รายงานโครงการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและจุลินทรีย์ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

The Efficiency Enhancement of Biofertilizer Product and Soil Microbial Inoculant for Increase agricultural productivity

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

(นางสาวศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต)

(Miss Sirilak Kaewsuralikhit)

ปี พ.ศ. 2563

กรมวิชาการเกษตร

รายงานโครงการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและจุลินทรีย์ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

The Efficiency Enhancement of Bio-fertilizer Product and Soil Microbial Inoculant for Increase agricultural productivity

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

(นางสาวศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต)

(Miss Sirilak Kaewsuralikhit)

ปี พ.ศ. 2563

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
คณะผู้วิจัย	2
บทนำ	3
บทคัดย่อ	5
กิจกรรมที่ 1 การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบใหม่	7
กิจกรรมที่ 2 การพัฒนาศักยภาพของปุ๋ยชีวภาพ และหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน	47
กิจกรรมที่ 3 การวิจัยและพัฒนากิจกรรมของจุลินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลิตภาพการผลิตพืช	134
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	160
บรรณานุกรม	161

กรมวิชาการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำ และมีส่วนร่วมในการพัฒนางานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ปฏิบัติงานทั้งในห้องปฏิบัติการจุลินทรีย์ดิน ห้องปฏิบัติการเคมีดินที่กรุณาช่วยวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช อีกทั้งผู้ที่ช่วยปฏิบัติงานทุกท่านในแปลงทดลองแต่ละแห่งที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และได้ช่วยเหลือในดูแลแปลงทดลองและเก็บข้อมูลงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

พฤษภาคม 2564

กรมวิชาการเกษตร

คณะผู้วิจัย

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต[1]	ประไพ ทองระอา[1]	นิศารัตน์ ทวีนุต[1]
Sirilak Kaewsuralikhit[1]	Praphai Thongra-ar[1]	Nisarat Thaweenut[1]
อธิปัตย์ คลังบุญครอง[1]	สนธยา ขำติ๊บ[1]	มนต์ชัย มนัสศิลา[1]
Athipat Klungboonkrong[1]	Sontaya Khamtib[1]	Monchai Manassila[1]
กัลยกร โปร่งจันทึก[1]	บุณฑริก ฉิมชาติ[1]	จิตรา เกาะแก้ว[1]
Kunlayakorn Prongjunthuek[1]	Boontarik Chimchart[1]	Jitra Kokaew[1]
สุปรานี มั่นหมาย[1]	อมรรัตน์ ใจยะเสน[1]	พัชรินทร์ นามวงษ์[1]
Supranee Munmai[1]	Amornrat Chaiyasen[1]	Patcharin Namwong[1]
กนกอร บุญพา[1]	อรัญญ์ ขันติยวิชย์[2]	ภัสชญภณ หมื่นแจ้ง[3]
Kanokon Bunpha[1]	Aran Khuntiyawit[2]	Phatchayaphon Meunchang[3]
ระพีพรรณ ชั่งใจ[4]	ศิวกร เกียรติมณีรัตน์[5]	ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[6]
Rapeepun Changjai[4]	Siwakorn Keatmaneerat[5]	Tawatchai Inboonchuay[6]

[1]กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

[1]Soil Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Division

[2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น

[2]Khon Kaen Agricultural Production Sciences Research and Development Center

[3]สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน

[3]Field and Renewable Energy Crops Research Institute

[4]ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช

[4]Lopburi Seed Research and Development Center, Seed Research and Development Division

[5]ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน

[5]Field and Renewable Energy Crops Research Institute

[6]ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[6]Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตปุ๋ยชีวภาพ เมื่อคัดเลือกได้สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการให้ธาตุอาหารพืชแล้ว ในขั้นแรกเป็นการเพาะขยายปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สายพันธุ์ดีให้มีปริมาณมากเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ แล้วจึงนำหัวเชื้อมาผ่านกระบวนการผสมกับวัสดุรองรับให้เชื้อจุลินทรีย์ยึดเกาะ หลังจากบ่มจนเชื้อกระจายตัวเข้ากับวัสดุรองรับดีแล้ว ในขั้นสุดท้ายเป็นการเก็บรักษาให้เชื้อคงปริมาณเซลล์ในระดับที่มีประสิทธิภาพหรือตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งที่ผ่านมาการผลิตปุ๋ยชีวภาพที่มีประสิทธิภาพนั้นใช้พีทเป็นวัสดุรองรับ ซึ่งหาได้ยากและมีราคาแพง ปัจจุบันมีการใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุต่างๆ เป็นวัสดุรอง แต่การผลิตในเชิงอุตสาหกรรมมักจะมีปัญหาในการจัดเตรียมวัสดุรองรับทั้งชนิด และความสม่ำเสมอของวัสดุรองรับในแต่ละรอบการผลิต ซึ่งควบคุมคุณภาพได้ค่อนข้างยาก ทำให้คุณภาพของปุ๋ยชีวภาพไม่มีความสม่ำเสมอ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงจำเป็นต้องทำการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยชีวภาพทั้งชนิดที่เป็นของเหลว แบบแห้ง หรือเม็ด เพื่อง่ายต่อการควบคุมคุณภาพ ลดขั้นตอน และลดต้นทุนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยชีวภาพเชิงอุตสาหกรรม สำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ปัญหาสำคัญคือการเพิ่มปริมาณสปอร์ในพืชอาศัยที่มีความผันผวนของปริมาณสปอร์ที่ผลิตได้ในแต่ละครั้งทำให้ไม่สามารถกำหนดปริมาณการผลิตที่แน่นอนได้ ดังนั้นการควบคุมระดับธาตุอาหาร หรือการใช้อาหารสังเคราะห์ที่ทราบปริมาณธาตุอาหารที่แน่นอน จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การพัฒนาศักยภาพของปุ๋ยชีวภาพและหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเฉพาะสมบัติทางชีวภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี รวมไปถึงกระบวนการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์และสร้างอินทรียวัตถุที่เป็นส่วนประกอบหลักในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ เนื่องจากดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช อีกทั้งประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนทำให้มีอินทรียวัตถุในดินค่อนข้างต่ำเพราะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้ดินถูกดึงธาตุอาหารออกไปพร้อมกับผลผลิตพืชอย่างมาก การวิจัยและพัฒนาจุลินทรีย์ดินที่มีศักยภาพ ในการ

กรมวิชาการเกษตร

เพิ่มธาตุอาหารและอินทรียวัตถุเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อการผลิตพืชเป็นอีกแนวทางที่สำคัญที่จะทำให้การผลิตพืชมีความยั่งยืน ซึ่งกรมวิชาการเกษตรมีผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ไมคอร์ไรซา จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแหนแดง ที่จะช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช รวมถึงจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เพื่อใช้ในการทำปุ๋ยหมักจากวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาขยายผลการใช้ประโยชน์ในการย่อยสลายเศษซากพืชในพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง เช่น นาข้าว แปลงปลูกอ้อย และแปลงเพาะปลูกพืชอื่นๆ เพื่อลดการเผาทำลายและคืนอินทรียวัตถุกลับสู่ดิน ดังนั้นจึงควรศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพและจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการจัดการดินเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในการเพิ่มผลผลิตพืชอย่างยั่งยืนต่อไป

ในปัจจุบันมีการศึกษาพบว่านอกจากจุลินทรีย์ที่ใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารพืช ยังมีจุลินทรีย์อีกหลายกลุ่มสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ อาทิเช่น ผลิตฮอร์โมนพืช ดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นจากในดิน ยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค โดยรวมเรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่าจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หน้าที่ของจุลินทรีย์เหล่านี้หากสามารถนำมาพัฒนาให้ใช้ร่วมกับจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ผลิตพืชการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมระหว่างปุ๋ยชีวภาพและจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้อาจจะช่วยส่งเสริมการทำงานซึ่งกันและกันระหว่างจุลินทรีย์ด้วยกันอีกด้วย นับว่าเป็นทางเลือกในการเพิ่มศักยภาพของการใช้ปุ๋ยชีวภาพให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการเพิ่มผลผลิตให้แก่พืชและลดต้นทุนให้เกษตรกร

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อวิจัยการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพรูปแบบใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูงและสะดวกต่อการใช้งาน
2. เพื่อวิจัยการพัฒนาศักยภาพการใช้ปุ๋ยชีวภาพ และผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชในพื้นที่เพาะปลูก และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน
3. เพื่อวิจัยการจัดการทรัพยากรดินที่เหมาะสม เพื่อการอนุรักษ์การใช้ประโยชน์และการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตพืชอย่างยั่งยืน
4. เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตชนิดต่างๆ ในการเพิ่มผลผลิตพืช

กรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพรูปแบบใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูงและสะดวกต่อการใช้งานเพื่อแก้ปัญหาการใช้วัสดุรองรับที่ควบคุมคุณภาพได้ค่อนข้างยาก ซึ่งในปัจจุบันการผลิตปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตรใช้ปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ เป็นวัสดุรองรับ จึงได้ทำงานวิจัยการผลิตผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพรูปแบบใหม่ในรูปแบบต่างๆ โดยสามารถผลิตต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *Pseudomonas fluorescens* SM-P025B รูปแบบผงโดยเทคนิคทำแห้งแบบพ่นฝอย การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเม็ด รูปแบบผง และรูปแบบบอล การผลิตปุ๋ยชีวภาพ ไรโซเบียมรูปแบบเหลว และการผลิตปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาที่เพิ่มปริมาณสปอร์โดยใช้หญ้ารูซี่เป็นพืชอาศัย สามารถใช้ในการผลิตสปอร์รา *Glomus intraradices* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้เป็นต้นแบบการผลิตของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชนิดอื่นต่อไป

การพัฒนาศักยภาพการใช้ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสม ได้ดำเนินการศึกษาการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการจัดการใบอ้อยเหลือทิ้งในแปลงอ้อยอย่าง

ยั่งยืน การใช้แหนแดงในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชและอินทรียวัตถุในดิน สามารถใช้แหนแดงแห้งอัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำเพื่อผลิตผักคะน้า การใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ฉีดพ่นร่วมกับปุ๋ยทางใบ หรือร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 25 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ การใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *Taralomyces macrosporus* ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *Burkhoderia* sp. และ *Seratia marcescens* ในการผลิต พืช สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตได้ 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาในการปลูกหญ้าแฝก และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมกับการปลูกถั่วเขียวร่วม กับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ สามารถลดการสูญเสียหน้าดินได้ 67 เปอร์เซ็นต์ และลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีค่า 44 64 และ 54 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตชนิดต่างๆ ในการเพิ่มผลผลิตพืชโดยการใช้ *Pantoea dispersa* ที่สามารถผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืชร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตคือ *T. macrosporus* และแบคทีเรียที่มีความสามารถทั้งละลายฟอสเฟตและผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช *Burkhoderia* sp. ในการผลิตอ้อย พบว่าอ้อยมีปริมาณฟอสฟอรัสในต้นเพิ่มสูงขึ้น และในการทดลองใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมร่วมกับ *Azospililum brasilense* ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ สามารถให้ผลผลิตถั่วเขียว และถั่วเหลืองสูงกว่าการใช้เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว

กรมวิชาการเกษตร

Abstract

Nowadays, the production of DOA biofertilizers has been used in different types of compost as a carrier which is quite hard to control the quality. The aim of the present study was to invent a new product of biofertilizers for high efficiency and ease to use. The results showed that we could obtain the prototype of phosphate solubilizing bio-fertilizer,

Pseudomonas fluorescens SM-P025B, which was established in a powder form by spray drying technique. The performance of the production of microbial inoculants for organic materials degradation could be produced in granular, powder, and ball forms. In the case of rhizobium biofertilizer production, we could produce three liquid biofertilizer products for soybean, mung bean, and peanut. In addition, the arbuscular mycorrhiza spore propagation could be produced better in Ruzi grass root than in corn root for the host plant. Therefore, this knowledge could be used for the development of the production of other arbuscular mycorrhizal species.

The study of the utilization of microorganisms to degrade organic matter in the sustainable management of sugarcane leaves in the field to reduce the problem of burning sugarcane leaves and increase the fertility of the soil in this field. The use of Azolla to increase the number of plant nutrients and organic matter in the soil. Dried Azolla can be used at the rate of 0.5 kg per square meter together with chemical fertilizers at 75 percent of the recommended rate to produce kale. The use of extracts of blue-green algae, *Hapalosiphon* sp. DASH05101 at a 20 percent concentration, was sprayed with foliar fertilizers or in combination with chemical fertilizers in the soil can reduce the use of chemical fertilizers by 25 percent of the recommended rate. The use of phosphate solubilizing microorganisms *Taralomyces macrosporus* with *Burkhoderia* sp. and *Serratia marcescens* in plant production was able to reduce the application of phosphate chemical fertilizers by 25 percent. In addition, when applied mycorrhiza to vetiver grass and rhizobium to mung bean with chemical fertilizer based on soil analysis, the result showed that this was able to reduce soil surface loss by 67 percent as well as the loss of nitrogen, phosphorus, and potassium in soil were 44, 64 and 54 percent compared to the fertilizing method without those combinations.

To enhance biofertilizer efficiency, the bacterial co-inoculated with plant growth promoting microorganisms to increase crop yields was conducted. *Pantoea dispersa* and *Burkerderia* sp. were used in combination with *T. macrosporus* to improve sugarcane production. Appliing by those microorganisms resulted in a higher amount of phosphorus uptook than those that were non-inoculated. For another experiment, the combination of rhizobium and *A. brasilense* with chemical fertilizer at the rate of 3-3-3 kg, N-P_2O_5-K_2O/rai yielded a higher yield of mung bean and soybean than using rhizobium biofertilizer alone.

กิจกรรมที่ 1

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบใหม่

Research and Development of New Products of Biofertilizers and Microorganisms

ชื่อผู้วิจัย

นิศารัตน์ ทวีนุต สนธยา ขำติ๊บ อธิปัตย์ คลังบุญครอง มนต์ชัย มนัสศิลา กัลยกร โปร่งจันทึก ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต สุปรานี มั่นหมาย จิตรา เกาะแก้ว อมรรัตน์ ใจยะเสน ระพีพรรณ ชั่งใจ ภัสชญภณ หมื่นแจ้ง บุณฑริก ฉิมชาติ กนกอร บุญพา

คำสำคัญ

ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม ไมคอร์ไรซา ปุ๋ยชีวภาพแบบผง ปุ๋ยชีวภาพแบบเหลว

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบใหม่ เป็นการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ปุ๋ยชีวภาพของกรมวิชาการเกษตรให้มีให้มีประสิทธิภาพสูงและสะดวกต่อการใช้งาน สามารถควบคุมคุณภาพและปริมาณจุลินทรีย์ที่แน่นอนในปุ๋ยชีวภาพได้ ประกอบด้วย 5 การทดลอง คือ 1) วิจัยและพัฒนาการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบ spray dry 2) การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบใหม่ 3) การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมชนิดปลอดเชื้อ 4) การวิจัยพัฒนาการผลิตปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ชนิดเหลว และ 5) การศึกษาปัจจัยต่อการเพิ่มปริมาณราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อการผลิตสปอร์แบบเข้มข้น ผลการวิจัยพบว่า 1) ได้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบผงโดยเทคนิคทำแห้งแบบพ่นฝอย จาก *Pseudomonas fluorescens* SM-P025B ที่สามารถผ่านเครื่องพ่นฝอยอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสมีการรอดชีวิตเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปทดสอบการเจริญเติบโตของการผลิตมะเขือเทศในแปลง พบว่า สามารถช่วยลดปุ๋ยฟอสฟอรัส 3.2 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ 2) ผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ 3 ชนิดคือ รูปแบบบอล รูปแบบแคปซูล และรูปแบบเม็ด และยังคงมีกิจกรรมการย่อยสลายเซลลูโลสได้ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิมของกรมวิชาการเกษตร(ผงหยาบ) และรูปแบบเหลว ในการย่อยสลายตอซังฟางข้าวพันธุ์ กข 31 ในแปลงทดสอบ พบว่า รูปแบบเม็ด และรูปแบบบอล ให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างจากรูปแบบเดิม คือ 701 675 และ 693 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่การย่อยสลายใบอ้อย พบว่า หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ทุกรูปแบบสามารถย่อยสลายใบอ้อยที่เติมกากตะกอนหม้อกรอง 30% ให้สมบูรณ์ได้ภายใน 180 วัน เปรียบเทียบกับการไม่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ใช้เวลา 240 วัน 3) ได้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบเหลวที่เหมาะสมกับถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง โดยมีอาหารสูตร Yeast Manitol (YM) เป็นพื้นฐาน ผลการศึกษาพบว่า เชื้อไรโซเบียมถั่วเหลืองสามารถเจริญได้ดีในวัสดุพาแบบเหลวที่มี Carboxymethyl cellulose 1.5 กรัมต่อลิตร และ Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร เชื้อไรโซเบียมถั่วเขียวเจริญได้ดีในวัสดุพาที่มีแมกนีเซียมอกไซด์ (MgO) 1 กรัมต่อลิตร และเชื้อไรโซเบียมถั่วลิสงเจริญได้ดีใน

กรมวิชาการเกษตร

วัสดุพามี Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร สามารถเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 180 วัน โดยทุกสูตรมีปริมาณไรโซเบียมสูงกว่า 10^8 โคโลนีต่อมิลลิลิตร การทดสอบในแปลงพบว่า ปุ๋ยชีวภาพแบบเหลวทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพดีเทียบเท่าปุ๋ยชีวภาพชนิดเดิม(แบบผง) 4) พบว่าไม่สามารถผลิตปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลวได้ เนื่องจากการเลี้ยงเชื้อ *Azospirillum* sp.และ *Gluconacetobacter* sp. ในอาหารเหลวพบว่าเชื้อทั้ง 2 สกุล มีปริมาณเซลล์ต่ำกว่าเชื้อตั้งต้น และไม่สามารถคงจำนวนให้สูงกว่าปริมาณเซลล์ตั้งต้นได้เกิน 72 ชั่วโมง 5) ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* ในพืชอาศัยชนิดต่างๆ พบว่า หญ้ารูซี่เป็นพืชอาศัยที่สามารถเพิ่มปริมาณได้สูงกว่าพืชเดิมคือข้าวโพด โดยใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปลูกในวัสดุ ดิน:ทราย (1:1)

Abstract

Research and development of new biofertilizer and microorganisms products by developing the production of the Department of Agriculture to be high efficiency and ease of use. Therefore, it possible to control the quality and the number of microorganisms in biofertilizers. This study consisted of 5 experiments as follows; 1) Development of Phosphate Solubilizing Biofertilizer Powder by Spray Dryer 2) Production of new microbial inoculants for organic materials degradation 3) Research and development of production technology for sterile rhizobium bio-fertilizer 4) Research on the development of liquid PGPR biofertilizer and 5) Factors affecting propagation of Arbuscular mycorrhizal fungi for density spore production. The results showed that 1) For the production of phosphate solubilizing biofertilizer, the prototype of biofertilizer in powder form was obtained by spray drying technique from *Pseudomonas fluorescens* SM-P025B. Results revealed that it was able to pass the sprayer at the temperature of 110 °C and the survivability of Pseudomonas exceeded 80%. Furthermore, the prototype could reduce phosphorus fertilizer by 3.2 kg P_2O_5 /rai when we applied for the growth on tomato production. 2) Found the microorganisms that degrade organic materials in 3 types: ball, capsule, and tablet form, and it had existed cellulose degradation activity when compared with the original type (coarse powder) of the Department of Agriculture. For degradation of rice straw of *Oryza sativa* cv. RD31 in the field experiment, the organic degradation microorganisms in tablet form and ball form yielded rice no different from the microorganisms in the previous type, namely 701, 675, and 693 kg/rai, respectively. In the case of sugarcane leaves degradation by microbial inoculants, all forms of the production of microorganisms were able to decompose sugarcane leaves when added by 30% of the filter cake to complete within 180 days while it

กรมวิชาการเกษตร

compared to those not using microorganisms to decompose organic materials takes 240 days. 3) Found the liquid media suitable for soybean, mung bean, and peanut rhizobia were obtained with YM medium as a basic formulation with other suitable additives. It was found that YM added with Carboxymethyl cellulose 1.5 g/l combine with soluble starch 1 g/l for soybean, MgO 1 g/l for mung bean and soluble starch 1 g/l for peanut rhizobia as well as the rhizobium concentration were more than 10^8 colony per milliliter. Moreover, the field test showed that the three types of liquid bio-fertilizers were as effective as the prior biofertilizers (powder). 4) Formulation of liquid PGPR bio-fertilizer was found unable to culture the liquid biofertilizers of *Azospirillum* sp. and *Gluconacetobacter* sp. both genera were found to have lower cell content than the substrate. We were unable to maintain the number of these bacteria higher than the initial cell for more than 72 hours. 5) For the production of arbuscular mycorrhiza (*Glomus intraradices*) on Ruzi grass revealed a higher spore than corn (Zea Mays L. Nakhon Sawan3). The concentrations of 60 mgN/L and 1.0 mgP/L and the soil mixed media by 1:1 of soil: sand was the best approach to produce the arbuscular mycorrhiza production.

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

ปุ๋ยชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่สามารถสร้างธาตุอาหารพืชหรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์แก่พืชได้ การผลิตปุ๋ยชีวภาพเป็นการนำจุลินทรีย์ที่ประสิทธิภาพในการให้ธาตุอาหารพืชมาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ มีปริมาณเซลล์ให้ได้ตามที่กำหนดในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ซึ่งจะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ที่มากเพียงพอในการดำเนินกิจกรรมที่จะทำให้เป็นประโยชน์แก่พืช ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพที่สามารถสร้างธาตุไนโตรเจน ปุ๋ยชีวภาพที่สามารถละลายหรือดูดซับธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม รวมถึงธาตุซัลเฟอร์และสังกะสี ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังมีจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ประเภทนี้เป็นตัวการสำคัญในการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน ซึ่งจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เหล่านี้หากมีการวิจัยและพัฒนาจะสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีและช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้

ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตและจำหน่ายโดยทั่วไปมีสองลักษณะ คือ รูปผง (ของแข็ง) และรูปของเหลว ผู้ผลิตส่วนใหญ่นิยมผลิตปุ๋ยชีวภาพรูปผงมากกว่ารูปของเหลวและวัสดุรองรับที่ใช้มีหลากหลายชนิดขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพ คุณสมบัติของวัสดุรองรับที่สำคัญคือมีความสามารถรักษาจำนวนจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพได้ยาวนานมากที่สุด เช่น ดินพีท บางประเทศที่ไม่มีแหล่งดินพีทสามารถใช้วัสดุรองรับอื่นได้ เช่น เวอร์มิคูไลท์ หรือเพอร์ไลท์ เป็นต้น ปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรได้มีการผลิตปุ๋ยชีวภาพหลายชนิดในรูปแบบผง โดยใช้ปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ เป็นวัสดุรองรับ ซึ่งวัสดุรองรับเหล่านี้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพ

และปริมาณของจุลินทรีย์ที่แน่นอนได้ รวมทั้งยังไม่มีอัตราและวิธีการใช้ที่แน่นอนสำหรับพืชในแต่ละชนิด ดังนั้นการผลิตปุ๋ยชีวภาพรูปแบบใหม่เพื่อให้ได้รูปแบบที่แน่นอน และสะดวกในการใช้มากยิ่งขึ้น ได้แก่ การพัฒนาปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบผงโดยเทคนิคทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปแบบของผงแห้ง การปั้นเม็ดแบบต่างๆ การทำเป็นผงละเอียด การผลิตเชื้อไรโซเบียมเหลว ซึ่งวิธีการเหล่านี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ทราบปริมาณจุลินทรีย์ที่แน่นอน ควบคุมคุณภาพของวัสดุรองรับได้ และผลิตภัณฑ์มีรูปแบบที่น่าใช้มากกว่าเดิม

ระเบียบวิธีการวิจัย

วิธีการวิจัย

1.1 วิจัยและพัฒนาการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบ spray dry

1) การคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟต

เก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบๆ รากพืช จากจังหวัดชัยนาท นครราชสีมา และตราด ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ณ ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา โดยการเพาะเลี้ยงบนอาหาร Pikovskaya เลือกแบคทีเรียที่สร้างวงใสรอบ ๆ โคโลนี และมีลักษณะของโคโลนีที่แตกต่างกัน

นำแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่คัดแยกได้ มาเพาะเลี้ยงในอาหาร Pikovskaya agar ซึ่งมี $AlPO_4$, $FePO_4$ และ $Ca_3(PO_4)_2$ เป็นแหล่งฟอสเฟต คัดเลือกแบคทีเรียที่สร้างวงใสรอบโคโลนีในอาหารมาทำการศึกษาการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2) การคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตเพื่อทำแห้งโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

แบคทีเรียที่คัดเลือกได้ ถูกนำมาทดสอบการอยู่รอดของภายใต้สภาวะอุณภูมิสูง เพื่อการคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่สามารถนำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยนำแบคทีเรียบ่มที่อุณภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที ตรวจนับจำนวนแบคทีเรียที่มีชีวิตก่อนและหลังบ่ม คัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตแต่ละไอโซเลท ที่มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาอัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตแบบพ่นฝอย ที่สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ โดยแบ่งบรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ทึบแสง ขนาด 9×13 เซนติเมตร ปริมาณถุงละ 20 กรัม จำนวน 30 ถุง ปิดปากถุงให้สนิท สุ่มแบ่ง 3

กรมวิชาการเกษตร

ส่วน ส่วนละ 10 ถุง นำไปเก็บรักษาในสภาวะต่างๆ ได้แก่ ตู้แช่ 4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้อง (25 - 33 องศาเซลเซียส) และตู้บ่ม 40 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างเพื่อนับจำนวนแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีชีวิตทุก 30 วัน เป็นเวลา 6 เดือน

3) ศึกษาการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *Pseudomonas fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศ และพริกชี้ฟ้าในสภาพกระถาง

การศึกษาการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศ และพริกชี้ฟ้าในสภาพกระถาง วางแผนการทดลองแบบ 5×3 factorials ที่จัดในรูปแบบ RCB โดยมีปัจจัยที่ 1 คือ อัตราส่วนเมล็ดพืชกับต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต มี 5 ระดับ ได้แก่ 1:0 1:0.2 1:0.4 1:0.6 และ 1:0.8 (กรัม : กรัม) ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณปุ๋ยเคมี 3 ระดับ ได้แก่ 1.12-0.75-0.56, 1.12-0.64-0.56, 1.12-0.53-0.56 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 15 กิโลกรัม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้หน่วยการทดลองละ 3 กระถาง

4) ศึกษาการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศ และพริกชี้ฟ้าในสภาพแปลงทดสอบ

การศึกษาการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศ และพริกชี้ฟ้าในสภาพแปลงทดสอบ ณ แปลงเกษตรกร อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น วางแผนการ
ทดลองแบบ RCB ทำการทดลอง 3 ซ้ำ 8 กรรมวิธี คือ

กรรมวิธีที่ 1 ต้นกล้าจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบเก่า+ ปุ๋ยเคมี 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 2 ต้นกล้าที่ไม่ได้ใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ปุ๋ยเคมี 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 3 ต้นกล้าจากการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ปุ๋ยเคมี 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 4 ต้นกล้าจากการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ปุ๋ยเคมี 24-14.4-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 5 ต้นกล้าจากการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ปุ๋ยเคมี 24-12.8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 6 ต้นกล้าจากการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ปุ๋ยเคมี 24-11.2-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 7 ต้นกล้าที่ไม่ได้ใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

กรรมวิธีที่ 8 ต้นกล้าจากการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

วัดความสูงของพืชทดสอบทุก ๆ 30 วัน เก็บข้อมูลผลผลิต เช่น น้ำหนักผลผลิตต่อไร่ และขนาดของผลผลิต และเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์สมบัติกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินหลังปลูก

กรมวิชาการเกษตร

1.2 การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบใหม่

1) คัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสและส่งเสริมการเจริญของพืช

คัดเลือกจุลินทรีย์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยคัดเลือกแบคทีเรียมาทดสอบประสิทธิภาพในอาหาร Pikovskaya อาหารทดสอบการผลิตสารซิเดอโรฟอร์ อาหารทดสอบการละลายโพแทสเซียม อาหารทดสอบการย่อยสลายคาร์บอกซีเมททิลเซลลูโลส อาหารทดสอบการย่อยสลาย อะวิเซล อาหารทดสอบการย่อยไซแลน โดยวิธี Point inoculation และทำการจัดจำแนกเพื่อใช้ร่วมกับเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้อยู่ในผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ของกรมวิชา การเกษตรในปัจจุบัน

2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงเชื้อ

(1) ศึกษาอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสม

ทดสอบการเพาะเลี้ยงแบบเหลว โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว Nutrient broth และ Nutrient broth ที่เติมไนโตรเจน (แอมโมเนียมซัลเฟต) 0.5 เปอร์เซ็นต์ และซูโครส 0.5 เปอร์เซ็นต์ เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงแบบแบบแห้งด้วยการเพาะเลี้ยง Nutrient agar และ Nutrient agar ที่เติม แอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ และซูโครส 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บเกี่ยวเซลล์หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 5 วัน ด้วยการปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที สำหรับการเพาะเลี้ยงแบบเหลว และการล้างเซลล์ออกจากจานเพาะเลี้ยงเชื้อการเพาะเลี้ยงแบบแข็ง นำสารแขวนลอยเซลล์ที่แยกได้ อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้ง และคำนวณปริมาณเซลล์แห้งที่ผลิตได้

(2) ศึกษาการขยายขนาดการผลิต

ทดสอบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองด้วยการจ่ายโอโซน (400 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง) โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) 200 พีพีเอ็ม และ 400 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แต่ละกรรมวิธีดำเนินการในอาหารปริมาตร 40 ลิตร โดยเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์ และผสมน้ำวัตถุดิบ จนมีปริมาตร 40 ลิตร (เซลล์เริ่มต้น ที่ $\log_{10}$(cfu/ml) ประมาณ 6-8) เก็บตัวอย่างตรวจวัดปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตด้วยการเจือจางและเพาะเลี้ยงบนจานอาหารวุ้น ณ เวลา 60 120 180 และ 240 นาที เพื่อคำนวณอัตราการลดลงของจุลินทรีย์

ทดสอบอัตราการให้อากาศที่ 0.25 0.50 และ 0.75 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที (vvm) แต่ละกรรมวิธีดำเนินการในอาหารในอาหารปริมาตร 40 ลิตร เก็บตัวอย่างตรวจวัดปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตด้วยการเจือจางและเพาะเลี้ยงบนจานอาหารวุ้น

3) ผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ

ผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- แบบผงหยาบ (รูปแบบเดิมของกรมวิชาการเกษตร) โดยผสม หัวเชื้อรา : ปุ๋ยหมักมูลโคบดละเอียด : ซีโอไลท์ อัตรา 4 : 5 : 1 โดยน้ำหนัก

กรมวิชาการเกษตร

- แบบบอล โดยผสม กรดซิตริก : โซเดียมไบคาร์บอเนต : แป้งมัน : กากน้ำตาล : ยิปซัม : ปุ๋ยหมักบด : หัวเชื้อราและแบคทีเรีย อัตรา 10 : 10 : 10 : 20 : 10 : 15 : 25 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปเป็นลูกบอล แล้วอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

- แบบแคปซูล โดยผสม แป้งมัน : ปุ๋ยหมักบด : หัวเชื้อราและแบคทีเรีย อัตรา 15 : 35 : 50 โดยน้ำหนัก อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นทำการบรรจุลงแคปซูลเบอร์ศูนย์

- แบบเม็ด โดยผสม หัวเชื้อราและแบคทีเรีย : สารละลายอัลจิเนต (0.5 เปอร์เซ็นต์) อัตรา 1 : 4 โดยปริมาตร จากนั้นหยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (100 mM) เมื่อเกิดเป็นเม็ด ทำการแยกเม็ดออกจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์

- แบบเหลว (รูปแบบพื้นฐานของการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์) เพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารเหลว (nutrient broth) ให้มีปริมาณเชื้ออย่างน้อย $1x10^8$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร

4) ทดสอบหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ ในการย่อยสลายตอซังฟางข้าว

ทดสอบในพื้นที่ปลูกข้าว อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยจัดเตรียมแปลงทดสอบขนาด 2x4 ตารางเมตร ระยะปลูก 20x20 เซนติเมตร โดยวางแผนการทดลอง แบบ RCB จำนวน 6 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 เตรียมดินตามวิธีเกษตรกร (ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยฯ)

กรรมวิธีที่ 2 ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบผงหยาบ อัตราส่วน 1.6 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบบอล อัตราส่วน 1.6 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเม็ด อัตราส่วน 1.6 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 5 ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบแคปซูล อัตราส่วน 1.6 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 6 ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเหลว อัตราส่วน 1.6 กิโลกรัมต่อไร่

เมื่อปล่อยน้ำเข้าแปลงนา ทำการย่ำตอซังฟางข้าวจนจมโคลน ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ ตามกรรมวิธีที่กำหนด จากนั้นดำเนินการปลูกข้าวตามวิธีของเกษตรกร

5) พัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบใหม่ชนิดผง

โดยการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบผงหยาบโดยกรองผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นผสมแป้งมัน อัตราส่วน แป้งมัน : ซีโอไลท์ : ปุ๋ยหมักบด : จุลินทรีย์ย่อยฯ เท่ากับ 10:5:35:50 อบที่อุณหภูมิต่างๆ คือ30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ทดสอบหัวเชื้อ จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ ในการย่อยสลายใบอ้อย

6) ทดสอบหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบใหม่ในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

โดยใช้ใบอ้อยต่อกากตะกอนอ้อย อัตราส่วนเท่ากับ 70/30 โดยการหมักในกองขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1.0x1.2x1.0 เมตร กลับกองและตรวจค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ณ เวลา 0 30 60 90 และ 120 วัน ของการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ของการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ โดยใส่ในอัตรา 350 กรัมต่อ 1000 กรัมของวัสดุอินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบ RCB ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ คือ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธีที่ 2 ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบผงหยาบ
กรรมวิธีที่ 3 ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเม็ด
กรรมวิธีที่ 4 ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบน้ำ
กรรมวิธีที่ 5 ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบแคปซูล
กรรมวิธีที่ 6 ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบบอล
กรรมวิธีที่ 7 ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบผง

1.3 การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมชนิดปลอดเชื้อ

1) ทดสอบวัสดุพาแบบเหลวที่เหมาะสมกับเชื้อไรโซเบียม

โดยทดสอบความเหมาะสมของสารที่ใช้เป็นวัสดุพา ได้แก่ Carboxy methyl cellulose (CMC), soluble starch และ MgO ทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ เลี้ยงเชื้อไรโซเบียมด้วยอาหาร YM medium บนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เมื่อเชื้อไรโซเบียมเจริญเต็มที่ (late log phase) เติมเชื้อไรโซเบียมปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในวัสดุพาแบบเหลวทั้ง 8 กรรมวิธี ปริมาตร 49 มิลลิลิตร เก็บเชื้อไรโซเบียมในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง (30-35 องศาเซลเซียส) นับปริมาณเชื้อไรโซเบียมที่มีชีวิตในแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี viable plate count บนอาหาร YMB ที่อายุการเก็บรักษา 0 7 15 30 60 90 120 150 และ 180 วัน วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ 8 กรรมวิธี ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1 สูตรอาหารมาตรฐาน (YM medium)
กรรมวิธีที่ 2 สูตรอาหาร YM medium + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร
กรรมวิธีที่ 3 สูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร
กรรมวิธีที่ 4 สูตรอาหาร YM medium + MgO 1 กรัมต่อลิตร
กรรมวิธีที่ 5 สูตรอาหาร YM medium + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร
กรรมวิธีที่ 6 สูตรอาหาร YM medium + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร + MgO 1 กรัมต่อลิตร
กรรมวิธีที่ 7 สูตรอาหาร YM medium + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร+ MgO 1 กรัมต่อลิตร
กรรมวิธีที่ 8 สูตรอาหาร YM medium + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร+ Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร + MgO 1 กรัมต่อลิตร

2) ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมปลอดเชื้อแบบเหลวต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่วในกระถางทดลอง

โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 ถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 ปลูกถั่วแต่ละชนิดกระถางละ 4 ต้น ใช้กระถางทดลองขนาด 10 นิ้ว ใส่ดินกระถางละ 8 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบผง กระถางละ 0.31 กรัม ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมในวัสดุพาแบบเหลว กระถางละ 2 มิลลิลิตร ทำการทดสอบกับถั่วเหลืองด้วยสูตร YM+CMC 1.5 กรัมต่อลิตร (สูตร 1) YM + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 2) YM + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร (สูตร

กรมวิชาการเกษตร

3) ทดสอบกับถั่วเขียวด้วยสูตรอาหาร YM + MgO 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 1) YM + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 2) YM + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร+ MgO 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 3) และถั่วลิสงด้วยสูตรอาหาร YM+CMC 1.5 กรัมต่อลิตร (สูตร 1) YM + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 2) YM + MgO 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 3) วางแผนการทดลอง แบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ KNO_3 0.05%+ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่+ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบผง

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่+ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบเหลวสูตร 1

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่+ใปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบเหลวสูตร 2

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่+ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบเหลวสูตร 3

3) ทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมปลอดเชื้อแบบเหลวในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชตระกูลถั่วในแปลงทดลอง

เปรียบเทียบกับปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมโดยปลูกเชื้อไรโซเบียมในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ด พันธุ์ลพบุรี ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 ถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน ใส่ปุ๋ยเคมี 3-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบผง 200 กรัมต่อไร่ ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมในวัสดุพาแบบเหลว 50 มิลลิลิตรต่อไร่ ทำการทดสอบกับถั่วเหลืองด้วยสูตรอาหาร YM (สูตร 1) YM+CMC 1.5 กรัมต่อลิตร (สูตร 2) YM + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 3) YM + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 4) ทดสอบกับถั่วเขียวด้วยสูตรอาหาร YM (สูตร 1) YM + MgO 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 2) YM + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 3) YM + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร+ MgO 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 4) และถั่วลิสงด้วยสูตรอาหาร YM (สูตร 1) YM+CMC 1.5 กรัมต่อลิตร (สูตร 2) YM + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 3) YM + MgO 1 กรัมต่อลิตร (สูตร 4) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCB) จำนวน 4 ซ้ำ 7 กรรมวิธี ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมี 3-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่และใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบผง

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสูตรที่ 1

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสูตรที่ 2

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสูตรที่ 3

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ปุ๋ยเคมี 0-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมสูตรที่ 4

โดยเตรียมแปลงทดลอง ขนาดแปลงทดลอง 4x6 เมตร ระยะปลูก ถั่วเหลือง 50 x 25 เซนติเมตร ถั่วเขียว 50 x 25 เซนติเมตร ถั่วลิสง 50 x 50 เซนติเมตร ถอนแยกเหลือ 2 ต้นต่อหลุม แปลงละ 6 แถว ใส่ปุ๋ยเคมีและคลุกเมล็ดด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมตามกรรมวิธี ปลูกถั่วเขียวและถั่วลิสง เมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม

กรมวิชาการเกษตร

2562 ถั่วเหลือง เมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2562 เก็บผลผลิตถั่วเขียวเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม 2562 เก็บผลผลิตลิสงเมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2562 และถั่วเหลืองเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม 2562

1.4 การวิจัยพัฒนาการผลิตปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ชนิดเหลว

1) การทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตของพืช

เลี้ยงเชื้อเหลวในอาหารเหลวสูตรที่คัดเลือกจากการทดลองในปีที่ 1 โดยมีปริมาณเซลล์ไม่ต่ำกว่าที่พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำหนด และเปรียบเทียบกับสูตรเฉพาะของแต่ละเชื้อ โดยเชื้อสกุล *Azospirillum* sp. เปรียบเทียบกับอาหารสูตรมาตรฐาน NFb และเชื้อสกุล *Gluconoacetobacter* sp. เปรียบเทียบกับอาหารสูตรมาตรฐาน ดังนี้

- *Azospirillum* sp. (TS8)

กรรมวิธีที่ 1 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb

กรรมวิธีที่ 2 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.05%

กรรมวิธีที่ 3 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Molasses 2%+Phosphate buffer+ แป้งมัน 0.5%

- *Azospirillum* sp. (TS13)

กรรมวิธีที่ 1 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb

กรรมวิธีที่ 2 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.01%

กรรมวิธีที่ 3 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.05%

- *Azospirillum* sp. (TS29)

กรรมวิธีที่ 1 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb

กรรมวิธีที่ 2 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.01%

กรรมวิธีที่ 3 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.05%

- *Gluconoacetobacter* sp.

กรรมวิธีที่ 1 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน LGI

กรรมวิธีที่ 2 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน LGI+Trehalose 0.01%

กรรมวิธีที่ 3 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน LGI+Molasses 2+Phosphate buffer+PEG 0.5%+แป้งมัน 0.5%

2) ทำการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพชนิดเหลวต่อการเจริญเติบโตของพืช

โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD 3 ซ้ำ มี 4 กรรมวิธี

- *Azospirillum* sp. (TS8)

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธีที่ 1 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb

กรรมวิธีที่ 2 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.05%

กรรมวิธีที่ 3 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Molasses 2%+Phosphate buffer+แป้งมัน 0.5%

(1) ทำการทดสอบโดยใช้ท่อนพันธุ์อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยวางบนกระดาษกรองที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลว 1 มล. แล้วเก็บไว้ในที่มืด 3 คืน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

(2) ทำการทดสอบโดยใช้ท่อนพันธุ์อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 วางในขวดแก้วที่ใส่ทรายละเอียด 250 กรัม ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลว 1 มิลลิลิตร บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

- *Azospirillum* sp. (TS13)

กรรมวิธีที่ 1 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb

กรรมวิธีที่ 2 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.01%

กรรมวิธีที่ 3 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.05%

(1) ทำการทดสอบโดยใช้เมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริกซ์ 3 วางบนกระดาษกรองที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลว 1 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในที่มืด 2 คืน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

(2) ทำการทดสอบโดยใช้ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริกซ์ 3 ในขวดแก้วที่ใส่ทรายละเอียด 250 กรัม ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลว 1 มิลลิลิตร บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

- *Azospirillum* sp. (TS29)

กรรมวิธีที่ 1 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb

กรรมวิธีที่ 2 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.01%

กรรมวิธีที่ 3 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Trehalose 0.05%

กรรมวิธีที่ 4 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb+Molasses 2%+Phosphate buffer+แป้งมัน 1%

(1) ทำการทดสอบโดยใช้เมล็ดข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 วางบนกระดาษกรองที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลว 1 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในที่มืด 2 คืน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

(2) ทำการทดสอบโดยใช้ข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 ในขวดแก้วที่ใส่ทรายละเอียด 250 กรัม ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลว 1 มิลลิลิตร บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

- *Gluconoacetobacter* sp.

