบโอชาร์เปรียบได้กับการรวมกลุ่มกันของเม็ดดิน (soil aggregate) ช่วยในการกักเก็บอินทรียวัตถุ ความชื้น และธาตุอาหาร เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับสิ่งมีชีวิตในดิน (soil biota) โดยขนาดพื้นที่ผิวและรูพรุนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านไบโอชาร์ และอุณหภูมิการทำไพโรไลซิส จากการศึกษา วิจัย คุณสมบัติของถ่านไบโอชาร์ แสดงให้เห็นว่ารูพรุนในถ่านไบโอชาร์เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ในดิน (soil microorganisms) หลายชนิด ซึ่งรูพรุนเหล่านี้จะช่วยป้องกันจุลินทรีย์ในดินจากผู้ล่า และความแห้งแล้งจากการระเหยของน้ำ (desiccation) อีกทั้งยังเป็นแหล่งคาร์บอนพลังงาน และแร่ธาตุต่างๆให้กับจุลินทรีย์ดิน ดังนั้นถ่านไบโอชาร์ จึงมีส่วนช่วยทำให้จุลินทรีย์ในดินมีความสมดุล (Ogawa, *et al*., ๑๙๘๓ ; Pietikainen *et al*., ๒๐๐๐) รูพรุนในถ่านไบโอชาร์ สามารถที่จะดูดซึมอินทรียวัตถุที่ละลายน้ำได้ แก๊ส และสารอนินทรีย์ รูพรุนจึงเป็นแหล่งอาศัยที่ดีของจุลินทรีย์ดิน เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยเพิ่มปริมาณ (colonization) การสืบพันธุ์ (reproduction) และการเจริญเติบโต (growth) ชนิดของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในรูพรุนของถ่านไบโอชาร์ ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันตามชนิดของถ่านไบโอชาร์ เช่น แบคทีเรีย ขนาด ๐.๓ - ๓ ไมโครเมตร เชื้อรา ขนาด ๒ - ๘๐ ไมโครเมตร และโปรโตซัว ขนาด ๗ - ๓๐ ไมโครเมตร ถ่านไบโอชาร์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) มากกว่า ๒๐๐ นาโนเมตร จะเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยที่ดีของจุลินทรีย์ ขณะที่ถ่านไบโอชาร์มีรูพรุนขนาดเล็ก (micropores) ขนาดน้อยกว่า ๒ นาโนเมตร และขนาดกลาง (mesopores) ขนาด ๒ - ๕๐ นาโนเมตร จะช่วยเก็บน้ำ และละลายสารต่างๆเพื่อใช้สำหรับเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ (Gul *et al*., ๒๐๑๕) เพื่อใช้เป็นวัสดุพาหะ ดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับการอยู่รอดของจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน (Rhizobium Azotobacter Azospirillum และ Beijerinckia) จุลินทรีย์ย่อยหินฟอสเฟต และจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม และประสิทธิภาพของเชื้อต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ใช้เป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์ในดิน (Lauren and David, ๒๐๑๔) จากรายงานการเพิ่มปริมาณถ่านไบโอชาร์ในดินพื้นที่เกษตรกรรม มีผลต่อ

การสะสมจุลินทรีย์กลุ่มผลิตสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช และจากรายงานของ Johannes *et al*. (๒๐๑๑) คุณสมบัติของถ่านไบโอชาร์ที่มีรูพรุนสูงและมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีผลต่อความสามารถในการซับเซลล์แบคทีเรียจากหัวเชื้อรูปของเหลวได้ดี ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มขึ้นของรากพืชและผลผลิต

ดังนั้นการศึกษาพัฒนาการปรับปรุงดินด้วยถ่านไบโอชาร์ และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารให้พืชด้วยจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน จุลินทรีย์เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส จุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียม และจุลินทรีย์สร้างสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช จะเป็นการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช จึงมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรอย่างยั่งยืนต่อไป

๕.๒ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

๕.๒.๑ การศึกษาวิธีการและอัตราการใช้ที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ๙ ตำรับทดลอง จำนวน ๓ ซ้ำ ประกอบด้วย ๒ ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ ๑ ระยะเวลาถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ ๓ ระยะ ดังนี้

ระยะที่ ๑ เวลา ๑ ชั่วโมง

ระยะที่ ๒ เวลา ๓ ชั่วโมง

ระยะที่ ๓ เวลา ๖ ชั่วโมง

ปัจจัยที่ ๒ อัตราส่วนของถ่านไบโอชาร์ต่อปริมาตรของปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ๓ อัตราส่วน ดังนี้

ตำรับที่ ๑ ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว : ถ่านไบโอชาร์ อัตราส่วน ๒ : ๑

ตำรับที่ ๒ ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว : ถ่านไบโอชาร์ อัตราส่วน ๓ : ๑

ตำรับที่ ๓ ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว : ถ่านไบโอชาร์ อัตราส่วน ๔ : ๑

๑) ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

๑.๑) การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ทั้ง ๔ ชนิด ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixing bacteria; NFB) แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส (phosphate solubilizing bacteria; PSB) แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม (potassium solubilizing bacteria; KSB) และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช (plant growth promoting rhizobacteria; PGPR) การเตรียมสด โดยการเลี้ยงเชื้อที่จะนำมาทดสอบใน incubator shaker ที่อุณหภูมิ ๓๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๑๒ ชั่วโมง และดำเนินการเตรียมหัวเชื้อแห้ง โดยใช้ปุ๋ยหมัก ๑.๘ กิโลกรัม กล้าเชื้อ (inoculum) ๓๐๐ มิลลิลิตร จากนั้นนำไปผึ่งลม (air dry) ตรวจนับปริมาณเชื้อภายหลังการผึ่งลม (กรมพัฒนาที่ดิน, ๒๕๕๑) เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

๑.๒) การเตรียมปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว มีจุลินทรีย์ ๔ สายพันธุ์ ดังนี้ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช ส่วนผสมการขยายเชื้อแบบเหลว ประกอบด้วย น้ำกากส่าความเข้มข้น ๑๐ เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาล ๕ เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการขยายปริมาณเชื้อ ๔๘ ชั่วโมง

๑.๓) การเตรียมถ่านไบโอชาร์ (ที่ผลิตจากวัสดุแกลบ) ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ที่เลี้ยงและเพิ่มปริมาณในแต่ละตำรับ ที่ขยายปริมาณเชื้อเรียบร้อยแล้วมาผสมกับถ่านไบโอชาร์

ตามอัตราที่กำหนดในแต่ละกรรมวิธี โดยแช่ถ่านไบโอชาร์อัตราส่วนตามตำรับทดลองและเก็บตัวอย่าง เพื่อตรวจดูการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในถ่านไบโอชาร์ และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิด

๒) การเก็บข้อมูล

๒.๑)การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง ๔ ชนิด ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน ทำการแยกเชื้อโดย spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีแหล่งไนโตรเจน (Nitrogen - free medium) โดยวิธี soil dilution plating method selective media แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีการ spread plate ในอาหาร pikovskaya's medium บ่มเป็นเวลา ๒-๓ วัน สังเกตวงใสรอบโคโลนี ปรากฏ clear zone รอบโคโลนี แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารที่มี dihydrogen potassium phosphate เป็นส่วนประกอบและมี bromthymol blue ผสมอยู่เพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้การผลิตกรดอินทรีย์ของจุลินทรีย์สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหารจากสีเขียวเป็นสีเหลือง และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช โดยใช้วิธี spread plate บนอาหาร glucose peptone agar บ่มที่อุณหภูมิ ๓๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๒ วัน

๕.๒.๒ การศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ต่อการเข้าอาศัยภายในรูพรุนของเซลล์จุลินทรีย์

๑) ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

๑.๑) การเตรียมไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ เพื่อดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ที่ขยายเชื้อแล้วมีส่วนผสม ดังนี้ ไบโอชาร์ ๑ ส่วน ต่อปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ๒ ส่วน โดยแช่ไบโอชาร์ เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง ไบโอชาร์จะดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลวจนหมด เก็บใส่ซองพลาสติกทึบแสง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ๔ องศาเซลเซียส