กรรมวิธีที่ 1 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน LGI

กรรมวิธีที่ 2 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน LGI + Trehalose 0.01%

กรรมวิธีที่ 3 เลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรมาตรฐาน LGI+Molasses 2+ Phosphate buffer+PEG 0.5% + แป้งมัน 0.5%

(1) ทำการทดสอบโดยใช้ท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 9 วางบนกระดาษกรองที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลว 1 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในที่มืด 3 คืน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

(2) ทำการทดสอบโดยใช้พันธุ์มันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 9 วางในขวดแก้วที่ใส่ทรายละเอียด 250 กรัม ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลว 1 มิลลิลิตร บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต

กรมวิชาการเกษตร

1.5 การศึกษาปัจจัยต่อการเพิ่มปริมาณราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อการผลิตสปอร์แบบเข้มข้น

1) การทดสอบพืชอาศัยที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCB) จำนวน 6 ซ้ำ 8 กรรมวิธี ดังนี้ 1. ข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์3 2. ข้าวโพดพันธุ์ตากฟ้า3 3. หญ้าอะตราตัม 4. หญ้ากินีสีม่วง 5. หญ้ารูซี่ 6. หญ้าพลิแคทูลัม 7. ถั่วคาวาลเคด 8. ถั่วท่าพระสไตโล

เตรียมราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ (25 สปอร์ต่อกรัม) เตรียมเมล็ดพืชอาศัยจำนวน 8 ชนิด ตามกรรมวิธีทดลอง ล้างเมล็ดพืชด้วย 1% sodium hypochlorite 1 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้ง ก่อนปลูก เตรียมวัสดุปลูก (ดิน:ทราย, 1:1 (v/v)) นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในกระถางทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ทำการทดลอง 2 ชุด

ชุดที่ 1 ปลูกพืชในเดือนเมษายน ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2560

ชุดที่ 2 ปลูกในเดือนมิถุนายน ถึง กันยายน พ.ศ. 2560

ในโรงเรือนกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน แต่ละชุดปลูกพืชตามกรรมวิธีทดลองพร้อมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 10 กรัมต่อกระถาง ในระหว่างการทดลอง ดูแลรดน้ำทุกวัน กำจัดวัชพืชและให้ธาตุอาหารพืช เมื่อพืชมีอายุครบ 13 สัปดาห์ สุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูก นำไปแยกสปอร์ด้วยวิธี wet sieving and decanting method (Gerdemann and Nicolson, 1963) ตรวจนับจำนวนสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2) ผลของไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสต่อการเพิ่มปริมาณสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

วางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ มี 2 ปัจจัย โดยปัจจัยแรก คือ ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน มี 5 ระดับ ได้แก่ 60, 80, 100, 120, 140 มิลลิกรัมต่อลิตร ปัจจัยที่สอง คือ ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส มี 5 ระดับ ได้แก่ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

เตรียมรา *Glomus intraradices* เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ (25 สปอร์ต่อกรัม) เตรียมเมล็ดหญ้ารูซี่ ล้างด้วย 1% sodium hypochlorite นาน 1 นาที และล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้ง ก่อนปลูก เตรียมวัสดุปลูก (ดิน:ทราย, 1:1 (v/v)) นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในกระถางทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

ปลูกหญ้ารูซี่ 3 เมล็ดต่อกระถาง พร้อมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 10 กรัมต่อกระถาง (ภาพที่ 2) ในระหว่างการทดลอง ดูแลรดน้ำทุกวัน กำจัดวัชพืชและให้ธาตุอาหารพืชตามกรรมวิธีทดลอง เมื่อพืชมีอายุครบ 13 สัปดาห์ สุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูก นำไปแยกสปอร์ด้วยวิธี wet sieving and decanting method สุ่มเก็บตัวอย่างรากเพื่อตรวจการเข้าอาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากหญ้ารูซี่ด้วยวิธี slide method (Phillips and Hayman, 1970, Giovannetti and Mosse, 1980) ตรวจนับจำนวนสปอร์

กรมวิชาการเกษตร

และการเข้าอาศัยในรากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3) ผลของวัสดุปลูกต่อการเพิ่มปริมาณสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 14 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ได้แก่ 1. ดิน:ทราย 2. แกลบดำ 3. ดิน:แกลบดำ 4. ทราย:แกลบดำ 5. ดิน:ทราย:แกลบดำ

เตรียมรา *Glomus intraradices* เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ (25 สปอร์ต่อกรัม) เตรียมเมล็ดหญ้ารูซี่ ล้างเมล็ดด้วย 1% sodium hypochlorite นาน 1 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้งก่อนปลูก เตรียมวัสดุปลูกนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผสมวัสดุปลูก 5 แบบ ตามกรรมวิธีทดลอง แล้วนำไปใส่ในกระถางทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

ปลูกหญ้ารูซี่ลงในกระถางทดลอง 3 เมล็ดต่อกระถาง พร้อมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 10 กรัมต่อกระถาง ในระหว่างการทดลอง ดูแลรดน้ำทุกวัน กำจัดวัชพืชและให้ธาตุอาหารพืช เมื่อพืชมีอายุครบ 13 สัปดาห์ สุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูก นำไปแยกสปอร์ด้วยวิธี wet sieving and decanting method สุ่มเก็บตัวอย่างรากเพื่อตรวจการเข้าอาศัยในรากหญ้าของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาด้วยวิธี slide method ตรวจนับจำนวนสปอร์และการเข้าอาศัยในรากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4) การทดสอบการเพิ่มปริมาณสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในโรงเรือนผลิตปุ๋ยชีวภาพ

การทดลองโดยใช้สถิติแบบ t-test จำนวน 27 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบวิธีที่ได้จากการทดลองขั้นตอนที่ 1 - 3 (ปี 2560-2562) เปรียบเทียบกับวิธีที่ผลิตเดิม

เตรียมรา *Glomus intraradices* เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ (25 สปอร์ต่อกรัม) เตรียมเมล็ดหญ้ารูซี่ และเมล็ดข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์3 ล้างเมล็ดด้วย 1% sodium hypochlorite นาน 1 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้ง ก่อนปลูก เตรียมวัสดุปลูก (ดิน:ทราย, 1:1 (v/v)) นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในกระถางทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

ปลูกข้าวโพด 3 เมล็ดต่อกระถาง (วิธีเดิม) และปลูกหญ้ารูซี่ 3 เมล็ดต่อกระถาง (วิธีใหม่) แต่ละพืชปลูกจำนวน 27 กระถาง พร้อมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 10 กรัมต่อกระถาง ในระหว่างการทดลอง ดูแลรดน้ำทุกวัน กำจัดวัชพืชและให้ธาตุอาหารพืชตามวิธีเดิม (สารละลาย 1/2 Hoagland) หรือวิธีใหม่ เมื่อพืชมีอายุครบ 13 สัปดาห์ สุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูก นำไปแยกสปอร์ด้วยวิธี wet sieving and decanting method สุ่มเก็บตัวอย่างรากเพื่อตรวจการเข้าอาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืชด้วยวิธี slide method ตรวจนับจำนวนสปอร์และการเข้าอาศัยในรากภายใต้กล้องจุลทรรศน์ วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ของทั้ง 2 วิธี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เวลาและสถานที่ดำเนินการวิจัย

เวลาดำเนินการวิจัย เริ่มต้นเดือนตุลาคม 2560 สิ้นสุดเดือนกันยายน 2563

สถานที่ดำเนินการวิจัย กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

แปลงเกษตรกร อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น
ศูนย์ข้าวปทุมธานี อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี
ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี
ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน

ผลการวิจัย

1.1 วิจัยและพัฒนาการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบ spray dry

1) คัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟต

จากการนำตัวอย่างดิน และรากพืชที่เก็บรวบรวมจากจังหวัดชัยนาท นครราชสีมา และตราด จำนวน 27 ตัวอย่าง มาคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตโดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงที่ปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ก่อนนำไป spread บนอาหาร Pikovskaya agar และเลือกแบคทีเรียที่มีลักษณะของโคโลนีที่แตกต่างกัน พบว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้ทั้งหมด 50 ไอโซเลท

2) คัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟต

การทดสอบความสามารถในการละลาย $Ca_3(PO_4)_2$ ในอาหาร Pikovskaya broth ที่มี $Ca_3(PO_4)_2$ เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้น 8.5 ซึ่งเป็นสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาระหว่าง Ca^{2+} และ PO_4^{3-} ได้สารประกอบ $Ca_3(PO_4)_2$ พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และสะสมในดิน พบว่า แบคทีเรียที่คัดแยกได้สามารถละลายและปลดปล่อยฟอสเฟตอยู่ในช่วง 40-171 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำแบคทีเรียที่สามารถละลายและปลดปล่อยฟอสเฟตในอาหารเหลวสูงสุดจำนวน 25 ไอโซเลทไปทดสอบการละลายฟอสเฟตบนอาหาร Pikovskaya agar ที่มีแหล่งฟอสเฟตต่างๆ ได้แก่ $AlPO_4$, $FePO_4$ และ $Ca_3(PO_4)_2$ โดยบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่สร้างวงใสรอบโคโลนีในอาหาร Pikovskaya agar ซึ่งมี $AlPO_4$, $FePO_4$ และ $Ca_3(PO_4)_2$ พบว่า สามารถคัดเลือกแบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟตได้ 15 ไอโซเลท ได้แก่ SM-P013B, SM-P014B, SM-P020B,SM-P021B, SM-P022B, SM-P023B, SM-P025B, SM-P027B, SM-P029B, SM-P031B, SM-P032B, SM-P033B, SM-P034B, SM-P035B และ SM-P045B โดยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่ได้จะถูกนำไปศึกษาความเป็นไปได้ในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

3) คัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีความเป็นไปได้ในการทำแห้งด้วยเทคนิคแบบพ่นฝอย

การคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีความเป็นไปได้ในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยทดสอบการอยู่รอดของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตภายใต้สภาวะอุณภูมิสูง โดยนำสารละลายเซลล์แบคทีเรียบ่มที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที พบว่า ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แบคทีเรียละลายฟอสเฟตมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดอยู่ในช่วง 62.18-92.51 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1) โดย SM-P029B มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูงสุด เท่ากับ 92.51 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ SM-P031B มีเปอร์เซ็นต์การ

กรมวิชาการเกษตร

อยู่รอดต่ำสุด เท่ากับ 62.18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อุณภูมิ 120 องศาเซลเซียส แบคทีเรียละลายฟอสเฟตมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดอยู่ในช่วง 58.51 - 90.24 เปอร์เซ็นต์โดย SM-P013B มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูงสุดเท่ากับ 90.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองสามารถคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่มีความเป็นไปได้ในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดเกิน 90 เปอร์เซ็นต์) ทั้งหมด 6 ไอโซเลท ได้แก่ SM-P013B, SM-P020B, SM-P025B, SM-P027B, SM-P029B และ SM-P033B

4) จัดจำแนกชนิดของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่คัดเลือกได้

การจัดจำแนกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตโดยอาศัยอนุกรมวิธานระดับโมเลกุลาร์ด้วยการเปรียบเทียบลำดับ นิวคลีโอไทด์ในบริเวณ 16S rRNA gene ของแบคทีเรีย ซึ่งมีขนาด 1,369-1,425 นิวคลีโอไทด์ กับลำดับ นิวคลีโอไทด์ที่อยู่ในฐานข้อมูล GenBank โดยใช้ BLASTn ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้นโดยการศึกษาลักษณะของโคโลนี และการย้อมสีแบคทีเรียด้วยคริสตอลไวโอเลต (Crystal violet) และซาฟรานิน (Safranin) เพื่อจำแนกชนิดของแบคทีเรียตามการติดสีแกรม และลักษณะรูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า ไอโซเลท SM-P013B, SM-P020B, SM-P025B และSM-P033B เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ขณะที่ไอโซเลท SM-P027B และ SM-P029B เป็นแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียทั้ง 6 ไอโซเลท มีรูปร่างเป็นท่อน (Bacilli) (ตารางที่ 3)

การจำแนกทางชีวเคมี โดยศึกษาความสามารถการใช้แหล่งคาร์บอน (น้ำตาล) ชนิดต่างๆ เพื่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต(ตารางที่ 4) ผลการทดลองพบว่า แบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟตทั้งหมด 6 ไอโซเลท สามารถเจริญได้ดีมากในอาหารที่มี glucose, fructose และ sucrose เป็นแหล่งคาร์บอน ขณะที่เจริญได้ไม่ค่อยดี ในอาหารที่มีน้ำตาลเพนโตส ได้แก่ arabinose, ribose และ xylose เป็นแหล่งคาร์บอน และเจริญได้ไม่ดีในอาหารที่มี carboxymethyl cellulose (CMC) เป็นแหล่งคาร์บอน

5) สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่คัดเลือกได้

การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต เป็นการหาค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้น และความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ซึ่งศึกษาทีละปัจจัย (one factor at a time; OFAC) เริ่มต้นศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยงต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่คัดเลือกได้ โดยใช้อาหาร Nutrient broth ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร แปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหาร เท่ากับ 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 และ 9.0 บ่มที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาพบว่า ไอโซเลท SM-P013B, SM-P020B และ SM-P027B เจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง เท่ากับ 6.5 ขณะที่ไอโซเลท SM-P025B และ SM-P033B เจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง เท่ากับ 7.0 ส่วนไอโซเลท SM-P029B เจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง เท่ากับ 8.0 (ภาพที่ 1)

ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่คัดเลือกได้โดยใช้อาหาร Nutrient broth ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยงให้เท่ากับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตแต่ละไอโซเลท แปรผันความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 10, 15, 20, 25 และ 30 กรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง ผล

กรมวิชาการเกษตร

การศึกษาพบว่า ไอโซเลท SM-P013B และ SM-P033B เจริญได้ดีที่ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 15 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 2) ขณะที่ไอโซเลท SM-P020B, P025B, SM-P027B และ SM-P029B เจริญได้ดีที่ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 2)

6) ผลการผลิตต้นแบบแบคทีเรียละลายฟอสเฟตผงด้วยเทคนิคทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาสภาวะในการผลิตผงแบคทีเรียละลายฟอสเฟตด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า ที่อุณหภูมิขาเข้า 110 องศาเซลเซียส อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่ผ่านการทำผงแบบพ่นฝอยอยู่ระหว่าง 76.92-92.79 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3) โดย SM-P013B มีอัตราการรอดชีวิตสูงสุด เท่ากับ 92.79 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ SM-P025B, SM-P020B, SM-P033B, SM-P029B และ SM-P027B มีอัตราการรอดชีวิต เท่ากับ 88.10 87.63 87.62 85.31 และ 76.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิขาเข้า 120 องศาเซลเซียส อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตหลังการทำผงอยู่ระหว่าง 69.54 - 82.79 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3) โดย SM-P013B มีอัตราการรอดชีวิตสูงสุด เท่ากับ 82.79 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ SM-P025B, SM-P029B, SM-P033B, SM-P020B และ SM-P027B มีอัตราการรอดชีวิต เท่ากับ 81.11, 80.16, 80.16, 77.12 และ 69.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

7) อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Pseudomonas fluorescens* SM-P025B ในต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ที่สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ

การศึกษาการรอดชีวิตของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตชนิดแบคทีเรีย ซึ่งผลิตจากแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B โดยบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ทึบแสง เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้อง และ 40 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างเพื่อนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทุก 30 วัน เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า *P. fluorescens* SM-P025B ที่มีชีวิตมีจำนวนลดลงตามระยะเวลาเก็บรักษา โดยอุณหภูมิเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส มีจำนวน *P. fluorescens* SM-P025B ที่รอดชีวิตในระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือนสูงสุด เท่ากับ 2.18 $\times 10^8$ โคโลนีต่อกรัม รองลงมาคือที่อุณหภูมิห้อง และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งมีจำนวน *P. fluorescens* SM-P025B ที่รอดชีวิต เท่ากับ 1.16 $\times 10^8$ โคโลนีต่อกรัม และ 8.40 $\times 10^7$ โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 4) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตชนิดแบคทีเรีย สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน โดยสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง

8) ผลการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ชนิดผงต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ และพริกชี้ฟ้าในสภาพกระถาง

(8.1) ผลการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศในสภาพกระถาง

การศึกษาผลของต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ต่อการเจริญของมะเขือเทศ ทำการย้ายต้นกล้ามะเขือเทศ ที่มีอายุ 21 วันหลังการเพาะ ลงปลูกในกระถาง ขนาด 14 นิ้ว ซึ่งบรรจุดิน 15 กิโลกรัมต่อกระถาง โดยดินที่ใช้ในการศึกษาทดลองมีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.72 ค่าแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 23.90 เซนติโมลต่อกิโลกรัม อินทรียวัตถุ เท่ากับร้อยละ 1.08 ฟอสฟอรัสที่เป็น

กรมวิชาการเกษตร

ประโยชน์ เท่ากับ 7.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 136.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถกำหนดอัตราการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ดังนี้ ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 1.12-0.75-0.56 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 15 กิโลกรัม (24-16-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่ ½N +P+K เมื่อต้นกล้าตั้งตัวได้ดีแล้ว และครั้งที่ 2 ใส่ ½N หลังจากย้ายปลูกแล้ว 30 วัน จากการทดลองพบว่า ต้นกล้าจากการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ในอัตราส่วน 1:0.6 (กรัมต่อกรัม) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 1.12-0.75-0.56 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 15 กิโลกรัม (T10) มีความสูงหลังจากย้ายปลูก 15, 45 และ 75 วัน สูงสุด เท่ากับ 33.56, 58.00 และ 97.89 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

(8.2) ผลการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ต่อการเจริญเติบโตของพริกชี้ฟ้าในสภาพกระถาง

การศึกษาผลของต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ต่อการเจริญของพริกชี้ฟ้า ทำการย้ายต้นกล้ามะเขือเทศที่มีอายุ 28 วันหลังการเพาะลงปลูกในกระถางขนาด 14 นิ้ว ซึ่งบรรจุดิน 15 กิโลกรัมต่อกระถาง โดยดินที่ใช้ในการศึกษาทดลองมีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.72 ค่าแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 23.90 เซนติโมลต่อกิโลกรัม อินทรียวัตถุ เท่ากับร้อยละ 1.08 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 7.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 136.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถกำหนดอัตราการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ดังนี้ ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 1.12-0.75-0.56 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 15 กิโลกรัม (24-16-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ใส่ ½N+P+K เมื่อต้นกล้าตั้งตัวได้ดีแล้ว และครั้งที่ 2 ใส่ ½N หลังจากย้ายปลูกแล้ว 30 วัน จากการทดลองพบว่า ต้นกล้าพริกชี้ฟ้าที่ได้จากการคลุกเคลือบเมล็ดด้วยต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตในอัตราส่วน 1:0.8 (กรัมต่อกรัม) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี 1.12-0.75-0.56 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 15 กิโลกรัม (T13) มีความสูงหลังจากย้ายปลูก 15, 45 และ 75 วัน สูงสุด เท่ากับ 16.78, 35.28 และ 49.67 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

9) ผลการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศและพริกชี้ฟ้าในสภาพแปลงทดสอบ

(9.1) ผลการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศ

การทดลองใช้แปลงเกษตรกรในพื้นที่ อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น จำนวน 1 ไร่ ที่มีการปลูกพริกหลังนาสลับกับถั่วเขียวหลังนามาอย่างต่อเนื่อง ผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงทดลองการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศ พบว่า ที่ระดับความลึกของดิน 0-15 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.63 ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ (1.16 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ (20.17 และ 58.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 6) จากค่าวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน สามารถกำหนดอัตราการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ดังนี้ ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่ ½N+P+K หลังจากย้ายปลูกแล้วประมาณ 7 วัน หรือเมื่อต้นกล้าตั้งตัวได้ดีแล้ว ครั้งที่ 2 ใส่ ½N หลังจากย้ายปลูกแล้วประมาณ 30 วัน

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

จากการทดลองการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับปุ๋ยเคมีในการผลิตมะเขือเทศ ผลการทดลองหลังย้ายปลูก 90 วัน พบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 2) และการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบเก่าร่วมกับปุ๋ยเคมี 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 1) มีความสูงของต้นมะเขือเทศสูงกว่าการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมี 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) ส่วนผลต่อทรงพุ่มของต้นมะเขือ พบว่า หลังย้ายต้นกล้าลงปลูก 30 วัน กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 2) และกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบเก่าร่วมกับปุ๋ยเคมี 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (T1) ให้ขนาดทรงพุ่มของต้นมะเขือเทศสูงสุด แต่หลังจาก 60 วัน หลังย้ายต้นกล้าลงปลูก พบว่าขนาดทรงพุ่มของต้นมะเขือเทศในกรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีทุกกรรมวิธี (กรรมวิธีที่1 3 4 5 และ 6) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาผลผลิตของมะเขือเทศ พบว่า กรรมวิธีที่ 1 และ 3 และกรรมวิธีที่ 2 ให้ผลผลิตของมะเขือเทศไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 7) แต่เมื่อเปรียบเทียบการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับการลดปุ๋ยเคมี 24-14.4-16, 24-12.8-16 และ 24-11.2-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (กรรมวิธีที่4 5 และ 6) และกรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว พบว่า การลดปุ๋ยเคมีเหลือ 24-12.8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (T5) ให้ผลผลิตของมะเขือเทศไม่แตกต่างทางสถิติจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ(กรรมวิธีที่ 2) แต่เมื่อลดปุ๋ยเคมี 24-11.2-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 6) ให้ผลผลิตที่ต่ำกรรมวิธีที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(9.2) ผลการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตพริกชี้ฟ้า

การทดลองในแปลงเกษตรกรพื้นที่ อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น จำนวน 1 ไร่ ที่มีการปลูกพริกหลังนาสลับกับถั่วเขียวหลังนามาอย่างต่อเนื่อง ผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินแปลงทดลองการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศ พบว่า ที่ระดับความลึกของดิน 0-15 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.24 ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ (0.98 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ (13.68 และ 57.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 8) จากค่าวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน นำมากำหนดอัตราการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ดังนี้ ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่ ½N+P+K หลังจากย้ายปลูกแล้วประมาณ 7 วัน ครั้งที่ 2 ใส่ ½N หลังจากย้ายปลูกแล้วประมาณ 30 วัน

จากการทดลองการใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีในการผลิตพริก พบว่า กรรมวิธีที่ 1 และ 3 และการใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำอย่างเดียว กรรมวิธีที่ 2 ไม่ทำให้ความสูงของต้นพริกแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับการลดปุ๋ยเคมี 24-14.4-16, 24-12.8-16 และ 24-11.2-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 4 5 และ 6 มีความแต่สูงของต้นพริกแตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (กรรมวิธีที่1 2 และ 3) (ตารางที่ 9) ส่วนผลต่อทรงพุ่มของต้นพริก พบว่าเมื่อใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบเก่าและต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีตามอัตรา

กรมวิชาการเกษตร

แนะนำ (กรรมวิธีที่ 1 และ 3) และการใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ เพียงอย่างเดียว (กรรมวิธีที่2) ทำให้ขนาดทรงพุ่มของต้นพริกแตกต่างกันทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 9) เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตของพริก พบว่ากรรมวิธีที่ 1 2 และ 3 ให้ผลผลิตของพริกสูงที่สุดไม่แตกต่างกัน คือ 776 758 และ 769 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) แต่หากลดปุ๋ยฟอสเฟตลงเหลือ 24-12.8-16 และ 24-11.2-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 5 และ T6) จะทำให้ผลผลิตลดลง

1.2 การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบใหม่

1) คัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

คัดเลือกจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร สายพันธุ์ที่มีกิจกรรมการย่อยสลายสลายวัสดุอินทรีย์ได้สูง โดยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการผลิตเอนไซม์เอนโดกลูคาเนส เอกโซกลูคาเนส ไซแลนเนส (ตารางที่ 10) ซึ่งจะช่วยให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ทั้งภายในและภายนอกสายเส้นใยของเซลลูโลส และนำจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่

2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงเชื้อ

เมื่อได้จุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการผลิตเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์แล้ว นำมาเพิ่มปริมาณเซลล์ ผลการทดลองพบว่า การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารเหลวที่เติมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ และซูโครส 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นวิธีที่สามารถผลิตเซลล์จุลินทรีย์ได้มากที่สุดในทุกสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 11)

3) การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ

ทำการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบบอล รูปแบบแคปซูล และรูปแบบเม็ด (ภาพที่ 5) จากนั้นนับปริมาณจุลินทรีย์ในหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ รูปแบบต่างๆ พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ 10^5-10^6 โคโลนีต่อกรัม ในขณะที่รูปแบบเหลว มีปริมาณจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์อยู่ที่ประมาณ 10^7-10^8 โคโลนีต่อมิลลิลิตร เมื่อเก็บรักษาในตู้แช่เย็น (5 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่ผลิตขึ้น มีอายุการเก็บรักษาได้เพียง 2 เดือน (หากไม่เก็บรักษาในตู้แช่เย็น จะเก็บรักษาได้ไม่เกิน 1 เดือน) ในขณะที่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปผงหยาบ เมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน ยังคงมีจุลินทรีย์อยู่ประมาณ 10^6 โคโลนีต่อกรัม (ภาพที่ 6) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในขั้นตอนการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบใหม่มีการให้ความร้อน ซึ่งอาจจะทำให้จุลินทรีย์อ่อนแอลง นอกจากนี้ในขั้นตอนการผลิตไม่มีการกำจัดเชื้อปนเปื้อน จึงทำให้จุลินทรีย์ปนเปื้อนมีการเพิ่มจำนวน และลดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ต้องการลง

เมื่อพิจารณากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส ในแต่ละผลิตภัณฑ์พบว่าในช่วงเริ่มต้นมีกิจกรรมที่ใกล้เคียงกันแต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปเป็นระยะเวลานานกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสมีการลดลงอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับปริมาณของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ที่ลดลงเมื่อระยะเวลามากขึ้นเช่นกัน (ภาพที่ 7)

สำนักวิชาการเกษตร

ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ควรมีการใช้เมื่อผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาไม่นานนัก ไม่ควรมากกว่า 3 เดือน ซึ่งจุลินทรีย์ยังมีกิจกรรมอยู่แม้อาจจะมีกิจกรรมการย่อยสลายที่ช้าลงแต่จุลินทรีย์ที่ยังมีปริมาณคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์จะสามารถเพิ่มจำนวนได้เมื่อมีการใช้งานเพียงแต่อาจจะใช้เวลาในการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น

4) ทดสอบการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ ในการย่อยสลายตอซังฟางข้าว

เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ ในแปลงทดสอบที่มีการกลบตอซังฟางข้าว พบว่าในช่วง 5 วันแรกหลังจากใส่หัวเชื้อ ดินที่มีการใส่หัวเชื้อจะมีดัชนีการย่อยสลายคาร์บอกซีเมททิลเซลลูโลสที่สูงกว่าดินที่ไม่ได้ใส่หัวเชื้อ (ภาพที่ 8) แต่หลังจากนั้นดัชนีการย่อยสลายสลายคาร์บอกซีเมททิลเซลลูโลสจะไม่แตกต่างกันในทุกกรรมวิธี ซึ่งเป็นไปได้ว่า ช่วงแรกของการใช้งานจุลินทรีย์ที่ใส่ลงไปยังคงมีปริมาณมาก และซับสเตรท หรือเซลลูโลสจากตอซังฟางข้าวยังคงมีปริมาณมาก และไม่ถูกย่อยสลายมากนัก จุลินทรีย์ที่ใส่ลงไปจึงมีกิจกรรมการย่อยสลายที่ดี แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น จุลินทรีย์ที่ใส่ลงไปอาจถูกยับยั้งหรือทำลายโดยจุลินทรีย์ประจำถิ่น หรืออาจเกิดการปรับตัวเพื่ออยู่ร่วมกันในรูปแบบอื่น กิจกรรมการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์อาจมีบทบาทลดลง

จากการปลูกข้าวพันธุ์ กข 31 ตามกรรมวิธีต่างๆ พบว่ากรรมวิธีที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือ ย่อยสลายตอซังฟางข้าวด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเม็ด โดยมีผลผลิตข้าวเท่ากับ 701 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบผงหยาบ และรูปแบบบอล ซึ่งมีผลผลิตข้าวเท่ากับ 693 และ 675 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ แต่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบแคปซูล รูปแบบเหลว และกรรมวิธีที่ไม่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลผลิตข้าวต่ำกว่า (ตารางที่ 12) โดยกระบวนการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเม็ดนั้นเกิดจากการตรึงจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงจากอาหารเหลว ลงไปยังวุ้นอัลจิเนตโดยตรง ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่ออบแห้ง ในขณะที่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเดิม เป็นการผสมจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงจากอาหารเหลว ลงไปยังวัสดุพาโดยตรง ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเช่นกัน จึงอาจเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงกว่าผลิตภัณฑ์รูปแบบบอลที่ต้องใช้ความร้อนในการอบ

5) การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบใหม่เพื่อใช้ในการย่อยสลายใบอ้อย

ทำการพัฒนาหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบใหม่โดยการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบผงหยาบ กรองผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นผสมแป้งมัน อัตราส่วน แป้งมัน:ซีโอไลท์:ปุ๋ยหมักบด:จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ เท่ากับ 10:5:35:50 นำมาอบที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อให้มีรูปลักษณ์ที่เป็นผงละเอียดมากขึ้นมีลักษณะที่ต่างจากดินหรือปุ๋ยหมัก จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบเพื่อผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบผงคือ 40 องศาเซลเซียส แม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความชื้นลดลงไม่มากนัก แต่ปริมาณจุลินทรีย์หลังจากการอบและหลังการเก็บรักษาจะค่อนข้างสูงกว่าการอบที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งการอบที่อุณหภูมิสูง แม้ว่าจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์แห้งมากขึ้น แต่ปริมาณจุลินทรีย์หลังการเก็บรักษาจะลดลงค่อนข้างเร็ว (ตารางที่ 13)

6) ทดสอบการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ ในการย่อยสลายใบอ้อย

กรมวิชาการเกษตร

จากการทดสอบการย่อยสลายใบอ้อยแห้งด้วยผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ แต่ด้วยค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของใบอ้อยแห้งมีค่าสูง (ตารางที่ 14) ซึ่งจะทำให้การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์เป็นไปได้ยาก จึงทำการผสมกากตะกอนหม้อกรองเพื่อลดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยทำการทดสอบการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์คือ ส่วนผสมของใบอ้อยและกากตะกอนหม้อกรอง ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 100/0 90/10 80/20 และ 70/30 โดยหมักในตะกร้าขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางx สูง เท่ากับ 66x48 เซนติเมตร ใส่ยูเรีย 0.2 เปอร์เซ็นต์ กลับกองและตรวจค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ณ เวลา 0 30 60 90 และ 120 วัน ของการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์แบบผงหยาบ พบว่าช่วงแรกของการหมักค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีการเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 30 วันแรก(ภาพที่ 9) ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์ทั้งที่มีอยู่เดิมในวัสดุและที่ได้รับเพิ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ใส่ลงไป มีการเจริญเติบโตในช่วงแรกอย่างมากซึ่งต้องใช้ไนโตรเจนในกิจกรรมของการสร้างสารพันธุกรรมและเอนไซม์ต่างๆ เพื่อการเจริญเติบโตแข่งขันกับจุลินทรีย์รอบข้าง เป็นเหตุให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงเร็วกว่าการลดลงของคาร์บอน ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในช่วงแรกของการหมักมีค่าสูงขึ้น (สุนทรี, 2554) จนกระทั่งผ่านพ้นช่วง 30 วันไปแล้ว จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตไม่ทันลดจำนวนลง การแข่งขันการเจริญลดลง อัตราการใช้ไนโตรเจนลดลง จุลินทรีย์เริ่มขาดธาตุอาหาร จึงเริ่มทำการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจึงเริ่มลดลง ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มลดลงตามระยะเวลาที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน(ภาพที่ 10) แต่ทั้งนี้ที่อัตราการผสมวัสดุอินทรีย์ใบอ้อยและกากตะกอนหม้อกรอง ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก เท่ากับ 100/0 และ 90/10 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่สูง คือ 115 และ 104 ตามลำดับ แม้จะมีการใช้ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ลงไปเพื่อช่วยให้มีการย่อยสลายที่มากขึ้น แต่วัสดุยังคงมีขนาดใหญ่ ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ไม่เต็มที่ การย่อยสลายจึงเกิดได้ไม่ทั่วถึง ในขณะที่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 80/20 และ 70/30 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ต่ำกว่า คือ 95 และ 80 ตามลำดับ มีปริมาณกากตะกอนหม้อกรองซึ่งมีความละเอียด และกระจายตัวในกองปุ๋ยได้ดี มีปริมาณมากพอที่จะช่วยให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ และกระจายตัวไปในส่วนต่างๆ ของกองปุ๋ยได้มากขึ้นการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นได้มาก โดยที่อัตราส่วน 70/30 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าอัตราส่วนอื่นๆ หลังจาก 90 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ที่ดีกว่าการผสมในอัตราอื่น

การทดสอบหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบใหม่ในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ (อัตราส่วนใบอ้อยต่อกากตะกอนหม้อกรอง เท่ากับ 70/30) โดยการหมักในกองขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 1.0x1.2x1.0 เมตร กลับกองและวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ณ เวลา 0 30 60 90 และ 120 วัน พบว่า ในช่วง 60 วัน แรกของการหมักการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักมีลักษณะเป็นไปในแนวทางเดียวกันทุกกรรมวิธีคือ ลดลงอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งสามารถระเหยออกไปได้ ขณะที่ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอินทรีย ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักมีค่าลดลง (Vuorinen and Saharinen, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักในช่วงเวลาดังกล่าว การทำงานของจุลินทรีย์ในช่วงเวลานี้ยังมีอยู่มาก และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก็ยังคงสูงอยู่ (ภาพที่ 11) ทำให้ค่า

germination index ยังคงมีค่าต่ำ(ภาพที่ 12) หลังจาก 60 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ในกองกรรมวิธีที่ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เริ่มมีค่าน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น (ภาพที่ 13) จากการทดลองนี้พบว่าในทุกกรรมวิธีมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น(ภาพที่ 14) เนื่องจากในวัสดุอินทรีย์มีจุลินทรีย์ประจำถิ่นอาศัยอยู่ และการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการหมักสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ซึ่งแสดงถึงการย่อยสลายที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจึงลดลง จนถึงช่วงวันที่ 180-240 การหมักจึงเกิดขึ้นสมบูรณ์แต่จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยยังคงมีกิจกรรมการย่อยสลายที่มากพอจะเกิดการย่อยสลายได้ โดยไอออนที่ออกมาจากการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ (Thongjoo *et al*.,2006)

1.3 การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมชนิดปลอดเชื้อ

1) การทดสอบวัสดุพาแบบเหลวที่เหมาะสมกับเชื้อไรโซเบียม

การทดสอบสูตรอาหารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อไรโซเบียมแบบเหลว โดยใช้เชื้อไรโซเบียมที่ใช้ผลิตปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสงในการทดลอง เพื่อศึกษาความเหมาะสมของวัสดุพาแบบเหลวทั้ง 8 สูตรและอายุการเก็บรักษา โดยดูจากปริมาณเชื้อไรโซเบียมที่มีชีวิตที่เก็บรักษาจนถึง 180 วัน ผลการทดลองพบว่าเมื่อเก็บรักษาเชื้อไรโซเบียมผ่านไป 180 วัน เชื้อไรโซเบียมถั่วเหลืองสามารถเจริญได้ในวัสดุพาแบบเหลวทุกสูตร และวัสดุพาแบบเหลวสูตรที่ 5 (YM medium + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร) มีปริมาณเชื้อไรโซเบียมถั่วเหลืองที่มีชีวิตสูงสุดที่ 1.08×10^{9} โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 15)

เชื้อไรโซเบียมถั่วเขียวสามารถเจริญได้ดีในวัสดุพาแบบเหลวทุกสูตร การเจริญของเชื้อไรโซเบียมถั่วเขียวในวัสดุพาแบบเหลวสูตรที่ 4 (YM medium + MgO 1 กรัมต่อลิตร) มีปริมาณเชื้อไรโซเบียมถั่วเขียวที่มีชีวิตสูงสุดที่ 2.18×10^{9} โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 16)

เชื้อไรโซเบียมถั่วลิสงสามารถเจริญได้ในวัสดุพาแบบเหลวทุกสูตร และวัสดุพาแบบเหลวสูตรที่ 3 (YM medium + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร) มีปริมาณเชื้อไรโซเบียมถั่วลิสงที่มีชีวิตสูงสุดที่ 3.83×10^{8} โคโลนีต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 17)

2) การทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบเหลวในกระถางทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง ในกระถางทดลอง ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมสำหรับถั่วเหลือง กรรมวิธีที่ 2 (KNO_3) ให้น้ำหนักต้นแห้ง 4.01 กรัม แตกต่างกับกรรมวิธีที่ 3 4 5 และ 6 มีจำนวนปม 55 64 61 และ 58 ปมต่อกระถาง น้ำหนักปมสด 1.00 1.10 1.00 และ 1.00 กรัมต่อกระถาง น้ำหนักปมแห้ง 0.23 0.26 0.23 และ 0.24 กรัมต่อกระถาง ไม่แตกต่างทางสถิติ ตามลำดับ ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนกรรมวิธีที่ 4 (Rhi+CMC 1.5 กรัมต่อลิตร) มีค่าการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุด 19.16 ไมโครโมลเอทธิลีนต่อชั่วโมงต่อกระถาง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 15)

กรมวิชาการเกษตร

การทดสอบประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมถั่วเขียวในกระถางทดลอง กรรมวิธีที่ 2 (KNO_3) ให้น้ำหนักต้นแห้ง 4.79 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กรรมวิธีที่ 3 4 5 และ 6 มีจำนวนปม 83 109 82 และ 102 ปมต่อกระถาง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ตามลำดับ กรรมวิธีที่ 4 (Rhi+MgO 1 กรัมต่อลิตร) ให้น้ำหนักปมสด 0.91 กรัมต่อกระถาง น้ำหนักปมแห้ง 0.15 กรัมต่อกระถาง และมีค่าการตรึงไนโตรเจน 5.193 ไมโครโมลเอทธิลีนต่อชั่วโมงต่อกระถาง แตกต่างกันทางสถิติ ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

การทดสอบประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วลิสงในกระถางทดลอง กรรมวิธีที่ 2 (KNO_3) ให้น้ำหนักต้นแห้ง 5.09 กรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ กรรมวิธีที่ 3 4 5 และ 6 มีจำนวนปม 27 30 29 และ 22 ปมต่อกระถาง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ตามลำดับ กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง) ให้น้ำหนักปมสด 0.58 กรัมต่อกระถาง น้ำหนักปมแห้ง 0.19 กรัมต่อกระถาง มีค่าการตรึงไนโตรเจน 16.74 ไมโครโมลเอทธิลีนต่อชั่วโมงต่อกระถาง แตกต่างกันทางสถิติ ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

3) การทดสอบประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง ในแปลงทดลอง

ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินจากแปลงทดลองของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์ลพบุรี มีอินทรียวัตถุปานกลาง 1.25-1.28 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 31.11-31.38 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 69.47-69.72 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 18

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วเหลืองในแปลงทดลองพบว่าเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวกรรมวิธีที่ 6 (PK+Rhi+Soluble starch 1 กรัมต่อลิตร) มีจำนวนปม น้ำหนักปมสด และน้ำหนักปมแห้งมากที่สุดที่ 56.37 ปม 0.83 กรัม และ 0.19 กรัม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+YM medium) มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุด 24.21 ไมโครโมลเอทธิลีนต่อชั่วโมงต่อต้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนน้ำหนักต้นแห้งและรากแห้งในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 6 มีแนวโน้มให้น้ำหนักต้นแห้งและรากแห้งมากที่สุดดังแสดงในตารางที่ 19

ผลผลิตของถั่วเหลือง ผลผลิตต่อไร่ กรรมวิธีที่ 2 (NPK) ให้น้ำหนักเมล็ดแห้งต่อต้นและเมล็ดแห้ง 11.87 กรัมต่อต้น และ 379.62 กิโลกรัมต่อไร่ที่ความชื้น 15 เปอเซ็นต์ ตามลำดับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนักต้นสดในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 20)

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วเขียวพบว่า กรรมวิธีที่ 5 (Rhi+MgO 1 กรัมต่อลิตร) มีจำนวนปม น้ำหนักปมสด น้ำหนักปมแห้ง และประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน สูงที่สุด 39.75 ปม 0.48 กรัม 0.17 กรัม และ 8.22 ไมโครโมลเอทธิลีนต่อชั่วโมงต่อต้น ตามลำดับแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนน้ำหนักต้นแห้งและรากแห้งในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ กรรมวิธีที่ 2 (NPK) ให้น้ำหนักต้นแห้งสูงที่สุด 31.85 กรัม กรรมวิธีที่ 1 (control) ให้น้ำหนักรากแห้งสูงที่สุด 6.87 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 21

ผลผลิตของถั่วเขียว น้ำหนักฝัก ผลผลิตต่อไร่และน้ำหนัก 1000 เมล็ด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ กรรมวิธีที่ 4 (Rhi+YM medium) มีแนวโน้มให้น้ำหนักฝัก ผลผลิตต่อไร่และน้ำหนัก 1000 เมล็ดสูงที่สุดที่ 335.5 กิโลกรัมต่อไร่ 211.2 กิโลกรัมต่อไร่ และ 72 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 22

กรมวิชาการเกษตร

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วลิสงพบว่า กรรมวิธีที่ 5 (Rhi+CMC 1.5 กรัมต่อลิตร) มีจำนวนปม และประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุด 271.5 ปม และ12.1 ไมโครโมลเอทธิลีนต่อชั่วโมงต่อต้นตามลำดับ ส่วนน้ำหนักปมสด น้ำหนักปมแห้ง น้ำหนักต้นแห้ง และน้ำหนักรากแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 23

ผลผลิตของถั่วลิสง กรรมวิธีที่ 2 (NPK) ให้น้ำหนักฝักมากที่สุดที่ 728.9 กิโลกรัมต่อไร่ แตกต่างกันทางสถิติ แต่น้ำหนักฝักแห้ง และน้ำหนักเมล็ด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 2 มีแนวโน้มให้น้ำหนักฝักแห้งสูงที่สุดที่ 311.1 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ 7 (Rhi+MgO 1 กรัมต่อลิตร) ให้น้ำหนักเมล็ด 202.3 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 24

1.4 การวิจัยพัฒนาการผลิตปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ชนิดเหลว

การเลี้ยงเชื้อสกุล *Azospirillum sp.* และ *Gluconacetobacter* sp. ในอาหารเหลวที่ได้ทำการคัดเลือกจากการทดลองในปีที่ 1 เปรียบเทียบกับสูตรเฉพาะของแต่ละเชื้อ โดยเชื้อสกุล *Azospirillum* sp. เปรียบเทียบกับอาหารสูตรมาตรฐาน NFb และเชื้อสกุล *Gluconoacetobacter* sp. เปรียบเทียบกับอาหารสูตรมาตรฐาน และนับปริมาณเซลล์ด้วยวิธี Most Probable Number (MPN) ก่อนการเก็บรักษา พบว่า เชื้อทั้งสองสกุลมีปริมาณเซลล์สูงกว่าที่พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำหนด นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อทั้งสองสกุลมีปริมาณเซลล์ต่ำกว่าเชื้อตั้งต้นในอาหารเหลวบางสูตร โดยเชื้อพีจีพีอาร์เหลวสกุล *Azospirillum* ไอโซเลท TS8 ที่เลี้ยงในอาหารสูตรมาตรฐาน NFb และ NFb + Molasses 2% + Phosphate buffer + แป้งมัน 0.5% ที่อายุ 48 ชั่วโมง มีปริมาณต่ำกว่าเชื้อตั้งต้น (7.34 Log_{10} CFU/ml) แต่ไอโซเลท TS8 ที่เลี้ยงในอาหารสูตร NFb + Trehalose 0.05% มีปริมาณเชื้อสูงกว่าเชื้อตั้งต้น (ตารางที่ 25) ส่วนไอโซเลท TS13 ที่เลี้ยงในอาหารทุกสูตร ที่อายุ 48 ชั่วโมง มีปริมาณสูงกว่าเชื้อตั้งต้น (6.83 Log10 CFU/ml) และที่เลี้ยงในอาหารสูตร NFb + Trehalose 0.05% มีปริมาณเชื้อสูงกว่าที่เลี้ยงในอาหารสูตร NFb + Trehalose 0.01% และไอโซเลท TS29 ที่เลี้ยงในอาหารทุกสูตร ที่อายุ 48 ชั่วโมง มีปริมาณต่ำกว่าเชื้อตั้งต้น (9.36 Log_{10} CFU/ml) ดังแสดงในตารางที่ 26 ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้น พบว่าขัดแย้งกับรายงานของ Hounsa *et al*. (1998) พบว่า ระดับของ Trehalose สอดคล้องกับความสามารถในการอยู่รอดเมื่อเกิดสภาวะเครียด

จากตารางที่ 27 พบว่า เชื้อพีจีพีอาร์เหลวสกุล *Gluconoacetobacter* sp. ที่เลี้ยงในอาหารทุกสูตร ที่อายุ 72 ชั่วโมง มีปริมาณต่ำกว่าเชื้อตั้งต้น (7.24 Log_{10} CFU/ml) จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า *Azospirillum* sp. ไอโซเลท TS13, TS29 และ *Gluconacetobacter* sp. สามารถเจริญได้ในอาหารที่ใส่ Trehalose ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hounsa *et al*. (1998) ที่รายงานว่า Trehalose เป็นสารประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการอยู่รอดเมื่อสัมผัสกับสภาวะ osmotic stress อย่างรุนแรง

การทำการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพชนิดเหลวในการลดการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืช โดยทดสอบบนกระดาษกรองและขวดโหลใส่ทรายนึ่งฆ่าเชื้อ หลังจากการใส่เชื้อเหลวที่เลี้ยงในอาหารสูตรต่างๆ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิห้องปรับอากาศ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน พบว่า พืชทดสอบ

กรมวิชาการเกษตร

ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ส่งผลต่อการงอกของพืชทดสอบ โดยค่า pH ของอาหารเหลวที่ใช้เลี้ยงเชื้อพีจีพีอาร์สกุล *Azospirillum* sp. อยู่ที่ 6.8 และเชื้อพีจีพีอาร์สกุล *Gluconacetobacter* sp. อยู่ที่ 6.0 และหลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิห้องปรับอากาศ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ทำให้ค่า pH อาหารเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในตารางที่ 28

1.5 การศึกษาปัจจัยต่อการเพิ่มปริมาณราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อการผลิตสปอร์แบบเข้มข้น

1) การทดสอบพืชอาศัยที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการทดสอบการเพิ่มปริมาณสปอร์รา *Glomus intraradices* โดยการใช้พืชอาศัยชนิดต่างๆ ในการทดลองชุดที่ 1 พบว่า การเพิ่มปริมาณสปอร์โดยใช้หญ้ารูซี่ทำให้มีปริมาณสปอร์มากที่สุด คือ 66 สปอร์ต่อกรัม ส่วนถั่วคาวาลเคดและถั่วท่าพระสไตโลมีการสร้างสปอร์ราน้อยที่สุด คือ 18 และ25 สปอร์ต่อกรัม ในการทดลองชุดที่ 2 พบว่า การเพิ่มปริมาณสปอร์โดยใช้หญ้ารูซี่ หญ้าอะตราตัมและหญ้าพลิแคทูลัม ทำให้มีปริมาณสปอร์มากที่สุด คือ 49 44 และ 46 สปอร์ต่อกรัม ส่วนการใช้ข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์3 และตากฟ้า3 ทำให้การสร้างสปอร์ราเกิดขึ้นน้อยที่สุด (ตารางที่ 29; ภาพที่ 18) จากการศึกษาของ Kaushish และคณะ (2011a; 2011b) ได้ทดสอบผลของพืชอาศัยสามชนิด ได้แก่ ตะไคร้ หัวหอม และโสน ต่อการสร้างสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาพบว่า *Acaulospora laevis* เกิดการสร้างสปอร์ได้ดีที่สุดในโสน ส่วน *Glomus mosseae* สร้างสปอร์ได้ดีที่สุดในตะไคร้ ในการทดสอบของ Mangla และคณะ (2012) ทดสอบการผลิตสปอร์ของ *Acaulospora laevis* และ *Glomus mosseae* เช่นกันแต่ใช้ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์เป็นพืชทดสอบการเพิ่มปริมาณ พบว่า ราทั้งสองสร้างสปอร์ได้ดีในข้าวสาลีมากกว่าในข้าวบาร์เลย์ จากผลการทดลองในตารางที่ 29 จะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลาที่ต่างกัน ทำให้พืชอาศัยมีผลต่อการสร้างสปอร์ของราเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในช่วงเดือนเมษายน – กรกฎาคม 2560 เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิที่สูงกว่า เดือนมิถุนายน – กันยายน 2560 เป็นผลให้พืชอาศัยตระกูลถั่วมีการผลิตสปอร์ของราน้อยกว่าพืชตระกูลหญ้า ส่วนในระหว่างเดือนมิถุนายน – กันยายนทำให้ข้าวโพดทั้งสองพันธุ์มีการผลิตสปอร์ของราน้อยลงกว่าพืชชนิดอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการผลิตราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Ferguson and Menge, 1982) แต่อย่างไรก็ตาม หญ้ารูซี่มีผลทำให้การผลิตสปอร์ของรา *Glomus intraradices* ได้มากที่สุดในทั้งสองช่วงเวลา ดังนั้นในการศึกษานี้หญ้ารูซี่เป็นพืชอาศัยที่เหมาะสำหรับการผลิตสปอร์รา *Glomus intraradices* กว่าพืชชนิดอื่น

2) ผลของวัสดุปลูกต่อการเพิ่มปริมาณสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

จากการทดสอบผลของวัสดุปลูกต่อการเพิ่มปริมาณสปอร์รา *Glomus intraradices* (ตารางที่ 30) พบว่า วัสดุปลูก ดิน:ทราย ซึ่งเป็นวัสดุปลูกแบบเดิม มีการสร้างสปอร์ของรามากที่สุด คือ 31 สปอร์ต่อกรัม จะเห็นได้ว่าวัสดุปลูกที่ไม่มีดิน คือ แกลบดำ และ ทราย:แกลบดำ มีการสร้างสปอร์ราน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุไม่สามารถกักเก็บธาตุอาหารและความชื้นที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลให้การเจริญเติบโตของราน้อยตามไปด้วย

3) ผลของไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสต่อการเพิ่มปริมาณสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

กรมวิชาการเกษตร

จากการทดสอบผลของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเพิ่มปริมาณสปอร์รา *Glomus intraradices* (ตารางที่ 31) พบว่า การใส่ไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้น 60 มก.ต่อลิตร ร่วมกับการใส่ฟอสฟอรัสที่ระดับความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีการสร้างสปอร์ของรามากที่สุด คือ 48.5 สปอร์ต่อกรัม เมื่อมีการใส่ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในระดับ 80 - 140 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีการสร้างสปอร์ของราลดลง ที่ระดับฟอสฟอรัสความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการใส่ไนโตรเพิ่มขึ้น การใส่ฟอสฟอรัสควรจะมีความเข้มข้นลดลงจึงจะทำให้มีการสร้างสปอร์ที่ดีกว่า จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงปัจจัยธาตุอาหารมีผลต่อการผลิตสปอร์อย่างมาก เนื่องจากราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นราที่อยู่ร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยจึงมีอิทธิพลโดยตรงต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร ส่วนการเข้าอาศัยในรากไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่า พืชแตกต่างชนิดมีความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารฟอสฟอรัสได้แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดเพื่อนำไปใช้ในการผลิตสปอร์

4) การทดสอบการพิ่มปริมาณสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแบบเข้มข้นในโรงเรือนผลิตปุ๋ยชีวภาพ

จากการทดสอบการเพิ่มปริมาณสปอร์รา *Glomus intraradices* ด้วยวิธีเดิมและวิธีใหม่ (ตารางที่ 32) พบว่า วิธีใหม่ที่มีการใช้พืชอาศัยคือหญ้ารูซี่และการปรับใส่ธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนสปอร์ดีกว่า เพิ่มขึ้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ของการผลิตด้วยวิธีเดิม

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาต้นแบบจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตแบบ spray dry โดยใช้ *P. fluorescens* SM-P025B เป็นแบคทีเรียที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบผง spray dry และเมื่อนำมาทดสอบร่วมกับปุ๋ยเคมีในการผลิตมะเขือเทศและพริกชี้ฟ้าในสภาพแปลงทดสอบ พบว่า การใช้ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 24-12.8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ให้ผลผลิตมะเขือเทศ ไม่แตกต่างทางสถิติจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ 24-16-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ สำหรับการทดสอบในพริก พบว่า ต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 24-14.4-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ให้ผลผลิตของพริกไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ

2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบใหม่ได้หลายรูปแบบทั้งแบบรูปแบบบอล รูปแบบแคปซูล และรูปแบบเม็ด เมื่อนำไปทดสอบการย่อยตอซังฟางข้าว พบว่า รูปแบบเม็ด รูปแบบเดิม และรูปแบบบอล ข้าวให้ผลผลิต 701 693 และ 675 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์รูปแบบผงละเอียดสามารถย่อยสลายใบอ้อยได้เทียบเท่าผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเดิมที่เป็นผงหยาบ แต่มีลักษณะการใช้งานที่ง่ายกว่ารูปแบบเดิมมาก

3. การผลิตปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับพืชตระกูลถั่ว 3 ชนิด คือถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง โดยมีสูตรอาหาร YM เป็นสูตรอาหารพื้นฐาน โดยใช้สูตร YM medium + CMC 1.5 กรัมต่อลิตร + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตรสำหรับถั่วเหลือง สูตร YM medium + MgO 1 กรัมต่อลิตรสำหรับถั่วเขียว และสูตร YM medium + Soluble starch 1 กรัมต่อลิตรสำหรับถั่วลิสง สามารถเก็บรักษาไว้ 180 วัน และมี

กรมวิชาการเกษตร

ปริมาณเชื้อสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ใน พรบ. ปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 เมื่อทดสอบในแปลงทดลองพบว่าปุ๋ยชีวภาพแบบเหลวมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากปุ๋ยชีวภาพแบบผงที่กรมวิชาการผลิตอยู่เดิม

4. จากการเลี้ยงเชื้อพีจีพีอาร์ทั้งสองสกุลในสูตรอาหารที่ได้รับการคัดเลือกจากการทดลอง พบว่าการผลิตปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์เหลวจากการเลี้ยงเชื้อ *Azospirillum* sp. และ *Gluconacetobacter* sp. ทุกไอโซเลทในอาหารเหลวทุกสูตร พบว่าเชื้อทั้ง 2 สกุล มีปริมาณเซลล์ต่ำกว่าเชื้อตั้งต้น และไม่สามารถคงจำนวนให้สูงกว่าปริมาณเซลล์ตั้งต้นได้เกิน 72 ชั่วโมง

5. จากผลการทดลองการหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* พบว่า การใช้หญ้ารูซี่เป็นพืชอาศัย และการจัดการธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ 60 มก.ต่อลิตร และ 1.0 มก.ต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับการปลูกหญ้ารูซี่ นั้น ทำให้การผลิตสปอร์ได้ผลดีกว่าการผลิตสปอร์แบบเดิม ภายใต้สภาพเรือนทดลอง ทั้งนี้หากมีการผลิตราอาร์บัสคูลาร์ไมคอรไรซาชนิดอื่น ควรมีการศึกษาพืชอาศัยและการจัดการธาตุอาหารที่เฉพาะต่อการผลิตราชนิดนั้นต่อไป

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตภายใต้สภาวะอุณภูมิสูง

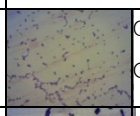
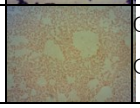
Isolate	Initial Viable cell (cfu/mL)	100 °C		120 °C	
		Final Viable cell (cfu/mL)	Survival rate (%)	Final Viable cell (cfu/mL)	Survival rate (%)
SM-P013B	1.22×10^{8}	1.12×10^{8}	91.80	1.10×10^{8}	90.24
SM-P014B	1.01×10^{8}	6.83×10^{7}	67.62	5.91×10^{7}	58.51
SM-P020B	9.86×10^{7}	8.92×10^{7}	90.47	8.88×10^{7}	90.06
SM-P021B	9.29×10^{7}	7.96×10^{7}	85.68	7.85×10^{7}	84.50
SM-P022B	9.91×10^{7}	8.73×10^{7}	88.09	8.61×10^{7}	86.88
SM-P023B	1.05×10^{8}	7.79×10^{7}	74.19	7.02×10^{7}	66.86
SM-P025B	8.98×10^{7}	8.29×10^{7}	92.32	8.08×10^{7}	89.98
SM-P027B	9.07×10^{7}	8.32×10^{7}	91.73	8.17×10^{7}	90. 08

SM-P029B	9.74×10^{7}	9.01×10^{7}	92.51	8.78×10^{7}	90.14
SM-P031B	1.01×10^{8}	6.28×10^{7}	62.18	6.02×10^{7}	59.60
SM-P032B	9.78×10^{7}	8.71×10^{7}	89.06	8.58×10^{7}	87.73
SM-P033B	1.07×10^{8}	9.88×10^{7}	92.34	9.64×10^{7}	90.16
SM-P034B	1.21×10^{8}	9.83×10^{7}	81.24	9.76×10^{7}	80.66
SM-P035B	9.41×10^{7}	8.07×10^{7}	85.76	7.98×10^{7}	84.80
SM-P045B	9.92×10^{7}	8.82×10^{7}	88.91	8.62×10^{7}	86.90

ตารางที่ 2 การจำแนกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตด้วย 16s rRNA gene

Isolate	No. nucleotide (bp)	Most closely bacteria species	Identities (%)	Accession number
SM-P013B	1,425	*Burkholderia latens*	99.58	NR_042632.1
SM-P020B	1,419	*Burkholderia multivorans*	99.86	NR_029358.1
SM-P025B	1,396	*Pseudomonas fluorescens*	99.51	NR_114476.1
SM-P027B	1,369	*Curtobacterium oceanosedimentum*	98.83	NR_104839.1
SM-P029B	1,406	*Bacillus velezensis*	99.65	NR_075005.2
SM-P033B	1,408	*Pantoea dispersa*	99.00	NR_116797.1

ตารางที่ 3 การย้อมสีแกรมของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

Isolate	Gram stains	Isolate	Gram stains
Burkholderia latens SM-P013B	Gram stain: negative Cell shape: Bacilli	*Curtobacterium* sp. SM-P027B	 Gram stain: positive Cell shape: Bacilli
Burkholderia multivorans SM-P020B	Gram stain: negative Cell shape: Bacilli	*Bacillus velezensis* SM-P029B	Gram stain: positive Cell shape: Bacilli
Pseudomonas fluorescens SM-P025B	Gram stain: negative Cell shape: Bacilli	*Pantoea dispersa* SM-P033B	 Gram stain: negative Cell shape: Bacilli

ตารางที่ 4 การใช้แหล่งคาร์บอนต่างๆ ของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่คัดเลือกได้จำนวน 6 ไอโซเลท

Carbon sources	SM-P013B	SM-P020B	SM-P025B	SM-P027B	SM-P029B	SM-P033B
Glucose	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Fructose	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Galactose	+++++	+++++	++++	++++	++++	+++++
Mannose	++++	++++	++++	++++	+++++	++++
Arabinose	++	++	++	+++	++	++
Ribose	++	++	++	++	++	++
Xylose	+++	+++	++	+++	++	++
Cellobiose	++++	+++++	++++	+++++	++++	++++
Maltose	++++	++++	++++	+++++	++++	++++

กรมวิชาการเกษตร

Sucrose	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Lactose	+++	+++	++++	++++	+++	+++
Trehalose	++++	+++++	+++++	+++++	+++++	++++
Raffinose	++++	++++	++++	+++++	++++	++++
CMC	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - คือ แบคทีเรียไม่สามารถใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโต; +, ++, +++, ++++ และ +++++ คือ ระดับความสามารถของแบคทีเรียในการใช้น้ำตาลเพื่อการเจริญเติบโต (วัดจากความขุ่นที่เพิ่มขึ้นของเซลล์แบคทีเรียในอาหารเพาะเลี้ยง)

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต *P. fluorescens* SM-P025B ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศและพริกในสภาพกระถาง

Treatments			Tomato height (cm)			Chili height (cm)		
	Seed and biofertilizer ratio	Chemical fertilizer	Days after planting			Days after planting		
			15 Days	45 Days	75 Days	15 Days	45 Days	75 Days
T1	1:0	1.12-0.75-0.56	26.6d	62.9a	97.0ab	12.6de	28.4de	42.6cde
T2	1:0	1.12-0.64-0.56	25.6d	60.6a	97.1ab	12.1f	24.2f	43.0cde
T3	1:0	1.12-0.53-0.56	25.8d	60.5a	97.4a	11.7f	24.3f	38.0f
T4	1:0.2	1.12-0.75-0.56	30.7abc	61.9a	98.3a	12.9cde	29.3cde	42.6cde
T5	1:0.2	1.12-0.64-0.56	30.3c	60.3a	93.6ab	11.9ef	27.4ef	41.1def
T6	1:0.2	1.12-0.53-0.56	29.9c	598.0a	90.6ab	11.8ef	27.2ef	39.9df
T7	1:0.4	1.12-0.75-0.56	32.6abc	61.3a	97.6a	14.9ab	34.9ab	44.6bcd
T8	1:0.4	1.12-0.64-0.56	31.4abc	61.6a	100.0a	13.6b-e	30.9b-e	42.7cde
T9	1:0.4	1.12-0.53-0.56	30.2c	59.5a	92.6ab	13.7a-d	31.5a-d	40.2df
T10	1:0.6	1.12-0.75-0.56	33.6a	58.0a	97.9a	14.1ab	34.2ab	48.8a
T11	1:0.6	1.12-0.64-0.56	30.4bc	59.5a	93.5ab	13.8ab	33.8ab	47.5ab
T12	1:0.6	1.12-0.53-0.56	32.2abc	57.5a	85.5b	13.7ab	33.6ab	43.3cde
T13	1:0.8	1.12-0.75-0.56	33.3ab	60.0a	100.2a	16.8a	35.3a	49.7a
T14	1:0.8	1.12-0.64-0.56	33.3ab	59.6a	95.8ab	15.2a	35.2a	46.2abc
T15	1:0.8	1.12-0.53-0.56	31.0abc	48.1b	88.6ab	14.3abc	33.1abc	46.3abc
		% CV	9.40	7.36	6.81	12.20	13.55	8.40

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ อัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อดิน 15 กิโลกรัม

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 6 ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกของแปลงปลูกมะเขือเทศในพื้นที่ อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น

Soil depth (cm)	Texture	pH H_2O (1:1)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
0-15	Sandy loam	7.63	1.16	20.17	58.23
15-30	-	6.87	0.93	14.79	52.54

ตารางที่ 7 ผลของต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศ

Treatment	Biofertilizer	Chemical fertilizer	Height	Canopy	Yield

		(kg N-P_2O_5-K_2O / rai)	(cm)	(cm)	(kg/rai)
T1	*Talaromyces sp.*	24-16-16	83.96a	50.40a	871a
T2	-	24-16-16	83.01a	49.91a	878a
T3	*P. fluorescens*	24-16-16	79.98b	50.42a	862a
T4	*P. fluorescens*	24-14.4-16	78.50bc	48.33a	815a
T5	*P. fluorescens*	24-12.8-16	78.19bc	48.85a	688ab
T6	*P. fluorescens*	24-11.2-16	77.20cd	49.24a	625b
T7	-	-	75.33de	40.86b	227c
T8	*P. fluorescens*	-	75.29e	41.82b	222c
	CV (%)		4.09	8.04	28.47

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกของแปลงปลูกพริกในพื้นที่ อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น

Soil depth (cm)	Texture	pH H_2O (1:1)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
0-15	Sandy loam	7.24	0.98	13.68	57.12
15-30	-	6.98	0.86	9.06	41.13

ตารางที่ 9 ผลของต้นแบบปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก

Treatment	Chemical fertilizer	Height (cm)	Canopy (cm)	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Yield (kg/rai)
T1 (*Talaromyces sp.*)	24-16-16	62.73a	50.21a	6.56a	0.64	776a
T2 (no inoculant)	24-16-16	62.38a	49.68ab	6.54a	0.63	758a
T3 (*P. fluorescens*)	24-16-16	62.01a	50.15a	6.55a	0.63	769a
T4 (*P. fluorescens*)	24-14.4-16	58.25b	49.18abc	6.47a	0.62	645ab
T5 (*P. fluorescens*)	24-12.8-16	59.32b	47.90bc	6.38a	0.61	568b
T6 (*P. fluorescens*)	24-11.2-16	57.37b	48.20c	6.26ab	0.62	496b
T7 (no inoculant)	-	48.07c	41.21d	6.01b	0.61	236c
T8 (*P. fluorescens*)	-	49.72c	41.22d	5.98b	0.60	307c
CV (%)		9.86	8.04	4.86	3.67	23.44

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ อัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

ตารางที่ 10 กิจกรรมของแบคทีเรียที่ใช้สำหรับผลิตเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

Code	Identification	Efficiency

กรมวิชาการเกษตร

		EnG	ExG	XL	Sidero	Psol	Ksol
db_115	*Bacillus* sp.	2.89	3.55	3.58	-	-	-
db_123	*Bacillus* sp.	3.88	3.27	3.88	-	-	-
db_183	*Aeromonas* sp.	3.38	3.25	4.29	-	-	-
db_203	*Bacillus aryabhattai*	2.60	2.08	2.45	-	-	-
mfb_rsp5	*Streptomyces* sp.	2.82	4.27	3.00	-	-	-
mfb_papM1	*Pantoea* sp.	2.60	2.50	-	1.91	1.33	1.83
mfb_129	*Burkholderia* sp.	2.09	2.00	-	4.00	1.25	1.83

หมายเหตุ Efficiency = เส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส, EnG = endoglucanase, ExG = exoglucanase, XL = xylanase, Sider = siderophore, Psol = Phosphate solubilization activity และ Ksol = potassium solubilization activity

ตารางที่ 11 ผลผลิตเซลล์จากการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปรับสูตรเป็นสูตรต่างๆ

กรรมวิธี	ผลผลิตเซลล์ (g dry cells/ml)						
	db_115	db_123	db_183	db_203	mfb_RSP5	mfb_papM	mfb_129
Broth	0.68c	0.33b	0.30c	0.16c	1.15c	0.20b	0.43c
Broth+0.5% Nitrogen+0.5%Sucrose	1.03a	0.53a	0.38a	1.11a	1.98a	0.33a	0.97a
Agar	0.62d	0.14c	0.34b	0.16c	1.15c	0.19b	0.24d
Agar+0.5% Nitrogen+0.5%Sucrose	0.72b	0.53a	0.27d	0.68b	1.39b	0.18c	0.66b
CV(%)	24.15	48.59	54.59	15.09	87.11	27.42	30.45

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 12 ผลผลิตข้าวพันธุ์ กข31 ที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ตามกรรมวิธีที่กำหนด ในการย่อยสลายตอซังฟางข้าว อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี ปลูกเมื่อกุมภาพันธ์ 2561

กรรมวิธี	เมล็ดเต็ม (%)	เมล็ดลีบ (%)	น้ำหนัก 100 เมล็ด (ก.)	ผลผลิต (กก./ไร่)
1	94.28	5.72	2.48	646^{c}
2	94.33	5.68	2.50	693^{a}
3	95.38	4.62	2.54	675^{ab}
4	94.66	5.34	2.55	701^{a}
5	94.22	5.79	2.52	663^{bc}
6	94.15	5.85	2.50	655^{bc}
CV (%)	1.00	17.14	1.82	3.85

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 13 ผลการอบหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบผง และปริมาณจุลินทรีย์หลังการเก็บรักษา 8 เดือน

อุณหภูมิ	เริ่มต้น		หลังอบ		ปริมาณจุลินทรีย์ (log_{10}CFU/g) หลังการเก็บรักษา 8 เดือน	
	ความชื้น (%)	ปริมาณจุลินทรีย์ (log_{10}CFU/g)	ความชื้น (%)	ปริมาณจุลินทรีย์ (log_{10}CFU/g)	แช่เย็น (5 °C)	ไม่แช่เย็น
30	26.21	9.40	24.22	7.01	5.14	3.25
40	26.54	9.08	22.16	6.98	6.9	6.63
50	27.13	7.95	18.21	5.79	5.62	5.15
60	26.68	7.90	16.42	5.36	5.04	4.01

ตารางที่ 14 ปริมาณธาตุอาหารและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของใบอ้อยแห้ง

วัตถุดิบ	organic carbon (%)	nitrogen (%)	phosphorus (%)	C/N
ใบอ้อยแห้ง	39.5	0.37	0.02	106.76
กากตะกอนหม้อกรอง	25.1	0.62	0.83	40.48

ตารางที่ 15 ประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วเหลืองในกระถางทดลอง

กรรมวิธี	จำนวนปม	นน.ปมสด (กรัม)	นน.ปมแห้ง (กรัม)	นน.ต้นแห้ง (กรัม)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ชม./กระถาง)
กรรมวิธีที่ 1 (control)	0	0	0	1.87 c	0.8456 c
กรรมวิธีที่ 2 (KNO_3 +PK)	0	0	0	4.01 a	0.6024 c
กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง)	55 a	1.00 a	0.23 a	3.20 b	11.0694 b
กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l)	64 a	1.10 a	0.26 a	3.25 b	19.1634 a
กรรมวิธีที่ 5 (PK+Rhi+Soluble starch 1 g/l)	61 a	1.00 a	0.23 a	3.03 b	10.5673 b
กรรมวิธีที่ 6 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l+ Soluble starch 1 g/l)	58 a	1.00 a	0.24 a	3.10 b	15.7247 ab
CV	26.55	27.66	25.01	18.99	56.84

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วเขียวในกระถางทดลอง

กรรมวิธี	จำนวนปม	นน.ปมสด (กรัม)	นน.ปมแห้ง (กรัม)	นน.ต้นแห้ง (กรัม)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ชม./กระถาง)
กรรมวิธีที่ 1 (contro)l	0	0	0	0.60 d	1.6742 bc
กรรมวิธีที่ 2 (KNO_3+ PK)	0	0	0	4.79 a	1.3412 c
กรรมวิธีที่ 3 (PK +Rhi ผง)	83 a	0.60 b	0.09 b	3.07 b	3.4892 ab
กรรมวิธีที่ 4 (PK +Rhi+MgO 1 g/l)	109 a	0.91 a	0.15 a	3.53 b	5.1983 a
กรรมวิธีที่ 5(PK +Rhi+CMC 1.5 g/l +Soluble starch 1 g/l)	82 a	0.51 b	0.09 b	2.22 c	3.6311 ab
กรรมวิธีที่ 6 (PK Rhi+Soluble starch 1 g/l +MgO 1 g/l)	102 a	0.59 b	0.11 ab	2.80 bc	3.0593 bc
CV	43.43	43.83	53.68	27.77	54.6

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

ตารางที่ 17 ประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วลิสงในกระถางทดลอง

กรรมวิธี	จำนวนปม	นน.ปมสด (กรัม)	นน.ปมแห้ง (กรัม)	นน.ต้นแห้ง (กรัม)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ชม./กระถาง)
กรรมวิธีที่ 1 (control)	0	0	0	3.02 bc	0.52 c
กรรมวิธีที่ 2 (KNO_3 +PK)	0	0	0	5.09 a	0.59 c
กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง)	27 a	0.58 a	0.19 a	3.29 b	16.74 a
กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l)	30 a	0.52 ab	0.1 b	3.04 bc	13.50 ab
กรรมวิธีที่ 5 (PKRhi+Soluble starch 1 g/l)	29 a	0.50 ab	0.09 b	2.93 bc	11.81 ab
กรรมวิธีที่ 6 (PK+Rhi+MgO 1 g/l)	22 a	0.34 b	0.06 b	2.20 c	8.90 b
CV	69.34	54.95	53.53	29.23	65.26

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินก่อนการปลูกแปลงทดลองของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์ลพบุรี

กรมวิชาการเกษตร

ความลึก (ซม.)	Organic Matter (%)	Available P (Bray II) (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
0-20	1.284	31.38	69.47
20-50	1.251	31.11	69.72

ตารางที่ 19 ประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วเหลืองในแปลงทดลองศูนย์วิจัยฯ ลพบุรี

กรรมวิธี	จำนวนปม	นน.ปมสด (กรัม)	นน.ปมแห้ง (กรัม)	นน.ต้นแห้ง (กรัม)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ต้น/ชม.)
กรรมวิธีที่ 1 (control)	17.75b	0.25c	0.07b	57.48	7.56c
กรรมวิธีที่ 2 (NPK)	15.62b	0.28c	0.08b	65.84	5.6c
กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง)	48.00a	0.48bc	0.12ab	57.38	22.30ab
กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+YM medium)	50.75a	0.76ab	0.19a	61.15	24.21a
กรรมวิธีที่ 5 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l)	42.75a	0.35c	0.08b	68.51	13.02bc
กรรมวิธีที่ 6 (PK+Rhi+Sol. starch 1 g/l)	56.37a	0.83a	0.19a	69.78	19.21ab
กรรมวิธีที่ 7 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l+Sol. starch 1 g/l)	49.35a	0.54abc	0.13ab	60.43	20.18ab
CV.	57.55	66.68	66.47	25.59	59.4

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

ตารางที่ 20 ผลผลิตถั่วเหลืองในแปลงทดลองศูนย์วิจัยฯ ลพบุรี

กรรมวิธี	น้ำหนักเมล็ดแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักต้นสด (กิโลกรัม/ไร่)	น้ำหนักเมล็ดแห้ง (กิโลกรัม/ไร่)
กรรมวิธีที่ 1 (control)	7.22 ab	2508.5	231.07 ab
กรรมวิธีที่ 2 (NPK)	11.87 a	2367.3	379.62 a
กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง)	6.92 ab	1704.6	221.32 ab
กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+YM medium)	8.09 ab	2089.8	258.97 ab
กรรมวิธีที่ 5 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l)	7.96 ab	2251.0	254.62 ab
กรรมวิธีที่ 6 (PK+Rhi+Sol. starch 1 g/l)	9.19 ab	2197.1	294.19 ab
กรรมวิธีที่ 7 (Pk+Rhi+CMC 1.5 g/l+Sol. starch 1 g/l)	6.58 b	1722.2	210.61 b
CV	34.38	27.73	34.39

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

ตารางที่ 21 ประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วเขียวในแปลงทดลองศูนย์วิจัยฯ ลพบุรี

กรรมวิธี	จำนวนปม	นน.ปมสด (กรัม)	นน.ปมแห้ง (กรัม)	นน.ต้นแห้ง (กรัม)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ต้น/ชม.)
กรรมวิธีที่ 1 (control)	15.13 d	0.32 bc	0.11 bc	31.37	1.69 de

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธีที่ 2 (NPK ตามค่าวิเคราะห์ดิน)	6.00 e	0.14 d	0.06 bc.	31.85	1.27 e
กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง)	18.25 d	0.35 b	0.11 bc	30.72	4.12 cd
กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+YM medium)	35.25 ab	0.40 ab	0.14 ab	29.42	5.14 bc
กรรมวิธีที่ 5 (PK+Rhi+MgO 1 g/l)	39.75 a	0.48 a	0.17 a	29.80	8.22 a
กรรมวิธีที่ 6 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l +Sol. starch 1 g/l)	27.25 bc	0.33 bc	0.11 bc	25.33	6.37 abc
กรรมวิธีที่ 7 (PK+Rhi+Sol. strach 1 g/l +MgO 1 g/l)	20.87 cd	0.23 cd	0.07 cd	26.63	7.30 ab
CV.	34.60	31.54	32.54	29.37	50.22

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

ตารางที่ 22 ผลผลิตถั่วเขียวในแปลงทดลองศูนย์วิจัยฯ ลพบุรี

กรรมวิธี	น้ำหนักฝัก (กิโลกรัม/ไร่)	น้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัม/ไร่)	น้ำหนัก 1000 เมล็ด (กรัม)
กรรมวิธีที่ 1 (control)	298.6	191.1	69
กรรมวิธีที่ 2 (NPK)	295.7	184.1	71
กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง)	303.4	191.2	71
กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+YM medium)	335.5	211.2	72
กรรมวิธีที่ 5 (PK+Rhi+MgO 1 g/l)	283.4	184.4	71
กรรมวิธีที่ 6 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l+Sol. starch 1 g/l)	281.6	174.4	67
กรรมวิธีที่ 7 (PK+Rhi+Sol. strach 1 g/l+MgO 1 g/l)	268.5	151.3	69
CV.	19.58	23.2	7.97

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

ตารางที่ 23 ประสิทธิภาพเชื้อไรโซเบียมแบบเหลวสำหรับถั่วลิสงในแปลงทดลองศูนย์วิจัยฯ ลพบุรี

กรรมวิธี	จำนวนปม	นน.ปมสด (กรัม)	นน.ปมแห้ง (กรัม)	นน.ต้นแห้ง (กรัม)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ต้น/ชม.)
กรรมวิธีที่ 1 (control)	204.63 bc	0.38	0.15	1.49	2.44 c
กรรมวิธีที่ 2 (NPK)	169.38 cd	0.31	0.13	1.56	4.26 bc
กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง)	183.5 bcd	0.24	0.10	1.71	7.74 ab
กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+YM medium)	222.25 ab	0.40	0.15	1.53	7.03 bc
กรรมวิธีที่ 5 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l)	271.5 a	0.33	0.08	1.99	12.1 a
กรรมวิธีที่6 (PK+Rhi+Sol. starch 1 g/l)	167.75 cd	0.28	0.08	1.68	6.59 bc
กรรมวิธีที่ 7 (PK+Rhi+MgO 1 g/l)	147.13 d	0.28	0.09	1.67	7.67 ab
CV.	25.62	58.15	76.70	20.71	73.39

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 24 ผลผลิตถั่วลิสงในแปลงทดลองศูนย์วิจัยแฯ ลพบุรี

กรรมวิธี	น้ำหนักฝักสด (กก./ไร่)	น้ำหนักฝักแห้ง (กก./ไร่)	น้ำหนักเมล็ด (กก./ไร่)
กรรมวิธีที่ 1 (control)	544.5 b	253.3	161.1
กรรมวิธีที่ 2 (NPK)	728.9 a	311.1	192.6
กรรมวิธีที่ 3 (PK+Rhi ผง)	633.3 ab	255.5	166.3
กรรมวิธีที่ 4 (PK+Rhi+YM medium)	573.33 ab	260.0	169.9
กรรมวิธีที่ 5 (PK+Rhi+CMC 1.5 g/l)	648.9 ab	300.0	190.2
กรรมวิธีที่ 6 (PK+Rhi+Sol. starch 1 g/l)	686.7 ab	302.2	202.0
กรรมวิธีที่ 7 (PK+Rhi+MgO 1 g/l)	682.2 ab	297.8	202.3
CV.	14.52	16.55	16.44

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α= 0.05, DMRT)

ตารางที่ 25 ปริมาณแบคทีเรียสกุล *Azospirillum* TS8 ในอาหารเหลวสูตรต่างๆ ที่อายุ 48 ชั่วโมง

สูตรอาหาร	**ปริมาณแบคทีเรีย (Log_{10} CFU/ml)**
1. NFb	6.36
2. NFb + Trehalose 0.05%	7.43
3. NFb + Molasses 2% + Phosphate buffer + แป้งมัน 0.5%	6.32
ปริมาณเชื้อตั้งต้น	**7.34**

ตารางที่ 26 ปริมาณแบคทีเรียสกุล *Azospirillum* TS13 และ TS29 ในอาหารเหลวสูตรต่างๆ ที่อายุ 48 ชั่วโมง

สูตรอาหาร	**ปริมาณแบคทีเรีย (Log_{10} CFU/ml)**	
	TS13	**TS29**
1. NFb	8.90	9.29
2. NFb + Trehalose 0.01%	7.80	9.33
3. NFb + Trehalose 0.05%	7.93	8.94
ปริมาณเชื้อตั้งต้น	**6.83**	**9.36**

ตารางที่ 27 ปริมาณแบคทีเรียสกุล *Gluconacetobacter* ในอาหารเหลวสูตรต่างๆ ที่อายุ 72 ชั่วโมง

กรมวิชาการเกษตร

สูตรอาหาร	ปริมาณแบคทีเรีย (Log_{10} CFU/ml)
1. LGI	6.32
2. LGI + Trehalose 0.01%	6.16
3. LGI + Molasses 2% + Phosphate buffer + PEG 0.5% + แป้งมัน 0.5%	6.22
ปริมาณเชื้อตั้งต้น	**7.24**

ตารางที่ 28 ค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดสอบหลังการเก็บรักษา 30 วัน

สูตรอาหาร	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิ 25°C
***Azospirillum* TS8**		
1. NFb	9.60	9.69
2. NFb + Trehalose 0.05%	9.49	9.20
3. NFb + Molasses 2% + Phosphate buffer + แป้งมัน 0.5%	9.03	8.69
***Azospirillum* TS13**		
1. NFb	9.52	9.63
2. NFb + Trehalose 0.01%	9.70	9.83
3. NFb + Trehalose 0.05%	9.58	9.25
***Azospirillum* TS29**		
1. NFb	9.51	9.63
2. NFb + Trehalose 0.01%	9.56	9.80
3. NFb + Trehalose 0.05%	9.55	9.26
Gluconacetobacter		
1. LGI	4.80	5.11
2. LGI + Trehalose 0.01%	4.34	4.93

กรมวิชาการเกษตร

3. LGI+Molasses 2%+Phosphate buffer+PEG 0.5%+แป้งมัน 0.5%	4.98	5.00

ตารางที่ 29 ผลของพืชอาศัยต่อการผลิตสปอร์รา *Glomus intraradices* ภายใต้สภาพเรือนทดลอง

พืชอาศัย	ชุดที่ 1 เม.ย. - ก.ค. 2560 สปอร์ต่อกรัม	ชุดที่ 2 มิ.ย. - ก.ย. 2560 สปอร์ต่อกรัม
ข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์3	59 ab	18 b
ข้าวโพดพันธุ์ตากฟ้า3	30 cd	21 b
หญ้ารูซี่	66 a	49 a
หญ้ากินีสีม่วง	49 ab	37 ab
หญ้าอะตราตัม	44 bc	44 a
หญ้าพลิแคทูลัม	31 cd	46 a
ถั่วคาวาลเคด	18 d	26 ab
ถั่วท่าพระสไตโล	25 d	34 ab
C.V. (%)	16.5	29.2

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแต่ละชุด ไม่ต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 30 ผลของวัสดุปลูกต่อการผลิตสปอร์รา *Glomus intraradices* ภายใต้สภาพเรือนทดลอง

กรรมวิธี	จำนวนสปอร์	% colonization
ดิน:ทราย	31.0a	83.8a
แกลบดำ	1.1c	92.1a
ดิน:แกลบดำ	13.7b	67.1b
ทราย:แกลบดำ	2.2c	95.0a
ดิน:ทราย:แกลบดำ	11.6b	84.2a
CV	56.4	17.51

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแต่ละชุด ไม่ต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 31 ผลของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการผลิตสปอร์และการเข้าอาศัยในรากของรา *Glomus intraradices* ภายใต้สภาพเรือนทดลอง

ไนโตรเจน	จำนวนสปอร์ต่อกรัม ฟอสฟอรัส (มก./ลิตร)					
(มก./ลิตร)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	N-เฉลี่ย ns

กรมวิชาการเกษตร

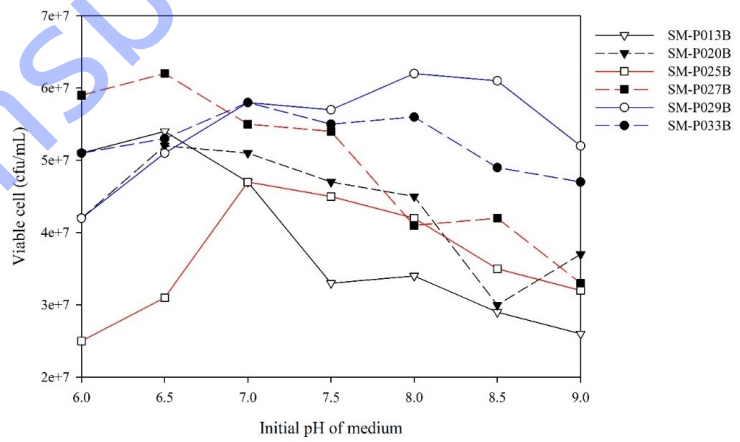
60	42.7b	42.4ab	37.5ab	42.3ab	48.5a	42.7
80	46.9ab	42.2ab	44.4ab	47.0ab	40.4ab	44.2
100	47.0ab	44.4ab	41.4ab	45.0ab	43.1ab	44.2
120	40.6ab	41.2ab	44.0	39.2ab	43.5ab	41.7
140	43.9ab	39.1ab	46.3	37.6b	40.1ab	41.4
P-เฉลี่ย ns	44.2	41.8	42.7	42.2	43.1	
CV =	16.09					

ไนโตรเจน (มก./ลิตร)	% การเข้าอาศัยในราก ฟอสฟอรัส (มก./ลิตร) 0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	N-เฉลี่ย ns
60	96.7abc	99.2ab	90.8cd	98.8ab	98.8ab	96.8
80	89.2d	94.2a-d	95.8a-d	95.8a-d	97.5abc	94.5
100	96.7abc	99.6a	93.3a-d	99.2ab	97.9abc	97.3
120	96.3a-d	98.3ab	92.5a-d	96.3a-d	93.3a-d	95.3
140	94.2a-d	92.1a-d	97.5abc	98.3ab	97.9abc	96.0
P-เฉลี่ย	94.6ab	96.7ab	94.0b	97.7a	97.1ab	
CV =	5.57					