๑.๒) การศึกษาการเข้าอาศัยภายในรูพรุนถ่านไบโอชาร์ของเซลล์จุลินทรีย์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) โดยการเตรียมถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ มาอบไล่ความชื้นในตัวอย่างให้มีความชื้นน้อยกว่า ๖ เปอร์เซ็นต์ และนำตัวอย่างใส่โถแก้วดูดความชื้น (Desiccator) เพื่อดูดความชื้น และนำตัวอย่างมาติดบนแท่นติดตัวอย่าง

๒) การเก็บข้อมูล

ลักษณะเป็นภาพ ๓ มิติ กำลังขยาย ๘,๐๐๐ เท่า ภาพการเข้าอาศัยภายในช่องว่างรูพรุนของถ่านไบโอชาร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ใช้ศึกษาพื้นผิวของตัวอย่าง โดยลำอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุ ทำให้ได้ภาพ

๕.๒.๓ การศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเจริญเติบโต และผลผลิตคะน้าในแปลง

วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) ประกอบด้วย ๗ ตำรับทดลอง จำนวน ๓ ซ้ำ ดังนี้

ตำรับการทดลองที่ ๑ ไม่ใส่ปุ๋ย (control)
ตำรับการทดลองที่ ๒ ปุ๋ยเคมี อัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน
ตำรับการทดลองที่ ๓ ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน + ปุ๋ยชีวภาพขยายเชื้อปุ๋ยหมัก ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ ๔ ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่
ตำรับการทดลองที่ ๕ ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับการทดลองที่ ๖ ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับการทดลองที่ ๗ ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่

๑) การดำเนินงาน

๑.๑) การเตรียมปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก มีจุลินทรีย์ ๔ สายพันธุ์ ดังนี้ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช มีส่วนผสมการขยายเชื้อประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก ๓๐๐ กิโลกรัม รำละเอียด ๓ กิโลกรัม หัวเชื้อจุลินทรีย์ ๑๐๐ กรัม บ่มไว้เป็นเวลา ๔ วัน

๑.๒) การเตรียมปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว มีจุลินทรีย์ ๔ สายพันธุ์ ดังนี้ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช ส่วนผสมการขยายเชื้อแบบเหลวประกอบด้วย น้ำกากส่าความเข้มข้น ๑๐ เปอร์เซ็นต์ กากน้ำตาล ๕ เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการขยายปริมาณเชื้อ ๔๘ ชั่วโมง

๑.๓) การเตรียมไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ เพื่อดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ที่ขยายเชื้อแล้ว มีส่วนผสม ดังนี้ ไบโอชาร์ ๑ ส่วนต่อปุ๋ยชีวภาพเหลว ๒ ส่วน โดยแช่ไบโอชาร์ เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง ไบโอชาร์จะดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลวจนหมด แล้วนำไปใช้ประโยชน์ในแปลง

๑.๔) การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง ๔ ชนิด ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน ทำการแยกเชื้อโดย spread plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีแหล่งไนโตรเจน โดยวิธี soil dilution plating method selective media แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธีการ spread plate ในอาหาร pikovskaya’s medium บ่มเป็นเวลา ๒-๓ วัน สังเกตวงใสรอบโคโลนี ปรากฏ clear zone รอบโคโลนี แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารที่มี dihydrogen potassium phosphate เป็นส่วนประกอบและมี bromthymol blue ผสมอยู่เพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้การผลิตกรดอินทรีย์ของจุลินทรีย์ สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหารจากสีเขียวเป็นสีเหลือง และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช โดยใช้วิธี spread plate บนอาหาร glucose peptone agar บ่มที่อุณหภูมิ ๓๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๒ วัน

๒) การเตรียมแปลงปลูก

๒.๑) เตรียมแปลงทดลองขนาด ๑.๕ x ๕ เมตร จำนวน ๒๑ แปลงย่อย ระยะระหว่างแปลง ๑ เมตร พื้นที่เก็บข้อมูล ๑ x ๓ เมตร

๒.๒) ปลูกคะน้าพันธุ์ยอด หว่านเมล็ด ๑๕ กรัมต่อแปลง เมื่อคะน้าอายุ ๒๐ วัน ถอนแยก ให้มีระยะห่าง ๒๐ x ๒๐ เซนติเมตร

๒.๓) การใส่ปัจจัยการผลิต และการดูแลรักษา

ตำรับการทดลองที่ ๑ ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและปัจจัยการผลิตต่างๆ

ตำรับการทดลองที่ ๒ ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยแบ่งปุ๋ยเคมีใส่ ๒ ครั้ง คือ ครั้งที่ ๑ เมื่อคะน้าอายุ ๑๐ วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๒๒ กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูตร ๐ - ๔๖ - ๐ อัตรา ๑๑ กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม สูตร ๐ - ๐ - ๖๐

อัตรา ๘ กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ ๒ ใส่ปุ๋ยเคมีห่างจากครั้งแรก ๑๕ วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๒๒ กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับการทดลองที่ ๓

- ใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยแบ่งปุ๋ยเคมีใส่ ๒ ครั้ง คือ ครั้งที่ ๑ เมื่อคะน้าอายุ ๑๐ วัน ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูตร ๐ - ๔๖ - ๐ อัตรา ๘.๒๕ กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม สูตร ๐ - ๐ - ๖๐ อัตรา ๖ กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ ๒ ใส่ปุ๋ยเคมีห่างจากครั้งแรก ๑๕ วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่

- ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ที่ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ใส่เพียงครั้งเดียวคลุกเคล้าลงดินให้ทั่วในแปลงก่อนหว่านเมล็ดคะน้า

ตำรับการทดลองที่ ๔

- ใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยแบ่งปุ๋ยเคมีใส่ ๒ ครั้ง คือ ครั้งที่ ๑ เมื่อคะน้าอายุ ๑๐ วัน ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูตร ๐ - ๔๖ - ๐ อัตรา ๘.๒๕ กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม สูตร ๐ - ๐ - ๖๐ อัตรา ๖ กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ ๒ ใส่ปุ๋ยเคมีห่างจากครั้งแรก ๑๕ วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่

- ใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ รดให้ทั่วแปลงก่อนการหว่านเมล็ดคะน้า

ตำรับการทดลองที่ ๕

- ใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยแบ่งปุ๋ยเคมีใส่ ๒ ครั้ง คือ ครั้งที่ ๑ เมื่อคะน้าอายุ ๑๐ วัน ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูตร ๐ - ๔๖ - ๐ อัตรา ๘.๒๕ กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม สูตร ๐ - ๐ - ๖๐ อัตรา ๖ กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ ๒ ใส่ปุ๋ยเคมีห่างจากครั้งแรก ๑๕ วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่

- ใส่ถ่านไบโอชาร์ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ใส่เพียงครั้งเดียวคลุกเคล้าลงดินให้ทั่วในแปลงก่อนหว่านเมล็ดคะน้า

ตำรับการทดลองที่ ๖

- ใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยแบ่งปุ๋ยเคมีใส่ ๒ ครั้ง คือ ครั้งที่ ๑ เมื่อคะน้าอายุ ๑๐ วัน ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูตร ๐ - ๔๖ - ๐ อัตรา ๘.๒๕ กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม สูตร ๐ - ๐ - ๖๐ อัตรา ๖ กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ ๒ ใส่ปุ๋ยเคมีห่างจากครั้งแรก ๑๕ วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่

- ใส่ถ่านไบโอชาร์ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ใส่เพียงครั้งเดียวคลุกเคล้าลงดินให้ทั่วในแปลงก่อนหว่านเมล็ดคะน้า