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแต่ละชุด ไม่ต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

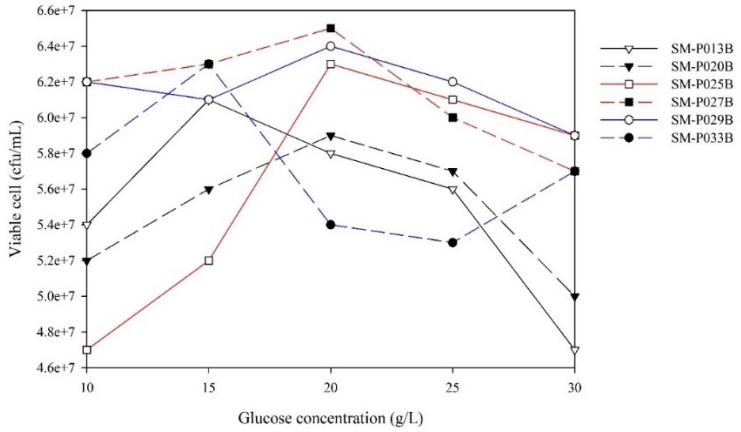
ตารางที่ 32 การผลิตสปอร์รา *Glomus intraradices* ภายใต้สภาพเรือนทดลองเปรียบเทียบการผลิตแบบเดิม และแบบใหม่

กรรมวิธี	จำนวนสปอร์	%colonization
เดิม	29.5	100.0
ใหม่	43.0	91.1
$LSD_{.05}$	-13.45	8.89

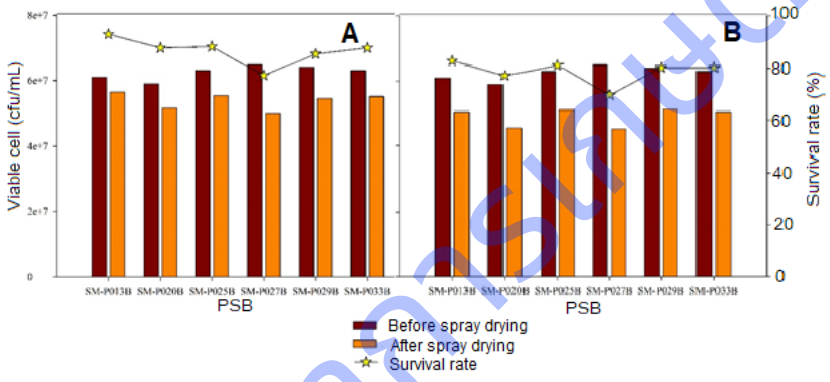


ภาพที่ 1 ผลของความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต

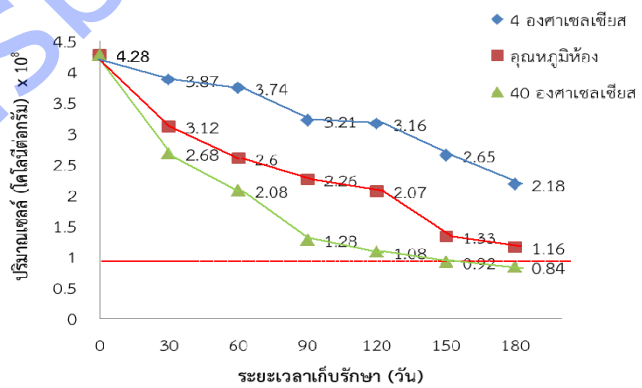
กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 2 ผลของความเข้มข้นของกลูโคสต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต

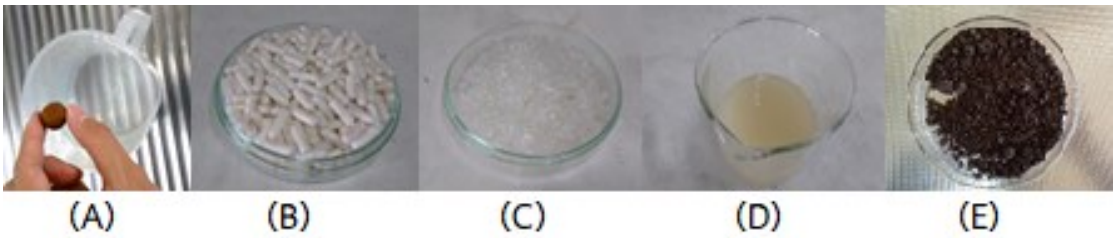


ภาพที่ 3 อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่ผ่านการทำผงแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 110 °C (A) และ 120°C (B)

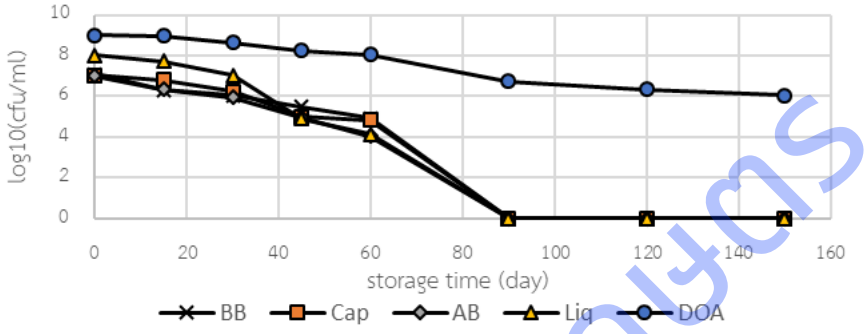


ภาพที่ 4 ปริมาณการรอดชีวิตของแบคทีเรีย *P. fluorescens* SM-P025B ที่บรรจุอยู่ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ทึบแสงที่เก็บรักษาที่อุณภูมิต่างๆ เป็นเวลา 6 เดือน

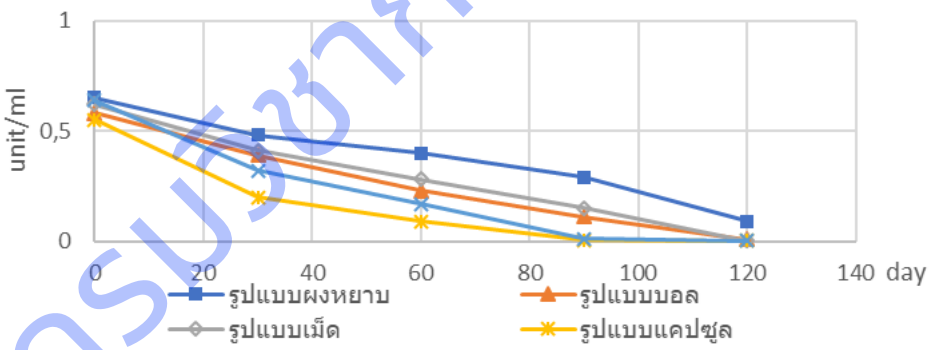
กรมวิชาการเกษตร



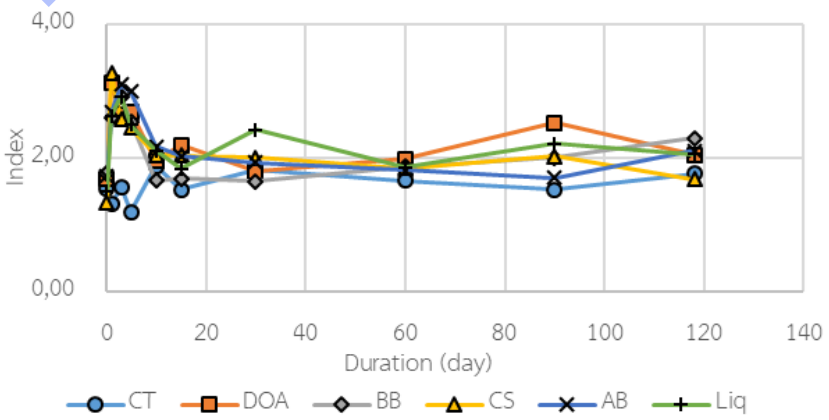
ภาพที่ 5 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ (A) รูปแบบบอล (B) รูปแบบแคปซูล (C) รูปแบบเม็ดลูกปัด (D) รูปแบบเหลว และ (E) รูปแบบผงหยาบ



ภาพที่ 6 จำนวนจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ (log_{10}(cfu/ml)) ในหัวเชื้อหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดย DOA = crude powder type, BB = ball type, CS = capsule type, AB = bead type and Liq = liquid type

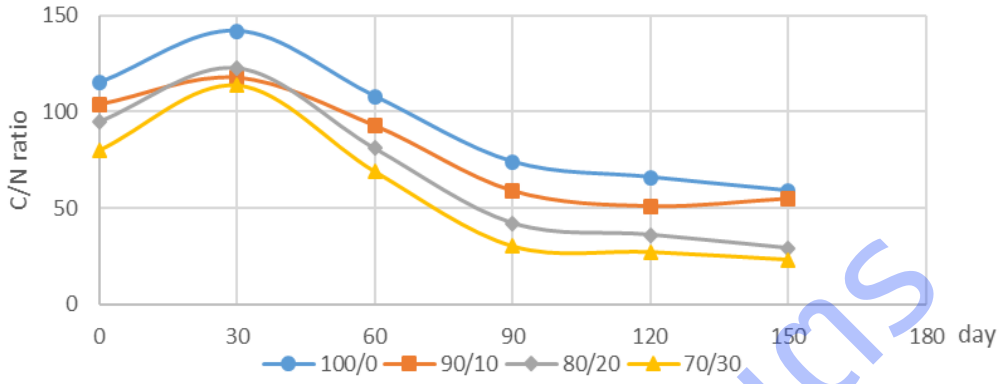


ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาต่างๆ

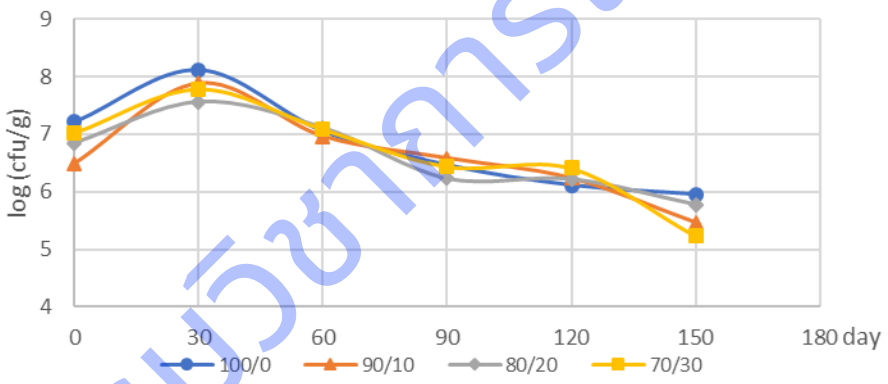


กรมวิชาการเกษตร

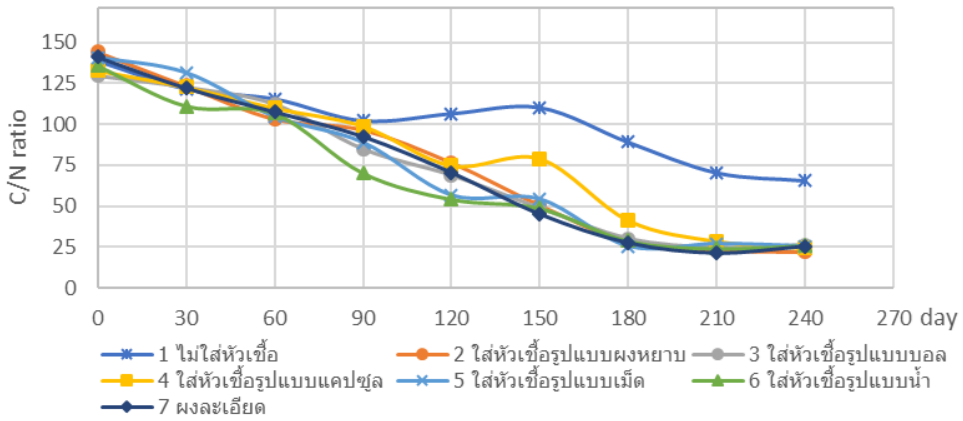
ภาพที่ 8 ค่า Soil carboxy methyl cellulose index หลังจากใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ DOA = crude powder type, BB = ball type, CS = capsule type, AB = bead type Liq = liquid type and CT = no application of microbial inoculant



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระหว่างการทำปุ๋ยหมักด้วยการผสมใบอ้อยกับกากตะกอนหม้อกรองในอัตราส่วนต่างๆ ในตะกร้า

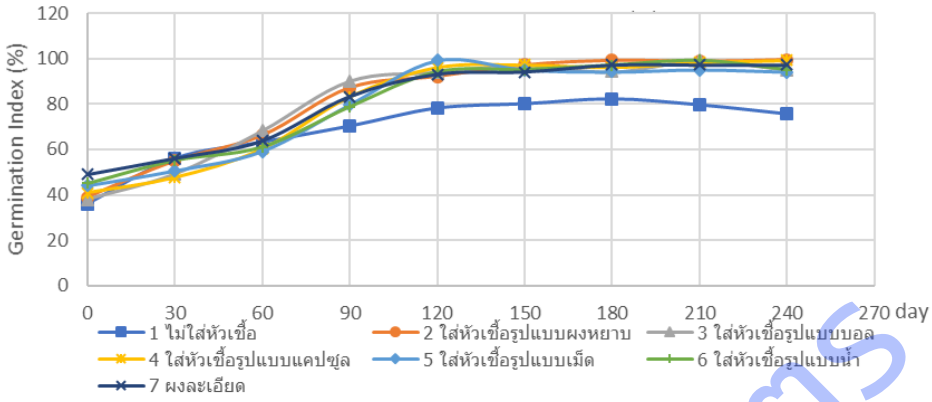


ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในระหว่างการทำปุ๋ยหมักด้วยการผสมใบอ้อยกับกากตะกอนหม้อกรองในอัตราส่วนต่างๆ

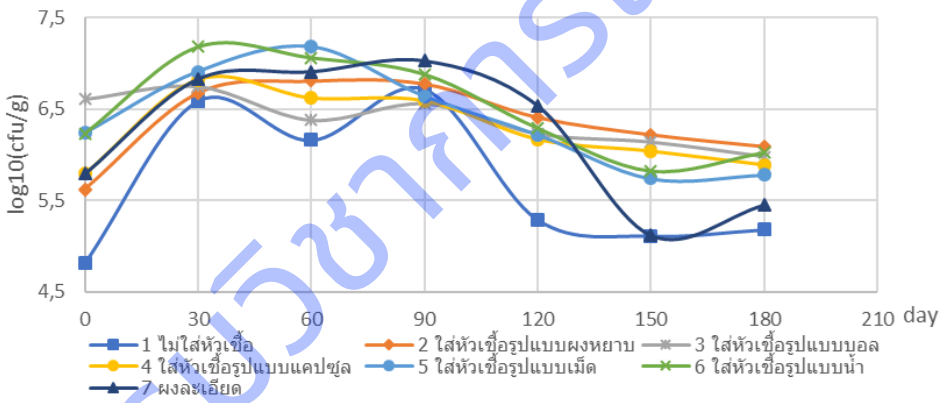


กรมวิชาการเกษตร

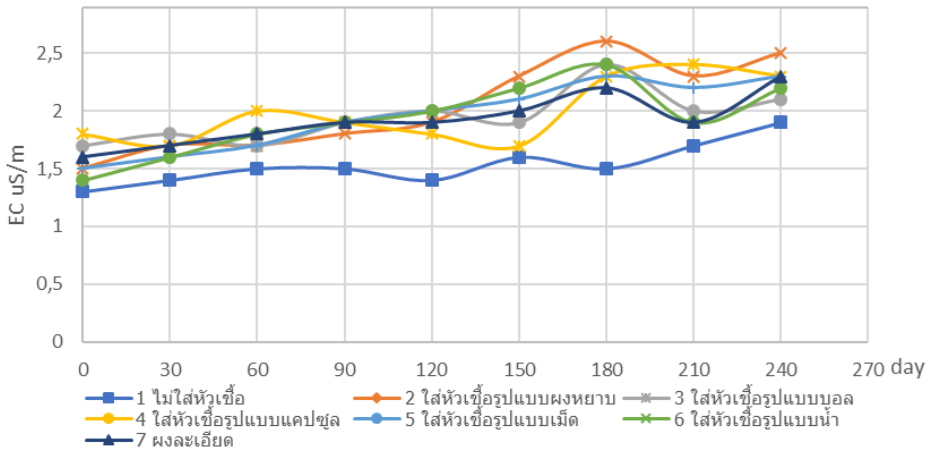
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองปุ๋ยหมักจากการใช้ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่า Germination Index (%) ในกองปุ๋ยหมักจากการใช้ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ

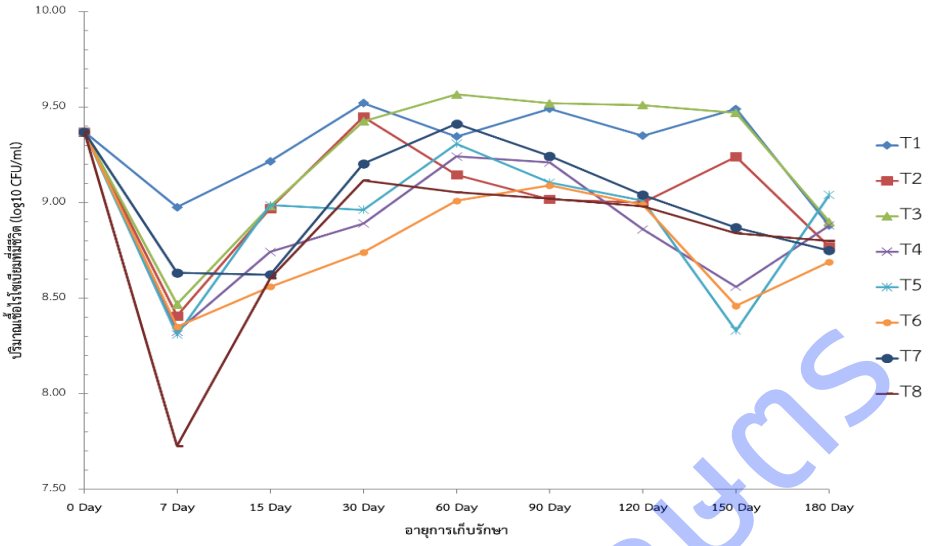


ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจากการใช้ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ

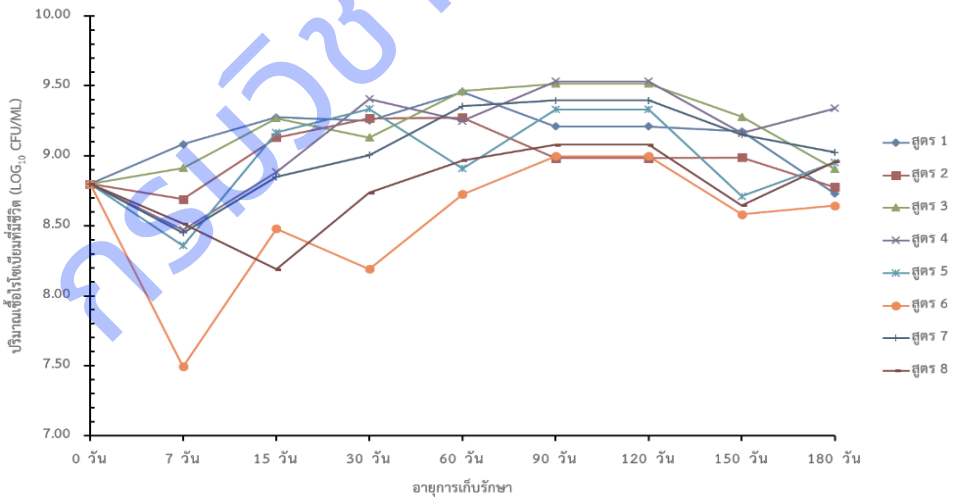


กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในกองปุ๋ยหมักจากการใช้ผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบต่างๆ

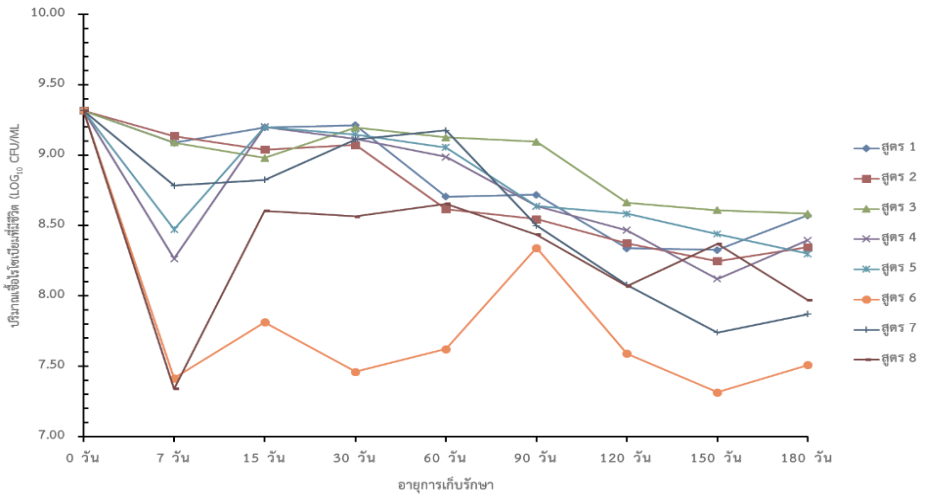


ภาพที่ 15 ปริมาณของเชื้อไรโซเบียมถั่วเหลืองในวัสดุพาแบบเหลวเมื่ออายุการเก็บรักษา 180 วัน โดยมีปริมาณเชื้อไรโซเบียมถั่วเหลืองเริ่มต้น = 9.37 $\log_{10}$ cfu/ml



ภาพที่ 16 ปริมาณของเชื้อไรโซเบียมถั่วเขียวในวัสดุพาแบบเหลวเมื่ออายุการเก็บรักษา 180 วัน โดยมีปริมาณเชื้อไรโซเบียมถั่วเขียวเริ่มต้น = 8.79 $\log_{10}$ cfu/ml

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 17 ปริมาณของเชื้อไรโซเบียมถั่วลิสงในวัสดุพาแบบเหลวเมื่ออายุการเก็บรักษา 180 วัน โดยมีปริมาณเชื้อไรโซเบียมถั่วลิสงเริ่มต้น = 9.31 $\log_{10}$ cfu/ml

ภาพที่ 18 การผลิตสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยวิธี pot culture ที่ปลูกด้วยหญ้ารูซี่ (ซ้าย) และข้าวโพด (ขวา)

กรมวิชาการเกษตร

กิจกรรมที่ 2

การพัฒนาศักยภาพของปุ๋ยชีวภาพและหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

Potential Development of Biofertilizers and Microorganisms to Increase Soil Fertility

ชื่อผู้วิจัย

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต อธิปัตย์ คลังบุญครอง บุณฑริก ฉิมชาติ สุปรานี มั่นหมาย สนธยา ขำติ๊บ ประไพ ทองระอา นิศารัตน์ ทวีนุต พัชรินทร์ นามวงษ์ ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย

คำสำคัญ

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ แหนแดง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สารสกัดสาหร่าย อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การอนุรักษ์ดิน หญ้าแฝก

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาศักยภาพของปุ๋ยชีวภาพและหัวเชื้อจุลินทรีย์ดินในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช เป็นแนวทางในการเพิ่มหรือรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้เหมาะสมต่อการผลิตพืช ซึ่งประกอบด้วย 6 การทดลอง คือ 1) การศึกษาประสิทธิภาพจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในแปลงปลูกพืชในระบบชลประทาน 2) การใช้แหนแดงเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในการผลิตพืช 3) การเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้ธาตุฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน 4) การใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแหนแดงเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตพืช 5)การศึกษาจุลินทรีย์กลุ่มละลายฟอสเฟตในดินที่มีปัญหาในการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต และ 6) การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้จุลินทรีย์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ผลการดำเนินงาน 1) การจัดการใบอ้อยในแปลงปลูกโดยการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จากเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ร่วมกับการไถสับกลบใบอ้อยเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการจัดการใบอ้อยในแปลงปลูก โดยการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ฯ ที่อัตรา 3.2 และ 6.4 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการไถสับกลบใบอ้อยให้ผลผลิตอ้อยตอ 1 สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม(ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ฯ) 2) ผลการบ่มแหนแดงสดและแห้งในดินร่วนและดินเหนียว แหนแดงทั้งสองชนิดสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมให้เป็นประโยชน์แก่พืชได้นานกว่า 150 วัน รวมถึงการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุในดิน การใส่แหนแดงแห้งอัตรา 30-60 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ครั้งที่ 3 มีปริมาณอินทรียวัตถุคงเหลือเท่ากับ 2.3 เปอร์เซ็นต์ การใช้แหนแดงแห้งอัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับปุ๋ยเคมี (NPK) 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้ผักคะน้ามีการเจริญเติบโต การสะสมไนโตรเจนในใบ และปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวทุกอัตรา 3) การใช้ปุ๋ยหมักมูลหมูเพื่อเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสและธาตุอาหารอื่นๆ ในสภาพดินนาน้ำขัง ในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 ได้สูงสุดเท่ากับ 9.8×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร แต่ไม่สามารถเพิ่มปริมาณในสภาพเรือนทดลองได้ เนื่องจากมีการเข้าทำลายของศัตรูธรรมชาติหนอนแดงส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาไม่แตกต่างกัน 4) การใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (สารสกัด BGA) ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืชผัก พบว่า เมื่อใช้สารสกัด BGA ที่ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ (20-20-20) อัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เป็นอัตราที่เหมาะสมที่สำหรับผักกวางตุ้ง ในการปลูกผักคะน้า พบว่า การใช้สารสกัด BGA ร่วมกับการใช้ปุ๋ย NPK ทางดินที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าได้สูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผักสลัดคอส 5) จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *T. macrospores* สามารถใช้ร่วมกับ *Burkholderia* sp.และ *Serratia marcescens* ทำให้ละลายฟอสเฟตในรูปแคลเซียมฟอสเฟต เฟอริคฟอสเฟต และอลูมินัมฟอสเฟตได้ ช่วยลดการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตลงได้ 25 เปอร์เซ็นต์ในการผลิตคะน้า ผักกาดและข้าวโพดข้าวเหนียว 6) ในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้จุลินทรีย์ดิน

กรมวิชาการเกษตร

ร่วมกับการอนุรักษ์ดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาสามารถช่วยลดการพังทลายของหน้าดินได้ประมาณ 42-67 เปอร์เซ็นต์ ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารในดิน และเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้

Abstract

Research and development of the potential of biofertilizers and soil microorganisms to improve soil fertility and fertilizer application efficiency for crop yield to be a guideline for increasing or maintaining appropriate soil fertility for crop production. These consisted of 6 experiments as follows: 1) Study of organic degradation microorganism on decomposition of sugarcane leaf residues in irrigation area. 2) Use of Azolla to elevate soil fertility in plant production. 3) The expansion of nitrogen-fixing blue-green algae by using phosphorus nutrient for soil fertility improvement. 4) The use of extracts from blue-green algae and azolla to promote plant production efficiency. 5) Study of phosphate solubilizing microorganism in low available phosphorus soil and 6) Increasing soil fertility by using soil microorganisms with soil conservation for maize production. The results showed that 1) The management of sugarcane leaves in the experimental field by using microbial organic materials degradation inoculant from *Trichoderma harzianum* combined with plowing and covering the soil with sugarcane leaves was the most suitable method. Using microorganisms at the rate of 3.2 and 6.4 kg/rai, combined with the plowing, chopping, and covering the soil of sugarcane leaves, the yield of ratoons cane was higher than the non-microbial inoculation method (control). 2) Incubation of fresh and dry Azolla in loam and clay, the Azolla both types were able to release nutrients, nitrogen, phosphorus, and potassium for more than 150 days and can elevate soil organic matter. Dried Azolla at the rate of 30-60 grams per 1 kg soil was applied each time and planted kale three times in pot experiment. Eventually, 2.3 percent of organic matter remained. Using dried Azolla at the rate of 0.5 kg/m2 in combination with chemical fertilizers (NPK) 50, 75, and 100% of the recommended rates according to soil analysis, the kale had higher leaf nitrogen content, growth, and yield than that of using only chemical fertilizers at all rates of applied. 3) Using pig manure compost as a source of phosphorus and other nutrients for culture blue-green algae in waterlogging conditions at the laboratory level, the highest content of the blue-green algae, Hapalosiphon sp., was 9.8×10^6 colonies/ml. While it could not increase the quantity of the blue-green algae at the greenhouse conditions because of the destruction of natural enemies, the Red worm, resulted in the same amount of organic matter in those

กรมวิชาการเกษตร

uninoculated soil. 4) The use of blue-green algae extracts (BGA extract) to promote the growth of vegetables was conducted. The result revealed that using 20 percent of BGA extract with foliar fertilizer (20-20-20) at the rate of 25 grams per 20 liters was the proper rate for pak choi. In the case of kale at the field, the application of BGA extract combined with 75% of the recommended rate of chemical fertilizer showed higher growth and yield than the recommended rate of chemical fertilizers, similarly to cos lettuce. 5) Phosphate solubilizing microorganism, *T. macrospores*, was co-inoculated with *Burkholderia* sp. and *Serratia marcescens*. The co-inoculated could solubilize phosphate in the forms of calcium phosphate, ferric phosphate, and aluminum phosphate. Using this co-inoculant can reduced phosphate fertilizers by 25 percent in kale, Chinese cabbage, and waxy corn production. 6) Using soil microorganisms collaborated soil conservation to maintain soil fertility for maize production, inoculated vetiver with mycorrhiza and mungbean with rhizobium was treated together with applied chemical fertilizer based on soil analysis. Those performed by approximately 42-67 percent prevented soil erosion moreover reduced plant nutrients loss in the soil.

บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ทำให้จุลินทรีย์ดำเนินกิจกรรมย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินอย่างรวดเร็ว ดินที่ใช้ทำการเกษตรของประเทศส่วนใหญ่จึงมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในบางพื้นที่มีการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการเติมอินทรียวัตถุลงในดินสามารถเร่งให้อินทรียวัตถุสลายตัวได้เร็วเช่นเดียวกัน นอกจากนี้สภาพของดินที่เกิดมาจากหินทรายเช่น ดินทราย และดินทรายปนดินร่วนมีปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารต่ำเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีลงดินจึงมีโอกาสสูญเสียจากดินได้อย่างรวดเร็วทำให้ผลผลิตพืชลดลง ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรเป็นอย่างมากการ ซึ่งรวมไปถึงปริมาณธาตุอาหารพืชอันเป็นประโยชน์แก่การเจริญเติบโตของพืช เกษตรกรโดยทั่วไปมักจะละเลยในการที่จะบำรุงรักษาให้ดินที่ทำการเกษตรนั้นคงอยู่ในรูปที่พร้อมจะสนันสนุนธาตุอาหารและสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเหตุให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกนั้นลดลง เนื่องจากธาตุอาหารในดินถูกใช้หมดโดยไม่ได้มีการทดแทน แนวทางที่จะปรับปรุงบำรุงดินเพื่อให้เกิดความอุดมสมบูรณ์และมีธาตุอาหารพืชที่เพียงพอนั้น ต้องใช้วัสดุอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากเศษเหลือหรือชิ้นส่วนของพืช ปุ๋ยพืชสดไถกลบคลุมดิน ปุ๋ยคอก มูลสัตว์ เป็นต้น การทำเช่นนี้จะทำให้โครงสร้างทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินดีขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ต่างๆ ในดิน ทำให้จุลินทรีย์ในดินสามารถดำรงชีพและเกิดกิจกรรมต่างๆ ในดิน เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การที่จะเพิ่มความอุดมสมบูรณ์นั้นอาจจัดการได้หลายรูปแบบ เช่นการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ลงในแปลงปลูกข้าวหรืออ้อยเพื่อลดการเผา การใช้ปุ๋ยชีวภาพแหน

กรมวิชาการเกษตร

แดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในการเพิ่มธาตุไนโตรเจนและช่วยกระตุ้นให้รากพืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้เพิ่มขึ้น การใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต เพื่อช่วยละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ หรือการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกและใช้ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองเพื่อลดการพังทลายของหน้าดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการเพิ่มหรือรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้เหมาะสมต่อการผลิตพืช

ระเบียบวิธีการวิจัย

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในแปลงปลูกพืชในระบบชลประทาน

1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

(1.1) ศึกษาแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ โดยใช้กลูโคส ซูโครส และเซลลูโลส เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารเลี้ยงเชื้อ GY medium ซึ่งประกอบด้วยแหล่งคาร์บอนความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เติม yeast extract 1 เปอร์เซ็นต์ ปรับ pH เท่ากับ 6.5 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ปรับความเข้มข้นเชื้อเริ่มต้นในช่วง 10^6–10^7 cfu/ml บ่มเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตรวจสอบการเจริญของเชื้อด้วยการวัดค่าความขุ่นที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เก็บผลการเจริญของจุลินทรีย์ที่เวลา 0 1 2 3 4 และ 5 วัน

(1.2) ศึกษาผลของ pH ต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ โดยใช้กลูโคสความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารเลี้ยงเชื้อ GY medium เติม yeast extract ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ปรับ pH เริ่มต้นเท่ากับ 3 4 5 6 และ 7 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ปรับความเข้มข้นเชื้อเริ่มต้นในช่วง 10^6–10^7 cfu/ml บ่มเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ตรวจสอบกิจกรรมของเซลลูเลสในการย่อยสลาย carboxymethyl cellulose (CMC) ณ เวลา 5 วัน

(1.3) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ โดยใช้กลูโคสความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารเลี้ยงเชื้อ GY medium เติม yeast extract ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ปรับ pH เริ่มต้นเท่ากับ 4 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ปรับความเข้มข้นเชื้อเริ่มต้นในช่วง 10^6–10^7 cfu/ml บ่มเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ในอุณหภูมิ 30 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส ตรวจสอบกิจกรรมของเซลลูเลสในการย่อยสลาย CMC ณ เวลา 5 วัน

2) ศึกษาการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการจัดการใบอ้อยในแปลงเพาะปลูกอ้อย

(2.1) ทดสอบหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายใบอ้อย ณ ตำบลห้วยโจด อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว โดยการสางใบอ้อยลงน้ำหนัก 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ลงในแปลงทดลองปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่ปลูกโดยเกษตรกรอยู่ก่อนแล้ว ขนาด 7x6 ตารางเมตร ระยะระหว่างแถว และต้น เท่ากับ 150 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เก็บตัวอย่างใบอ้อยมาหาค่าน้ำหนักจากพื้นที่ 30x30 เซนติเมตร กำหนดกรรมวิธีการทดลอง แบบ RCB 6 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ไถสับใบอ้อยและไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 2 ไม่ไถสับใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ 3.2 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 3 ไม่ไถสับใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ 6.4 กิโลกรัม

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธีที่ 4 ไถใบสับอ้อยและไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลาย

กรรมวิธีที่ 5 ไถสับใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ 3.2 กิโลกรัม

กรรมวิธีที่ 6 ไถสับใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ 6.4 กิโลกรัม

(2.2) ทดสอบผลของปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ต่อการย่อยสลายใบอ้อย และผลต่ออ้อยตอ 1 ณ ตำบลห้วยโจด อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว สระแก้ว โดยการสางใบอ้อยลงน้ำหนัก 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ลงในแปลงทดลองปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ขนาด 7x6 ตารางเมตร ระยะระหว่างแถวและต้น เท่ากับ 150 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยกำหนดกรรมวิธีการทดลองแบบ RCB 4 กรรมวิธี 6 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไถสับใบอ้อย ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ

กรรมวิธีที่ 2 ไถสับใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ 3.2 กิโลกรัม/ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ไถสับใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ 6.4 กิโลกรัม/ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ไถสับใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายฯ 12.8 กิโลกรัม/ไร่

2.2 การใช้แหนแดงเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในการผลิตพืช

1) ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนและการสะสมปริมาณอินทรียวัตถุของแหนแดง

(1.1) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแหนแดง และสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง

(1.1.1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแหนแดง

สุ่มเก็บตัวอย่างแหนแดงที่เพาะเลี้ยงจากกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร จำนวน 1 กิโลกรัม มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในโหลดูดความชื้น จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี micro Kjeldahl ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรด $HClO_4$ และ HNO_3 สัดส่วน 1:2 โดยปริมาตร และวัดปริมาณโดยวิธี molybdate-vanadate วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด โดยวิธีย่อยการสลายตัวอย่างด้วยกรด $HClO_4$ และ HNO_3 สัดส่วน 1:2 โดยปริมาตร และวัดปริมาณโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน โดยวิธี Walkley and Black (Walkley and Black, 1947)

(1.1.2) การวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลอง มี 2 ชนิด คือ ดินร่วนและดินเหนียว ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินชั้นไถพรวน (10-15 เซนติเมตร) มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีก่อนทำการทดลอง ได้แก่ เนื้อดิน ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย วัตถุ โดยวิธี Walkley and Black ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Brayll (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยวิธีการสกัดดินด้วย NH_4OAc pH7 และวัดด้วยเครื่อง AAS

(1.2.) การปลดปล่อยธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง

(1.2.1) การเตรียมตัวอย่างและวางแผนการทดลอง

กรมวิชาการเกษตร

ชั่งดินที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่อง 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ขวดละ 10 กรัม แบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 ชุดๆ ละ 3 ซ้ำ ชุดที่ 1 ไม่ใส่แหนแดง ชุดที่ 2 ใส่แหนแดงสด 3 กรัมและชุดที่ 3 ใส่แหนแดงแห้ง 0.2 กรัม (โดยแหนแดงสดประมาณ 15 กรัม เท่ากับแหนแดงแห้ง 1 กรัม) เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับความชื้นให้ได้ 60 เปอร์เซ็นต์ ของความจุอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity) ผสมดินคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปิดฝาขวดที่บรรจุดินและปิดทับด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ นำไปบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างในขวดพลาสติกซึ่งเป็นตัวแทนในแต่ละกรรมวิธีไปวิเคราะห์ตามระยะเวลาที่กำหนด จำนวน 16 ครั้ง ที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 1, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 และ 154 วัน รวมหน่วยทดลองทั้งสิ้นจำนวน 144 ขวด (ในแต่ละสัปดาห์นำขวดตัวอย่างที่เหลือมาชั่ง เพื่อตรวจสอบความชื้นที่สูญหายไป เติมน้ำกลั่นเพื่อรักษาความชื้นให้คงระดับเดิม)

(1.2.2) การวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง

นำตัวอย่างดินในแต่ละระยะเวลาของการบ่มจากข้อ (1.2.1) มาวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ โดยนำตัวอย่างดินมาสกัดด้วยสารละลาย 2N KCl นำสารละลายที่สกัดได้ มาวิเคราะห์ปริมาณแอมโม เนียม(NH_4^+) และไนเตรท(NO_3^-) โดยวิธีกลั่นด้วยไอน้ำ (Keeney, 1982) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี BrayII ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยวิธีการสกัดดินด้วย 1N NH_4OAc pH 7 และวัดปริมาณด้วยเครื่อง AAS วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:5) และวัดปริมาณอินทรียวัตถุในดินโดยวิธี Walkley and Black

2) ศึกษาวิธีการใช้แหนแดงเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในกระถางทดลอง

(2.1) การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของแหนแดงที่ใช้ในการทดลอง

เตรียมแหนแดงแห้งสำหรับใช้ในการทดลอง โดยการเพาะเลี้ยงแหนแดงในกระชังขนาด 30 ตารางเมตร หว่านแหนแดงอัตรา 300 กรัมต่อตารางเมตร ลงในกระชังที่เตรียมไว้ เป็นเวลา 15 วัน เก็บรวบรวมแหนแดงได้ประมาณ 300 กิโลกรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจนแห้ง โดยแหนแดงสดน้ำหนัก 15 กิโลกรัม ได้แหนแดงแห้งประมาณ 1 กิโลกรัม จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างแหนแดงที่เพาะเลี้ยงได้ไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(micro Kjeldahl) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(molybdate-vanadate) โพแทสเซียมทั้งหมด แคลเซียมทั้งหมด และแมกนีเซียมทั้งหมด โดยวิธีย่อยการสลายตัวอย่างด้วยกรด $HClO_4$ และ HNO_3 สัดส่วน 1:2 โดยปริมาตร และวัดปริมาณโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Soil and Plant Analysis Council, 1998)

(2.2) การวิเคราะห์สมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่นำมาใช้ในการทดลองคือ ดินร่วนเหนียว โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการทดลองมาวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ใช้ก่อนทำการทดลอง โดยวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH; สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1) ค่าการนำไฟฟ้า (EC; สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:5) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM; Walkley and Black) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ โดยวิธีสกัดดินด้วย 1N NH_4OAc pH 7 (Grant, 1982) และวัดด้วยเครื่อง AAS

(2.3) การเตรียมตัวอย่างและวางแผนการทดลอง

กรมวิชาการเกษตร

วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 9 กรรมวิธี 8 ซ้ำ โดยใช้แหนแดงแห้งอัตราต่างๆ คือ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 และ 60 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เพาะเมล็ดผัก คะน้าในถาดเพาะชำ ขนาด104 หลุม เมื่ออายุกล้าผักได้ 15 วัน ย้ายต้นกล้าผักลงปลูกในถุงพลาสติกสีขาวขุ่นขนาด 10×13 นิ้ว เมื่อผักคะน้า อายุ 30 วัน หลังจากย้ายปลูก บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผัก คะน้า ได้แก่ น้ำหนักสด-แห้ง ของต้น และใบ ราก ทำการทดลองในดินเดิมโดยการปลูกผักคะน้าซ้ำ 3 รอบ และเติมแหนแดงแห้งอัตราต่างๆ ตามกรรมวิธี เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

3) ศึกษาวิธีการใช้แหนแดงเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในแปลงทดลอง

คัดเลือกแปลงทดลองของเกษตรกร จังหวัดชัยภูมิที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกเพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ดินมีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.74 มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ 1.18 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง เท่ากับ 153 และ 232 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 3 ซ้ำ 8 กรรมวิธี 3 ซ้ำ คือ

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม
กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดิน
กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดิน
กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี ตามค่าวิเคราะห์ดิน (100 เปอร์เซ็นต์)
กรรมวิธีที่ 5 ใส่แหนแดงแห้งในอัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
กรรมวิธีที่ 6 ใส่แหนแดงแห้งในอัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดิน
กรรมวิธีที่ 7 ใส่แหนแดงแห้งในอัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดิน
กรรมวิธีที่ 8 ใส่แหนแดงแห้งในอัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตรร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