ตำรับการทดลองที่ ๗

- ใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ของอัตราตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยแบ่งปุ๋ยเคมีใส่ ๒ ครั้ง คือ ครั้งที่ ๑ เมื่อคะน้าอายุ ๑๐ วัน ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส สูตร ๐ - ๔๖ - ๐ อัตรา ๘.๒๕ กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียม สูตร ๐ - ๐ - ๖๐ อัตรา

๖ กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ ๒ ใส่ปุ๋ยเคมีห่างจากครั้งแรก ๑๕ วัน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สูตร ๔๖ - ๐ - ๐ อัตรา ๑๖.๕ กิโลกรัมต่อไร่

- ใส่ถ่านไบโอชาร์ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ใส่เพียงครั้งเดียวคลุกเคล้าลงดินให้ทั่วในแปลงก่อนหว่านเมล็ดคะน้า

๒.๔) ทำการทดลองในพื้นที่เดิม โดยครั้งที่ ๑ ปลูกเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙ ครั้งที่ ๒ ปลูกเดือนเมษายน - พฤษภาคม ๒๕๕๙ โดยการปลูกครั้งที่ ๒ ใส่ปัจจัยตำรับที่ ๕ ๖ และ ๗ ใส่เพียงปุ๋ยเคมีอย่างเดียว เหมือนข้อ ๒.๓ โดยไม่ใส่ถ่านไบโอชาร์)

๓) การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

๓.๑) ความสูงของต้นคะน้า ความเขียวของใบคะน้า และพื้นที่ใบของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยว ๔๕ วัน

๓.๒) น้ำหนักสดต่อตารางเมตร และน้ำหนักแห้งต่อต้นของคะน้า ที่อายุเก็บเกี่ยว ๔๕ วัน แยกใส่ซองกระดาษที่สะอาดนำมาชั่งน้ำหนักสดของต้นคะน้า แล้วนำเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ ๗๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๔ วัน เพื่อหาน้ำหนักแห้งของต้นคะน้า

๓.๓) การเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง

๓.๓.๑) การเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองที่ระดับความลึก ๐ – ๑๕ เซนติเมตร โดยสุ่ม ๑๕ จุด และนำมาผสมกันเพื่อส่งวิเคราะห์ และทำการเก็บตัวอย่างดินหลังการเก็บผลผลิตพืช โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก ๐ – ๑๕ เซนติเมตร จำนวน ๓ จุดต่อแปลง และรวมตัวอย่างเป็น ๑ ตัวอย่าง นำดินที่เก็บมาจากแปลงทดลอง ไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นบดให้ละเอียดและผสมคลุกเคล้าดินให้สม่ำเสมอ นำดินส่วนที่หนึ่งมาร่อนผ่านตะแกรง ๒ มิลลิเมตร วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

๓.๓.๒) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดิน ได้แก่ ค่าความจุความชื้นในสนาม (FC) ค่าจุดเหี่ยวถาวร (PWP) และความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (AWCA)

๓.๔) การเก็บตัวอย่างพืชวิเคราะห์ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

๓.๕) การเก็บข้อมูลปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช

๔) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี least significant difference test (LSD Test)

๕.๓ ผลการทดลองและวิจารณ์

๕.๓.๑ ผลการศึกษาอัตราการใช้ที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว

๑) ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน ในถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ที่ ๓ อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วน ๑ : ๒ อัตราส่วน ๑ : ๓ และอัตราส่วน ๑ : ๔ พบว่า ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีปริมาณเชื้อเฉลี่ย ๕.๒๗ ๕.๒๗ และ ๕.๓๗ $\log_{10}$ CFU g^{-1} ตามลำดับ และระยะเวลาการดูดซับที่ ๑ ๓ และ ๖ ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อเฉลี่ย ๕.๑๓ ๕.๓๕ และ ๕.๔๔ $\log_{10}$ CFU g^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ ๑)

๒) ปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช ในถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ที่ ๓ อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วน ๑ : ๒ อัตราส่วน ๑ : ๓ และ อัตราส่วน ๑ : ๔ มีค่าปริมาณเชื้อเฉลี่ย ๕.๗๒ ๕.๗๒ และ ๕.๖๙ $\log_{10}$ CFU $g^{-๑}$ ตามลำดับ และระยะเวลาการดูดซับที่ ๑ ๓ และ ๖ ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อเฉลี่ย ๕.๗๑ ๕.๘๓ และ ๕.๕๓ $\log_{10}$ CFU $g^{-๑}$ ตามลำดับ (ตารางที่ ๑)

๓) ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส ในถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ที่ ๓ อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วน ๑ : ๒ อัตราส่วน ๑ : ๓ และ อัตราส่วน ๑ : ๔ มีปริมาณเชื้อเฉลี่ย ๗.๑๙ ๗.๒๔ และ ๗.๓๒ $\log_{10}$ CFU $g^{-๑}$ ตามลำดับ และระยะเวลาการดูดซับที่ ๑ ๓ และ ๖ ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อเฉลี่ย ๗.๒๒ ๗.๓๐ และ ๗.๒๔ $\log_{10}$ CFU $g^{-๑}$ ตามลำดับ (ตารางที่ ๒)

๔) ปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม ในถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว พบว่า ทั้ง ๓ อัตราส่วน คือ อัตราส่วน ๑ : ๒ อัตราส่วน ๑ : ๓ และ อัตราส่วน ๑ : ๔ มีปริมาณเชื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีปริมาณเชื้อเฉลี่ย ๕.๕๖ ๕.๕๐ และ ๕.๖๒ $\log_{10}$ CFU $g^{-๑}$ ตามลำดับ แต่ระยะเวลาการดูดซับที่ ๑ ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมเฉลี่ยสูงสุด ๕.๗๙ $\log_{10}$ CFU $g^{-๑}$ (ตารางที่ ๒)

จากผลการทดลองข้างต้น จึงเลือกวิธีการที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนระหว่างถ่านไบโอชาร์ ๑ ส่วนต่อปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ๒ ส่วน โดยแช่ถ่านไบโอชาร์เพื่อดูดซับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว เป็นระยะเวลา ๑ ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในแปลงเพื่อศึกษาประสิทธิภาพต่อไป

ตารางที่ ๑ ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน และแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืชต่ออัตราที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว

อัตราส่วนถ่านไบโอชาร์ต่อปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว	ระยะเวลาการแช่ (ชั่วโมง)							
	ปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน				ปริมาณแบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช			
	๑ ชม.	๓ ชม.	๖ ชม.	ค่าเฉลี่ย	๑ ชม.	๓ ชม.	๖ ชม.	ค่าเฉลี่ย
๑:๒	๕.๓๑	๕.๑๓	๕.๓๗	๕.๒๗	๕.๗๗	๕.๖๐	๕.๗๐	๕.๗๒
๑:๓	๔.๗๕	๕.๖๐	๕.๔๕	๕.๒๗	๕.๘๖	๕.๗๖	๕.๗๘	๕.๗๒
๑:๔	๕.๓๓	๕.๓๑	๕.๔๘	๕.๓๗	๕.๘๕	๕.๒๒	๕.๕๙	๕.๖๙
ค่าเฉลี่ย	๕.๑๓	๕.๓๕	๕.๔๔	-	๕.๗๑	๕.๘๓	๕.๕๓	-
F-test Hr (a)		ns				ns		
F-test Ratio (b)		ns				ns		
F-test (a)*(b)		ns				ns		
CV (%)		๕.๓๔				๖.๓๕		

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD
ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ ๒ ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัสและแบคทีเรียละลายโพแทสเซียมต่ออัตราที่เหมาะสมของถ่านไบโอชาร์ต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว

อัตราส่วนถ่านไบโอชาร์ต่อปุ๋ยชีวภาพ พด. ๑๒ ชนิดเหลว	ระยะเวลาการแช่							
	ปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส				ปริมาณแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม			
	๑ ชม.	๓ ชม.	๖ ชม.	ค่าเฉลี่ย	๑ ชม.	๓ ชม.	๖ ชม.	ค่าเฉลี่ย
๑:๒	๗.๒๐	๗.๒๙	๗.๐๙	๗.๑๙	๖.๐๔	๕.๓๘	๕.๒๗	๕.๕๖
๑:๓	๗.๑๕	๗.๒๓	๗.๓๔	๗.๒๔	๕.๔๔	๕.๔๖	๕.๕๙	๕.๕๐
๑:๔	๗.๓๑	๗.๓๗	๗.๒๙	๗.๓๒	๕.๘๘	๕.๓๑	๕.๖๘	๕.๖๒
ค่าเฉลี่ย	๗.๒๒	๗.๓๐	๗.๒๔	-	๕.๗๙^{a}	๕.๓๘^{b}	๕.๕๑^{ab}	-
F-test Hr (a)		ns				*		
F-test Ratio (b)		ns				ns		
F-test (a)*(b)		ns				ns		
CV (%)		๕.๑๐				๖.๕๙		

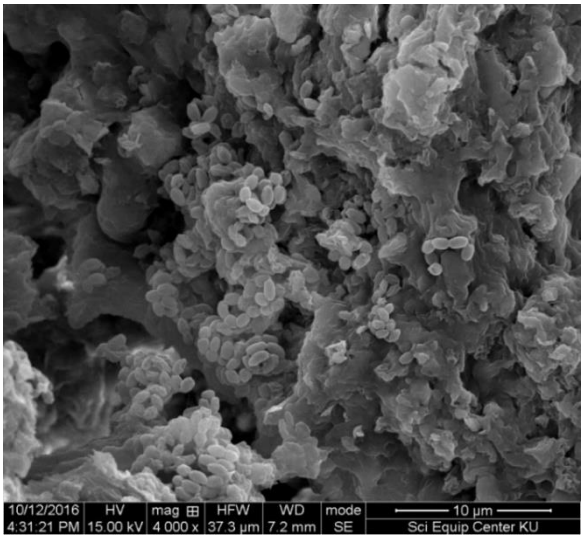
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

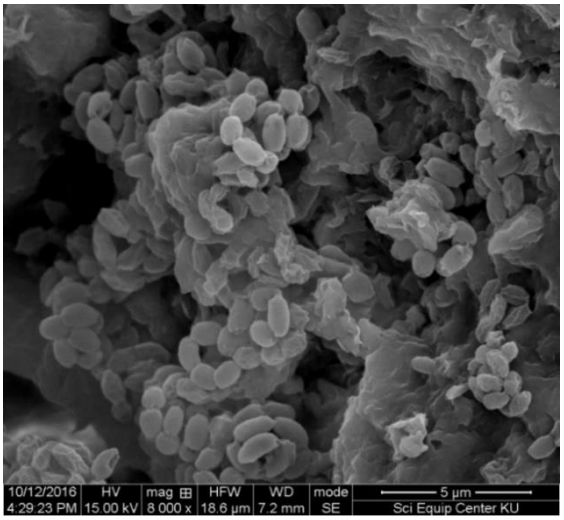
* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕ เปอร์เซ็นต์

๕.๓.๒ ผลการศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ต่อการเข้าอาศัยภายในรูพรุนของเซลล์จุลินทรีย์

ภายหลังจากการใช้ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ และศึกษาลักษณะการเข้าอาศัยภายในรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีลักษณะเป็นภาพ ๓ มิติ ที่กำลังขยาย ๔,๐๐๐ และ ๘,๐๐๐ เท่า ดังนี้



ภาพที่ ๑ เซลล์แบคทีเรียเข้าอยู่อาศัยในรูพรุนถ่านไบโอชาร์ ที่กำลังขยาย ๔,๐๐๐ เท่า



ภาพที่ ๒ เซลล์แบคทีเรียเข้าอยู่อาศัยในรูพรุนถ่านไบโอชาร์ ที่กำลังขยาย ๘,๐๐๐ เท่า

๕.๓.๓ ศึกษาประสิทธิภาพของถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตคะน้าในแปลง

๑) ความสูงของต้นคะน้า

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้า ฤดูปลูกที่ ๑ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ ให้ความสูงต้นคะน้าสูงสุด เท่ากับ ๓๕.๘๘ เซนติเมตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก และปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ความสูงต้นคะน้าไม่แตกต่างทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๒๘.๕๕ - ๓๑.๒๔ เซนติเมตร แต่ทุกตำรับการทดลองมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมที่มีค่าความสูงของต้นคะน้าน้อยที่สุด คือ ๑๕.๙๑ เซนติเมตร

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้า ฤดูปลูกที่ ๒ พบว่า มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นของต้นคะน้าสูงสุด เท่ากับ ๒๓.๖๓ เซนติเมตร ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ในอัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ และมีค่าความสูงต้นเฉลี่ย ๒๒.๐๔ และ ๒๒.๐๓ เซนติเมตร ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ และทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าตำรับควบคุม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ ๑๑.๗๐ เซนติเมตร

ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวทั้ง ๒ ฤดูกาล พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อการปรับปรุงดินและเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร มีผลให้ความสูงของต้นคะน้ามีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ ๒๖.๙๐ เซนติเมตร ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าระหว่าง ๒๓.๙๘ – ๒๕.๙๔ เซนติเมตร

ตารางที่ ๓ ความสูงของต้นคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว ในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒

ตำรับทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูกที่ ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๑๕.๙๑ c	๑๑.๗๐ d	๑๓.๘๐ d
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๓๕.๘๘ a	๒๒.๐๔ ab	๒๘.๙๖ a
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๓๑.๒๔ b	๒๐.๖๒ bc	๒๕.๙๔ bc
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๓๐.๔๙ b	๒๑.๑๖ bc	๒๕.๘๓ bc
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กก.ต่อไร่	๒๙.๕๗ b	๒๒.๐๓ ab	๒๕.๘๐ bc
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กก.ต่อไร่	๓๐.๑๗ b	๒๓.๖๓ a	๒๖.๙๐ ab
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กก.ต่อไร่	๒๘.๕๕ b	๑๙.๔๐ c	๒๓.๙๘ c
F-test	**	**	**
CV (%)	๘.๑๔	๖.๒๔	๕.๗

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD
** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

๒) ความเขียวของใบคะน้า

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้าฤดูปลูกที่ ๑ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความเขียวของใบคะน้าไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๔๔.๔๖ - ๔๕.๒๔ SPAD reading

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้าฤดูปลูกที่ ๒ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ หรือปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยความเขียวของใบคะน้าไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๔๕.๘๗ - ๕๐.๑๔ SPAD reading

ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวทั้ง ๒ ฤดูกาล พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตราต่าง ๆ หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว หรือปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก มีผลให้ความเขียวของใบคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๔๕.๐๖ - ๕๖.๙๖ SPAD reading

ตารางที่ ๔ ความเขียวของต้นคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว ในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒

ตำรับทดลอง	ความเขียว (SPAD reading)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูกที่ ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๓๙.๑๐ c	๔๑.๙๒ b	๔๐.๕๑ b
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๔๔.๘๘ a	๔๕.๘๗ ab	๔๕.๓๘ a
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๔๑.๗๑ bc	๔๘.๔๐ a	๔๕.๐๖ a
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๔๕.๐๙ a	๕๐.๑๔ a	๔๗.๖๒ a
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กก.ต่อไร่	๔๕.๒๔ a	๔๗.๓๔ a	๔๖.๒๙ a
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กก.ต่อไร่	๔๔.๔๖ ab	๔๙.๔๗ a	๕๖.๙๖ a
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กก.ต่อไร่	๔๔.๗๔ ab	๔๙.๓๔ a	๔๗.๐๔ a
F-test	**	*	**
CV (%)	๓.๙๔	๕.๔๗	๓.๕๙

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD
* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕ เปอร์เซ็นต์
** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

๓) ขนาดพื้นที่ใบของคะน้า

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้าฤดูปลูกที่ ๑ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้พื้นที่ใบของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวสูงสุด เท่ากับ ๑๑๘.๕๖ ตารางเซนติเมตร รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๑๐๗.๐๘ - ๑๐๗.๐๙ ตารางเซนติเมตร ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ในอัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยระหว่าง ๗๗.๘๑ - ๙๑.๔๐ ตารางเซนติเมตร