สุ่มเก็บตัวอย่างดินและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินก่อนปลูกพืชทดสอบในแปลงทดสอบ จากนั้นเพาะเมล็ดคะน้า และย้ายเมล็ดที่งอกแล้วลงถาดหลุมขนาด 104 หลุม เมื่อกล้าโตได้อายุประมาณ 14 วัน (มีใบจริง 2-3 ใบ) จึงนำกล้าไปปลูกลงแปลงทดลองตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยปลูกพืชทดสอบ(ผักคะน้า) ในแปลงทดลองขนาด กว้าง 1.2 เมตร ยาว 6 เมตร ใส่แหนแดงแห้งตามกรรมวิธีที่กำหนดร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้น้ำสม่ำเสมอ ดูแลป้องกันกำจัดโรคและแมลงตามความจำเป็น หลังย้ายปลูกสำรวจการระบาดของโรคและแมลงทุกสัปดาห์ หากพบพ่นด้วยสารชีวภัณฑ์ป้องกันกำจัดตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยพ่นซ้ำติดต่อกัน 2 ครั้ง

2.3 การเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้ธาตุฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

กรมวิชาการเกษตร

1) การทดสอบหาระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพห้องปฏิบัติการ

(1.1) เตรียมหัวเชื้อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

โดยคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีลักษณะสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน จากแหล่งรวบรวมสายพันธุ์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร จำนวน 4 สกุล ได้แก่ *Fischerella* sp. DASH04101, *Hapalosiphon* sp. DASH05101, *Nostoc* sp. DASH06101 และ *Stigonema* sp. DASH09101 จากนั้นนำเชื้อสาหร่ายไปเพาะเลี้ยงขยายในอาหารเหลวปราศจากไนโตรเจนสูตร BG-11 (Allen and Arnon, 1955) ในสภาพควบคุมแสงประมาณ 4,000 ลักซ์ นาน 30 วัน

(1.2) ทดสอบหาระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพห้องปฏิบัติการ

โดยนำหัวเชื้อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแต่ละสกุลเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวปราศจากไนโตรเจนสูตร BG-11 ที่ทำการปรับระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ให้แตกต่างกัน 11 ระดับ คือ 0 5 10 20 30 40 50 100 150 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร วางแผนการทดลองแบบ CRD มีจำนวน 5 ซ้ำ 11 กรรมวิธี ปล่อยให้สาหร่ายเจริญเติบโตในสภาพควบคุมแสงนาน 45 วัน บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ทำการคัดเลือก ช่วงระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญเติบโตได้ดีสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการทดลองต่อไป

2) การทดสอบการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพดินนาขังน้ำโดยใช้ปุ๋ยหมัก

(2.1) ตรวจวัดสมบัติทางเคมีในตัวอย่างดินนา ปุ๋ยหมักมูลหมู และปุ๋ยหมักมูลไก่ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนโดยวิธี wet oxidation และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์วิเคราะห์ตามวิธี BrayII-P (กองปฐพีวิทยา, 2544) และทำการตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสารละลายดินนาและสารละลายปุ๋ยหมักมูลสัตว์ โดยวิธี กรดแอสคอร์บิก (กรรณิการ์, 2525) โดยสารละลายดินนาวัดที่อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 1:10 1:20 และ 1:30 (น้ำหนักต่อปริมาตร; w/v) ส่วนสารละลายปุ๋ยหมักวัดที่อัตราส่วนของปุ๋ยหมักต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 1:50 และ 1:100 (น้ำหนักต่อปริมาตร; w/v) บันทึกข้อมูลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพดินนาขังน้ำต่อไป

(2.2) ทดสอบการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพดินนาขังน้ำโดยใช้ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยเตรียมดินนาสภาพขังน้ำในอัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมปุ๋ยหมักมูลสัตว์แห้งลงไปในสารละลายดินให้มีระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่คัดเลือกได้) จากนั้นเติมหัวเชื้อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินให้มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรสารละลายเหนือดิน ปล่อยให้สาหร่ายเจริญเติบโตในสภาพควบคุมอุณหภูมิและแสง วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ 10 กรรมวิธี ได้แก่

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธีที่ 1 ดินนาไม่ใส่เชื้อสาหร่าย (ควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ดินนาใส่เชื้อสาหร่าย *Calothrix* sp.DASH02101

กรรมวิธีที่ 3 ดินนาใส่เชื้อสาหร่าย *Hapalosiphon* sp.DASH05101

กรรมวิธีที่ 4 ดินนาใส่เชื้อสาหร่าย *Nostoc* sp.DASH N06151

กรรมวิธีที่ 5 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู+สาหร่าย *Calothrix* sp.DASH02101

กรรมวิธีที่ 6 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่+สาหร่าย *Calothrix* sp.DASH02101

กรรมวิธีที่ 7 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp.DASH05101

กรรมวิธีที่ 8 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp.DASH05101

กรรมวิธีที่ 9 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู+สาหร่าย *Nostoc* sp.DASH N06151

กรรมวิธีที่ 10 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่+สาหร่าย *Nostoc* sp.DASH N06151

เมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตนาน 45 วัน บันทึกข้อมูล ปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินรวม โดยวิธี Dilution Plate คัดเลือกกรรมวิธีที่ดีสำหรับนำไปใช้ทดสอบการเพิ่มปริมาณในสภาพเรือนทดลองต่อไป

(2.3) ทดสอบการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพดินนาขังน้ำสภาพเรือนทดลอง โดยเตรียมดินนาสภาพขังน้ำในบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ขังน้ำสูง 8 เซนติเมตร เติมปุ๋ยหมักมูลสัตว์แห้งลงไปในสารละลายดินให้มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการเติมหัวเชื้อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินให้มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรสารละลายเหนือดิน ปล่อยให้สาหร่ายเจริญเติบโตในสภาพเรือนทดลองนาน 45 วัน เปรียบเทียบกับกรรมวิธีต่างๆ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ดินนาไม่ใส่เชื้อสาหร่าย (ควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ดินนาใส่เชื้อสาหร่าย *Hapalosiphon* sp.DASH05101+*Nostoc* sp.DASH N06151

กรรมวิธีที่ 3 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู

กรรมวิธีที่ 4 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่

กรรมวิธีที่ 5 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp.DASH05101+*Nostoc* sp.DASH N06151

กรรมวิธีที่ 6 ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp.DASH05101+*Nostoc* sp.DASH N06151

ทำการเก็บข้อมูลปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสารละลายดิน และปริมาณอินทรียวัตถุในตัวอย่างดิน วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

2.4 การใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแหนแดงเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตพืช

1) การเตรียมสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (สารสกัด BGA)

เพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp.DASH05101ในอาหารเพาะเลี้ยงที่ปราศจากไนโตรเจนสูตร BG-11 (Allen and Arnon, 1955) ในขวดพลาสติกขนาด 18.9 ลิตร เมื่อสาหร่าย

กรมวิชาการเกษตร

เจริญเติบโตที่ระยะเวลา 30 วัน เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายและนำเซลล์มาสกัดหยาบด้วยน้ำ (อัตราส่วนเซลล์สด: น้ำ 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยวิธีการเยือกแข็ง ทำการละลายน้ำแข็ง และนำสารสกัดเซลล์สาหร่ายเข้มข้นที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอิสระโดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) วิเคราะห์ปริมาณสารคล้ายฮอร์โมนพืช ได้แก่ ปริมาณ Free IAA และ Free CKs (Cytokinins) โดยวิธี HPLC และวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ วัดโดยวิธี Steam distillation ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี กรดแอสคอร์บิก (กรรณิการ์, 2525) โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี Atomic Absorption Spectroscope

2) การทดสอบการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตการดูดใช้ธาตุอาหารและผลผลิตของผักกวางตุ้ง

(2.1) ทดสอบการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกวางตุ้งในกระถางทดลอง

(2.1.1) เก็บตัวอย่างดินที่สถานีวิจัยปากช่อง คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีประวัติการใช้ปุ๋ยสำหรับไม้ผลในปริมาณมากและต่อเนื่อง มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้(กองปฐพีวิทยา, 2544) ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ดินมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 7.7 มีปริมาณอินทรียวัตถุปานกลาง 2.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก เท่ากับ 1,036 และ 639 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูง เท่ากับ 2,136 และ 236 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับและนำดินที่ได้มาทำการทดลองปลูกผักกวางตุ้งในกระถางทดลอง

(2.1.2) เพาะเมล็ดผักกวางตุ้งในถาดเพาะกล้าเมื่อต้นกล้าอายุ 15 วัน ย้ายกล้าลงปลูกในกระถางที่บรรจุดิน 5 กิโลกรัมเมื่อต้นกล้าอายุ 23 วัน ฉีดพ่นสารสกัด BGA เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับปุ๋ยทางใบ 20-20-20 เปรียบเทียบกับกรรมวิธีต่างๆ วางแผนการทดลองแบบRandomized Complete Block จำนวน 8 กรรมวิธี 10 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ฉีดพ่นน้ำกลั่น(Control)

กรรมวิธีที่ 2 ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร(25g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 3 ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอัตรา 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร(37.5g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 4 ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (50g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 5 ฉีดพ่นสารสกัด BGA (20%BGA)

กรรมวิธีที่ 6 ฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (20%BGA+25g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่7 ฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (20%BGA+37.5g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 8 ฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (20%BGA+50g Foliar fert.)

โดยฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบ เมื่อผักกวางตุ้งอายุ 23 วันวันละ 1 ครั้ง ห่างกันทุก 3 วัน จำนวน 6 ครั้ง ทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ยไนโตรเจน จำนวน 0.24 กรัมต่อต้นโดยแบ่งใส่จำนวน 2 ครั้ง ไม่ใส่ปุ๋ย

กรมวิชาการเกษตร

ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม และเมื่อผักกวางตุ้งอายุ 42 วัน บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ (การเก็บข้อมูลพื้นที่ใบใน 1 ต้น วัดจำนวน 4 ใบ คือ ใบที่ 4, 5, 6 และ 7 จากใบยอด)

(2.1.3) จากผลการทดลองการทดสอบผลการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง ทำการคัดเลือกกรรมวิธีที่ให้ผลดีมาทำการทดสอบผลการดูดใช้ปริมาณธาตุอาหารพืชในกระถางทดลอง วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block มีจำนวน 6 กรรมวิธี 10 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ฉีดพ่นน้ำกลั่น (Control)

กรรมวิธีที่ 2 ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (25g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 3 ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอัตรา 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (37.5g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 4 ฉีดพ่นสารสกัด BGA (20%BGA)

กรรมวิธีที่ 5 ฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (20%BGA+25g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 6 ฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (20%BGA+37.5g Foliar fert.)

ทุกกรรมวิธีปฏิบัติการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดสอบผลการเจริญเติบโตข้างต้น เมื่อผักกวางตุ้งอายุ 42 วัน บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำหนักแห้งของพืช (dry matter) วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม(K)) และธาตุอาหารรอง (แคลเซียม(Ca) และแมกนีเซียม (Mg)) ในส่วนของใบ ลำต้น และราก คำนวณปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้แต่ละชนิดโดยใช้สูตร

ปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ =[น้ำหนักแห้งของพืช×ความเข้มข้นของธาตุอาหาร]/100

(2.2) ทดสอบการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อผลผลิตผักกวางตุ้งในแปลงทดลอง

คัดเลือกแปลงทดลองที่สถานีวิจัยปากช่อง คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ดินมีสภาพความอุดมสมบูรณ์สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกเพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ดินมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.1 มีปริมาณอินทรียวัตถุปานกลาง 2.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก เท่ากับ 1,736 และ 568 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าสูง และปานกลาง เท่ากับ 2,092 และ 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ทดสอบการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อผลผลิตของผักกวางตุ้ง วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 6 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ฉีดพ่นน้ำกลั่น (Control)

กรรมวิธีที่ 2 ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (25g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 3 ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอัตรา 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (37.5g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 4 ฉีดพ่นสารสกัด BGA (20%BGA)

กรรมวิธีที่ 5 ฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (20%BGA+25g Foliar fert.)

กรรมวิธีที่ 6 ฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (20%BGA+37.5g Foliar fert.)

กรมวิชาการเกษตร

โดยปลูกผักกวางตุ้งในพื้นที่แปลงย่อย ขนาด 1.5×3 เมตร ระยะปลูก25×25 เซนติเมตรหลังจากย้ายกล้าลงปลูกในแปลง 10 วันใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนอัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่โดยแบ่งใส่จำนวน 2 ครั้งไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (ใส่ตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร) และเมื่อผักกวางตุ้งอายุ 23 วันฉีดพ่นสารสกัด BGA เข้มข้น 20เปอร์เซ็นต์ร่วมกับปุ๋ยทางใบ 20-20-20 ตามกรรมวิธีที่กำหนด จำนวน 6 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกันทุก 3 วัน เมื่อผักกวางตุ้งมีอายุ 42 วัน เก็บข้อมูลน้ำหนักสดของผลผลิต

3) การเตรียมสารสกัดแหนแดง

นำแหนแดงสดมาสกัดหยาบโดยวิธีต่างๆ ได้แก่ การสกัดหยาบด้วยน้ำ การสกัดหยาบด้วยแอลกอฮอล์ การสกัดโดยใช้ความร้อน การสกัดโดยวิธีทำให้เซลล์แตกโดยการแช่เยือกแข็ง และการสกัดโดยใช้แบคทีเรียช่วยย่อย จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาทดสอบแช่เมล็ดผักกวางตุ้ง เปรียบเทียบกับน้ำกลั่น คัดเลือกสารสกัดแหนแดงที่ให้ผลการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่ผักกวางตุ้งที่ดี เพื่อใช้ในการทดสอบร่วมกับสารสกัด BGA ต่อไป

4) การทดสอบการใช้สารสกัดแหนแดงและสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางดินต่อการเจริญ เติบโตและผลผลิตของผักคะน้าและผักสลัดคอส

(4.1) ทดสอบการใช้สารสกัดแหนแดงและสารสกัด BGA ต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าในกระถางทดลอง

(4.1.1) นำตัวอย่างดินจากแปลงเกษตรกร อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มาทดลองปลูกผักคะน้าในกระถางทดลอง ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ดินมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.1 มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ 1.1 เปอร์เซ็นต์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ปานกลาง เท่ากับ 12.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง คือ 212 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(4.1.2) เพาะเมล็ดผักคะน้าในถาดเพาะกล้าเมื่อต้นกล้าอายุ 20 วัน ย้ายกล้าลงปลูกในกระถางที่บรรจุดิน7 กิโลกรัม เมื่อต้นกล้าอายุ 25 วัน ฉีดพ่นสารสกัดแหนแดงและสารสกัด BGA ทางใบให้แก่ผักคะน้าเพื่อทดสอบการส่งเสริมการเจริญเติบโตแก่พืช วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 4 กรรมวิธี 10 ซ้ำ ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ฉีดพ่นน้ำกลั่น(Control)

กรรมวิธีที่ 2 ฉีดพ่นสารสกัด BGA (20% BGA)

กรรมวิธีที่ 3 ฉีดพ่นสารสกัดแหนแดง (Azolla ext.)

กรรมวิธีที่ 4 ฉีดพ่นสารสกัดแหนแดงร่วมกับสารสกัด BGA (Azolla ext.+20% BGA)

โดยฉีดพ่นสารสกัดแหนแดงและสารสกัด BGA จำนวน 6 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกันทุก 3 วัน ทุกกรรมวิธีใส่แหนแดงแห้งทางดินอัตรา 35 กรัม เมื่อผักคะน้ามีอายุ 55 วัน เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตได้แก่ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งและคัดเลือกกรรมวิธีที่ให้ผลดีไปทดสอบในแปลงทดลองร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางดินต่อไป

(4.2) ทดสอบการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าและสลัดคอสในแปลงทดลอง

กรมวิชาการเกษตร

คัดเลือกแปลงทดลองของเกษตรกร จังหวัดชัยภูมิที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกเพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ดินมีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.8 มีปริมาณอินทรียวัตถุปานกลาง 1.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง เท่ากับ 280 และ 267 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ทดสอบการใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นร่วมกับปุ๋ยทางดินอัตราต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าและสลัดคอส วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 8 กรรมวิธี 4 ซ้ำ คือ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยและไม่ฉีดพ่น (Control)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ย NPK 50% ของอัตราแนะนำ (50%Soil fert.)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ย NPK 75% ของอัตราแนะนำ (75%Soil fert.)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ย NPK 100% ของอัตราแนะนำ (100%Soil fert.)

กรรมวิธีที่ 5 ฉีดพ่นสารสกัด BGA (20%BGA)

กรรมวิธีที่ 6 ฉีดพ่นสารสกัด BGA+ใส่ปุ๋ย NPK 50% ของอัตราแนะนำ (20%BGA+50%Soil fert.)

กรรมวิธีที่ 7 ฉีดพ่นสารสกัด BGA+ใส่ปุ๋ย NPK 75% ของอัตราแนะนำ (20%BGA+75%Soil fert.)

กรรมวิธีที่ 8 ฉีดพ่นสารสกัด BGA+ใส่ปุ๋ย NPK 100% ของอัตราแนะนำ (20%BGA+100%Soil fert.)

โดยปลูกผักคะน้าและผักสลัดคอส ในพื้นที่แปลงย่อย ขนาด 1.2×6.0 เมตร ระยะปลูก 25×20 เซนติเมตรหลังจากย้ายกล้าลงปลูกในแปลง 7 วันฉีดพ่นสารสกัด BGA เข้มข้น 20เปอร์เซ็นต์ ตามกรรมวิธีที่กำหนด จำนวน 6 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกันทุก 3 วันและใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม อัตรา 20-5-5 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ ตามอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่จำนวน 2 ครั้ง ครั้งแรกหลักจากย้ายกล้าปลูก 7 วันและครั้งที่สองหลังจากย้ายกล้าแล้ว 30 วันและเมื่อผักคะน้า มีอายุ 55 วัน และผักสลัดคอสมีอายุ 60 วัน เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง (เก็บจำนวน 20 ต้น) และปริมาณผลผลิต

2.5 การศึกษาจุลินทรีย์กลุ่มละลายฟอสเฟตในดินที่มีปัญหาในการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต

1) ทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์

(1.1) ศึกษาการละลาย tricalcium phosphate ($Ca_3(PO_4)_2$) aluminum phosphate ($AlPO_4$) และ ferric phosphate ($FePO_4$) ของรา *Taralomyces macrosporus*

โดยการเพาะเลี้ยงรา *T. macrosporus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Pikovskaya ที่ดัดแปลงโดยใช้ $Ca_3(PO_4)_2$ $FePO_4$ และ $AlPO_4$ เป็นแหล่งฟอสเฟต เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ด้วยเครื่อง UV–vis spectrophotome-ter (Shimadzu 1700)

(1.2) ศึกษาผลของชนิดของไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อต่อการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์ ละลายฟอสเฟต *T. macrosporus*

กรมวิชาการเกษตร

โดยการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NBRIY ที่มี urea, ammonium sulfate, และ ammonium chloride เป็นแหล่งไนโตรเจนเพียงแหล่งเดียวในอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยปรับปริมาณไนโตรเจนในอาหาร เลี้ยงเชื้อให้มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.5 กรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

(1.3) ทดสอบการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับพืชเบื้องต้น

โดยการแช่เมล็ดข้าวโพดจำนวน 20 เมล็ด ในสารแขวนลอยจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่มีปริมาณเซลล์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยชุดควบคุมแช่ในน้ำกลั่นปราศ จากเชื้อ จากนั้นย้ายเมล็ดลงอาหารเลี้ยงเชื้อ Pikovskaya agar เพื่อตรวจสอบการละลายฟอสเฟต และการเจริญของเมล็ดข้าวโพด

(1.4) ทดสอบการสร้างกรดอินทรีย์ของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

โดยการเพาะเมล็ดคะน้าลงในกระบะเพาะในดินที่ปราศจากเชื้อ จากนั้นเติมจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่ปรับปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อให้มีความเข้มข้น 10^6 cfu/ml ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ตามกรรมวิธีที่กำหนด ณ เวลา 7 วัน เก็บดิน 1 กรัม เพาะเลี้ยงในอาหาร Pikovskaya ปริมาตร 50 มิลลิลิตร บ่มเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน ตรวจสอบปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ในดินที่พร้อมจะมีกิจกรรมการละลายฟอสเฟตโดยใช้เครื่อง High performance liquid chromatography ยี่ห้อ Agilent รุ่น 1290 detector ชนิด Diode array เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของกรดที่อินทรีย์อาจเกิดขึ้นระหว่างการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในดิน โดยใช้ความยาวคลื่นที่ 200 250 300 350 400 500 550 600 nm เพื่อหา retention time ของกรดอินทรีย์คือ กรดอะซิติก กรดซิตริก กรดฟอร์มิก กรดซักซินิก และกรดทาทาริก ในสารมาตรฐาน โดยกำหนดกรรมวิธีดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่จุลินทรีย์ (ควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ *T. macrosporus*

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ *T. macrosporus* + *Burkhoderia* sp.

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ *T. macrosporus* + *Seratia marcescens*

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ *Burkhoderia* sp.

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ *S. marcescens*

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ *Burkhoderia* sp.+ *S. marcescens*

กรรมวิธีที่ 8 ใส่ *T. macrosporus* + *Burkhoderia* sp.+ *S. marcescens*

2) ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการผลิตพืชในระดับกระถาง

ดำเนินการเพาะปลูกคะน้าในระดับกระถางด้วยกรรมวิธีเช่นเดียวกับข้อ (1.4) ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ ดินและไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อตรวจผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อผลผลิตคะน้าในดินกรด ซึ่งดินกรดที่นำมาทดสอบได้มาจากอำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก บันทึกการเจริญเติบโตของคะน้า

3) ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการผลิตพืชในระดับแปลงทดลอง

ทดสอบหัวเชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับดินกรดจากจังหวัดนครนายก ในการปลูกผักคะน้าและผักกาด โดยวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน แล้วใส่ปุ๋ยตามตามกรรมวิธีที่กำหนด ทำการปลูกคะน้าในแปลงขนาด

กรมวิชาการเกษตร

2x6 ตารางเมตร ระยะปลูก 25x25 เซนติเมตร และข้าวโพดข้าวเหนียว ในแปลงทดลองขนาด 4.5x6.0 ตารางเมตร กำหนดระยะปลูก 25x75 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ RCB 8 กรรมวิธี 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปัจจัยใดๆ

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + N K

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + N 0.25P K

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + N 0.50P K

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + N 0.75P K

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต + N P K

กรรมวิธีที่ 8 ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

2.6 การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้จุลินทรีย์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

1) ศึกษาการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้จุลินทรีย์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น

ทำการศึกษาในแปลงสาธิตเขาสวนกวาง ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น บ้านคำม่วง ตำบลคำม่วง อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น พิกัดที่ตั้ง 16° 51’ N 102° 51’ E ความสูงประมาณ 210 เมตรจากระดับน้ำทะเล สภาพภูมิประเทศโดยรวมเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดเทเฉลี่ย 4.02 เปอร์เซ็นต์ โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 7 กรรมวิธี ทำ3 ซ้ำ

กรรมวิธีที่ 1 วิธีปฏิบัติของเกษตรกร (FP) ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (SF)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง (SF+SB)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก (SF+VG)

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (SF+VG+AMF)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองและหญ้าแฝก (SF+SB+VG)

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองและหญ้าแฝก+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (SF+SB+VG+AMF)

ใส่ปุ๋ย 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่เมื่อข้าวโพดอายุ 30 วัน ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน: ใส่ปุ๋ยเคมีให้ได้ปริมาณธาตุอาหาร N-P_2O_5-K_2O เท่ากับ 30-5-10 กิโลกรัมต่อไร่

ในกรรมวิธีที่มีการปลูกถั่วเหลือง มีการคลุกเมล็ดถั่วเหลืองด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม 200 กรัมต่อเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 10 กิโลกรัม

เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกเพื่อตรวจนับสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาโดยวิธี wet sieving และเก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample ตามระดับความลาดเทที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-40 เซนติเมตร นำมาวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการหาค่า ได้แก่ การกระจายขนาดของอนุภาคดินโดยวิธี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

Pipette (Gee and Bauder, 1986) ค่าพีเอช (National Soil Survey Center, 1996) อินทรียวัตถุโดยวิธี Walkley-Black (Nelson and Sommers, 1996) ไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Thomas, 1982) ประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ต้องใส่ให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2553) จากนั้นทำการปรับพื้นที่เพื่อเตรียมบ่อดักตะกอน จำนวน 21 บ่อ และเตรียมพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงย่อยให้มีขนาดแปลงกว้างxยาว เท่ากับ 4x3 เมตร ทำการปลูกหญ้าแฝกวันที่ 21 เมษายน 2560 โดยใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองก้นหลุมตามกรรมวิธีที่กำหนด ปลูกเป็นแถว 2 แถวตามแนวระดับขวางความลาดเทของพื้นที่ โดยมีระยะห่างขึ้นกับสภาพความลาดชันของพื้นที่ จากนั้นปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์วันที่ 25 พฤษภาคม 2560 ปลูกแบบแถวเดี่ยว ระยะปลูกต้น x แถว เท่ากับ 75x20 เซนติเมตร ให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่กำหนดโดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ตามด้วยการปลูกถั่วเหลืองวันที่ 26 มิถุนายน 2560

ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในบ่อดักตะกอนดินในช่วงที่มีฝนตกตลอดฤดูปลูก และนำตัวอย่างตะกอนดินสะสมไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สูญเสียในตะกอนดิน เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดที่อายุประมาณ 120 วัน พื้นที่เก็บเกี่ยวกว้างxยาว เท่ากับ 2x2 เมตร สุ่มเก็บตัวอย่าง 3 ต้นต่อแปลง ชั่งน้ำหนักสด สุ่มเก็บตัวอย่างส่วนเหนือดิน แยกเป็น 5 ส่วน คือ เมล็ด ซัง เปลือก ลำต้น และใบของข้าวโพดในแต่ละกรรมวิธีมาวิเคราะห์หาปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพื่อประเมินปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียออกไปจากพื้นที่โดยติดไปกับผลผลิต จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample ในแต่ละแปลงย่อยจำนวน 5 จุดที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-40 เซนติเมตร มาวิเคราะห์ธาตุอาหารที่สูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และกายภาพของดิน และเก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample บริเวณรากหญ้าแฝกจำนวน 3 จุดต่อแปลงย่อยเพื่อตรวจหาสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

2) ศึกษาการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้จุลินทรีย์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

ทำการศึกษาในแปลงเกษตรกรตั้งอยู่ที่บ้านซับลังกา ตำบลเกาะรัง อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี พิกัดที่ตั้ง 15°21'41.0"N 101°16'41.6"E ความสูงประมาณ 92 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีสภาพภูมิประเทศโดยรวมเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชันเฉลี่ย 15 เปอร์เซ็นต์ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก 5 เปอร์เซ็นต์ตามแนวเหนือ-ใต้โดยทำการศึกษา 2 ปีต่อเนื่อง วางแผนการทดลองแบบ RCB 6 กรรมวิธี 4 ซ้ำ

กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (SF)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียว (SF+GB)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก (SF+VG)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (SF+VG+AMF)

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝก (SF+GB+VG)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝก+ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา (SF+GB+VG+AMF)

กรมวิชาการเกษตร

* ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน: ใส่ปุ๋ยเคมีให้ได้ปริมาณธาตุอาหาร N-P_2O_5-K_2O เท่ากับ 20-5-10 กก.ต่อไร่ ในกรรมวิธีที่มีการปลูกถั่วเขียว มีการคลุกเมล็ดถั่วเขียวด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม 200 กรัมต่อเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว 10 กิโลกรัม

เก็บตัวอย่างดินแบบ composite sample จำนวน 5 จุดต่อพื้นที่ตามระดับความลาดเทที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-50 เซนติเมตร นำมาวิเคราะห์สมบัติดินและประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ต้องใส่ให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทำการปรับพื้นที่ เตรียมบ่อดักตะกอน จำนวน 24 บ่อ และเตรียมพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงย่อยให้มีขนาดแปลงกว้างxยาว เท่ากับ 6x6 เมตร ทำการปลูกหญ้าแฝกวันที่ 26 เมษายน 2561 โดยใส่ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซารองก้นหลุมตามกรรมวิธีที่กำหนดโดยปลูกเป็นแถว 2 แถวตามแนวระดับขวางความลาดเทของพื้นที่ แถวที่ 2 ปลูกขนานกับแนวแรก มีระยะห่างขึ้นกับสภาพความลาดชันของพื้นที่ จากนั้นทำการปลูกถั่วเขียววันที่ 5 มิถุนายน 2561 โดยคลุกเมล็ดด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมก่อนปลูก ตามด้วยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์วันที่ 3 กรกฎาคม 2561 ปลูกแบบแถวเดี่ยว ระยะปลูกต้นxแถว เท่ากับ 75x20 เซนติเมตร ให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่กำหนด ปีต่อมาปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์วันที่ 11 สิงหาคม 2562 ตามด้วยการปลูกถั่วเขียววันที่ 12 สิงหาคม 2562

ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในบ่อดักตะกอนดินในช่วงที่มีฝนตกตลอดฤดูปลูก และนำตัวอย่างตะกอนดินสะสมทั้งฤดูปลูกไปวิเคราะห์เช่นเดียวกับแปลงอำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น

เวลาและสถานที่ดำเนินการวิจัย

เวลาดำเนินการวิจัย	เริ่มต้นเดือนตุลาคม 2560 สิ้นสุดเดือนกันยายน 2563
สถานที่ดำเนินการวิจัย	กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
	แปลงเกษตรกร ตำบลห้วยโจด อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว
	แปลงเกษตรกร อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก
	แปลงเกษตรกร อำเภอเมือว จังหวัดชัยภูมิ
	แปลงเกษตรกร อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี
	แปลงสาธิตเขาสวนกวาง ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น

ผลการวิจัย

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในแปลงปลูกพืชในระบบชลประทาน

กรมวิชาการเกษตร

1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพจุลินทรีย์ยย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพจุลินทรีย์ยย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ พบว่าแหล่งคาร์บอนที่ส่งผลให้มีการเจริญของจุลินทรีย์ดีที่สุดคือ กลูโคส รองลงมาคือ ซูโครส และเซลลูโลส ตามลำดับ (ภาพที่ 19) ค่า pH เริ่มต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อเริ่มต้นในช่วง 4 5 และ 6 (ภาพที่ 20) และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 5 วันกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสมีค่าสูงที่สุด(ภาพที่ 21) สอดคล้องกับ Rossi-Rodrigues et al. (2009) ซึ่งพบว่ากลูโคสคือแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมในการเจริญของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* มากกว่าซูโครส แต่อย่างไรก็ตามแม้จะเป็นเชื้อ *T. harzianum* เหมือนกัน แต่ไอโซเลทต่างกันในแต่ละที่ก็ให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน Naseripou et al. (2017) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเซลลูเลสของเชื้อ *T. harzianum* คือ เพาะเลี้ยง 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยปรับ pH เท่ากับ 6.5 ในขณะที่ Attitalla and Salleh (2010) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเซลลูเลส (CMC-ase) ของเชื้อ *T. harzianum* คือ เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยค่า pH ที่เหมาะสมเท่ากับ 5-7 ซึ่งในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในแปลงทดสอบจริง จุลินทรีย์อาจมีการเจริญเติบโตที่ไม่ดีเท่ากับที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพราะใบอ้อยประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ ในสภาพแปลงปลูกจริงค่า pH ของดิน หรือของใบอ้อยมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อม ตลอดจนอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงในแปลงทดลองย่อมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญและการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสในการย่อยสลายใบอ้อยในแปลงปลูกอ้อยได้

2) ศึกษาการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการจัดการใบอ้อยในแปลงเพาะปลูกอ้อย

(2.1) ทดสอบการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการจัดการใบอ้อยในแปลงปลูกอ้อยตอที่ 1

ดำเนินการทดสอบการย่อยสลายใบอ้อยในแปลงทดลองตามกรรมวิธีที่ในพื้นที่ปลูกอ้อยของของคุณตุ๊กตา ตาทิพย์ ตำบลห้วยโจด อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว โดยวิเคราะห์ดินก่อนทำการทดลองดังตารางที่ 33 เมื่อครบกำหนด 12 เดือน พบว่า กรรมวิธีที่ 1 จะมีมวลใบอ้อยเหลืออยู่มากที่สุด (ประมาณ 1.8 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใส่หัวเชื้อแต่ไม่มีการไถสับใบอ้อย (กรรมวิธีที่ 2 และ 3) จะมีปริมาณใบอ้อยรองลงมา (ประมาณ 1.2-1.4 กิโลกรัม) และกรรมวิธีที่มีการใส่หัวเชื้อร่วมกับมีการไถสับใบอ้อย (กรรมวิธีที่ 5 และ 6) จะมีปริมาณใบอ้อยน้อยที่สุด (น้อยกว่า 0.6 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) จะเห็นได้ว่าการไถสับใบอ้อยลงดินจะช่วยให้มวลใบอ้อยหลงเหลือน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม จะพบว่าแม้จะมีการไถสับกลบใบอ้อย แต่เมื่อไม่ได้ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ร่วมด้วย (กรรมวิธีที่ 4) ใบอ้อยจะยังคงมีปริมาณเหลืออยู่มากกว่ากรรมวิธีที่มีการไถสับกลบใบอ้อยร่วมกับใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ (ตารางที่ 34 และภาพที่ 22) เพื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของใบอ้อยที่หลงเหลืออยู่บนดิน พบว่ากรรมวิธีที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายสลายใบอ้อยโดยการทำงานของจุลินทรีย์ที่สามารถลดค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลงได้ ด้วยเหตุนี้ค่าปริมาณเยื่อใยของใบอ้อยในกรรมวิธีที่ไถสับกลบร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์มีแนวโน้มต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ(ตารางที่ 34) ซึ่งอาจเกิดจากเซลลูโลสในใบอ้อยในกรรมวิธีที่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายไป

กรมวิชาการเกษตร

โดยการทำงานของจุลินทรีย์ การไถช่วยให้ใบอ้อยบนดินมีปริมาณลดลง เนื่องจากเกิดการถ่ายเทอากาศได้มากขึ้น จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและทำงานได้ดีกว่า ซึ่งกระบวนการหายใจโดยการใช้ก๊าซออกซิเจนนับเป็นกระบวนการสร้างพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดของจุลินทรีย์ (วัชรพันธ์ และคณะ, 2559)

ในด้านผลผลิตอ้อยพบว่า มีผลผลิตอ้อยใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 14.7-15.55 ตันต่อไร่ มีเพียงกรรมวิธีที่ 2 ที่มีค่าน้อยกว่ากรรมวิธีการอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 14.56 ตันต่อไร่ สำหรับความสูงกรรมวิธีที่มีการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ มีแนวโน้มที่มีความสูงมากกว่ากรรมที่ไม่มีการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ในส่วนขนาดลำของอ้อยในทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาผลของการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ใบการย่อยสลายใบอ้อยในครั้งนี้ อาจไม่ส่งผลต่อการเจริญและผลผลิตอ้อยชัดเจนนัก แต่ในแง่การจัดการใบอ้อย การไถช่วยให้ใบอ้อยบนดินลดปริมาณลดได้มาก การไม่ไถสับกลบส่งผลให้เหลือใบอ้อยบนดิน มากกว่า 0.8 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งไม่ช่วยให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารจากใบอ้อยลงสู่ดิน นอกจากนี้การใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ มีแนวโน้มทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลง การไถสับกลบใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ช่วยให้ปริมาณเยื่อใยของใบอ้อยบนดินมีค่าลดลง Miura et al. (2013) พบว่าการไถและวางเศษซากใบอ้อยคลุมดิน ช่วยให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดีเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ไถ หรือไถแต่ไม่วางใบอ้อยในแปลง วิมล และวรรณวิภา (2561) พบว่า กรรมวิธีการไถกลบใบอ้อย ช่วยให้มีการสะสมปริมาณไนโตรเจนในดินสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีใช้ใบอ้อยคลุมแปลง อีกทั้งช่วยให้มีการย่อยสลายเศษซากใบอ้อยได้เร็วที่สุด ด้วยเหตุนี้การไถสับกลบใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จึงเป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมต่อการจัดการใบอ้อยที่เหลืออยู่ในแปลงเพาะปลูกอ้อย

(2.2) ทดสอบการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการจัดการใบอ้อยในแปลงอ้อยปลูกใหม่

หลังจากการทดลองดังกล่าวข้างต้นได้ทำการปลูกอ้อยใหม่ลงในแปลงปลูกเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่า อ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3 ที่ปลูกใหม่ มีความสูงที่ไม่แตกต่างกันในทุกกรรมวิธี ในด้านความกว้างของลำต้น พบว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์มีค่าความกว้างของลำต้นน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น คือ มีค่า 2.66 เซนติเมตร แต่กรรมวิธีอื่นๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 2.68-2.74 เซนติเมตร ในด้านน้ำหนักลำซึ่งวัดจากน้ำหนักต้นอ้อย พบว่ากรรมวิธีที่ 3 มีน้ำหนักต้นสูงที่สุดคือ 1.82 กิโลกรัม แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นที่มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1.70-1.74 กิโลกรัม ในด้านจำนวนลำและค่าบริกซ์พบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีค่าจำนวนลำและค่าบริกซ์สูงที่สุด คือ 10,150 ลำต่อไร่ และ 18.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผลผลิตอ้อยไม่มีแตกต่างกันอยู่ระหว่าง 16.94-17.29 ตันต่อไร่

การเปลี่ยนแปลงของดินในแปลง ณ เวลา 6 และ 12 เดือนนั้น พบว่าทุกกรรมวิธี ค่า pH มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่า กรรมวิธีที่มีการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าในดินที่ไม่ใส่เชื้อ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินมีการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์หรือใบอ้อยที่มากกว่า จึงเกิดการปลดปล่อยสารต่างๆ จากใบอ้อยออกมาได้มากกว่า จึงมีค่าการนำไฟฟ้าที่มาก และมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ในด้านอินทรียวัตถุในดินนั้น พบว่า ทุกกรรมวิธีมีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยกรรมวิธีไม่มีการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จะมีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่า

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธีที่มีการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ (ตารางที่ 37) ทั้งนี้อาจเกิดจากดินที่มีการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์เกิดการย่อยสลายของใบอ้อยออกมาเป็นอินทรียวัตถุได้มากกว่าดินที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ โดยวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายช้ากว่า ย่อมสูญเสียคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้อยกว่าวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายเร็วกว่า ดังนั้น จึงมีผลให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ในดินค่อนข้างมากกว่า (วัชรพันธ์ และคณะ, 2559) แต่กระบวนการนี้อาจเกิดขึ้นช้า แม้แต่กรรมวิธีที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ จุลินทรีย์ประจำถิ่นในดินก็สามารถย่อยสลายใบอ้อยได้เช่นกันแต่เป็นอัตราที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่มีการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ด้วยเหตุนี้จึงพบการเปลี่ยนแปลงภายในดินแต่ในด้านการการเจริญเติบโตและผลผลิตอ้อยจึงไม่พบความแตกต่าง ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการหมุนเวียนธาตุอาหารจากใบอ้อยลงสู่ดิน อาจเป็นกระบวนการที่ช่วยปรับปรุงดินในระยะยาวมากกว่าในระยะเริ่มต้น

(1) ทดสอบการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการจัดการใบอ้อยในแปลงอ้อยตอที่ 1

ผลของปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ต่อการย่อยสลายใบอ้อยโดยการไถสับกลบใบอ้อยร่วมกับการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ 0 3.2 6.4 และ 12.8 กิโลกรัมต่อไร่ ในอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ตอที่ 1 พบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีความสูงมากที่สุด 232 เซนติเมตร แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับน้ำหนักต้นและค่าบริกซ์พบว่า กรรมวิธีที่ 3 มีน้ำหนักต้นและค่าบริกซ์สูงที่สุด คือ 1.64 กิโลกรัม และ 17.89 ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ในส่วนจำนวนลำต่อไร่นั้นพบว่ากรรมวิธีที่ 3 และ 4 มีจำนวนลำต่อไร่สูงที่สุด คือ 10546 และ 10513 ลำต่อไร่ ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 1 และ 2 คือ 10351 และ 10238 ลำต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตของอ้อย พบว่ากรรมวิธีที่ 3 มีผลทำให้ผลผลิตสูงที่สุด คือ 17.27 ตันต่อไร่ ในขณะที่ กรรมวิธีที่ 1 และ 2 ให้ผลผลิตต่ำที่สุด คือ 16.41 และ 16.20 ตันต่อไร่ ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงของดินในแปลงที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือนนั้น พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกันกับในการทดลองในอ้อยปลูกที่ได้ดำเนินการไปก่อนหน้า คือทุกกรรมวิธี ค่า pH มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าทุกกรรมวิธี มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ในด้านอินทรียวัตถุในดินนั้น ณ เวลา 6 เดือน กรรมวิธีที่ 1 ดินมีอินทรียวัตถุน้อยที่สุด คือ 1.21 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรรมวิธีที่มีการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ดินมีอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 127-1.33 เปอร์เซ็นต์ และ ณ เวลา 12 เดือน กรรมวิธีที่ 3 และ 4 ดินมีอินทรียวัตถุมากที่สุด คือ 1.15 และ 1.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ไม่มีการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ ดินมีอินทรียวัตถุน้อยที่สุด คือ 1.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการเพิ่มปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการย่อยสลายใบอ้อยเห็นผลไม่ชัดเจนนักในการปลูกอ้อยปีแรก แต่เมื่อดำเนินการทดลองในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น คือในอ้อยตอที่ 1 (ปีที่ 2) พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินทั้ง 6 เดือน และ 12 เดือน มีมากขึ้นเมื่อมีการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ที่มากขึ้น และผลผลิตอ้อยตอที่ 1 ดังนั้นการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์อัตรา 6.4 กิโลกรัมต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 3) จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ถึงแม้ว่าการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการย่อยสลายใบอ้อยจะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นช้า แต่ Robertson และ Thorburn (2007) รายงานว่า ในช่วง 1-2 ปีแรกของการคลุมเศษใบอ้อยปริมาณ

กรมวิชาการเกษตร

ไนโตรเจนในดิน ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักแต่จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นในช่วงปีที่ 3-6 และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการไถกลบอาจเป็นปัจจัยหนึ่งในการจัดการใบอ้อยให้มีการย่อยสลายที่ดีโดยช่วงเวลาที่เหมาะสมในการไถกลบใบอ้อยคือ ระยะเวลาที่ 4 เดือนหลังคลุมเศษเหลือใบอ้อย ซึ่งเป็นการเติมไนโตรเจนลงไปในช่วงที่ดินเริ่มขาดไนโตรเจนซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของอ้อย

2.2 การใช้แหนแดงเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในการผลิตพืช

1) ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนและการสะสมปริมาณอินทรียวัตถุของแหนแดง

(1.1) องค์ประกอบทางเคมีของแหนแดง และสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแหนแดงที่ใช้ในการศึกษา พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 4.58 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 9.95 ปริมาณลิกนิน 24.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอส ฟอรัสทั้งหมด 0.64 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 5.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด 2.59 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด 0.39 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 40) และดินที่ใช้ในการทดลองมีเนื้อดินกลุ่มดินร่วน จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลองพบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.60 ค่าการนำไฟฟ้า 0.089 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร อินทรียวัตถุ 2.2 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 557.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 401 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 2,785 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 237 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกลุ่มดินเหนียว มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.09 ค่าการนำไฟฟ้า 1.332 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร อินทรียวัตถุ 1.06 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 33.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 3,627 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 713 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 41)

(1.2) ไนโตรเจน

ผลการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สุทธิ (Net-N mineralization, Net-N) หรืออินทรีย์ไนโตรเจน (NH_4^+-N + NO_3^--N) ของแหนแดงสด และแหนแดงแห้ง ในดิน 2 ชนิด คือดินร่วน และดินเหนียว เมื่อบ่มดินที่ระยะเวลา 1, 3, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, 126, 140 และ 154 วัน พบว่า ในดินบ่มที่มีการใส่แหนแดงสดในดินร่วน มีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สุทธิสูงกว่าแหนแดงแห้งในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น 1-35 วัน หลังจากนั้นการปลดปล่อยลดลงอย่างรวดเร็วและมีปริมาณคงที่จนถึงระยะเวลา 154 วัน ในขณะที่ในดินเหนียวการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สุทธิ ทั้งแหนแดงแห้งและแหนแดงสดจะใกล้เคียงกันในตอนเริ่มต้น แต่การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สุทธิ หลัง 21 วัน พบว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนในแหนแดงแห้งสูงกว่าแหนแดงสด(ภาพที่ 23) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของประพิศ และพิชิต (2536) ที่ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนของแหนแดงสดในดินขังน้ำ พบว่าแหนแดงปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาในปริมาณค่อนข้างสูงในสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 จากนั้นปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจะลดลงในเกือบทุกชุดดิน จากการศึกษาของ Ito and Watanabe (1985) รายงานว่าเมื่อคลุกแหนแดงสดลงไปในดินนาขังน้ำ แหนแดงจะปลดปล่อยไนโตรเจนสูงสุดในเวลา 24 วัน และเนื่องจากแหนแดงแห้งมีปริมาณ

กรมวิชาการเกษตร

น้ำเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าแหนแดงสด จึงทำให้กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ช้ากว่า ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่เหมือนแหนแดงสดที่จะย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาได้อย่างรวดเร็วตั้งแต่มีการคลุกลงดิน ซึ่งสอดคล้องกับ Watanabe et. al. (1981) ที่รายงานว่าไนโตรเจนจากแหนแดงจะถูกปลดปล่อยและเป็นประโยชน์ต่อข้าวเมื่อแหนแดงถูกย่อยสลาย ซึ่งการย่อยสลายของแหนแดงสดเกิดขึ้นรวดเร็วมากในช่วงสัปดาห์แรกเมื่อทำการคลุกลงดินและเพิ่มขึ้นต่อไปจนถึงสัปดาห์ที่ 3 จากนั้นการปลดปล่อยไนโตรเจนจะลดลง

จากการนำแหนแดงสดและแหนแดงแห้งผสมคลุกเคล้ากับดินร่วน และดินเหนียวและนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ จนถึง 154 วัน มาวิเคราะห์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเตรทที่ปลดปล่อยออกมาในแต่ละระยะเวลาการบ่ม พบว่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมของทั้งดินร่วนและดินเหนียวนั้นมีค่าสูงสุดที่ระยะ 7 วัน ยกเว้นการปลดปล่อยแอมโมเนียมในแหนแดงสดในดินร่วน จะมีค่าสูงสุดที่ระยะ 21 วัน และพบว่าในแหนแดงสดมีค่าการปลดปล่อยแอมโมเนียมสูงกว่าในดินที่ใส่แหนแดงแห้งทั้งในดินร่วนและดินเหนียวดังแสดงในภาพที่ 24 สำหรับระยะเวลาการปลดปล่อยแอมโมเนียมในดินทั้ง 2 ชนิด มีระยะเวลาเพียง 42 วัน และเมื่อพิจารณาถึงการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปไนเตรทของแหนแดงแห้งทั้งในดินร่วนและดินเหนียวพบว่าสูงกว่าในแหนแดงสด โดยในแหนแดงแห้งมีแนวโน้มที่จะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปไนเตรทในระยะเวลาที่ยาวนานกว่าแหนแดงสด ดังภาพที่ 25 ซึ่งรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ที่ปลดปล่อยจากแหนแดงสดและแหนแดงแห้งในแต่ละช่วงระยะเวลานั้น พบว่า มีความแตกต่างกัน โดยการใส่แหนแดงสดจะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมได้สูงกว่าไนเตรทในช่วงระยะเวลา 1-35 วันแรก หลังจากนั้นแอมโมเนียมจะลดปริมาณลงและเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรทจนถึงระยะสิ้นสุดการทดลอง การที่แหนแดงสดมีการปลดปล่อยแอมโมเนียมได้สูงนั้นอาจเป็นเพราะแหนแดงสดมีค่าสัดส่วนของ C:N แคบ(ประมาณ 10-13) และมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูง (ศิริลักษณ์ และประไพ, 2557) จึงส่งเสริมให้เกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยแอมโมเนียมออกมาได้อย่างรวดเร็ว ประกอบกับในสภาพที่ย่อยสลาย ดินมีความชื้นสูงจึงทำให้แอมโมเนียมเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรทโดยกระบวนการ Nitrification ได้น้อย ทำให้พบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมสูง เช่นเดียวกับการย่อยสลายแหนแดงในนาข้าว ซึ่งแหนแดงจะปลดปล่อยไนโตรเจนส่วนใหญ่ออกมาในรูปของแอมโมเนียมลงสู่ดิน (Ito and Watanebe, 1985) สำหรับรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ที่ปลดปล่อยจากแหนแดงแห้ง พบว่า ในช่วงระยะเวลา 7 วันแรก มีการปลดปล่อยแอมโมเนียมสูงกว่าไนเตรท แต่หลังจากนั้นพบว่า แอมโมเนียมลดปริมาณลงและไนเตรทมีปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใส่แหนแดงแห้งลงในดินบ่มทำให้แอมโมเนียมเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรทได้มากกว่าการใส่แหนแดงสดทั้งในดินร่วนและดินเหนียว

(1.3) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

ผลการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใส่แหนแดงสด และในดินที่ใส่แหนแดงแห้งเมื่อบ่มดินที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า แหนแดงแห้งมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใส่แหนแดงแห้งสูงกว่าในดินที่ใส่แหนแดงสดเล็กน้อยทั้งในดินร่วนและดินเหนียว โดยมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดในดินร่วนเพิ่มขึ้นจากดินควบคุมเฉลี่ยเท่ากับ 129.0 และ 79.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในดินเหนียวเพิ่มขึ้นจากดินควบคุมเฉลี่ยเท่ากับ 133.8 และ 105.7 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 26) ส่วนผลทางด้านการปลดปล่อยปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินร่วนที่ใส่แหนแดงแห้งสูงกว่าในดินที่ใส่แหนแดงสด โดยในดินที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดมีปริมาณการปลดปล่อยเพิ่มขึ้นจากดินควบคุมเฉลี่ยเท่ากับ 421.2 และ 199.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งสูงกว่าในดินที่ใส่แหนแดงสดเล็กน้อย และมีการปลดปล่อยเป็นระยะเวลายาวนานเช่นเดียวกับฟอสฟอรัส โดยในดินที่ใส่แหนแดงแห้ง และแหนแดงสดมีปริมาณการปลดปล่อยเพิ่มขึ้นจากดินควบคุมเฉลี่ยเท่ากับเท่ากับ 298.9 และ 256.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 27) จากข้อมูลการปลดปล่อยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสด แสดงให้เห็นว่าปริมาณที่ปลดปล่อยออกมานี้มากเพียงพอต่อความต้องการของพืชเศรษฐกิจหลายชนิด (กรมวิชาการเกษตร, 2553) เนื่องจากแหนแดงสามารถสะสมฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจากสารละลายดินได้ดี (Van Hove, 1989) เมื่อเกิดการย่อยสลายจึงสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้สูง ทำให้แหนแดงสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารหลักให้แก่พืชได้

2) การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี

(2.1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)

เมื่อบ่มดินที่ใส่แหนแดงสด และแหนแดงแห้งเปรียบเทียบกับดินบ่มในชุดที่ 1 (กรรมวิธีควบคุม) พบว่า ดินที่ใส่แหนแดงสดและแหนแดงแห้งมีค่า pH ของดินลดลงจากดินควบคุมตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยดินที่ใส่แหนแดงแห้งมีค่า pH ลดลงมากกว่าดินที่ใส่แหนแดงสดเล็กน้อย ทั้งในดินร่วนและดินเหนียว (ภาพที่ 28) ซึ่งจากค่า pH ที่ลดลงดังกล่าวคาดว่าเกิดจากการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากดินที่ใส่แหนแดงขณะที่เกิดการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรทโดยกระบวนการ Nitrification เพิ่มขึ้นจากดินควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ จากแหนแดงเพิ่มขึ้น รวมถึงการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนจากกระบวนการ Nitrification ดังกล่าวข้างต้นร่วมด้วย

(2.2) การนำไฟฟ้า(EC)

การเปลี่ยนแปลงค่า EC ของดินที่ใส่แหนแดงสดและแหนแดงแห้ง แสดงในภาพที่ 29 พบว่าค่า EC ดังกล่าวเพิ่มขึ้นจากดินควบคุม(ไม่ใส่แหนแดง) ทั้งในดินร่วนและดินเหนียว ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีประจุบวกต่างๆ ในดินที่มีการใส่แหนแดง รวมถึงไฮโดรเจนอิออนที่ได้มาจากกระบวนการ nitrification ในดินบ่มนี้

(2.3) ปริมาณอินทรียวัตถุ

เมื่อบ่มดินที่ใส่แหนแดงสดและแหนแดงแห้งเปรียบเทียบกับดินควบคุม(ไม่ใส่แหนแดง)พบว่า ดินที่ใส่แหนแดงสดหรือแหนแดงแห้งมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงขึ้นจากดินควบคุมตลอดระยะเวลาการบ่มดิน (ภาพที่ 30) โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินร่วนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.8 เปอร์เซ็นต์ คือ เปลี่ยนแปลงจาก 1.97 เปอร์เซ็นต์ในดินควบคุม เป็น 2.84 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่ใส่แหนแดงแห้ง และเป็น 2.70 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่ใส่แหนแดงสด

กรมวิชาการเกษตร

ส่วนในดินเหนียว คือ ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นของแหนแดงแห้งและแหนแดงสดจากดินควบคุม เท่ากับ 0.97 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเปลี่ยนแปลงจาก 1.03 เปอร์เซ็นต์ ในดินควบคุม เป็น 2.0 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่ใส่แหนแดงแห้ง และเป็น 1.58 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่ใส่แหนแดงสด โดยพบว่าในระยะแรกของการบ่ม (1-84 วัน) มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงกว่า ระยะหลังของการบ่ม ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากคาร์บอนที่ของแหนแดงในส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น ใบของแหนแดง ถูกปลดปล่อยออกมาอย่างรวดเร็วในระยะแรก ซึ่งสอดคล้องกับ Watanabe et al. (1991) รายงานว่า แหนแดงถูกย่อยสลายประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 4 สัปดาห์ นอกจากนั้น แหนแดงยังมีลิกนินเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูงเช่นกัน (Wen et al., 1987; ตารางที่ 40) เมื่อลิกนินจะถูกแปรสภาพโดยกระบวนการ solubilization และ mineralization ทำให้เกิดสารฮิวมิกและเกิดเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนในดินต่อไป (Bhardwaj and Gaur, 1970)

3) ศึกษาวิธีการใช้แหนแดงเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในกระถางทดลอง

(3.1) การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูกพบว่า ดินมีค่า pH เป็นกลาง มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำไม่เป็นดินเค็ม มีปริมาณอินทรียวัตถุปานกลาง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง มีปริมาณแคลเซียมสูงและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ (ตารางที่ 42)

เมื่อทดลองปลูกคะน้าในกระถางทดลองติดต่อกันจำนวน 3 ครั้ง โดยมีการใส่แหนแดงแห้งอัตราต่างๆ คือ 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 และ 60 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินพบว่า เมื่อใส่แหนแดงแห้งที่อัตรา 0, 5, 10, 15 และ 20 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ในการปลูกคะน้าทั้ง 3 ครั้ง ทำให้ค่า pH ของดินเป็นกลางไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าใส่แหนแดงแห้งในอัตราที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 30-60 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม เฉพาะในการปลูกครั้งที่ 3 มีแนวโน้มทำให้ค่าpH ดินหลังปลูกลดลงอยู่ในช่วงเป็นกรดเล็กน้อย ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในดิน พบว่า เมื่อใส่แหนแดงแห้งเกือบทุกอัตราในการปลูกครั้งที่ 1 และ 2 ทำให้ค่า EC เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากดินก่อนปลูก และเมื่อใส่แหนแดงครั้งที่ 3 พบว่าทำให้ค่า EC สูงขึ้นมากโดยสูงกว่าครั้งที่ 1และ 2 เฉลี่ย 0.3 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุ เมื่อใส่แหนแดงแห้งครั้งแรกที่อัตรา 0-10 กรัม พบว่าดินหลังปลูกมีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงเล็กน้อยจากดินก่อนปลูก แต่เมื่อใส่แหนแดงแห้งเพิ่มขึ้นที่อัตรา 15-20 กรัมพบว่าดินหลังปลูกมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับเท่ากันกับดินก่อนปลูก และเมื่อใส่ที่อัตราสูงขึ้นตั้งแต่ 30-60 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จะทำให้ดินหลังปลูกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากดินก่อนปลูกประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุในดินเมื่อใส่แหนแดงแห้งในการปลูกพืชครั้งที่ 2 พบว่าดินหลังปลูกครั้งที่ 2 มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ 1 เฉลี่ย 0.55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใส่แหนแดงแห้งในการปลูกพืชครั้งที่ 3 ที่อัตรา 0-10 15-20 และ 30-60 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ดินหลังปลูกมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากครั้งที่ 2 เฉลี่ย 0.43 1.30 และ 2.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 43 และ 44) จะเห็นได้ว่ารูปแบบการเพิ่มขึ้นของระดับอินทรียวัตถุเมื่อใส่แหนแดงแห้งระดับต่างๆ จำนวน 3 ครั้ง สามารถนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชผักในพื้นที่ที่ดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันได้ โดยหากต้องการให้ได้ผลผลิตพืชผักที่ดีจะต้องยกระดับปริมาณอินทรียวัตถุในดินให้

ลิขสิทธิ์การเกษตร

สูงขึ้นถึงระดับ 3.0 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้ดินมีศักยภาพสูงในการปลดปล่อยธาตุอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของพืชรากตื้นเช่นพืชผักได้ (โสพส, 2559)

(3.2) การเจริญเติบโตของผักคะน้า

เมื่อปลูกผักคะน้าครั้งที่ 1 พบว่าการใส่แหนแดงแห้งที่อัตรา 5-60 กรัม ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งผักคะน้าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่แตกต่างจากไม่ใส่แหนแดงแห้งที่มีน้ำหนักสดต่ำกว่า และเมื่อปลูกครั้งที่ 2 พบว่าการใส่แหนแดงแห้งอัตรา 40 กรัมให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด เท่ากับ 113 และ 8.67 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แตกต่างจากการใส่แหนแดงอัตราอื่นๆ รองลงมาคือ การใส่แหนแดงแห้งอัตรา 30 กรัม ที่ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 87.7 และ 7.66 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนการใส่แหนแดงแห้งที่อัตราต่ำ 10-20 กรัม และที่อัตราสูง 50-60 กรัม ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่ำกว่าและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าการใส่แหนแดงแห้งที่อัตราต่ำ 10-20 กรัม มีปริมาณธาตุอาหารน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ส่วนการใส่แหนแดงแห้งที่อัตราสูง 50-60 กรัม คาดว่ามีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอแก่พืชแต่มีสมบัติทางกายภาพของดินไม่เหมาะสม เนื่องจากการใส่แหนแดงแห้งที่อัตราสูงจะทำให้ดินปลูกมีการอุ้มน้ำมากเกินไป (ศิริลักษณ์ และคณะ, 2558) ทำให้รากพืชอาจมีการขาดอากาศในการหายใจได้ ส่วนการปลูกครั้งที่ 3 พบว่าการใส่แหนแดงแห้งอัตรา 30 และ 40 กรัม ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงใกล้เคียงกัน ไม่ต่างกันทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดเท่ากับ 71.3 และ 65.2 กรัมต้น ตามลำดับ และมีน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 5.85 และ 5.32 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนการใส่แหนแดงแห้งที่อัตราต่ำกว่าและสูงกว่าอัตราดังกล่าวพบว่า ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งคะน้าต่ำกว่าเช่นเดียวกันกับการปลูกครั้งที่ 2 (ตารางที่ 45) และจากผลการทดลองปลูกคะน้าโดยการใส่แหนแดงแห้งอัตราต่างๆ ในดินปลูกนี้สามารถคัดเลือกช่วงอัตราการใส่แหนแดงแห้งที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบในแปลงทดลองต่อไป

4) ผลการใช้แหนแดงและปุ๋ยเคมีทางดินเพื่อยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในการผลิตผักคะน้าในแปลงทดลอง

ผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก จังหวัดชัยภูมิ พบว่า ดินมีค่า pH เป็นด่างเล็กน้อย เท่ากับ 7.7 มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.1 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ไม่เป็นดินเค็ม มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ เท่ากับ 1.18 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมากเท่ากับ 153 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับเหมาะสม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำและปานกลาง โดยมีค่าเท่ากับ 232 714 และ 155 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

(4.1) การเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหาร

เมื่อใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยทางดินอัตราต่างๆ ผลการเจริญเติบโตของผักคะน้าพบว่า การใส่แหนแดงร่วม กับปุ๋ยเคมีทางดินทุกอัตราให้น้ำหนักสดคะน้าสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีทางดินอย่างเดียว โดยการใส่แหนแดงร่วมกับ ปุ๋ยเคมีทางดิน 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้น้ำหนักสดคะน้าสูงสุด เท่ากับ 84.3 กรัมต่อต้น แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญรองลงมาคือการใส่แหนแดงร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำ โดยมีน้ำหนักสดคะน้าเท่ากับ 75.7 และ 52.1 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งการใส่แหนแดงร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดินจะช่วยส่งเสริมให้คะน้ามีจำนวนใบ และขนาดลำต้น เพิ่มขึ้นสูงกว่าการใส่

กรมวิชาการเกษตร

ปุ๋ยเคมีทางดินอย่างเดียว (ตารางที่ 46 และภาพที่ 31) และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบคะน้าร่วมด้วยพบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบในกรรมวิธีที่ใส่แหนแดงร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดินทุกอัตรามีความเข้มข้นสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี ทางดินอย่างเดียวทุกอัตราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบพบว่า ทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน ด้านความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบนั้นพบว่า การใส่แหนแดงร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดินทุกอัตรามีความเข้มข้นสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีทางดินอย่างเดียวเล็กน้อย ไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมที่มีความเข้มข้นโพแทสเซียมต่ำ (ตารางที่ 47) นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่แหนแดงอย่างเดียวหรือการใส่แหนแดงร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำทำให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนได้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวทุกอัตรา โดยมีการดูดใช้เท่ากับ 131 310 346 และ 237 มิลลิกรัมNต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำหนักแห้งของใบและความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบที่มีสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี ส่วนปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบพบว่า ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการดูดใช้ไนโตรเจนข้างต้น (ตารางที่ 48)

(4.2) ปริมาณผลผลิต

การใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินให้ผลผลิตผักคะน้าสูงสุดโดยมีผลผลิตเท่ากับ 2,423 และ 2,698 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือ การใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยมีผลผลิตเท่ากับ 1,669 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อคำนวณผลผลิตเพิ่มจากการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ พบว่า การใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ให้ผลผลิตเพิ่มสูงสุดเท่ากับ 203 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมี 50 และ 100เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำโดยมีผลผลิตเพิ่มสูงเท่ากับ 172 และ 87.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการใส่แหนแดงแห้งเพียงอย่างเดียวสามารถให้ผลผลิตเพิ่มจากการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำถึง 39.1 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 49)

(4.3) สมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดิน

เมื่อใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดินอัตราต่างๆ พบว่า มีผลต่อค่า pH ของดิน โดยการใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำทำให้ดินมีค่า pH ลดลง จากที่เป็นด่างเล็กน้อย(กรรมวิธีควบคุม) ลดลงเป็นกลาง ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวทุกอัตราและการใส่แหนแดงแห้งอย่างเดียว ไม่ทำให้ค่า pH ในดินเปลี่ยนแปลง ส่วนค่าการนำไฟฟ้านั้นพบว่า การใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีไม่ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าในดินมีการเปลี่ยนแปลงจากกรรมวิธีควบคุม ด้านปริมาณอินทรียวัตถุนั้น พบว่า การใส่แหนแดงแห้งอย่างเดียว และการใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยเคมีทางดินอย่างเดียวทุกอัตราอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าการใส่แหนแดงแห้งลงในดินจะสามารถทำให้ระดับอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นกว่าดินก่อนปลูกแต่ต้นคะน้ายังมีการตอบสนองต่อปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใส่ในอัตรา 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ เนื่องจากการใส่แหนแดง 0.5 กิโลกรัมลงไปในดินที่มีอินทรียวัตถุต่ำสามารถยกระดับอินทรียวัตถุในดินได้ แต่ยังไม่เพียงพอ จึงต้องมีการใส่เพิ่มในทุกครั้งที่มีการปลูกพืชจนกระทั่งอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นถึง 3 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเพียงพอต่อการทดแทน

กรมวิชาการเกษตร

ปุ๋ยเคมี (ศิริลักษณ์ และคณะ, 2561) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในกรรมวิธีที่ใส่แหนแดงแห้งร่วมปุ๋ยเคมีทางดินทุกอัตรามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวทุกอัตราซึ่งอาจเป็นเพราะแหนแดงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง ขณะที่ผักคะน้ามีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่น้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียม จึงทำให้คงเหลือความเป็นประโยชน์ในดินสูง ส่วนปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่าการใส่ปุ๋ยทุกกรรมวิธีมีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 50)

2.3 การเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้ธาตุฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

1) ผลการทดสอบหาระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพห้องปฏิบัติการ

เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จำนวน 4 สกุล คือ *Fischerella* sp. DASH04101, *Hapalosiphon* sp. DASH05101, *Nostoc* sp. DASH06101 และ *Stigonema* sp. DASH09101 ในอาหารเหลวปราศจากไนโตรเจน สูตร BG-11 ที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน 11 ระดับ (0-250 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่า *Hapalosiphon* sp. DASH05101 สามารถเพิ่มปริมาณได้ดีที่ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูง คือ ที่ระดับ 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 0.408 และ 0.452 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วน *Fischerella* sp. DASH04101 และ *Stigonema* sp. DASH09101 สามารถเพิ่มปริมาณได้ดีที่ช่วงระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสปานกลางถึงสูง คือ ตั้งแต่ 100-250 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้น้ำหนักแห้งสาหร่ายไม่แตกต่างกันในช่วงความเข้มข้นดังกล่าว ส่วน *Nostoc* sp. DASH06101 สามารถเพิ่มปริมาณได้ดีที่ช่วงระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำถึงสูง ตั้งแต่ 10-200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 51 และ ภาพที่ 32) จากผลการทดลองจะเห็นว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกลุ่มสกุลที่มีลักษณะสัณฐานวิทยาแบบแตกแขนง คือ สกุล *Fischerella* sp., *Hapalosiphon* sp. และ *Stigonema* sp. เจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสปานกลางถึงสูง ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีลักษณะสัณฐานวิทยาแบบไม่แตกแขนง คือ สกุล *Nostoc* sp. จะเจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำถึงสูง ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการคัดเลือกสกุลของสาหร่ายสำหรับนำไปใช้ในการเพิ่มปริมาณสาหร่ายในการทดลองต่อไป

2) สมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในตัวอย่างดินนาและปุ๋ยหมักมูลสัตว์

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวอย่างดินนาและปุ๋ยหมักมูลสัตว์ พบว่า ในปุ๋ยหมักมูลหมูมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่ามูลไก่ประมาณ 3.27 เท่า คือ 100,250 และ 30650 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 52) และสารละลายดินนาที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:10 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำมาก เท่ากับ 0.34 และ 0.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อวัดที่อัตราส่วนของดินต่อน้ำเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1:20 และ 1:30 พบว่า ทั้งสองอัตรามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดปริมาณในสารละลายดินได้ (ตารางที่ 53) ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสารละลายดินจึงมีไม่เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จึงจำเป็นต้องหาแหล่งฟอสฟอรัสจากปุ๋ยหมักมูลสัตว์เพื่อใช้ในการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

กรมวิชาการเกษตร

ปุ๋ยหมักมูลหมูและปุ๋ยหมักมูลไก่ มีค่า pH เป็นกรดปานกลาง และเป็นด่างปานกลาง ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้าพบว่า ในปุ๋ยหมักมูลหมูมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักมูลไก่แสดงให้เห็นว่าเมื่อปุ๋ยหมักมูลหมูละลายน้ำแล้วจะแตกตัวเป็นไอออนที่พืชใช้เป็นธาตุอาหารได้ดีกว่า ด้านปริมาณอินทรียวัตถุพบว่าในปุ๋ยหมักมูลไก่มีปริมาณสูงกว่าปุ๋ยหมักมูลหมู ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบว่าในปุ๋ยหมักมูลหมูมีปริมาณสูงกว่าปุ๋ยหมักมูลไก่ (ตารางที่ 53) และเมื่อนำปุ๋ยหมักทั้งสองชนิดมาละลายน้ำในอัตราส่วนต่างๆ และทำการวัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า สารละลายปุ๋ยหมักมูลหมูในทุกอัตราส่วนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าสารละลายปุ๋ยหมักมูลไก่ อย่างไรก็ตามพบว่าสารละลายปุ๋ยหมักทั้งสองชนิด มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพียงพอสำหรับใช้เป็นแหล่งฟอสฟอรัสในการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพดินนาขังน้ำได้

3) ผลการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพดินนาขังน้ำโดยใช้ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

เมื่อทำการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพดินนาขังน้ำที่ทำการปรับระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสารละลายดินโดยใช้ปุ๋ยหมักมูลหมู และปุ๋ยหมักมูลไก่ ให้มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการเพิ่มปริมาณสาหร่ายที่ระยะเวลา 45 วัน พบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยหมักมูลหมูร่วมกับใส่หัวเชื้อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 สามารถเพิ่มปริมาณสาหร่ายได้สูงที่สุด แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 9.8×10^6 cfu/ml รองลงมาคือกรรมวิธีการใส่ปุ๋ยหมักมูลหมูร่วมกับใส่เชื้อสาหร่าย *Nostoc* sp. DASH N06151 และการใส่ปุ๋ยหมักมูลหมูร่วมกับใส่เชื้อสาหร่าย *Calothrix* sp. DASH02101 โดยมีปริมาณสาหร่าย เท่ากับ 5.8×10^6 และ 4.3×10^6 cfu/ml ตามลำดับ(ตารางที่ 54) จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับ Reynaud and Roger (1978) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยพืชสดจะให้ผลผลิตน้ำหนักมวลชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว ส่วนกรรมวิธีการใส่เชื้อสาหร่ายอย่างเดียวทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าทำให้สารละลายดินมีปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใส่ปุ๋ยหมักมูลไก่ร่วมกับใส่เชื้อสาหร่าย และการไม่ใส่เชื้อสาหร่าย(กรรมวิธีควบคุม) ตามลำดับ

4) ผลการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในสภาพดินนาขังน้ำโดยใช้ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ในสภาพเรือนทดลอง

เมื่อทำการเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในบ่อปูนซีเมนต์ ที่ระยะเวลา 45 วัน พบว่า ทุกกรรมวิธีเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งให้ผลไม่สอดคล้องกันกับในสภาพห้องปฏิบัติการ เนื่องจากตรวจพบว่า ในขณะที่สาหร่ายกำลังเจริญเติบโตมีหนอนแดงซึ่งเป็นตัวอ่อนของริ้นน้ำจืดเข้าม้วนทำลายเซลล์สาหร่ายจึงทำให้สาหร่ายมีปริมาณลดลง แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยหมักมูลหมู และการใส่ปุ๋ยหมักมูลไก่ร่วมกับใส่สาหร่าย 2 สายพันธุ์ ทำให้ปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีอื่นๆ เพียงเล็กน้อย(ตารางที่ 55 และ ภาพที่ 33) ด้านปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า การใส่หัวเชื้อสาหร่ายมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม การใส่ปุ๋ยหมักมูลหมูหรือการใส่ปุ๋ยหมักมูลไก่อย่างเดียวมี

กรมวิชาการเกษตร

ปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอินทรียวัตถุเดิมที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักดังกล่าว ไม่ใช่เป็นผลจากการเพิ่มปริมาณสาหร่ายเนื่องจากข้อมูลมีปริมาณสาหร่ายไม่แตกต่างกัน และเมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมักทั้งสองชนิดร่วมกับใส่เชื้อสาหร่าย 2 สกุล พบว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยหมักอย่างเดียวเพียงเล็กน้อยไม่แตกต่างกัน

2.4 การใช้สารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแหนแดงเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตพืช

1) องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัด BGA

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสารสกัด BGA พบว่า สารสกัด BGA มีค่า pH เป็นกลาง มีปริมาณกรดอะมิโนในรูปของกรดอะมิโนอิสระ17 ชนิดรวมเท่ากับ 255.93 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 56) ซึ่งกรดอะมิโนอิสระ(free amino acid) นี้ สามารถใช้เป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้และยังทำหน้าที่คล้ายเป็นสารคีเลต โดยสามารถรวมตัวกับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกต่างๆ ทำให้ธาตุอาหารไม่ตกตะกอน ละลายน้ำได้ดี พืชสามารถดูดใช้ผ่านทางรากหรือใบได้สะดวกมากขึ้น (El-Fouly *et al*., 1997; Lindsay, 1974; Cakmak *et al*., 1994) ซึ่งชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัด BGA พบว่า มีปริมาณและองค์ประกอบคล้ายกันกับสารสกัดเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* และสารสกัดจากสาหร่ายทะเล (Shaaban, 2001; Sivasankari *et al*., 2005) ส่วนในด้านความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองอยู่เพียงเล็กน้อย ด้านปริมาณสารคล้ายฮอร์โมนพืช พบว่าในสารสกัด BGA มีปริมาณ Free IAA และ Free CKs(Cytokinins) เท่ากับ 0.025 และ 0.013 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 57) ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หากมีการนำไปใช้ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมอาจช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่พืชได้

2) ผลของสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตการดูดใช้ธาตุอาหารและผลผลิตของผักกวางตุ้ง

(2.1) การเจริญเติบโต

จากการทดลองฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตราต่างๆ ให้แก่ผักกวางตุ้งเมื่อผักกวางตุ้งเจริญเติบโตอายุ 42 วันพบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA เข้มข้น 20เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทำให้ผักกวางตุ้งมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ สูงที่สุด เท่ากับ 111 กรัมต่อต้น 10.4 กรัมต่อต้น 16 ใบต่อต้น และ 166 ตารางเซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ และพบว่ากรรมวิธีดังกล่าวทำให้ผักกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตสูงกว่าการฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบอย่างเดียวที่อัตราเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีน้ำหนักสด 92.4 กรัมต่อต้น น้ำหนักแห้ง 9.85 กรัมต่อต้น จำนวนใบ 15 ใบต่อต้น และพื้นที่ใบ 128 ตารางเซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบให้แก่ต้นกล้ากล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตด้าน ความสูง ขนาดของลำต้น จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ให้แก่ต้นกล้ากล้วยได้ (ประไพและคณะ, 2560) ส่วนการฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบที่อัตราสูงขึ้น (37.5 และ 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร) พบว่ามีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสมของสารสกัด BGA และปุ๋ยทางใบในอัตราส่วนดังกล่าวที่

กรมวิชาการเกษตร

ส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชส่วนการฉีดพ่นสารสกัด BGA อย่างเดียวพบว่าให้ผลการเจริญเติบโตสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมและให้ผลเทียบเท่ากับการฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบอย่างเดียวที่อัตรา 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (ตารางที่ 58 และภาพที่ 34) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่สารสกัด BGA มีองค์ประกอบของสารสำคัญต่างๆ ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชได้ จึงส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้เพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Mohsen *et al*. (2016) ที่พบว่า การใช้สารสกัด BGA 2 ชนิด คือ *Anabaena oryzae* SOS13 และ *Nostocmuscorum* SOS14 ฉีดพ่นทางใบให้แก่ผักกาดหอมที่ปลูกในดินทรายร่วมกับปุ๋ยทางดินช่วยเพิ่มความสูง จำนวนใบ และน้ำหนักหัว ให้แก่ผักกาดหอมได้และยังให้ผลสอดคล้องกับ Shaaban (2001) ที่ทดสอบการฉีดพ่นสารสกัดสาหร่ายสีเขียว(chlorella extract) ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางดินในข้าวสาลีพบว่า ทำให้ข้าวสาลีมีน้ำหนักแห้งของต้นเพิ่มขึ้นจากการฉีดพ่นด้วยน้ำเปล่าอย่างเดียวถึง 81.41 เปอร์เซ็นต์

(2.2) การดูดใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง

(2.2.1) ปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมด

เมื่อฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตราต่างๆ เปรียบเทียบกับการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอย่างเดียวและกรรมวิธีควบคุมพบว่า ผักกวางตุ้งมีการสะสมมวลชีวภาพแห้งไม่แตกต่างกัน โดยการฉีดพ่นสารสกัด BGA อย่างเดียว การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 และ 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร มีปริมาณน้ำหนักแห้งเท่ากับ 11.9, 12.2 และ 10.7 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 59)

(2.2.2) การดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

ผลการดูดใช้ไนโตรเจนของผักกวางตุ้ง พบว่า ทุกกรรมวิธีมีปริมาณการสะสมไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน โดยการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอย่างเดียวที่อัตรา 25 และ 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร มีปริมาณการสะสมไนโตรเจนเท่ากับ 253 และ 245 มิลลิกรัม N ต่อต้น ตามลำดับ และเมื่อฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบทั้งสองอัตราพบว่า มีปริมาณการสะสมไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 275 และ 248 มิลลิกรัม N ต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 60) ซึ่งการดูดใช้ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในสารสกัด BGA ที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากกรดอะมิโนอิสระบางชนิดที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัด BGA ที่อยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Yamagato *et al.*, 2001; Tegeder and Rentsch, 2010) ด้านการดูดใช้ฟอสฟอรัสพบว่า ทุกกรรมวิธีมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกันกับไนโตรเจน โดยการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอย่างเดียวที่อัตรา 25 และ 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร มีปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสเท่ากับ 56.4 และ 50.3 มิลลิกรัม P ต่อต้น ตามลำดับ และเมื่อฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบทั้งสองอัตราดังกล่าวพบว่า มีปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 62.0 และ 64.7 มิลลิกรัม P ต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 61) ซึ่งปริมาณการสมสะที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยนั้น คาดว่าเป็นผลมาจากฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสารสกัด BGA เช่นเดียวกันกับไนโตรเจน ส่วนการดูดใช้โพแทสเซียมพบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA อย่างเดียว และการฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร มีผลทำให้การดูดใช้โพแทสเซียมในผักกวางตุ้งสูงกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณการสะสมเท่ากับ 371 และ 344 มิลลิกรัม K ต่อ

กรมวิชาการเกษตร

ต้น ตามลำดับ ซึ่งการดูดใช้ส่วนใหญ่จะพบสะสมมากในส่วนของใบและลำต้นซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีอื่นเช่นเดียวกัน ส่วนการฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบในอัตราที่สูงขึ้น (37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร) มีผลทำให้การดูดใช้โพแทสเซียมลดลง โดยมีปริมาณการสะสมเท่ากับ 294 มิลลิกรัม K ต่อต้น (ตารางที่ 62)

(2.2.3) การดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียม

การดูดใช้แคลเซียมพบว่า ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับการดูดใช้โพแทสเซียมโดยการฉีดพ่นสารสกัด BGA อย่างเดียว การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 และ 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ทำให้ผักกวางตุ้งมีการดูดใช้แคลเซียมสูงใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีการดูดใช้เท่ากับ 300 307 และ 289 มิลลิกรัม Ca ต่อต้น ตามลำดับ แต่แตกต่างจากการฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญที่มีการดูดใช้แคลเซียมต่ำกว่า (ตารางที่ 63) ด้านผลการดูดใช้แมกนีเซียมพบว่า ทุกกรรมวิธีมีการดูดใช้ไม่แตกต่างกันแต่พบว่า มีการดูดใช้แมกนีเซียมสะสมในส่วนของลำต้นในกรรมวิธีที่ใช้สารสกัด BGA อย่างเดียว และการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร สูงกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 64)

จากผลการดูดใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองของผักกวางตุ้งจะเห็นได้ว่า การใช้สารสกัด BGA และการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร สามารถช่วยเพิ่มการดูดใช้โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมให้แก่ผักกวางตุ้งได้ เนื่องจากสารสกัด BGA มีองค์ประกอบของกรดอะมิโนอิสระซึ่งทำหน้าที่คล้ายเป็นสารคีเลตธรรมชาติ เมื่อรวมกับธาตุอาหารที่มีประจุบวกจะมีคุณสมบัติเป็นคีเลตชนิดกรดอะมิโนที่มีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็กสามารถแทรกซึมผ่านช่องเปิดของใบได้ง่าย และเมื่อเข้าไปในเซลล์พืชจะแตกตัวให้พืชดูดซึม (absorption) ธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (Sekhon, 2003) อีกทั้งกรดอะมิโนอิสระดังกล่าวเมื่อเข้าไปในเซลล์พืชจะสามารถเคลื่อนย้ายไปยังรากและทำหน้าที่คล้ายกับเป็น phytosiderophores ที่จะช่วยดูดซึมธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมผ่านทางขนรากให้พืชนำไปใช้ได้สะดวกมากขึ้นจึงทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารพืชมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Lindsay, 1974; Cakmak *et al*., 1994; Marschner and Roemheld, 1996; Shaaban and Mobarak, 2000)

(2.3) ผลผลิตของผักกวางตุ้ง

ผลการทดสอบการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อปริมาณผลผลิตพบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGAร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตรให้ผลผลิตของผักกวางตุ้งสูงที่สุด เท่ากับ 2,608 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การฉีดพ่นด้วยสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร มีผลผลิตเท่ากับ 2,512 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่แตกต่างจากการฉีดพ่นด้วยปุ๋ยทางใบอย่างเดียวทั้งสองอัตราที่ให้ผลผลิตต่ำกว่า ส่วนการฉีดพ่นสารสกัด BGA อย่างเดียวพบว่าให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม (ตารางที่ 65) และเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของผลผลิตจากกรรมวิธีควบคุมพบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบอัตรา 25 และ 37.5 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตรให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุมเท่ากับ 66.0 และ 59.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 66) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของผลผลิตดังกล่าวสอดคล้องกันกับผลการทดลองของ Mohsen *et al*. (2016) ที่ใช้สารสกัด BGA ทั้ง 2 ชนิด คือ *Anabaena oryzae* SOS13 และ *Nostoc- muscorum* SOS14 ฉีดพ่นทางใบให้แก่ผักกาดหอมที่ปลูกในดินทรายร่วมกับปุ๋ยทางดินพบว่า

กรมวิชาการเกษตร

ทำให้ผักกาดหอมมีผลผลิตเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม(ฉีดพ่นด้วยน้ำ) เท่ากับ 58.5 และ 46.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

3) ผลของการใช้สารสกัดแหนแดงและสารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าและผักสลัดคอส

(3.1) ผลของสารสกัดแหนแดงต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าผัก

ผลการคัดเลือกสารสกัดแหนแดงที่ได้จากวิธีการสกัดต่างๆ ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกวางตุ้ง พบว่า สารสกัดแหนแดงที่ได้จากวิธีการใช้แบคทีเรียช่วยย่อยเมื่อนำไปแช่เมล็ดผักกวางตุ้งสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตให้แก่ต้นกล้าผักกวางตุ้งได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ และน้ำกลั่น (ภาพที่ 34) ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากในแหนแดงมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่พอประมาณ อีกทั้งยังมีส่วนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งอยู่ในโพรงใบแหนแดงและนอกจากนี้ยังมีสารคล้ายฮอร์โมนพืชและกรดอะมิโนต่างๆ เป็นองค์ประกอบในแหนแดง จึงทำให้มีผลต่อการกระตุ้นให้ต้นกล้าเจริญเติบโตได้เพิ่มขึ้น

(3.2) ผลการทดสอบใช้สารสกัดแหนแดงและสารสกัด BGA ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักคะน้า

เมื่อนำสารสกัดแหนแดงที่ใช้แบคทีเรียช่วยย่อยและสารสกัด BGA ฉีดพ่นให้แก่คะน้าในกระถางทดลอง ที่ใส่แหนแดงแห้งอัตรา 35 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม พบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA ให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งคะน้าสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเท่ากับ 69.3 และ 6.14 กรัมต่อต้น ส่วนการฉีดพ่นสารสกัดแหนแดงร่วมกับสารสกัด BGA ฉีดพ่นสารสกัดแหนแดง ให้น้ำหนักสดดีกว่าการฉีดพ่นด้วยน้ำ(กรรมวิธีควบคุม) แต่น้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 66) ทั้งนี้อาจเนื่องจากโปรตีนที่มีในสารสกัด BGA มีปริมาณความเข้มข้นรวมสูงกว่า เนื่องจากมีองค์ประกอบของโปรตีนสูงกว่าสารสกัดแหนแดงดังนั้นจึงได้คัดเลือกสารสกัด BGA เพื่อใช้ทดสอบการส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตแก่พืชผักร่วมกับปุ๋ยทางดิน

(3.3) ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าและผักสลัดคอส

(3.3.1) การเจริญเติบโตและผลผลิตผักคะน้า

ผลการเจริญเติบโตของคะน้า พบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่ปุ๋ยทางดินทุกอัตราให้ผลการเจริญเติบโตของคะน้าสูงกว่าการใส่ปุ๋ยทางดินอย่างเดียวที่อัตราเดียวกัน โดยการฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่ปุ๋ย NPK 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้น้ำหนักสดรวมสูงใกล้เคียงกันไม่ต่างกันทางสถิติ เท่ากับ 43.4 และ 46.3 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แต่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ย NPK 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียวที่มีน้ำหนักสดรวมต่ำกว่า เท่ากับ 26.0 27.2 และ 24.2 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนการฉีดพ่นสารสกัด BGA อย่างเดียวไม่ใส่ปุ๋ยทางดินพบว่า ให้น้ำหนักสดรวมไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยทางดินทุกอัตรา และจากข้อมูลการส่งเสริมการเจริญเติบโตของคะน้าเมื่อใช้สารสกัด BGA ฉีดพ่นทางใบ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มขนาดของลำต้น น้ำหนักสดใบ น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักสดก้าน ได้ (ตารางที่ 67) ด้านผลผลิตคะน้าเมื่อปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พบว่าการฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่ปุ๋ย