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้าฤดูปลูกที่ ๒ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ในอัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้พื้นที่ใบของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวสูงสุด มีค่าเท่ากับ ๖๗.๐๘ ตารางเซนติเมตร รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างกับ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๖๐.๓๐ - ๖๕.๑๘ ตารางเซนติเมตร

ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวทั้ง ๒ ฤดูกาล พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าสูงสุดเท่ากับ ๘๗.๒๐ ตารางเซนติเมตร รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์

ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๕ ขนาดพื้นที่ใบคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว ในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒

ตำรับทดลอง	พื้นที่ใบ (ตร.ซม.)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูกที่ ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๓๔.๔๗ d	๑๘.๗๑ c	๒๖.๕๙ e
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๑๐๗.๐๙ ab	๖๕.๑๘ ab	๘๖.๑๓ ab
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๑๑๘.๕๖ a	๕๕.๘๔ b	๘๗.๒๐ a
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๑๐๗.๐๘ ab	๖๒.๕๕ ab	๘๔.๘๒ abc
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กก.ต่อไร่	๙๑.๔๐ bc	๖๐.๙๘ ab	๗๖.๑๙ bcd
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กก.ต่อไร่	๘๑.๙๙ c	๖๗.๐๘ a	๗๔.๕๓ cd
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กก.ต่อไร่	๗๗.๘๑ c	๖๐.๓๐ ab	๖๙.๐๖ d
F-test	**	**	**
CV (%)	๑๑.๕๒	๑๐.๑๔	๘.๕๗

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD
** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

๔) ผลผลิตของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยว

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตของคะน้าฤดูปลูกที่ ๑ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีผลให้น้ำหนักผลผลิตคะน้าสูงสุด เท่ากับ ๕,๔๔๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ มีค่าเท่ากับ ๕,๐๗๒ และ ๔,๗๒๐ กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ ๔,๗๒๐ ๔,๕๒๘ และ ๔,๔๑๖ กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุด ๑,๐๐๘ กิโลกรัมต่อไร่

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้าฤดูปลูกที่ ๒ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักผลผลิตของคะน้าสูงสุดเท่ากับ ๒,๙๒๘ กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่

ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีค่าระหว่าง ๒,๖๒๔ – ๒,๗๘๔ กิโลกรัมต่อไร่ และทุกตำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุด ๖๒๔ กิโลกรัมต่อไร่

ค่าเฉลี่ยผลผลิตของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวทั้ง ๒ ฤดูกาล พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อปรับปรุงดินเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุพืชในดิน มีผลให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิตมีค่าระหว่าง ๓,๕๒๒ – ๔,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ และไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ ๑,๐๓๒ กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ มีค่าเท่ากับ ๓,๓๗๖ กิโลกรัมต่อไร่ และทุกตำรับการทดลองให้ค่าสูงกว่าซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมที่มีค่าต่ำสุด คือ ๘๑๖ กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ ๖ ผลผลิตคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว ในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒

ตำรับทดลอง	ผลผลิตคะน้า (กิโลกรัม/ไร่)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูกที่ ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๑,๐๐๘ c	๖๒๔ c	๘๑๖ c
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๕,๔๔๐ a	๒,๖๒๔ ab	๔,๐๓๒ a
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๔,๔๔๘ b	๒,๒๘๘ b	๓,๓๗๖ b
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๔,๗๒๐ ab	๒,๗๘๔ ab	๓,๗๖๐ ab
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๔,๕๒๘ b	๒,๗๒๐ ab	๓,๖๓๒ ab
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๕,๐๗๒ ab	๒,๙๒๘ a	๔,๐๐๐ a
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๔,๔๑๖ b	๒,๖๘๘ ab	๓,๕๕๒ ab
F-test	**	**	**
CV (%)	๑๑.๕๔	๑๓.๕๕	๑๐.๔๓

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD

** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

๕) น้ำหนักแห้งของต้นคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยว

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้าฤดูปลูกที่ ๑ พบว่า มีผลให้น้ำหนักแห้งของต้นคะน้าสูงสุด ค่าเท่ากับ ๒.๗๔ กรัมต่อต้น ไม่แตกต่างกับการใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ ๒.๒๖ และ ๒.๔๗ กรัมต่อต้น ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ในอัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ที่มีค่าไม่แตกต่างกันมีค่าระหว่าง ๑.๘๒ - ๒.๐๑ กรัมต่อต้น

หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตของคะน้าฤดูปลูกที่ ๒ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีผลให้น้ำหนักแห้งของต้นคะน้าสูงสุด เท่ากับ ๑.๙๗ กรัมต่อต้น ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ เท่ากับ ๑.๙๑ กรัมต่อต้น

ค่าเฉลี่ยผลผลิตของคะน้าที่อายุเก็บเกี่ยวทั้ง ๒ ฤดูกาล พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีผลให้เฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นคะน้าสูงสุด เท่ากับ ๒.๒๒ กรัมต่อต้น มีค่าไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ร่วมกับการใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าระหว่าง ๑.๙๑ - ๒.๑๒ กรัมต่อต้น

ตารางที่ ๗ น้ำหนักแห้งต่อต้นคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว ในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒

ตำรับทดลอง	น้ำหนักแห้งต่อต้น (กรัมต่อต้น)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูกที่ ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๐.๔๗ d	๐.๙๐ c	๐.๖๙ d
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๒.๔๗ ab	๑.๙๗ a	๒.๒๒ a
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๒.๗๔ a	๑.๕๐ b	๒.๑๒ ab
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๒.๒๖ abc	๑.๕๗ ab	๑.๙๑ abc
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๒.๐๑ bc	๑.๕๘ ab	๑.๗๙ bc
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๑.๙๙ bc	๑.๙๑ a	๑.๙๕ abc
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๑.๘๒ c	๑.๔๕ b	๑.๖๔ c
F-test	**	**	**
CV (%)	๑๕.๑๗	๑๔.๕๘	๑๐๕๑

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ LSD
** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองทั้ง ๒ ครั้งของการปลูกคะน้า จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ในอัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ หรือรูปแบบการขยายเชื้อปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ การใช้ปัจจัยต่าง ๆ เพื่อการปรับปรุงดินและเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารให้กับพืช ส่งผลให้ความสูงต้นคะน้า ความเขียวของใบคะน้า และขนาดพื้นที่ใบของคะน้า มีค่าไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปัจจัยดังกล่าวสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกคะน้า ๒๕ เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้

เนื่องจากการใส่ปุ๋ยชีวภาพ ประกอบด้วย จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน มีประสิทธิภาพตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ๒๓๑ นาโนโมลเอธีลีนต่อต้นต่อชั่วโมง จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต มีประสิทธิภาพการละลายหินฟอสเฟต ๔๘.๒๒ เปอร์เซ็นต์ จุลินทรีย์โพแทสเซียม มีประสิทธิภาพการละลายแร่เฟลสปาร์ ๙.๐๒ เปอร์เซ็นต์ และจุลินทรีย์ผลิตฮอร์โมนพืช มีประสิทธิภาพฮอร์โมนออกซิน ๕๖.๑๘ มิลลิกรัมต่อลิตร (ฉวีวรรณ และคณะ, ๒๕๕๒) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักที่เป็นธาตุที่จำเป็นและต้องการในปริมาณสูงให้กับพืช และการใช้ประโยชน์ถ่านไบโอชาร์ และปุ๋ยหมัก ในการปรับปรุงเพิ่มแหล่งอินทรีย์คาร์บอนให้แก่ดิน เป็นที่อาศัยของจุลินทรีย์ ส่งเสริมความเป็นประโยชน์ให้จุลินทรีย์ดินในการหมุนเวียนธาตุอาหารพืช อีกทั้งถ่านไบโอชาร์ มีรูพรุนสูงเพิ่มการดูดซับทั้งธาตุอาหารและน้ำให้พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ลดการชะล้างโดยการจัดการดิน วิธีการดังกล่าว ส่งผลให้ดินมีสมบัติทางชีวภาพที่เหมาะสม มีดุลยภาพด้านชนิด ประชากร และกิจกรรมจุลินทรีย์ พืชย่อมมีแนวโน้มที่จะได้รับธาตุอาหารต่างๆ มากขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช (De Boer *et al.,* ๒๐๐๖) และจากรายงานของอุทัย และคณะ (๒๕๓๖) การใช้ถ่านแกลบในพื้นเพาะปลูกสามารถช่วยปรับ pH ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ การระบายอากาศ ความหนาแน่นดินรวม และการซึมซับของดินทรายได้ดี ส่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Hidetosh *et al.* (๒๐๐๙) การใช้ถ่านชาร์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ในประเทศลาวใช้ถ่านชาร์ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวไร่ พบว่า การใช้ถ่านชาร์ที่อัตราต่ำสุด ๖๔๐ กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีผลต่อการปรับปรุง saturated hydraulic conductivity ในช่วงบนของดินและการหมุนเวียนใน xylem sap ของต้นข้าว ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสต่ำ และช่วยในการตอบสนองต่อไนโตรเจน และปุ๋ยเคมีไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และช่วยเพิ่มผลผลิต

๖) สมบัติทางเคมีของดิน

๖.๑) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ก่อนการทดลองดินมีค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง ๐.๑๓ - ๐.๑๔ เดซิซีเมนส์ต่อเมตร

๖.๒) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ดินก่อนการทดลอง มีค่าเท่ากับ ๘.๒๗ ภายหลังการทดลองพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์มีผลให้ค่าความเป็นกรด - ด่างของดินสูงสุดมีค่าเท่ากับ ๘.๔๓ ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ผลให้ค่าความเป็นกรด - ด่างของดิน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าระหว่าง ๘.๒๗ - ๘.๓๓

๖.๓) ค่าความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของดินภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ในอัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ผลให้ค่า CEC มีแนวโน้มสูงกว่ามีค่าระหว่าง ๑๑.๐๙ - ๑๑.๔๒ เซนติโมลต่อกิโลกรัม ขณะที่การไม่ได้ใส่ถ่านไบโอชาร์ ผลให้ค่า CEC มีค่าระหว่าง ๑๐.๖๐ - ๑๐.๘๔ เซนติโมลต่อกิโลกรัม

๖.๔) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินภายหลังการทดลองมีค่าสูงสุด มีค่าระหว่าง ๑.๖๗ - ๑.๘๓ เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสูงกว่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ถ่านไบโอชาร์ และเพิ่มของอินทรียวัตถุในดิน เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการทดลอง มีค่าเท่ากับ ๑.๕๑ เปอร์เซ็นต์ ส่งผลต่อการสะสมอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ๑๐.๕๙ - ๒๑.๑๙ เปอร์เซ็นต์

๖.๕) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ก่อนการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน มีค่าเท่ากับ ๒๗๑.๐๗ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ภายหลังการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภายหลังการทดลองอยู่ในช่วง ๒๗๔.๙๗ - ๓๑๘.๕๗ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

๖.๖) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้า พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สะสมในดินมีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๑๓๐.๖๗ และ ๑๕๐.๖๗ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน มีค่าระหว่าง ๖๗.๖๗ - ๘๑.๖๗ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

๖.๗) ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้า พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง ๒๑๔๐.๗๐ - ๒๓๑๗.๓ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

๖.๘) ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้า พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง ๓๒๒.๖๗ - ๓๗๙.๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลต่อการสะสมอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น ๑๐.๕๙ - ๒๑.๑๙ เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนการทดลอง ๑.๕๑ เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในระดับต่ำ เพิ่มเป็น ๑.๖๗ - ๑.๘๓ เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง ส่งผลต่อการยกระดับปริมาณอินทรียวัตถุของดินให้เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ นลินี (๒๕๔๖) รายงานว่าการใส่ถ่านไบโอชาร์มีผลต่อการสะสมอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารในดินสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีแบบเดี่ยว ๆ อีกทั้งการใส่ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ในอัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูงกว่าซึ่งมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองอื่น และการใส่อัตราที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในดินเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการใส่ปุ๋ยชีวภาพที่ตรึงเซลล์ในถ่านไบโอชาร์ หัวเชื้อได้มาจากการขยายเชื้อในน้ำกากส่าที่ความเข้มข้น ๑๐ เปอร์เซ็นต์ ผสมกับกากน้ำตาล ๕ เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในน้ำกากส่ามีองค์ประกอบของโพแทสเซียม สอดคล้องกับรายงานของ Johannes *et al*. (๒๐๑๑) คุณสมบัติของถ่านไบโอชาร์ที่มีรูพรุนสูงและมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีผลต่อความสามารถในการซับเซลล์แบคทีเรียจากหัวเชื้อรูปของเหลวได้ดี ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มขึ้นของรากพืชและผลผลิต และการสะสมธาตุอาหารในดิน

ตารางที่ ๘ สมบัติทางเคมีดินก่อนและหลังการทดลองของค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ ๒

ตำรับการทดลอง	EC(dS/m)	pH (๑:๑)	CEC (cmol/kg)
ดินก่อนการทดลอง	๐.๑๕	๘.๒๗	๑๐.๖๔
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๐.๑๓	๘.๔๓ a	๑๐.๔๘
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๐.๑๔	๘.๔๓ a	๑๐.๖๐
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๐.๑๔	๘.๓๓ b	๑๐.๘๔
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๐.๑๔	๘.๔๗ a	๑๐.๖๙
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๐.๑๔	๘.๓๓ b	๑๑.๑๒
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๐.๑๔	๘.๓๐ b	๑๑.๐๙
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๐.๑๔	๘.๒๗ b	๑๑.๔๒
F-test	ns	**	ns
CV (%)	๘.๐๙	๐.๖๓	๔.๒๑

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT
ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ
** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

๗) ปริมาณธาตุอาหารในต้นคะน้า

๗.๑) ปริมาณไนโตรเจน พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ มีผลต่อการสะสมปริมาณไนโตรเจนในต้นคะน้าสูงสุด มีค่าเท่ากับ ๓.๗๔ เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๓.๕๔ - ๓.๖๘ เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ ๒.๓๑ เปอร์เซ็นต์

๗.๒) ปริมาณฟอสฟอรัส พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นคะน้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง ๐.๕๔ - ๐.๖๐ เปอร์เซ็นต์ แต่ทุกตำรับมีค่าสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุมที่ค่าต่ำสุด

๗.๓) ปริมาณโพแทสเซียม พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในต้นคะน้ามีปริมาณสะสมสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าระหว่างเท่ากับ

๓.๗๑ - ๓.๙๔ เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าสูงกว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบตำรับการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ และตำรับควบคุม มีค่าเท่ากับ ๓.๑๒ และ ๒.๔๗ เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในต้นคะน้า จากการใส่ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ หรือในปุ๋ยหมัก ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ มีผลต่อการสะสมของปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในต้นคะน้า เนื่องจากปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ประกอบด้วย จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน ละลายฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสร้างฮอร์โมนพืช มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และสอดคล้องกับรายงานของ Hidetosh *et al.* (๒๐๐๙) พบว่าการใช้ถ่านชาร์ (Biochar) ในการปรับปรุงบำรุงดิน ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นในพื้นที่ที่มีฟอสฟอรัสต่ำ และช่วยในการตอบสนองต่อไนโตรเจน และปุ๋ยเคมีไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวไร่

ตารางที่ ๙ สมบัติทางเคมีดินก่อนและหลังการทดลองของปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณกำมะถันที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตฤดูปลูกที่ ๒