กรมวิชาการเกษตร

NPK ทางดิน 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ให้ผลผลิตคะน้าสูงเทียบเท่ากันไม่ต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยอย่างเดียวทุกอัตราซึ่งมีผลผลิตต่ำกว่า โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 1,362 1,568 และ 1,520 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ หรือมีผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ย NPK 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำถึง 58.5 82.5 และ 76.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากข้อมูลจะเห็นว่าการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ย NPK 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ให้ผลผลิตคะน้าเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้ร่วมกับปุ๋ย NPK 100 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของสารสกัด BGA ที่ฉีดพ่นทางใบจึงช่วยให้พืชเจริญเติบโตและมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถลดการใช้ปุ๋ย NPK ทางดินลงได้ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 68)

(3.3.2) การเจริญเติบโตและผลผลิตผักสลัดคอส

ผลการเจริญเติบโตของสลัดคอส พบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่ปุ๋ย NPK ทางดิน 50 75 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ และการใส่ปุ๋ย NPK ทางดิน 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเจริญเติบโตของสลัดคอสสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดรวม เท่ากับ 123 124 134 และ 128 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของผักคะน้าข้างต้น (ตารางที่ 69) ส่วนผลผลิต พบว่า การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่ปุ๋ย NPK 100 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 4,853 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การฉีดพ่นสารสกัด BGA ร่วมกับการใส่ปุ๋ย NPK 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และการใส่ปุ๋ย NPK 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างเดียว ซึ่งไม่ต่างกันทางสถิติ โดยมีผลผลิตเท่ากับ 4,496 3,988 และ 3,612 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลผลิตที่เพิ่มจากการใช้สารสกัด BGA พบว่า การใช้สารสกัด BGA ร่วมกับการใส่ปุ๋ย NPK 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ มีแนวโน้มให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย NPK 100 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 34.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการฉีดพ่นสารสกัด BGA อย่างเดียว ไม่ใส่ปุ๋ยทางดินให้ผลการเจริญ เติบโตสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมเล็กน้อย แต่ต่ำกว่าการใช้ร่วมกับปุ๋ยทางดินทุกอัตรา (ตารางที่ 70 ภาพที่ 35)

2.5 การศึกษาจุลินทรีย์กลุ่มละลายฟอสเฟตในดินที่มีปัญหาในการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต

1) ทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์

นำจุลินทรีย์ *Taralomyces macrosporus* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตของกรมวิชาการเกษตรมาใช้ในการทดลอง เพื่อศึกษาการละลาย $AlPO_4$ และ $FePO_4$ โดยการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Pikovskaya ที่ดัดแปลง โดยใช้ $AlPO_4$ และ $FePO_4$ เป็นแหล่งฟอสเฟตตามลำดับ (ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร) พบว่า *T. macrosporus* สามารถละลาย $AlPO_4$ ด้วยการปลดปล่อยกรด ซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อลดลง (ภาพที่ 36) โดยสามารถ ละลายฟอสเฟตจนอาหารเลี้ยงเชื้อมีฟอสเฟตที่ละลาย ประมาณ 60 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในช่วงวันที่ 3 เป็นต้นไปจนถึงวันที่ 7 ซึ่งมีค่าคงที่แล้วสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดด่างที่มีค่าคงที่ประมาณ 4.6 ตั้งแต่วันที่ 2 ของการเพาะเลี้ยง เช่นเดียวกันกับการละลาย $FePO_4$ โดย *T. macrosporus* สามารถละลายฟอสเฟตจนอาหารเลี้ยงเชื้อมีฟอสเฟตที่ละลายประมาณ 60-70 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในช่วงวันที่ 3 เป็นต้นไปจนถึงวันที่ 7 ซึ่งมีค่าคงที่แล้วสอดคล้องกับค่า

กรมวิชาการเกษตร

ความเป็นกรดด่างที่มีค่าคงที่ประมาณ 4.7 ตั้งแต่วันที่ 2 ของการเพาะเลี้ยง(ภาพที่ 37) ซึ่ง *T. macrosporus* มีความ สามารถละลายฟอสเฟตทั้งสองรูปนี้ได้ แม้ว่า $AlPO_4$ และ $FePO_4$ เป็นฟอสเฟตรูปที่ละลายได้ยากก็ตาม

การศึกษาชนิดของไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อต่อการละลายฟอสเฟตของ *T. macrosporus* โดยการเพาะ เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NBRIY พบว่า *T. macrosporus* สามารถละลายฟอสเฟตได้ไม่แตกต่างกันหลังจากเพาะ เลี้ยงไป 3 วัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตละลายฟอสเฟตออกมากได้เต็มที่ แม้ว่าจะใช้แหล่งของไนโตรเจนที่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 346.18 ถึง 353.14 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 38) ด้วยลักษณะดังกล่าวนี้ หากมีการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในสภาพแปลงทดลองที่อาจมีแหล่งของไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ทั้งจากการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรหรือจากการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติจึงมีโอกาสที่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตนี้จะสามารถดำรงชีพและยังคงมีกิจกรรมการละลายฟอสเฟตที่ดีในสภาพ พื้นที่เพาะปลูกจริง

อุปสรรคหนึ่งของการละลายฟอสฟอสเฟต คือ การเกิดสภาพบัฟเฟอร์ในดินอันเกิดจากเกลือแคลเซียม ทำให้การทำงานของกรดที่ปลดปล่อยโดยจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตลดประสิทธิภาพลง (Wilson and Ellis, 1984) จึงได้ศึกษาผลของสารประกอบแคลเซียม ได้แก่ calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$) calcium carbonate ($CaCO_3$) และ calcium chloride ($CaCl_2$) ที่ระดับความเข้มข้น 0 0.5 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NBRIY เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า การละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตลดลงเมื่อความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น(ภาพที่ 39) และเมื่อเกลือแคลเซียมทั้งสามชนิดมีความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้ฟอสเฟตที่ถูกละลายออกมาลดลงกว่าครึ่งหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีเกลือแคลเซียม หากความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมสูงถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร การละลายฟอสเฟตจาก $Ca(OH)_2$ จะลดลงมาก ในขณะที่ $CaCO_3$ และ $CaCl_2$ การละลายฟอสเฟตลดลงน้อยกว่า $Ca(OH)_2$ อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของเกลือ แคลเซียมทั้งสามชนิดมากถึง 2.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผลของ $Ca(OH)_2$ และ $CaCO_3$ สามารถทำให้ไม่เกิดการละลายฟอสเฟต แต่ในกรณีของ $CaCl_2$ ยังคงมีการละลายฟอสเฟตเหลืออยู่ จากผลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าเกลือแคลเซียมในรูป $CaCl_2$ และ $Ca(OH)_2$ ละลายฟอสเฟตได้มากกว่า $Ca(OH)_2$ ดังนั้นแม้ว่าจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตจะสามารถละลายฟอสเฟตได้ดีในสภาวะอื่นๆ แต่ถ้าหากมีเกลือแคลเซียมมากเกินไปความสามารถในการละลายฟอสเฟตก็จะลดลงจนอาจไม่เกิดขึ้นได้

เมื่อทดสอบจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *T. macrosporus* ในการอยู่อาศัยร่วมกับรากพืชเพื่อช่วยให้บริเวณรอบรากพืชเกิดกิจกรรมละลายฟอสเฟต โดยแช่เมล็ดข้าวโพดในสารแขวนลอยจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่มีปริมาณเซลล์ $3.2x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และกรรมวิธีควบคุมที่แช่เมล็ดข้าวโพดในน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นย้ายเมล็ดลงอาหารเลี้ยงเชื้อ Pikovskaya agar พบว่าเมล็ดที่แช่ในสารแขวนลอยจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตมีการละลายฟอสเฟต(ภาพที่ 40) แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตสามารถอยู่อาศัยร่วม กับข้าวโพดได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Nirbhavane และ Kale (2020) รายงานว่าการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทั้งรา และแบคทีเรีย ไม่ก่อผลลบต่อเมล็ด moth gram แต่ยังสามารถ ช่วยการงอกของรากอีกด้วย

กรมวิชาการเกษตร

เนื่องจากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *T. macrosporus* เป็นเชื้อราที่ต้องการออกซิเจนในการมีกิจกรรมต่างๆ อย่างพอเพียง หากใช้ในดินเพื่อการละลายฟอสเฟตแต่ในดินออกซิเจนมีปริมาณน้อยกว่าผิวดิน การละลายฟอสเฟตอาจมีประสิทธิภาพที่ลดลง ดังนั้นจึงคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจำนวน 2 ไอโซเลท คือ *Burkhoderia* sp. และ *Seratia marcescens* ที่มีความสามารถละลายแคล เซียมฟอสเฟตได้ดี (แต่ไม่มีกิจกรรมการละลาย $AlPO_4$ และ $FePO_4$) และสามารถดำรงชีพในสภาพออกซิเจนน้อยได้เพื่อมาช่วยชดเชยการละลายฟอสเฟตที่ลดลงจากการใช้เชื้อราเพียงอย่างเดียวได้ ทำการทดสอบโดยเพาะเมล็ดคะน้าลงในกระบะเพาะและใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตตามกรรมวิธีที่กำหนดโดยปรับปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อให้แต่ละชนิดมีปริมาณ 10^6 cfu/ml เป็นระยะเวลา 7 วันเก็บดิน 1 กรัม มาเพาะเลี้ยงในอาหาร Pikovskaya ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เพื่อตรวจสอบปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้น ผลจากการทดลองพบว่า ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวในแต่ละกรรมวิธีจะเกิดการผลิตกรดอินทรีย์ ทั้งกรดซิตริก กรดกลูโคนิก กรดซักซินิก กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดฟูมาริก และกรดซิตริก โดยในกรรมวิธีที่ 7 และ 8 พบปริมาณมากกรดอินทรีย์กว่ากรรมวิธีอื่นแต่ในกรรมวิธีอื่นพบการผลิตกรดอินทรีย์เพียงบางชนิดเท่านั้น(ตารางที่ 71) สอดคล้องกับ Park *et al*. (2010) พบว่าในการละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟต จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตผลิตกรดซิตริกเพื่อดำเนินกิจกรรมดังกล่าว ซึ่งผลิตได้ถึง 0.93 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

2) ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการผลิตพืชในระดับกระถางทดลอง

ปลูกคะน้าเพื่อทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการผลิตพืชในกระถางทดลอง โดยใช้ดินกรดที่ได้จากอำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก ซึ่งมีสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดิน ดังตารางที่ 72 ผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของคะน้าในส่วนของลำต้นและใบเป็นไปในทางเดียวกันคือ ในกรรมวิธีที่ 5 ใส่เชื้อ *Burkhoderia* sp. มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุดผลใกล้เคียงกับกรรมวิธีควบคุม แต่เมื่อใช้ร่วมกับ *T. macrosporus* และ *S. marcescens*(กรรมวิธีที่ 8) ก็มีผลทำให้การเจริญเติบโตของคะน้าได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่นไม่ว่าจะเป็นความสูง ขนาดลำต้น น้ำหนักสดต้น พื้นที่ใบ และน้ำหนักสดใบ ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธี ที่ 2 (*T. Macrosporus*) หรือกรรมวิธีที่ 7 (*Burkhoderia* sp.+ *S. marcescens*) (ตารางที่ 73) ในส่วนน้ำหนักสดของรากคะน้านั้น พบว่ากรรมวิธีที่ 8 ที่ใส่จุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดให้ผลสูงที่สุด คือ 6.13 กรัม และแตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่น้ำหนักรากแห้งพบว่า กรรมวิธีที่ 6 7 และ 8 ให้ผลสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่าง ระหว่าง 0.98-1.43 กรัม เมื่อนำรากของคะน้ามาบ่มในอาหารเหลว Pikovskaya เพื่อตรวจสอบการละลายฟอสเฟตพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตบริเวณรากคะน้าสามารถละลายฟอสเฟต ได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต(ตารางที่ 74) ยกเว้นกรรมวิธีที่ 5 (*Burkhoderia* sp.) แสดงให้เห็นถึงความ สามารถในการอาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง และสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของต้น คะน้าที่ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน จากผลผลิตคะน้าที่ได้พบว่ากรรม วิธีที่ 8 ทำให้การเจริญเติบโตของคะน้าสูงสุด แสดงให้เห็นว่าการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกัน 3 ชนิดนี้ สามารถเพิ่มผลผลิตพืชและจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตสามารถอยู่อาศัยบริเวณรากของคะน้า ทำให้บริเวณรากมีฟอสเฟตละลายออกมามากขึ้น ดังนั้น อาจใช้จุลินทรีย์ดังกล่าวในการผลิตพืชในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำอันเนื่องมาจากการถูกตรึง ในดินต่อไป

กรมวิชาการเกษตร

3) ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการผลิตพืชในระดับแปลงทดลอง

(3.1) ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการผลิตผักคะน้าในระดับแปลงทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกผักคะน้าในแปลงทดสอบที่อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายกพบว่าดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระดับต่ำ ปริมาณโพแทสเซียมในระดับปานกลาง และมีปริมาณไนโตรเจนในระดับสูง พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด $5.8x10^4$ cfu/g และจุลินทรีย์ ที่สามารถละลายฟอสเฟต 10^3 cfu/g (ตารางที่ 75)

จากการทดลองปลูกคะน้าที่ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร โดยการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และปรับปริมาณปุ๋ยเคมีฟอสเฟตเป็น 100 75 50 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดินตามกรรมวิธีที่กำหนด พบว่าการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมี ในกรรมวิธีที่ 7 ได้ผลสูงที่สุดไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำในกรรมวิธีที่ 8 คือ 64.46 และ 67.67 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แต่ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นคะน้า พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต 75 เปอร์เซ็นต์ตามค่าวิเคราะห์ดินในกรรมวิธีที่ 6 ให้ผลเช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ 7 และ 8 คือ 105.4 101.0 และ 105.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และปริมาณฟอสฟอรัสในต้นลดลงตามระดับของปุ๋ยเคมีฟอสเฟตที่ลดลง ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำที่สุดคือ 29.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เช่นเดียวกันกับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดิน พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินหลังการเก็บเกี่ยวในกรรมวิธีที่ 5 และ 6 ที่มีการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีฟอสเฟตอัตรา 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดิน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงที่สุด (ตารางที่ 76) การใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตตามค่าวิเคราะห์ดินทั้งที่ใส่และไม่ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพิ่มลงไปในกรรมวิธีที่ 7 และ 8 มีปริมาณจุลินทรีย์ลดลงแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ กรรมวิธีที่ใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตแต่ลดปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตลงเป็น 25 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดิน รวมถึงการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตแต่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีในกรรมวิธีที่4 3 และ 2 ตามลำดับ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 5 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า กรรมวิธีที่ 7 มีค่าสูงที่สุด คือ 19.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 6 คือ 17.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับในกรรมวิธีที่ 2 ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม ถึงแม้ว่าจะไม่ได้ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตเพิ่มขึ้นก็ตามอาจเกิดเนื่องจากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตทำกิจกรรมละลายฟอสฟอรัสในดินให้ออกมาจากดินได้

(3.2) ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการผลิตผักกาดในระดับแปลงทดลอง

จากผลของการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับการผลิตผักกาดในแปลงทดลอง โดยปลูกผัก กาดตามกรรมวิธีที่กำหนด ทำการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก (ตารางที่ 77) เพื่อกำหนดอัตราปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร และปรับปริมาณปุ๋ยเคมีฟอสเฟตเป็น 100 75 50 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามค่าวิเคราะห์ดินในกรรมวิธีที่ใช้ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต จากการทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ 6 7 และ 8 มีผลทำให้น้ำหนักสดต้นสูงที่สุดในช่วง 547.2-553.6 กรัมต่อต้น และแตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่ 2 ที่มีค่าต่ำที่สุดคือ 14.6 และ 24.8 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในส่วนของน้ำหนักสดรากพบว่า กรรมวิธีที่ 7 ทำให้น้ำหนักรากสูงที่สุด คือ 24.9 กรัมต่อต้น ซึ่งแตกต่างอย่างมี

กรมวิชาการเกษตร

นัยสำคัญกับกรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่จุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว คือ 0.9 กรัมต่อต้น ซึ่งการใส่จุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถเพิ่มมวลของต้นและรากได้ เมื่อพิจารณาค่าฟอสฟอรัสในต้นพบว่า กรรมวิธีที่ 8 มีค่าฟอสฟอรัสในต้นสูงที่สุด คือ 41.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 7 คือ 38.3 มิลลิกรัม และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในต้นลดลงเมื่อปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลดลงตามลำดับ ในกรรมวิธีควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำที่สุดคือ 21.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เมื่อพิจารณาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในดินรอบราก พบว่า การใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตรา 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปของค่าวิเคราะห์ดิน คือกรรมวิธีที่ 5 6 และ 7 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตสูงที่สุดเป็นไปในทิศทางเดียวกันอยู่ในช่วง log5.8-6.1 และ log4.9-5.1 cfu/g ตามลำดับ(ตารางที่ 78) ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มีการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและใส่ปุ๋ยเคมีมากพอที่ช่วยให้พืชเจริญเติบ โตได้ ส่งผลให้การเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์และพืชเกิดขึ้นได้ดีทำให้ปริมาณจุลินทรีย์โดยรอบรากเจริญได้มากกว่าในกรรมวิธีที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่า ทำให้เกิดการลายฟอสเฟตออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่ากรรมวิธีอื่นคือ 16.76 17.36 และ 15.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งในกรณีที่ใช้เพียงปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรเพียงอย่างเดียว มีปริมาณฟอสเฟตออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 12.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ แม้พืชจะให้ผลผลิตที่สูงแต่ความเป็นประโยชน์จากธาตุฟอสฟอรัสในดินน้อยกว่าการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต สอดคล้องกับ Wang *et al.* (2017) ที่ทดสอบจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในการผลิตผักกาดพบว่าสามารถส่งเสริมการเจริญของผักกาด โดยมีปริมาณ จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในดิน log4.9 cfu/g เช่นเดียวกัน

(3.3) ทดสอบผลของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตต่อการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวในระดับแปลง ทดลอง

จากการทดสอบการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในการผลิตข้าวโพดข้าวเหนียว โดยได้วิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ดินมีความเป็นกรดรุนแรง (pH 4.0) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตไม่มาก คือ 10^4 cfu/g ซึ่งโดยปกติดินที่อุดมสมบูรณ์จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในระดับ 10^8-10^9 cfu/g (ตารางที่ 79) ดำเนินการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวในแปลงทดลองตามกรรมวิธีที่กำหนดและใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และในกรรมวิธีที่ใส่จุลินทรีย์ละลาย ฟอสเฟตได้ปรับลดปุ๋ยฟอสเฟตเป็น 100 75 50 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ 7 และ 8 มีผลทำให้ต้นข้าวโพดข้าวเหนียวมีความสูงมากที่สุดคือ 173.8 และ 172.7 เซ็นติเมตร ตามลำดับ ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 6 คือ 169.7 เซ็นติเมตร แต่แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นพบว่ากรรมวิธีที่ 5 มีค่าสูงที่สุด คือ 3.40 เซ็นติเมตร ในส่วนของกรรมวิธีที่ 2 3 4 6 7 และ 8 มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 2.84-2.94 เซ็นติเมตร ยกเว้นกรรมวิธีควบคุมที่มีค่า๖ต่ำที่สุดคือ 2.21 เซ็นติเมตร (ตารางที่ 80) เมื่อนำข้าวโพดทั้งฝักรวมเปลือกมาชั่งน้ำหนักพบว่า กรรมวิธีที่ 5 และ 6 มีน้ำหนักฝักสูงที่สุดคือ 298.9 และ 279.5 กรัม รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 2 3 4 และ 7 มีน้ำหนักฝักอยู่ในช่วง 207.3-229.8 กรัม และแตกต่างจากกรรมวิธีที่ 8 ที่มีน้ำหนักฝัก 175.9 กรัม สำหรับความยาวฝัก พบว่า กรรมวิธีที่ 5 มีความยาวฝักสูงที่สุด คือ 34.5 เซ็นติเมตร แต่ความกว้างของฝักสูงสุดในกรรมวิธีที่ 7 และ 8 คือมีขนาด 5.42 และ 5.16 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 80)

กรมวิชาการเกษตร

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดิน พบว่า กรรมวิธีที่ 5 6 และ 7 มีปริมาณสูงกว่า log5.8 cfu/g และมีปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในดินสูงกว่า log_{10}4.9 cfu/g ซึ่งเป็นการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและปรับปริมาณปุ๋ยเคมีฟอสเฟตเป็น 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตแต่ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตในอัตราที่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณจุลินทรีย์ที่น้อยกว่า เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก็มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณจุลินทรีย์เช่นกัน คือกรรมวิธีที่ 5 และ 6 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดเท่ากับ 20.35 และ 20.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 4 และ 7 ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 19.03 และ 19.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 81)

2.6 การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้จุลินทรีย์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

1) ศึกษาการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้จุลินทรีย์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น

(1.1) สมบัติพื้นฐานของดิน

สมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลอง (ตารางที่ 82) พบว่าค่า pH ของดินอยู่ในช่วงเป็นกรดจัดถึงกรดอ่อน ปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ มีค่า 2.48-10.18 กรัมต่อกิโลกรัม จากผลการวิเคราะห์การแจกกระจายของอนุภาคดิน พบว่าดินที่ทำการศึกษาอยู่ในกลุ่มเนื้อดินปานกลาง อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดที่มาจากตะกอนเชิงเขา เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ชั้นเนื้อดิน พบว่าเป็นดินร่วนปนทราย หลังทำการทดลองได้เก็บดินในแต่ละกรรมวิธีมาทำการวิเคราะห์ธาตุอาหาร พบว่าปริมาณของอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าลดลงทุกกรรมวิธี แต่จะเห็นได้ว่าในกรรมวิธีที่ 4 5 6 และ 7 ปริมาณธาตุอาหารจะสูงกว่ากรรมวิธีที่เหลือ เนื่องจากในกรรมวิธีที่ 4 5 6 และ 7 มีการปลูกหญ้าแฝกร่วมด้วย จึงมีส่วนช่วยในการลดการสูญเสียหน้าดินและธาตุอาหารออกไปจากดิน ในการศึกษาการจำแนกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนทำการทดลองในบริเวณพื้นที่โดยรอบ พบว่าดินมีจำนวนสปอร์เฉลี่ย 5.84 สปอร์ต่อดิน 1 กรัม

(1.2) การสูญเสียของตะกอนดิน

ในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม 2560 ได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในบ่อดักตะกอนดินสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในช่วงที่มีฝนตกตลอดฤดูปลูก นำมาคำนวณค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำและตะกอนดินต่อพื้นที่ 1 ไร่ (ตารางที่ 83) พบว่าค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 30-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองคลุมดินและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีการสูญเสียน้ำไหลบ่าและหน้าดินออกจากพื้นที่น้อยที่สุดมีค่า 20.8 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 30-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองและหญ้าแฝกมีการสูญเสียหน้าดินน้อยที่สุด มีค่า 74.4 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่วิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำและหน้าดินออกจากพื้นที่มากที่สุด มีค่า 40.8 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และ 122.5 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อาจเป็นผลเนื่องมาจากในกรรมวิธีที่มีการปลูกหญ้าแฝกร่วมด้วยช่วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ลดการสูญเสียหน้าดินออกจากพื้นที่ได้ ซึ่งการที่รากหญ้าแฝกเจริญเติบโตและแพร่กระจายมากจะช่วยเพิ่มเสถียร ภาพใต้ผิวดินลดการสูญเสียดินได้ (Chaudhary *et al*., 2009) นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินออกจากพื้นที่เปรียบเทียบกับวิธีปฏิบัติของเกษตรกร พบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 30-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองคลุมดิน และหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่า 61 และ 51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กล่าวคือกรรมวิธีนี้ช่วยลดการสูญเสียหน้าดินได้ 39 เปอร์เซ็นต์ และลดการเกิดน้ำไหลบ่าได้ 49 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 84 และ ภาพที่ 42 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนสปอร์ น้ำหนักแห้งของรากหญ้าแฝกกับปริมาณน้ำไหลบ่าและตะกอนดิน พบว่าน้ำหนักแห้งของรากหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น น้ำหนักตะกอน และปริมาณน้ำที่สูญเสียออกจากพื้นที่จะลดลง (r = -0.74, -0.85) เช่นเดียวกับจำนวนสปอร์ถ้ามีจำนวนมากจะช่วยส่งเสริมการเจริญหญ้าแฝกได้ดี จึงช่วยลดปริมาณตะกอนดินและน้ำที่สูญเสียออกจากพื้นที่ได้ (r = 0.64, -0.81) จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีส่วนช่วยลดการสูญเสียหน้าดิน สอดคล้องกับงานวิจัย Wright and Upadhyaya (1998) รายงานว่า glomalin และเส้นใยรานอกรากพืชของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีอิทธิพลต่อความแข็งแรงคงทนของเม็ดดินจึงทำให้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันการกร่อนของดินได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับ Rillig *et al.* (2002) พบว่าเมื่อเส้นใยนอกรากพืชของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีการเจริญแพร่กระจายทั่วไปในดินอย่างสมบูรณ์แล้ว จะมีความหนาแน่นของเส้นใยได้มากถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยราทั้งหมดในดิน ดังนั้นเส้นใยนอกรากพืชของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจึงเปรียบเสมือนโครงข่ายของเส้นใยขนาดใหญ่ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมอนุภาคของดินให้เกิดการรวมตัวเป็นเม็ดดินและทำให้เกิดโครงสร้างดินที่แข็งแรง

เมื่อทำการเก็บตะกอนดินที่สูญเสียออกจากพื้นที่แล้ว ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักที่สูญเสียออกจากไปตะกอนดิน(ตารางที่ 85) พบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 30-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองคลุมดินและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา สูญเสียธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไปกับตะกอนต่ำที่สุด มีค่า 51.1 0.61 และ 1.94 กรัมต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่วิธีปฏิบัติของเกษตรกรมีการสูญเสียธาตุอาหารสูงที่สุด จึงมีการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยสูงตามไปด้วย จาก Table 8 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากพื้นที่เปรียบเทียบกับวิธีปฏิบัติของเกษตรกร พบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 30-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองคลุมดินและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียธาตุอาหารน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีการสูญเสียธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่า 39 39 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

(1.3) ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

น้ำหนักแห้งขององค์ประกอบผลผลิตที่ระดับความชื้นตอนเก็บเกี่ยว พบว่าในกรรมวิธีที่ 6 และ 7 มีน้ำหนักของผลผลิต ประกอบด้วยน้ำหนักของฝักปอกเปลือก เปลือก ซัง และเมล็ด ที่ระดับความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงที่สุด กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 30-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับการปลูกถั่วเหลือง

และหญ้าแฝก มีค่า 633 103 75 และ 615 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และกรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 30-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองคลุมดินและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีค่า 668 117 89 และ 672 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนฝักของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี มีค่า 830-1,185 ฝักต่อไร่ ยกเว้น วิธีปฏิบัติของเกษตรกร มีค่าน้อยที่สุด ได้แก่ 415 ฝักต่อไร่ (ตารางที่ 86)

2) ศึกษาการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้จุลินทรีย์ดินร่วมกับการอนุรักษ์ดินเพื่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

(2.1) สมบัติพื้นฐานของดิน

เปรียบเทียบตัวอย่างดินในสถานที่แปลงเกษตรกร บ้านซับลังกา ตำบลเกาะรัง อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี ในปีที่ 1 และ ปีที่ 2 ทั้งก่อนและหลังทำการทดลอง พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้งมีหินกรวดปน เป็นดินตื้น วิเคราะห์ตัวอย่างดินเพื่อนำมาประเมินธาตุอาหารให้แก่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าค่า pH ในดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดจัด มีปริมาณอินทรียวัตถุปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ ไนโตรเจนทั้งหมดและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำทั้งดินบนและดินล่าง ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง หลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ค่า pH ในดินบนและดินล่างของทุกกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดจัด ไนโตรเจนทั้งหมดและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำทั้งดินบนและดินล่าง ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่ต่ำมาก (ตารางที่ 87)

(2.2) การสูญเสียของตะกอนดิน

ในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2561 และเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2562 ได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในบ่อดักตะกอนดินในช่วงที่มีฝนตกตลอดฤดูปลูก นำมาคำนวณค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำและตะกอนดินต่อพื้นที่ 1 ไร่ (ตารางที่ 88) พบว่าในปีที่ 2 การสูญเสียน้ำและตะกอนดินมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในปีที่ 3 กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ร่วมกับการปลูกถั่วเขียวมีการสูญเสียน้ำไหลบ่าออกจากพื้นที่น้อยที่สุด มีค่า 35.59 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3 4 5 และ 6 ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่เพียงอย่างเดียว มีปริมาณน้ำไหลบ่าสูงที่สุด มีค่า 39.42 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองคลุมดินและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาตะกอนดินจะถูกพัดพาหรือสูญเสียออกจากพื้นที่น้อยที่สุดมีค่า 0.067 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ เพียงอย่างเดียวมีค่าเฉลี่ยการสูญเสียหน้าดินออกจากพื้นที่มากที่สุด มีค่า 0.202 กิโลกรัมต่อไร่ อาจเป็นผลเนื่องมาจากในกรรมวิธีที่มีการปลูกหญ้าแฝกร่วมด้วยจะช่วยลดการสูญเสียหน้าดินออกจากพื้นที่ได้ ซึ่งการที่รากหญ้าแฝกเจริญเติบโตและแพร่กระจายมากจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพใต้ผิวดิน ลดการสูญเสียดินได้ (Chaudhary et al., 2009) จาก ตารางที่ 89 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินออกจากพื้นที่เปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่เพียงอย่างเดียว พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝกที่มี

กรมวิชาการเกษตร

การใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียตะกอนดินน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่เพียงอย่างเดียว มีค่า 33 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือกรรมวิธีนี้ช่วยลดการสูญเสียหน้าดินได้ 67 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเกิดน้ำไหลบ่ามีค่าใกล้เคียงกับวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่เพียงอย่างเดียว จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีส่วนช่วยลดการสูญเสียหน้าดิน สอดคล้องกับงานวิจัย Wright and Upadhyaya (1998) รายงานว่า glomalin และเส้นใยรานอกรากพืชของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีอิทธิพลต่อความแข็งแรงคงทนของเม็ดดินจึงทำให้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันการกร่อนของดินได้เป็นอย่างดี เส้นใยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำหน้าที่ในการเชื่อมอนุภาคของดินให้เกิดการรวมตัวเป็นเม็ดดินและทำให้เกิดโครงสร้างดินที่แข็งแรง (Prasad et al., 2018)

เมื่อทำการเก็บตะกอนดินที่สูญเสียออกจากพื้นที่แล้ว ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักที่สูญเสียออกจากไปตะกอนดิน แสดงในตารางที่ 90 พบว่า กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาสูญเสียธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไปกับตะกอนต่ำที่สุด มีค่า 0.083 0.017 และ 0.005 กรัมต่อไร่ ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจแล้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่สูญเสียไปสำหรับปุ๋ยที่สูญเสียออกไปจากพื้นที่มีค่าน้อยที่สุด ได้แก่ 2.58 บาทต่อไร่ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่เพียงอย่างเดียวมีการสูญเสียธาตุอาหารสูงที่สุด จึงมีการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยสูงตามไปด้วย จากตารางที่ 90 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียธาตุอาหารออกไปจาก พื้นที่เปรียบเทียบกับวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพียงอย่างเดียว พบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียธาตุอาหารน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่เพียงอย่างเดียว มีการสูญเสียธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่า 44 64 และ 54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา เนื่องจากหญ้าแฝกมีส่วนช่วยลดการสูญเสียดินและธาตุอาหารได้ (National Research Council, 1993)

(2.3) ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

น้ำหนักแห้งของผลผลิตในปีที่ 1 พบว่า จำนวนฝักและน้ำหนักแห้งให้ผลไม่แตกต่างกัน ส่วนในปีที่ 2 พบว่า มีจำนวนฝักเพิ่มขึ้นมากกว่าในปีที่ 1 แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยมีค่า 2,067–2,589 ฝักต่อไร่ ในขณะที่น้ำหนักแห้งของฝักปอกเปลือก เปลือก ซัง และเมล็ดในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีค่าสูงที่สุด มีค่า 153 30 110 และ 520 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 91) และยังพบว่าในกรรมวิธีที่มีการปลูกหญ้าแฝกทั้งที่ใช้และไม่ใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซามีค่าน้ำหนักแห้งของฝักปอกเปลือก เปลือก ซัง และเมล็ดไม่แตกต่างกันกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 20-5-10 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา นอกจากนี้ พบว่าน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์กะเทาะ และความชื้นที่จุดเก็บเกี่ยวในปีที่ 1 มีค่าสูงกว่าในปีที่ 2 เนื่องจากในปีที่ 2 ขนาดฝักและเมล็ดของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

มีขนาดเล็กกว่าปีที่ 1 น้ำหนักเมล็ดและเปอร์เซ็นต์กะเทาะจึงมีค่าต่ำกว่า สรุปได้ว่าราไมคอร์ไรซาท้องถิ่นและราในปุ๋ยชีวภาพ ไมคอร์ไรซาสามารถมีส่วนช่วยต่อการเจริญเติบโตของแฝกทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหารและช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ Gazey *et al*. (2004) ศึกษาการใช้ราไมคอร์ไรซาท้องถิ่นและราไมคอร์ไรซาที่คัดเลือกต่อการเจริญเติบโตของพืชในดินที่ทำการเกษตร 2 บริเวณ พบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาท้องถิ่นมีประสิทธิภาพในการสร้างสปอร์ของรากพืชในดินสูงทั้ง 2 บริเวณ ในขณะที่ Teranishi and Kobae (2020) รายงานว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มเข้าไปจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาท้องถิ่นมีประสิทธิภาพลดลง ซึ่งประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาท้องถิ่นจะลดลงเนื่องจากการจัดการดิน เช่น การไถพรวน การใส่ปุ๋ย เป็นต้น (Faggioli *et al*., 2019) แต่อย่างไรก็ตามการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มเข้าไปส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพต่อดินทั้งด้านที่เกิดประโยชน์และเสียประโยชน์ได้

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1) การจัดการใบอ้อยในแปลงปลูกโดยการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์จากเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ร่วมกับการไถสับกลบใบอ้อยเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการจัดการใบอ้อยในแปลงปลูก โดยการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ฯ ที่อัตรา 3.2 และ 6.4 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการไถสับกลบใบอ้อยให้ผลผลิตอ้อยตอ 1 สูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ฯ โดยมีผลผลิตเท่ากับ 17.27 และ 16.75 ตันต่อไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้การจัดการดังกล่าวยังมีแนวโน้มทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น

2) การบ่มแหนแดงสดและแห้งในดินร่วนและดินเหนียว แหนแดงทั้งสองชนิดสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมให้เป็นประโยชน์แก่พืชได้ตั้งแต่ ระยะเวลา 7-150 วัน การใส่แหนแดงแห้งที่อัตรา 30-60 กรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ทำให้ดินหลังปลูกคะน้าครั้งที่ 1 2 และ 3 มีปริมาณอินทรียวัตถุคงเหลือเท่ากับ 1 0.5 และ 2.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การใช้แหนแดงแห้งอัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับปุ๋ยเคมี (NPK) 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ทำให้ผักคะน้ามีการเจริญเติบโต การสะสมไนโตรเจนในใบ และปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวทุกอัตรา โดยเฉพาะการใช้แหนแดงแห้งอัตรา 0.5 กิโลกรัม ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำ ให้ผลผลิตสูงเท่ากับ 2,698 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำถึง 203 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้การใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมียังทำให้ดินหลังปลูกมีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ

3) การใช้ปุ๋ยหมักมูลหมูเพื่อเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสและธาตุอาหารอื่นๆ ในสภาพดินนาน้ำขัง ในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 ได้สูงสุดเท่ากับ 9.8×10^6 โคโลนีต่อมิลลิลิตร แต่ไม่สามารถเพิ่มปริมาณในสภาพเรือนทดลองได้ เนื่องจากมีการเข้าทำลายของศัตรูธรรมชาติหนอนแดงส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาไม่แตกต่างกัน

4) การใช้สารสกัด BGA ที่ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับปุ๋ยทางใบ (20-20-20) อัตรา 25 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร เป็นอัตราที่เหมาะสมที่ทำให้ผักกวางตุ้งมีผลผลิตสูงสุด มีการเจริญเติบโตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยทาง

ใบอย่างเดียว และช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหารโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมในพืช การใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินในการปลูกผักคะน้า สามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าได้สูงใกล้เคียงกัน โดยมีผลผลิตเท่ากับ 1,568 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าการใช้ปุ๋ยทางดินเพียงอย่างเดียวที่อัตราเดียวกัน หรือมีผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยเคมีของอัตราแนะนำถึง 82.5 เปอร์เซ็นต์ หรือสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ 25 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองผักสลัดคอสให้ผลไปในทางเดียวกัน

5) จุลินทรีย์ *Taralomyces macrospores* ที่สามารถละลายฟอสเฟตในรูปแคลเซียมฟอสเฟต เฟอริคฟอสเฟต และอลูมินัมฟอสเฟตได้ เมื่อทดสอบร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *Burkhoderia* sp.และ *Seratia marcescens* ช่วยให้รากข้าวโพดมีกิจกรรมการละลายฟอสเฟตรอบรากข้าวโพด การใช้จุลินทรีย์ร่วมกันทั้ง 3 ไอโซเลทร่วมกับปุ๋ยเคมี ช่วยปรับลดปุ๋ยฟอสเฟตให้เหลือ 75 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราแนะนำ ในการปลูกคะน้าในแปลงทดลอง สามารถช่วยส่งเสริมให้คะน้า ผักกาดและข้าวโพดข้าวเหนียว ให้มีผลผลิตไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน หรือสามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตลงได้ 25 เปอร์เซ็นต์

6) วิธีการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่เกษตรที่มีความลาดชัน ณ แปลงสาธิตเขาสวนกวาง ศูนย์วิจัยและพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น พบว่าการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเหลืองคลุมดินและปลูกหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา สามารถช่วยลดการพังทลายของหน้าดินได้ประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์ ลดการสูญเสียธาตุอาหารในดิน และเพิ่มผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ ส่วนการทดลองที่แปลงเกษตรกร บ้านซับลังกา ตำบลเกาะรัง อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกถั่วเขียวและหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา ช่วยลดการสูญเสียหน้าดินลงได้ 67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการปลูกหญ้าแฝกที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซา สามารถลดการสูญเสียธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมลงได้ เท่ากับ 44 64 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 33 ค่าวิเคราะห์ดินในแปลงอ้อยก่อนการทดลอง

pH	EC (dS/m)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exchang. K (mg/kg)	Organic Carbon (%)
5.5	0.25	0.11	14.12	128	0.88

ตารางที่ 34 ผลผลิตอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 (ตอที่ 1) และคุณลักษณะของใบอ้อยในแปลงอายุ 12 เดือน (มีนาคม 2560-กุมภาพันธ์ 2561)

กรรมวิธี	ใบอ้อยบนดิน			การเจริญเติบโตของอ้อย		
	น้ำหนักแห้ง (ก./ตร.ม.)	C/N	เยื่อใย (%w/w)	ความสูง (ซม.)	ความกว้างของลำต้น (ซม.)	ผลผลิต (ตัน/ไร่)
1.ไม่ไถ+ไม่ใส่เชื้อ	1856.91a	49.36b	29.48a	187b	2.75	15.55a
2.ไม่ไถ+ใส่เชื้อ 3.2 กก/ไร่	1285.83c	40.82c	27.68a	193ab	2.72	14.56b
3.ไม่ไถ+ใส่เชื้อ 6.4 กก/ไร่	1462.08b	37.81d	26.70a	185b	2.71	15.55ab
4.ไถ+ไม่ใส่เชื้อ	805.58d	57.41a	28.50a	185b	2.72	15.19ab
5.ไถ+ใส่เชื้อ 3.2 กก/ไร่	496.85e	38.18d	21.01b	194ab	2.66	14.87ab
6.ไถ+ใส่เชื้อ 6.4	518.93e	41.11c	24.68ab	204a	2.77	14.91ab
CV (%)	47.02	16.01	10.69	3.50	1.27	2.40

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 35 ค่าวิเคราะห์ดินในแปลงอ้อยก่อนการทดลอง

pH	EC (dS/m)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exchang. K (mg/kg)	Organic Carbon (%)
5.4	0.29	0.09	16.25	141	0.91

ตารางที่ 36 ผลผลิตอ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3 (ปลูกใหม่) เมื่ออายุ 12 เดือน (มีนาคม 2561-กุมภาพันธ์ 2562)

กรรมวิธี	ผลผลิตอ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3					
	ความสูง (ซม.)	ความกว้างลำต้น (ซม.)	น้ำหนักต้น (กก.)	จำนวนลำต่อไร่	บริกซ์	ผลผลิต (ตัน/ไร่)
1.ไถ+ไม่ใส่เชื้อ	266	2.66b	1.72b	9939b	17.63b	17.10
2.ไถ+ใส่เชื้อ 3.2 กก/ไร่	273	2.74a	1.70b	10150a	18.11a	17.29
3.ไถ+ใส่เชื้อ 6.4 กก/ไร่	269	2.68ab	1.82a	9463d	17.67b	17.21
4.ไม่ไถ+ใส่เชื้อ 12.8 กก/ไร่	267	2.74a	1.74b	9741c	17.88ab	16.94
CV (%)	13.60	2.57	13.01	13.00	11.99	11.92

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 37 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า และอินทรียวัตถุในแปลงปลูกอ้อยอายุ 6 และ 12 เดือน (มีนาคม 2561-กุมภาพันธ์ 2562)

กรรมวิธี	การเปลี่ยนแปลงในดิน					
	pH		ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)		อินทรียวัตถุ (%)	
	6 เดือน	12 เดือน	6 เดือน	12 เดือน	6 เดือน	12 เดือน
1.ไถ+ไม่ใส่เชื้อ	5.00	4.84	30.79c	36.88d	1.26b	1.14c
2.ไถ+ใส่เชื้อ 3.2 กก/ไร่	4.95	4.75	35.76b	44.48c	1.47a	1.28b
3.ไถ+ใส่เชื้อ 6.4 กก/ไร่	5.01	4.88	37.64a	47.47b	1.53a	1.31b
4.ไม่ไถ+ใส่เชื้อ 12.8 กก/ไร่	5.11	4.82	35.06b	49.73a	1.47a	1.38a
CV (%)	3.72	4.35	7.72	11.33	7.97	7.38