ตำรับ	OM (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
ดินก่อนการทดลอง	๑.๕๑	๒๗๑.๐๗	๑๕๗.๐๐	๒๕๑๖.๐๐	๓๕๕.๐๐
T๑	๑.๔๐ c	๒๕๓.๙๕	๖๒.๔๒ b	๒๒๕๗.๗๐	๓๓๕.๖๗
T๒	๑.๔๐ c	๒๘๑.๙๐	๗๐.๖๗ b	๒๒๔๙.๗๐	๓๒๕.๐๐
T๓	๑.๕๓ bc	๒๙๖.๑๗	๖๗.๖๗ b	๒๒๙๐.๐๐	๓๒๒.๖๗
T๔	๑.๕๓ bc	๒๙๕.๓๓	๖๗.๖๗ b	๒๓๑๗.๓๐	๓๗๙.๐๐
T๕	๑.๘๓ a	๒๗๔.๔๓	๘๑.๖๗ b	๒๒๑๑.๗๐	๓๔๖.๐๐
T๖	๑.๖๗ ab	๒๘๗.๗๐	๑๓๐.๖๗ a	๒๑๔๐.๗๐	๓๓๕.๖๗
T๗	๑.๗๖ a	๒๘๕.๓๗	๑๕๐.๖๗ a	๒๒๗๘.๐๐	๓๓๕.๐๐
F-test	**	ns	**	ns	ns
CV (%)	๖.๓๑	๑๐.๗๘	๒๐.๘๗	๗.๑๑	๙.๕๕

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ๑๐ ปริมาณไนโตรเจนในต้นคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว ในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒

ตำรับทดลอง	ปริมาณไนโตรเจน (เปอร์เซนต์)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูกที่ ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๒.๓๙ c	๒.๒๑ d	๒.๓๑ d
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๓.๙๕ a	๓.๔๐ b	๓.๖๘ ab
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๓.๘๓ a	๓.๑๐ c	๓.๔๗ bc
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๓.๙๐ a	๓.๕๖ a	๓.๗๔ a
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๓.๙๙ a	๓.๓๐ b	๓.๖๕ ab
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๓.๒๘ ab	๓.๓๗ b	๓.๓๓ c
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๓.๖๙ ab	๓.๓๘ b	๓.๕๔ abc
F-test	**	**	**
CV (%)	๗.๖๗	๒.๒๙	๔.๐๖

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ๑๑ ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว ในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒

ตำรับทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูกที่ ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๐.๕๒	๐.๔๖	๐.๕๐ b
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๐.๕๙	๐.๕๔	๐.๕๗ a
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๐.๕๔	๐.๕๓	๐.๕๔ ab
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๐.๖๐	๐.๕๕	๐.๕๘ a
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๐.๖๔	๐.๕๔	๐.๕๙ a
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๐.๕๘	๐.๕๖	๐.๕๗ a
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๐.๖๕	๐.๕๓	๐.๖๐ a
F-test	ns	ns	*
CV (%)	๙.๙๕	๑๐.๒๘	๕.๙๒

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕ เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ๑๒ ปริมาณโพแทสเซียมในต้นคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว ในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒

ตำรับทดลอง	ปริมาณโพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูกที่ ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๒.๘๓ d	๒.๓๕ e	๒.๔๗ c
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๓.๑๕ cd	๓.๐๘ d	๓.๑๒ b
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๓.๘๑ ab	๓.๓๕ cd	๓.๕๙ a
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๓.๗๕ abc	๓.๕๗ bc	๓.๖๖ a
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๓.๙๖ ab	๓.๙๒ ab	๓.๙๔ a
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๓.๔๐ bcd	๔.๐๒ a	๓.๗๑ a
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๔.๐๑ a	๓.๘๓ ab	๓.๙๓ a
F-test	**	**	**
CV (%)	๙.๕	๗.๐๓	๖.๑๔

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธีการ DMRT
** = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๙ เปอร์เซ็นต์

๘) ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกคะน้า ๒ ฤดูปลูก

ฤดูปลูกที่ ๑ การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ ให้รายได้สุทธิสูงสุด ๑๐๑,๒๘๐.๔ บาทต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพแบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ หรือร่วมกับปุ๋ยชีวภาพในปุ๋ยหมัก ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ให้รายได้สุทธิ ๘๗,๒๓๘.๙ และ ๘๒,๒๒๐.๓ บาทต่อไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ให้รายได้สุทธิ ๗๘,๒๗๘.๙ บาทต่อไร่ สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใส่ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ให้รายได้สุทธิ ๗๒,๓๙๘.๙ และ ๖๐,๑๕๘.๙ บาทต่อไร่ ตามลำดับ

ฤดูปลูกที่ ๒ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใส่ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ให้รายได้สุทธิสูงสุด ๕๐,๓๙๘.๙ บาทต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่ ให้รายได้สุทธิ ๔๘,๕๑๘.๙ บาทต่อไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ ให้รายได้สุทธิ ๔๔,๙๖๐.๔ บาทต่อไร่

จากการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการปลูกคะน้า ๒ ฤดูปลูก จะเห็นได้รายได้สุทธิในฤดูปลูกที่ ๒ จากการใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใส่ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ให้รายได้สุทธิสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี ๑๐๐ เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้น ๗.๙๑ เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากฤดูปลูกที่ ๒ ลดต้นทุนค่าถ่านไบโอชาร์เนื่องจากใส่เพียงครั้งเดียวในฤดูปลูกที่ ๑

ตารางที่ ๑๓ ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในฤดูปลูกที่ ๑ และ ๒ หน่วย : บาทต่อไร่

ตำรับการทดลอง	รายได้สุทธิ (บาท)		
	ฤดูปลูกที่ ๑	ฤดูปลูก ๒	ค่าเฉลี่ย
๑. ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	๑๓,๙๖๐.๐	๖,๒๘๐.๐	๑๐,๑๒๐.๐
๒. ปุ๋ยเคมี ๑๐๐%	๑๐๑,๒๘๐.๔	๔๔,๙๖๐.๔	๗๓,๑๒๐.๔
๓. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ขยายเชื้อในปุ๋ยหมัก อัตรา ๓๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๘๒,๒๒๐.๓	๓๙,๐๒๐.๓	๖๐,๗๘๐.๓
๔. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตรา ๓๐๐ ลิตรต่อไร่	๘๗,๒๓๘.๙	๔๘,๕๑๘.๙	๖๘,๐๓๘.๙
๕. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๗๒,๓๙๘.๙	๔๖,๒๓๘.๙	๕๔,๔๗๘.๙
๖. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๗๘,๒๗๘.๙	๕๐,๓๙๘.๙	๕๖,๘๓๘.๙
๗. ปุ๋ยเคมี ๗๕% + ถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่	๖๐,๑๕๘.๙	๔๕,๕๙๘.๙	๔๒,๘๗๘.๙

๕.๔ สรุปผลการทดลอง

๕.๔.๑ การใช้ถ่านไบโอชาร์เพื่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ถ่านไบโอชาร์ ๑ ส่วนต่อปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ๒ ส่วน (อัตราส่วนเท่ากับ ๑ : ๒) แช่ถ่านไบโอชาร์ เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง มีปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียสร้างฮอร์โมนพืช แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส และแบคทีเรียละลายโพแทสเซียม มีปริมาณเชื้อเฉลี่ย ๕.๓๑, ๕.๗๗, ๗.๒๐ และ ๖.๐๔ $\log_{10}$ CFU g^{-1} ตามลำดับ

๕.๔.๒ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๐๐๐ ๑,๕๐๐ และ ๒,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ทั้ง ๓ อัตรา สามารถเพิ่มอินทรียวัตถุในดินได้ ๑๐.๕๙ - ๒๑.๑๙ เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มการสะสมปริมาณโพแทสเซียมในดิน

๕.๔.๓ การใส่ปุ๋ยเคมี ๗๕ เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับถ่านไบโอชาร์ที่ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ อัตรา ๑,๕๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของคะน้า ได้แก่ ความสูงต้น ความเขียวใบ ขนาดพื้นที่ใบ เพิ่มการสะสมปริมาณโพแทสเซียมในลำต้นคะน้าสูงขึ้น เพิ่มผลผลิตคะน้ามีค่าระหว่าง ๓,๕๕๐ – ๔,๐๐๐ กิโลกรัมต่อไร่ และลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ ๒๕ เปอร์เซ็นต์

๖. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)

๖.๑ เชิงปริมาณ

๖.๑.๑ ต้นแบบวิธีการผลิตและอัตราส่วนผสมของปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ แบบเหลว ต่ออัตราถ่านไบโอชาร์ที่เหมาะสมต่อการดูดซับเซลล์จุลินทรีย์ จำนวน ๑ ต้นแบบ

๖.๑.๒ องค์ความรู้การใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ถ่านไบโอชาร์ ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช จำนวน ๑ เรื่อง

๖.๑.๓ เอกสารวิชาการการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ ด้วยถ่านไบโอชาร์ ต่อการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตพืช จำนวน ๑ ชุด

๖.๒ เชิงคุณภาพ

๖.๒.๑ ส่งเสริมและเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตรในดิน ได้แก่ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ แบคทีเรียละลายฟอสฟอรัส แบคทีเรียละลายโพแทสเซียม และแบคทีเรียสร้างสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้น

๖.๒.๒ ถ่านไบโอชาร์เป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่คงตัวสูงสลายตัวได้ช้า มีรูพรุนสูงอุ้มน้ำเก็บความชื้นในดินได้ดี ดูดซับธาตุอาหาร ส่งเสริมระบบนิเวศจุลินทรีย์ในดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและธาตุอาหารพืช

๖.๒.๓ เพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

๗. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ

๗.๑ แนวทางการใช้ประโยชน์ถ่านไบโอชาร์จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรของแต่ละท้องถิ่นเป็นวัสดุปรับปรุงดิน จากคุณสมบัติเด่นที่มีรูพรุนสูง อุ้มน้ำได้ดี ดูดซับ และลดการสูญเสียธาตุอาหารพืช มีองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนที่คงตัวสูง และมีช่องว่างที่เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์นำมาใช้ประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจากธรรมชาติ เป็นวิธีการจัดการด้านการปรับปรุงดิน ลดปัญหาดินเสื่อมโทรม เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อย่างยั่งยืน เป็นแนวทางให้ผู้บริหาร นักวิชาการ และเกษตรกร นำไปประโยชน์การวางแผนการปรับปรุงดินและการผลิตต่อไป

๗.๒ สามารถนำต้นแบบการผลิตและวิธีการใช้ประโยชน์ไปต่อยอดขยายผลในพื้นที่ดินปัญหา เช่น พื้นที่ดินกรด ดินเปรี้ยว และดินเค็ม เพื่อการปรับปรุงดิน เพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เพิ่มแหล่งธาตุอาหารพืชจากธรรมชาติ ลดปัญหาดินเสื่อมโทรม และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อย่างยั่งยืน

๗.๓ สามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ในการบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่เกิดการหมุนเวียนทางชีวภาพให้เกิดประโยชน์สูงสุด ปัจจุบันการผลิตถ่านไบโอชาร์มีรูปแบบการผลิตที่ง่ายและต้นทุนต่ำ เกษตรกรนำแนวทางไปปฏิบัติใช้ประโยชน์ได้เองในพื้นที่ เป็นแนวทางการส่งเสริมเกษตรกรให้พึ่งพาตนเองด้านการปรับปรุงดินเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นไปได้อย่างยั่งยืน

๘. ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ

๘.๑ การวิเคราะห์และจำแนกชนิดของแบคทีเรียแต่ละชนิดที่ต้องใช้วิธี Microbiological method ต้องใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญ และเทคนิคการตรวจสอบเชื้อแต่ละสายพันธุ์ที่ถูกต้อง

๘.๒ การตรวจสอบการเข้าอยู่อาศัยของแบคทีเรียทั้ง ๔ ชนิด ในช่องรูพรุนของถ่านไบโอชาร์ ด้วยการใช้เครื่องมือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อน ต้องใช้ความรู้ความเชี่ยวชาญ และเทคนิคในการเตรียมตัวอย่างทุกขั้นตอน

๘.๓ การทดสอบในแปลงทดลอง เนื่องจากสภาพแวดล้อมในแปลงไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความชื้นในดิน อุณหภูมิ เป็นต้น การดำเนินงานต้องตรวจสอบควบคุมดูแลแปลง การให้น้ำพืช การใส่ปุ๋ย และเก็บข้อมูลอย่างละเอียด เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อการวิจัย

๙. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

เนื่องจากการทดสอบในพื้นที่แปลงทดลอง ช่วงเวลาที่เพาะปลูกช่วงเดือนเมษายน อากาศร้อน มีการระเหยของน้ำสูง จึงต้องมีการจัดการให้น้ำที่เหมาะสม ซึ่งพืชทดสอบเป็นพืชผักที่ต้องการน้ำในการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสม เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อการวิจัย

๑๐. ข้อเสนอแนะ

๑๐.๑ ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมด้านการปรับปรุงดินด้วยถ่านไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรรูปแบบต่าง ๆ ที่มีในท้องถิ่น ร่วมกับการใช้ประโยชน์ปุ๋ยชีวภาพ พด.๑๒ และจุลินทรีย์ควบคุมโรคพืชในการเพิ่มผลผลิตพืชตามศักยภาพของดินที่แตกต่างกัน ๆ และศึกษาผลจากการใช้ประโยชน์ในระยะยาว จะเป็นข้อมูลในการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

๑๐.๑ ควรมีการขยายผลจากการวิจัยสู่แปลงสาธิตร่วมกับการจัดการดินแบบผสมผสาน สำหรับผลิตพืชชนิดต่าง ๆ ตามศักยภาพของดินในแต่พื้นที่ เพื่อให้เกษตรกรเกิดความมั่นใจนำไปปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม และประยุกต์ใช้ขยายผลได้เป็นวงกว้าง

๑๑. การเผยแพร่ผลงาน

๑๑.๑ การจัดทำเอกสารเผยแพร่หน้าเว็บไซต์หน่วยงาน

๑๑.๒ การนำเสนอผลงานในรูปแบบการบรรยายให้กับเจ้าหน้าที่ภาครัฐ

๑๒. ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน (ถ้ามี)

๑๒.๑ นางจันจิรา แสงสีเหลือง สัดส่วนของผลงาน ๘๐ มีหน้าที่ เขียนโครงการวิจัย วางแผนการและดำเนินการวิจัย เก็บข้อมูล วิเคราะห์ แปรผลข้อมูล และเขียนรายงาน

๑๒.๒ นางนวลจันทร์ ชะบา สัดส่วนของผลงาน ๑๐ มีหน้าที่ ร่วมปฏิบัติงานวิจัยดำเนินการวางแผนการ

๑๒.๓ นายวุฒิชัย จันทรสมบัติ สัดส่วนของผลงาน ๑๐ มีหน้าที่ ร่วมปฏิบัติงานวิจัยดำเนินการวางแผนการ

ขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

(ลงชื่อ) .....(ผู้ขอประเมิน)
(นางจันจิรา แสงสีเหลือง)
(ตำแหน่ง) นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
(วันที่) ๒๔ / ก.ค. / ๖๖

ขอรับรองว่าสัดส่วนการดำเนินการข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ (ถ้ามี)

รายชื่อผู้มีส่วนร่วมในผลงาน	ลายมือชื่อ
๑. นางนวลจันทร์ ชะบา	
๒. นายวุฒิชัย จันทรสมบัติ	

ได้ตรวจสอบแล้วขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นถูกต้องตรงกับความเป็นจริงทุกประการ

(ลงชื่อ) .....(ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล)

(นายคำนึง แสงขำ)

ผู้อำนวยการกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน

(วันที่) ๒๔ / ก.ค. / ๖๖

หมายเหตุ คำรับรองจากผู้บังคับบัญชา คือ ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล และผู้บังคับบัญชาที่เหนือขึ้นไปอีกหนึ่งระดับ เว้นแต่ในกรณีที่ผู้บังคับบัญชาดังกล่าวเป็นบุคคลคนเดียวกัน ก็ให้มีคำรับรองหนึ่งระดับได้