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 38 ผลผลิตอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 (ตอที่ 1) ในแปลง ณ เวลา 12 เดือน (มีนาคม 2562-กุมภาพันธ์ 2563)

กรรมวิธี	ผลผลิตอ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3					
	ความสูง (ซม.)	ความกว้างของลำต้น (ซม.)	น้ำหนักต้น (กก.)	จำนวนลำ (ลำ/ไร่)	บริกซ์	ผลผลิต (ตัน/ไร่)
1.ไถ+ไม่ใส่เชื้อ	215b	2.52	1.59b	10351ab	16.99b	16.41b
2.ไถ+ใส่เชื้อ 3.2 กก/ไร่	232a	2.57	1.58b	10238b	17.01b	16.20b
3.ไถ+ใส่เชื้อ 6.4 กก/ไร่	227ab	2.6	1.64a	10546a	17.89a	17.27a
4.ไม่ไถ+ใส่เชื้อ 12.8 กก/ไร่	221ab	2.56	1.59b	10513a	17.02b	16.75ab
CV (%)	14.58	2.96	12.24	12.01	2.65	13.75

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 39 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า และอินทรียวัตถุของดินในแปลงปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือน (มีนาคม 2562-กุมภาพันธ์ 2563)

กรรมวิธี	pH		ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)		อินทรียวัตถุ (%)	
	6 เดือน	12 เดือน	6 เดือน	12 เดือน	6 เดือน	12 เดือน
1.ไถ+ไม่ใส่เชื้อ	5.18	5.09	33.28c	39.33c	1.21b	1.03c
2.ไถ+ใส่เชื้อ 3.2 กก/ไร่	5.19	4.91	36.82a	42.07b	1.27ab	1.07b
3.ไถ+ใส่เชื้อ 6.4 กก/ไร่	5.22	4.93	34.42bc	46.31a	1.28ab	1.13a
4.ไม่ไถ+ใส่เชื้อ 12.8 กก/ไร่	5.3	4.91	35.64ab	41.95b	1.33a	1.15a
CV (%)	4.24	3.62	5.15	6.81	5.07	4.97

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 40 ปริมาณธาตุอาหารในแหนแดง

ตัวอย่าง	%Total-N	%Total-P	%Total-K	%Total-Ca	%Total-Mg
แหนแดง	4.58	0.64	5.08	2.59	0.39

ตารางที่ 41 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนทดลองบ่มดินในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่าง	pH (1:1)	EC (dS/m) (1:5)	OM (%)	Avai-P (mg/kg)	Exc.-K (mg/kg)	Exc.-Ca (mg/kg)	Exc.-Mg (mg/kg)
ดินร่วน	7.60	0.089	2.2	557.3	401	2785	237
ดินเหนียว	7.09	1.332	1.06	33.8	120	3627	713

ตารางที่ 42 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูกคะน้าในกระถางทดลอง

ตัวอย่างดิน	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avai. P (mg/kg)	Exc. K (mg/kg)	Exc. Ca (mg/kg)	Exc. Mg (mg/kg)
ดินร่วนเหนียว	7.14	0.06	2.2	187	456	2,052	250

ตารางที่ 43 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังปลูกคะน้าครั้งที่ 1 2 และ 3

กรรมวิธี	pH (1:1)			EC (1:5) (dS/m)			OM (%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1. Az0	6.99	6.99	7.10	0.11	0.12	0.12	1.35	1.61	2.02
2. Az5	7.03	7.21	7.00	0.12	0.11	0.21	1.84	2.24	2.61
3. Az10	7.05	7.28	6.94	0.13	0.11	0.39	2.05	2.77	3.28
4. Az15	7.06	7.06	6.83	0.12	0.18	0.35	2.25	2.74	3.94
5. Az20	7.07	7.07	6.92	0.17	0.16	0.49	2.32	3.40	4.81
6. Az30	7.06	7.03	6.47	0.19	0.18	0.64	3.21	3.29	5.49
7. Az40	7.21	7.16	6.47	0.19	0.23	0.85	3.49	4.12	5.99
8. Az50	7.28	7.06	6.17	0.19	0.18	0.67	3.45	4.28	6.93
9. Az60	7.29	7.29	6.80	0.20	0.12	0.38	3.39	3.89	6.49

หมายเหตุ: Az0 คือ ไม่ใส่แหนแดงแห้ง, Az5 คือใส่แหนแดงแห้ง 5 กรัมต่อกิโลกรัม, Az10 คือใส่แหนแดงแห้ง 10 กรัมต่อกิโลกรัม, Az15 คือใส่แหนแดงแห้ง 15 กรัมต่อกิโลกรัม, Az20 คือใส่แหนแดงแห้ง 20 กรัมต่อกิโลกรัม, Az30 คือใส่แหนแดงแห้ง 30 กรัมต่อกิโลกรัม, Az40 คือใส่แหนแดงแห้ง 40 กรัมต่อกิโลกรัม, Az50 คือใส่แหนแดงแห้ง 50 กรัมต่อกิโลกรัม และ Az60 คือใส่แหนแดงแห้ง 60 กรัมต่อกิโลกรัม

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 44 ผลต่างของปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังปลูกและดินก่อนปลูกเมื่อปลูกคะน้าครั้งที่ 1 2 และ 3

กรรมวิธี	ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1. Az0	-0.85	0.26	0.41
2. Az5	-0.36	0.40	0.37
3. Az10	-0.15	0.72	0.51
4. Az15	0.05	0.49	1.20
5. Az20	0.12	1.08	1.41
6. Az30	1.01	0.08	2.20
7. Az40	1.29	0.63	1.87
8. Az50	1.25	0.83	2.65
9. Az60	1.19	0.50	2.60
เฉลี่ย	0.39	0.55	1.47

หมายเหตุ: ดินก่อนปลูกครั้งที่ 1 มีปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับ 2.2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 45 ปริมาณน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นคะน้าเมื่อใส่แหนแดงแห้งอัตราต่างๆ เมื่อปลูกครั้งที่ 1 2 และ 3

กรรมวิธี	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)
1. Az0	35.8b	4.30 b	41.5 d	4.00 d	26.9 d	2.64 c
2. Az5	60.7 a	6.01 ab	58.0 cd	5.08 cd	43.1 c	3.81 bc
3. Az10	73.8 a	6.66 a	76.5 bc	6.87 bc	44.4 c	3.80 bc
4. Az15	77.9 a	6.35 a	69.6 bc	5.88 bc	47.2 c	4.01 bc
5. Az20	75.0 a	6.46 ab	75.9 bc	6.42 bc	57.6 bc	4.92 ab
6. Az30	78.3 a	6.43 ab	87.7 b	7.66 ab	71.3 a	5.85 a
7. Az40	83.4 a	6.75 a	113 a	8.67 a	65.2 ab	5.32 ab
8. Az50	78.0 a	7.07 a	70.7 bc	6.77 bc	52.2 bc	4.87 ab

กรมวิชาการเกษตร

9. Az60	75.2 a	5.94 ab	67.2 bc	5.81 bc	46.9 c	3.98 bc
เฉลี่ย	70.9	6.20	73.3	6.35	50.5	4.36
CV(%)	25.6	27.2	28.8	28.6	32.1	36.8

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 46 ผลการใส่แหนแดงร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดินต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าในแปลงทดลอง

กรรมวิธี	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	ขนาดลำต้น (มม./ต้น)	น้ำหนักสดรวม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดใบ (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดต้น (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดก้าน (กรัม/ต้น)
1. Control	7.33 bcd	8.07 f	28.1 e	16.9 de	4.72 de	5.20 d
2. 50% Soil fert.	6.96 cd	9.30 de	26.6 e	15.6 e	3.93 ef	4.86 de
3. 75% Soil fert.	6.71 d	8.33 ef	19.4 e	12.1 e	2.80 f	3.19 e
4. 100% Soil fert.	7.63 bc	9.43 d	24.9 e	15.3 e	3.36 ef	4.13 de
5. Azo.	7.92 ab	11.0 c	38.6 d	21.7 d	5.63 cd	7.66 c
6. Azo.+50% Soil fert.	8.58 a	15.8 a	75.7 b	43.7 b	10.4 b	13.2 b
7. Azo.+75% Soil fert.	8.04 ab	14.8 ab	84.3 a	48.9 a	11.9 a	15.7 a
8. Azo.+100% Soil fert.	7.08 cd	13.9 b	52.1 c	32.7 c	6.75 c	9.13 c
เฉลี่ย	7.53	11.3	43.7	25.8	6.18	7.88
CV(%)	15.4	16.1	24.2	22.9	18.4	18.6

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

หมายเหตุ : ปุ๋ยอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (100% Soil fert.)= 20-0-0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ และใส่แหนแดงแห้ง (Azo.) อัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ตารางที่ 47 ปริมาณน้ำหนักแห้ง และความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบผักคะน้าเมื่อใช้แหนแดงร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้งใบ (กรัม/ต้น)	ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ		
		ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)
1. Control	1.44 e	3.48 f	0.65	2.73 b
2. 50% Soil fert.	1.73 e	5.11 d	0.65	3.35 ab
3. 75% Soil fert.	1.47 e	5.34 cd	0.62	3.44 ab

กรมวิชาการเกษตร

4. 100% Soil fert.	1.93 e	5.54 bc	0.65	3.22 ab
5. Azo.	2.97 d	4.42 e	0.61	3.30 ab
6. Azo.+50% Soil fert.	5.27 b	5.88 a	0.64	3.36 ab
7. Azo.+75% Soil fert.	5.97 a	5.79 ab	0.64	4.11 a
8. Azo.+100% Soil fert.	4.15 c	5.72 ab	0.64	4.03 a
เฉลี่ย	3.11	5.16	0.64	3.44
CV(%)	24.8	5.07	11.4	21.1

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

หมายเหตุ : ปุ๋ยอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (100% Soil fert.)= 20-0-0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ และใส่แหนแดงแห้ง (Azo.) อัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ตารางที่ 48 ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบผักคะน้า เมื่อใส่แหนแดงร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีทางดิน

กรรมวิธี	การดูดใช้ธาตุอาหารในใบ (มก./ต้น)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
1. Control	50.1	9.36	39.3
2. 50% Soil fert.	88.4	11.2	58.0
3. 75% Soil fert.	78.5	9.11	50.6
4. 100% Soil fert.	107	12.5	62.1
5. Azo.	131	18.1	98.0
6. Azo.+50% Soil fert.	310	33.7	177
7. Azo.+75% Soil fert.	346	38.2	245
8. Azo.+100% Soil fert.	237	26.6	167

ตารางที่ 49 ผลการใช้แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดินต่อปริมาณผลผลิตผักคะน้า จังหวัดชัยภูมิ

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (%)
1. Control	620d	
2. 50% Soil fert.	797d	
3. 75% Soil fert.	852cd	
4. 100% Soil fert.	888cd	-

กรมวิชาการเกษตร

5. Azo.	1,236c	39.1
6. Azo.+50% Soil fert.	2,423a	172.6
7. Azo.+75% Soil fert.	2,698a	203.6
8. Azo.+100% Soil fert.	1,669b	87.7
เฉลี่ย	1,398	-
CV(%)	17.1	

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

หมายเหตุ : ปุ๋ยอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (100% Soil fert.)= 20-0-0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ และใส่แหนแดงแห้ง (Azo.) อัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ตารางที่ 50 สมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกผักคะน้า เมื่อใส่แหนแดงแห้งร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน

ตัวอย่างดิน	pH (1:1)	EC (1:5) (dS/m)	OM (%)	Avai. P (mg/kg)	Exc. K (mg/kg)	Exc. Ca (mg/kg)	Exc. Mg (mg/kg)
1. Control	7.70 a	0.08	1.78 c	166 d	274	463	181
2. 50% Soil fert.	7.72 a	0.08	1.90 bc	182 d	258	438	146
3. 75% Soil fert.	7.56 a	0.09	1.85 c	218 cd	280	502	147
4. 100% Soil fert.	7.55 a	0.09	1.88 bc	195 cd	287	477	160
5. Azo.	7.53 a	0.11	2.01 ab	250 bcd	206	628	182
6. Azo.+50% Soil fert.	7.28 b	0.11	2.09 a	293 abc	261	474	171
7. Azo.+75% Soil fert.	7.29 b	0.10	2.08 a	341 ab	233	429	153
8. Azo.+100% Soil fert.	7.23 b	0.12	2.07 a	391 a	237	625	139
เฉลี่ย	7.56	0.09	1.92	217	261	497	165
CV(%)	7.58	21.54	11.04	23.74	20.63	23.6	15.81

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

กรมวิชาการเกษตร

หมายเหตุ : ปุ๋ยอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (100% Soil fert.)= 20-0-0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ และใส่แหนแดงแห้ง (Azo.) อัตรา 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ตารางที่ 51 ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อเจริญเติบโตในอาหารเหลวปราศจากไนโตรเจนสูตร BG-11 ที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน ที่อายุ 45 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ลิตร)			
	Fischerella sp. DASH04101	*Hapalosiphon* sp. DASH05101	*Nostoc* sp. DASH06101	*Stigonema* sp. DASH09101
1.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 0 มก./ลิตร	0.224 e	0.267 e	0.142 d	0.277 f
2.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 5 มก./ลิตร	0.350 d	0.334 cd	0.350 c	0.355 ef
3.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 10 มก./ลิตร	0.356 d	0.335 bcd	0.429 ab	0.356 bcd
4.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 20 มก./ลิตร	0.391 c	0.343 d	0.425 ab	0.378 ef
5.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 30 มก./ลิตร	0.388 c	0.359 bcd	0.421 ab	0.396 def
6.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 40 มก./ลิตร	0.431 b	0.372 bc	0.421 ab	0.402 bcd
7.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 50 มก./ลิตร	0.440 ab	0.378 bcd	0.487 a	0.404 cde
8.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 100 มก./ลิตร	0.475 a	0.377 bcd	0.432 ab	0.430 abc
9.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 150 มก./ลิตร	0.473 a	0.377 bcd	0.432 ab	0.434 abc
10.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 200 มก./ลิตร	0.454 ab	0.408 ab	0.411 abc	0.452 ab
11.ฟอสฟอรัสเข้มข้น 250 มก./ลิตร	0.456 ab	0.452 a	0.400 bc	0.464 a
C.V.(%)	7.1	12.9	13.5	13.0

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 52 สมบัติทางเคมีบางประการในตัวอย่างดินนาและปุ๋ยหมักมูลสัตว์

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1:1)	ค่าการนำไฟฟ้า (1:5) (dS/m)	อินทรียวัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)
1.ดินนา	7.0	1.17	1.0	550
2.ปุ๋ยหมักมูลหมูอัดเม็ด	5.6	5.71	12.0	100,250
3.ปุ๋ยหมักมูลไก่อัดเม็ด	8.4	2.96	17.8	30,650

ตารางที่ 53 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสารละลายดินนาและสารละลายปุ๋ยหมักมูลสัตว์

ตัวอย่าง	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./ลิตร)

กรมวิชาการเกษตร

สารละลายดินนาอัตราส่วน 1:2 (w/v)	0.34
สารละลายดินนาอัตราส่วน 1:10 (w/v)	0.27
สารละลายดินนาอัตราส่วน 1:20 (w/v)	ND
สารละลายดินนาอัตราส่วน 1:30 (w/v)	ND
สารละลายปุ๋ยหมักมูลหมูอัตราส่วน 1:10 (w/v)	973
สารละลายปุ๋ยหมักมูลหมูอัตราส่วน 1:50 (w/v)	275
สารละลายปุ๋ยหมักมูลหมูอัตราส่วน 1:100 (w/v)	134
สารละลายปุ๋ยหมักมูลไก่อัตราส่วน 1:10 (w/v)	765
สารละลายปุ๋ยหมักมูลไก่อัตราส่วน 1:50 (w/v)	210
สารละลายปุ๋ยหมักมูลไก่อัตราส่วน 1:100 (w/v)	129

ND = non-detect data

ตารางที่ 54 ปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อเพิ่มปริมาณในสภาพดินนาขังน้ำโดยใช้ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธี	ปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินรวม	
	cfu/ml	Log_{10} cfu/ml
1. ดินนาไม่ใส่เชื้อสาหร่าย (ควบคุม)	$6.0x10^3$	3.78 h
2. ดินนา+สาหร่าย *Calothrix* sp.DASH02101	$7.2 x10^5$	5.86 e
3. ดินนา+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp.DASH05101	$1.0 x10^6$	6.00 d
4. ดินนา+สาหร่าย *Nostoc* sp.DASH N06151	$7.4 x10^5$	5.87 e
5. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู+สาหร่าย *Calothrix* sp.DASH02101	$4.3 x10^6$	6.63 c
6. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่+สาหร่าย *Calothrix* sp.DASH02101	$6.0x10^5$	5.78 f
7. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp. DASH05101	$9.8 x10^6$	6.99 a
8. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp. DASH05101	$4.7 x10^5$	5.67 g
9. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู+สาหร่าย *Nostoc* sp.DASH N06151	$5.8 x10^6$	6.76 b
10. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่+สาหร่าย *Nostoc* sp.DASH N06151	$4.7 x10^5$	5.67 g
C.V.(%)	-	12.5

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

หมายเหตุ : cfu/ml = colony-forming unit per millilitre

ตารางที่ 55 ปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อเพิ่มปริมาณในสภาพดินนาขังน้ำโดยใช้ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ในสภาพเรือนทดลอง

กรรมวิธี	ปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินรวม		ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)
	cfu/ml	Log_{10} cfu/ml	
1. ดินนาไม่ใส่เชื้อสาหร่าย(ควบคุม)	$5.8x10^3$	3.76 a	1.2 c
2. ดินนา+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp.	$5.5x10^3$	3.65 a	1.2 c

ศูนย์วิทยทรัพยากร

DASH05101+*Nostoc* sp. DASH N06151			
3. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู	$9.0x10^3$	3.87 a	2.1 ab
4. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่	$2.4x10^3$	3.11 a	2.0 b
5. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลหมู+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp. DASH05101 +*Nostoc* sp.DASH N06151	$5.2x10^4$	4.65 a	2.3 ab
6. ดินนา+ปุ๋ยหมักมูลไก่+สาหร่าย *Hapalosiphon* sp. DASH05101 +*Nostoc* sp.DASH N06151	$5.0x10^4$	4.60 a	2.3 ab
C.V.(%)	-	13.7	7.1

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 56 ปริมาณกรดอะมิโนอิสระที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์

กรดอะมิโน	กรดอะมิโนอิสระ (มก./ลิตร)	กรดอะมิโน	กรดอะมิโนอิสระ (มก./ลิตร)
Aspartic acid	6.28	Cysteine	ND
Serine	13.65	Tyrosine	16.23
Glutamic	45.13	Valine	13.55
Glycine	6.13	Methionine	10.48
Histidine	10.83	Lysine	13.85
Arginine	20.80	Isoleucine	19.03
Threonine	11.45	Leucine	23.75
Alanine	23.15	Phenylalanine	15.10
Proline	6.55		
		รวม	255.93

ND = non-detect data

ตารางที่ 57 ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ สารคล้ายฮอร์โมนพืช และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์

ธาตุอาหาร	(มก./ลิตร)	สารคล้ายฮอร์โมนพืช	(มก./ลิตร)

กรมวิชาการเกษตร

ไนโตรเจน	2.17	Free IAA	0.025
ฟอสฟอรัส	4.13	Free CKs	0.013
โพแทสเซียม	7.93		
แคลเซียม	3.11		
แมกนีเซียม	5.65	ความเป็นกรด-ด่าง	7.0
แมงกานีส	0.23		

IAA : Indole-3-acetic acid, CKs : Cytokinins

ตารางที่ 58 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง เมื่ออายุ 42 วัน

กรรมวิธี	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	พื้นที่ใบ (ตร.ซม./ต้น)	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)
T1: Control	14 b	119 b	90.5 cd	8.89
T2: 25g Foliar fert.	15 ab	128 b	92.4 bcd	9.85
T3: 37.5g Foliar fert.	15 ab	126 b	98.1 abc	9.06
T4: 50g Foliar fert.	15 ab	137 ab	105 ab	10.1
T5: 20%BGA	15 ab	164 a	99.3 abc	10.3
T6: 20%BGA+25g Foliar fert.	16 a	166 a	111 a	10.4
T7: 20%BGA+37.5g Foliar fert.	15 ab	142 ab	92.8 bcd	9.12
T8: 20%BGA+50g Foliar fert.	15 ab	140 ab	83.2 d	9.05
เฉลี่ย	15	140	96.5	9.62
CV.(%)	11.0	15.9	14.6	21.1

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 59 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมดของผักกวางตุ้ง เมื่ออายุ 42 วัน

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ต้น)
T1: Control	10.6
T2: 25g Foliar fert.	11.3
T3: 37.5g Foliar fert.	10.5
T4: 20%BGA	11.9
T5: 20%BGA+25g Foliar fert.	12.2
T6: 20%BGA+37.5g Foliar fert.	10.7
เฉลี่ย	11.2
CV.(%)	18.1

ตารางที่ 60 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อปริมาณการสะสมไนโตรเจนของผักกวางตุ้ง เมื่ออายุ 42 วัน

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธี	ปริมาณการสะสมไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ของผักกวางตุ้ง (มก.N/ต้น)			
	ใบ	ลำต้น	ราก	รวม
T1: Control	174	40.7	32.1	246
T2: 25g Foliar fert.	182	43.5	28.3	253
T3: 37.5g Foliar fert.	167	47.2	31.8	245
T4: 20%BGA	170	46.9	31.2	247
T5: 20%BGA+25g Foliar fert.	195	44.2	36.0	275
T6: 20%BGA+37.5g Foliar fert.	179	41.7	28.3	248
เฉลี่ย	178	44.0	31.3	252
CV.(%)	13.5	21.9	22.4	13.2

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 61 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสของผักกวางตุ้ง เมื่ออายุ 42 วัน

กรรมวิธี	ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆ ของผักกวางตุ้ง (มก.P/ต้น)			
	ใบ	ลำต้น	ราก	รวม
T1: Control	31.3	13.4	10.6	55.1
T2: 25g Foliar fert.	33.0	15.6	7.75	56.4
T3: 37.5g Foliar fert.	28.1	14.6	7.61	50.3
T4: 20%BGA	29.2	18.4	9.54	57.0
T5: 20%BGA+25g Foliar fert.	34.6	18.7	8.73	62.0
T6: 20%BGA+37.5g Foliar fert.	34.6	19.9	10.2	64.7
เฉลี่ย	31.8	16.8	9.08	57.6
CV.(%)	20.5	22.8	27.7	20.1

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 62 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อปริมาณการสะสมโพแทสเซียมของผักกวางตุ้งเมื่ออายุ 42 วัน

กรรมวิธี	ปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในส่วนต่างๆ ของผักกวางตุ้ง (มก.K/ต้น)			
	ใบ	ลำต้น	ราก	รวม
T1: Control	109 bc	82.0 d	43.5	235 c
T2: 25g Foliar fert.	121 abc	149 abc	28.9	300 bc
T3: 37.5g Foliar fert.	99.4 c	133 bc	26.1	259 c
T4: 20%BGA	148 a	185 a	38.5	371 a
T5: 20%BGA+25g Foliar fert.	144 ab	159 ab	39.8	344 ab
T6: 20%BGA+37.5g Foliar fert.	139 ab	114 cd	41.1	294 bc
เฉลี่ย	127	137	36.3	300
CV.(%)	20.3	21.1	29.1	17.1

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 63 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อปริมาณการสะสมแคลเซียมของผักกวางตุ้งเมื่ออายุ 42 วัน

กรรมวิธี	ปริมาณการสะสมแคลเซียมในส่วนต่างๆ ของผักกวางตุ้ง (มก.Ca/ต้น)			
	ใบ	ลำต้น	ราก	รวม
T1: Control	139	73.0 c	16.0	228 b
T2: 25g Foliar fert.	131	86.5 c	13.4	231 b
T3: 37.5g Foliar fert.	136	85.0 c	14.4	235 b
T4: 20%BGA	174	107 b	17.6	300 a
T5: 20%BGA+25g Foliar fert.	167	123 a	16.2	307 a
T6: 20%BGA+37.5g Foliar fert.	164	108 b	16.2	289 a
เฉลี่ย	152	97.1	15.6	265
CV.(%)	17.3	10.3	21.1	11.2

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 64 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อปริมาณการสะสมแมกนีเซียมของผักกวางตุ้ง เมื่ออายุ 42 วัน

กรรมวิธี	ปริมาณการสะสมแมกนีเซียมในส่วนต่างๆ ของผักกวางตุ้ง (มก.Mg/ต้น)			
	ใบ	ลำต้น	ราก	รวม
T1: Control	15.5	7.45 b	4.43	28.3
T2: 25g Foliar fert.	15.8	9.32 b	3.52	28.6
T3: 37.5g Foliar fert.	14.6	8.07 b	2.80	25.4
T4: 20%BGA	16.8	12.5 a	3.87	32.8
T5: 20%BGA+25g Foliar fert.	15.7	12.9 a	3.91	31.8
T6: 20%BGA+37.5g Foliar fert.	16.4	9.68 b	4.05	30.6
เฉลี่ย	15.8	9.99	3.76	29.6
CV.(%)	20.7	19.3	27.8	17.8

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 65 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อปริมาณผลผลิตของผักกวางตุ้งเมื่ออายุ 42 วัน

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (%)
T1: Control	1,571 d	-
T2: 25g Foliar fert.	1,792 cd	14.1
T3: 37.5g Foliar fert.	2,156bc	37.3
T4: 20%BGA	1,670 d	6.3
T5: 20%BGA+25g Foliar fert.	2,608 a	66.0
T6: 20%BGA+37.5g Foliar fert.	2,512 ab	59.9
เฉลี่ย	2,051	-
CV.(%)	14.6	-

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

กรมวิชาการเกษตร

หมายเหตุ : ทุกกรรมวิธีใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

ตารางที่ 66 ผลของการฉีดพ่นสารสกัดแหนแดง และสารสกัดBGA ต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักคะน้าในกระถางทดลอง

กรรมวิธี	น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)
Control	54.3 c	4.02 b
20%BGA	69.3 a	6.14 a
Azolla ext.	58.6 bc	4.91 b
Azolla ext.+20%BGA	64.9 ab	5.42 b
เฉลี่ย	61.7	5.12
CV (%)	17.9	28.6

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 67 ผลของสารสกัด BGA เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยทางดินต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าเมื่ออายุ 55 วัน

กรรมวิธี	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	ขนาดลำต้น (มม./ต้น)	น้ำหนักสดรวม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดใบ (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดต้น (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดก้าน (กรัม/ต้น)
T1: Control	6.67 c	8.25 de	18.9 d	12.0 d	2.7 d	3.17d
T2: 50% Soil fert.	6.88 bc	9.18 cd	26.0 c	15.4 cd	3.8 bc	4.80 c
T3: 75% Soil fert.	7.21 abc	7.93 e	27.2 c	16.6 cd	4.5 b	5.05 c
T4: 100% Soil fert.	7.58 a	9.38 c	24.2 cd	15.0 cd	3.2 cd	4.03 cd
T5: 20%BGA	7.81 a	10.5 b	27.8 c	16.9 c	3.9 bc	4.73 c
T6: 20%BGA+50% Soil fert.	7.76 a	11.2 ab	39.6 b	25.5 b	5.5 a	7.11 b
T7: 20%BGA+75% Soil fert.	7.43 ab	11.9 a	43.4 ab	26.9 ab	5.8 a	7.54 ab
T8: 20%BGA+100% Soil fert.	7.29 abc	11.5 ab	46.3 a	30.1 a	6.2 a	8.49 a
เฉลี่ย	7.33	10.0	31.7	19.9	4.50	5.62
CV (%)	14.5	18.7	21.9	27.2	24.8	29.1

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

หมายเหตุ : ปุ๋ยอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (100% Soil fert.)= 20-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

ตารางที่ 68 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางดินต่อปริมาณผลผลิตของผักคะน้า

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (%)
T1: Control	662 b	
T2: 50% Soil fert.	837 b	
T3: 75% Soil fert.	847 b	
T4: 100% Soil fert.	859 b	-
T5: 20%BGA	909 b	5.8
T6: 20%BGA +50% Soil fert.	1,362 a	58.5
T7: 20%BGA +75% Soil fert.	1,568 a	82.5
T8: 20%BGA +100% Soil fert.	1,520 a	76.9

กรมวิชาการเกษตร

เฉลี่ย	1,070	
CV.(%)	14.4	-

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

หมายเหตุ : ปุ๋ยอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (100% Soil fert.)= 20-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

ตารางที่ 69 ผลของสารสกัด BGA เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยทางดินอัตราต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสเมื่ออายุ 60 วัน

กรรมวิธี	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	ขนาดลำต้น (มม.)	น้ำหนักสดรวม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดใบ (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดต้น (กรัม/ต้น)
T1: Control	26.5 b	13.4 c	61.9 c	63.1 cd	24.0 c
T2: 50% Soil fert.	26.2 b	14.0 bc	101 b	77.2 b	24.4 c
T3: 75% Soil fert.	26.7 b	14.1 bc	101 b	67.6 bc	37.7 a
T4: 100% Soil fert.	31.3 a	14.5 b	128 a	102 a	34.3 ab
T5: 20%BGA	22.5 c	11.8 d	96.5 b	51.1 d	14.3 d
T6: 20%BGA +50% Soilfert.	30.5 a	14.7 b	123 a	100 a	31.7 b
T7: 20%BGA +75% Soil fert.	31.9 a	14.7 b	124 a	105 a	33.4 ab
T8: 20%BGA +100% Soil fert.	32.5 a	15.5 a	134 a	107 a	33.5 ab
เฉลี่ย	28.5	14.1	109	84.4	29.2
CV(%)	14.3	11.3	22.9	30.3	29.1

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

หมายเหตุ : ปุ๋ยอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (100% Soil fert.)= 20-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

ตารางที่ 70 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางดินอัตราต่างๆ ต่อปริมาณผลผลิตของผักสลัดคอส

กรรมวิธี	ผลผลิต (กก./ไร่)	ผลผลิตเพิ่ม (%)
T1: Control	1,233 c	
T2: 50% Soil fert.	3,588 b	
T3: 75% Soil fert.	3,458 b	
T4: 100% Soil fert.	3,612 ab	-
T5: 20%BGA	1,793 c	-50.3
T6: 20%BGA +50% Soil fert.	3,988 ab	10.4
T7: 20%BGA +75% Soil fert.	4,496 ab	24.4
T8: 20%BGA +100% Soil fert.	4,853 a	34.3
เฉลี่ย	3,377	
CV.(%)	18.7	-

ตัวเลขในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

กรมวิชาการเกษตร

หมายเหตุ : ปุ๋ยอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน (100% Soil fert.) คือ 20-5-5 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

ตารางที่ 71 ปริมาณกรดอินทรีย์(% w/w) ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรรมวิธี

กรรมวิธี	ชนิดกรดอินทรีย์					
	Citric	Gluconic	Succinic	Formic	Acetic	Fumaric
1. ควบคุม	0.0152	0.0181	-	-	-	-
2. Tm	0.0051	0.0373	-	-	-	-
3. Tm + Bsp	0.1017	0.0458	0.057	-	-	0.0011
4. Tm + Sm	0.3969	0.2387	0.0359	-	0.0605	0.0006
5. Bsp	0.2169	0.0191	0.0593	-	0.1977	-
6. Sm	0.1146	0.0267	-	-	0.075	0.0009
7. Bsp + Sm	0.9445	0.9491	0.9424	0.9428	0.9456	0.2165
8. Tm + Bsp + Sm	0.2719	0.2698	0.2654	0.2702	0.2678	0.3194

หมายเหตุ: Tm = *T. macrosporus;* Bsp = *Burkhoderia* sp.; Sm = *S. marcescens*

ตารางที่ 72 ค่าวิเคราะห์ดินก่อนการทดลองปลูกผักคะน้าในกระถางทดลองจากอำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก

pH	EC (dS/m)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exchang. K (mg/kg)	OC (%)	จุลินทรีย์ทั้งหมด log_{10}(cfu/g)	PSM log_{10}(cfu/g)
5.5	0.25	0.11	14.12	128	0.88	5.82	3

หมายเหตุ PSM = phosphate solubilizing microorganism

ตารางที่ 73 ผลผลิตคะน้าจากการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในกรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธี	ต้น				ใบ		
	ความสูง (ซม.)	ขนาดลำต้น (ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	พื้นที่ (ตร.ซม.)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
1. ควบคุม	9.3b	5.4bc	5.8d	1.4b	320ab	9.4c	2.1d
2. Tm	11.2a	5.9bc	10.2b	3.8a	416a	17.6ab	3.8ab
3. Tm + Bsp	9.7b	8.2a	10.7b	2.3ab	385a	19.0ab	4.3a
4. Tm + Sm	12.5a	5.6bc	9.7c	2.1ab	393a	11.8bc	2.4c
5. Bsp	7.8d	4.9c	3.3e	0.6b	132b	6.7d	1.1e

กรมวิชาการเกษตร

6. Sm	8.5c	6.8b	10.1bc	1.9ab	354a	14.2b	2.4c
7. Bsp + Sm	12.3a	8.0a	11.4ab	2.4ab	421a	18.5ab	3.4b
8. Tm + Bsp + Sm	11.0a	8.3a	14.4a	2.5ab	522a	22.4a	3.8ab
CV (%)	16.93	21.05	36.11	44.15	30.49	35.84	37.26

หมายเหตุ: Tm = *T. macrosporus;* Bsp = *Burkhoderia* sp.; Sm = *S. marcescens*

ตารางที่ 74 ผลผลิตคะน้าและปริมาณการละลายฟอสเฟตบริเวณรากจากการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต

กรรมวิธี	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)	การละลายฟอสเฟต (ppm)
1. ควบคุม	1.25d	0.32c	37.0bc
2. Tm	2.55c	0.66b	42.6ab
3. Tm + Bsp	2.69c	0.59b	39.0ab
4. Tm + Sm	1.17d	0.33c	40.8ab
5. Bsp	1.83d	0.43bc	29.2c
6. Sm	4.38b	1.15a	51.0a
7. Bsp + Sm	3.48bc	0.98a	43.1ab
8. Tm + Bsp + Sm	6.13a	1.43a	44.2ab
CV (%)	57.52	55.45	15.42

หมายเหตุ: Tm = *T. macrosporus;* Bsp = *Burkhoderia* sp.; Sm = *S. marcescens*

ตารางที่ 75 ค่าวิเคราะห์ดินก่อนการทดลองปลูกคะน้าในแปลงทดลอง อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก

pH	EC (dS/m)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exchang. K (mg/kg)	OC (%)	จุลินทรีย์ทั้งหมด log10(cfu/g)	PSM log10(cfu/g)
4.8	0.3	0.17	9.5	69	0.8	4.76	3.0

หมายเหตุ PSM = phosphate solubilizing microorganism

ตารางที่ 76 ปริมาณฟอสฟอรัสในคะน้า น้ำหนักสดต้นและรากของคะน้า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเก็บเกี่ยว

กรรมวิธี	คะน้า			ดินปลูกคะน้า		
	น้ำหนักสดต้น (กรัม)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	ฟอสฟอรัส (มก/100 ก)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	PSM (log cfu/g)	Avail. P (มก./กก.)
1.control	12.1f	0.90d	29.0f	4.9c	0.9d	13.4d

กรมวิชาการเกษตร

2.PSM	15.2ef	0.88d	37.2e	5.5bc	0.9d	15.5c
3.N K+PSM	19.1e	2.79b	56.8d	5.7b	2.8b	17.1bc
4.N 0.25P K+PSM	24.5d	0.90d	81.8c	5.9b	0.9d	17.1bc
5.N 0.5P K+PSM	46.4c	1.89c	91.8b	6.7a	1.9c	16.4bc
6.N 0.75P K+PSM	61.8b	2.75b	105.4a	6.7a	2.8b	17.7ab
7.N P K+PSM	64.5ab	1.81c	101.0a	6.1ab	1.8c	19.0a
8.N P K	67.7a	5.58a	105.2a	6.0ab	5.6a	16.1bc
CV (%)	57.02	67.44	38.08	9.62	67.44	9.40

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ PSM = phosphate solubilizing microorganism

ตารางที่ 77 ค่าวิเคราะห์ดินก่อนการทดลองปลูกผักกาด

pH	EC (dS/m)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exchang. K (mg/kg)	OC (%)	จุลินทรีย์ทั้งหมด log10(cfu/g)	PSM log10(cfu/g)
4.7	0.26	0.08	7.8	94	0.74	4.42	3

หมายเหตุ PSM = phosphate solubilizing microorganism

ตารางที่ 78 ปริมาณฟอสฟอรัสในผักกาด น้ำหนักสดต้นและรากของผักกาด ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเก็บเกี่ยว

กรรมวิธี	ผลผลิต			ดิน		
	น้ำหนักสดต้น (กรัม)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	ฟอสฟอรัส (มก./100ก.)	จุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	PSM (log cfu/g)	Avail. P (มก./กก.)
1.control	14.6e	0.9e	21.2e	4.2c	3.0d	11.8f
2.PSM	24.8e	0.9e	25.3d	5.0b	4.0bc	13.7de
3.N K+PSM	58.3d	3.7d	28.5d	5.2b	4.4b	14.7cd
4.N 0.25P K+PSM	104.6c	2.9d	33.1c	4.9b	4.2bc	15.9bc
5.N 0.5P K+PSM	198.0b	7.6c	35.2bc	6.1a	5.1a	15.8bc
6.N 0.75P K+PSM	547.5a	22.3b	35.6bc	5.8a	4.9a	17.4a
7.N P K+PSM	553.6a	24.9a	38.3ab	5.8a	5.1a	16.8ab
8.N P K	547.2a	22.7b	41.1a	4.9b	3.9bc	12.5ef
CV (%)	91.12	92.62	19.58	11.38	15.70	12.57

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ PSM = phosphate solubilizing microorganism

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 79 ค่าวิเคราะห์ดินก่อนการทดลองปลูกข้าวโพด

pH	EC (dS/m)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exchang. K (mg/kg)	OC (%)	จุลินทรีย์ทั้งหมด log10(cfu/g)	PSM log10(cfu/g)
4.0	0.3	0.06	11.48	140	0.9	4.76	4

หมายเหตุ PSM = phosphate solubilizing microorganism

ตารางที่ 80 ผลผลิตข้าวโพด

กรรมวิธี	ต้น		ฝักไม่ปอกเปลือก		
	ความสูง (ซม)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม)	น้ำหนัก (กรัม)	ความยาว (ซม)	ความกว้าง (ซม)
1.control	120.5d	2.21c	70.5d	23.5d	3.06e
2.PSM	120.4d	2.84b	209.8b	30.2bc	4.35d
3.N K+PSM	125.6cd	2.94b	207.3b	29.4c	4.37d
4.N 0.25P K+PSM	133.6c	2.90b	229.8b	29.5c	4.55cd
5.N 0.5P K+PSM	161.4b	3.40a	279.5a	34.5a	4.82bc
6.N 0.75P K+PSM	169.7ab	2.89b	298.9a	31.5b	4.95b
7.N P K+PSM	173.8a	2.89b	229.5b	30.9bc	5.16ab
8.N P K	172.78a	2.92b	175.9c	31.3b	5.42a
CV (%)	15.48	10.42	30.68	9.69	14.71

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ PSM = phosphate solubilizing microorganism

ตารางที่ 81 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินหลังเก็บเกี่ยว

กรรมวิธี	จุลินทรีย์ทั้งหมด (log cfu/g)	PSM (log cfu/g)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)

กรมวิชาการเกษตร

1.control	4.16c	3.00d	14.56e
2.PSM	5.00b	4.00bc	16.80cd
3.N K+PSM	5.19b	4.42b	18.03bc
4.N 0.25P K+PSM	4.91b	4.2bc	19.03ab
5.N 0.5P K+PSM	6.10a	5.12a	20.35a
6.N 0.75P K+PSM	5.80a	4.94a	20.70a
7.N P K+PSM	5.84a	5.11a	19.76ab
8.N P K	4.92b	3.88c	15.34de
CV (%)	11.38	15.70	11.95

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ PSM = phosphate solubilizing microorganism

ตารางที่ 82 สมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลอง อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น

กรรมวิธี	pH	OM	Total N	Avail.P	Exch.K
			(---- g kg^{-1} ----)	(---- mg kg^{-1} ----)	
Before planting	5.78	5.3	0.22	75	49
After harvesting					
1.FP	5.01	5.1	0.14	17	18
2.SF	4.93	5.6	0.10	7	21
3.SF+SB	4.86	5.3	0.07	45	20
4.SF+VG	4.82	4.8	0.09	26	20
5.SF+VG+AMF	4.71	5.4	0.10	26	22
6.SF+SB+VG	5.33	3.7	0.19	33	22
7.SF+SB+VG+AMF	5.00	3.8	0.09	34	23

หมายเหตุ: FP = Farmer practice (15-15-15, 46-0-0); SF = Soil test-based fertilizer application (30-5-10); SB = Soybean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer.

* The average from 5 samples. ** Treatment does not grow vetiver grass.

ตารางที่ 83 ตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินในบ่อดักตะกอน และการสูญเสียน้ำและตะกอนดินเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีของเกษตรกร

กรรมวิธี	Runoff	Soil loss	Reduction (%)	
	m^3 rai^{-1}	kg rai^{-1}	Runoff	Soil loss
1.FP	40.8c	122.5e	-	-
2.SF	40.4c	121.8e	99	99
3.SF+SB	39.2c	115.7d	96	94

ศูนย์วิทยทรัพยากร

4.SF+VG	29.2b	103.6c	72	85
5.SF+VG+AMF	28.1b	91.6b	69	75
6.SF+SB+VG	25.6b	78.0a	63	64
7.SF+SB+VG+AMF	20.8a	74.4a	51	61
CV (%)	24.9	19.1		

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ: FP = Farmer practice (15-15-15, 46-0-0); SF = Soil test-based fertilizer application (30-5-10); SB = Soybean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer;

ตารางที่ 84 ความสัมพันธ์ของ Correlation matrix (r) ระหว่างจำนวนสปอร์ น้ำหนักแห้งของรากหญ้าแฝกกับปริมาณน้ำไหลบ่าและตะกอนดิน

	Spore density	Runoff	Soil loss	Root dry weight
Spore density	1	-	-	-
Runoff	-0.76 *	1	-	-
Soil loss	-0.81*	0.93**	1	-
Root dry weight	0.64*	-0.85 *	-0.74*	1

Remarks: **P <0.01, *P<0.05 (n = 4).

ตารางที่ 85 ปริมาณธาตุอาหารหลักที่สูญเสียออกจากไปตะกอนดินเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีของเกษตรกร

Treatments	N loss	P loss	K loss	Reduction of nutrients loss (%)		
	(----------g $rai^{-1}crop^{-1}$----------)			Nitrogen	Phosphorus	Potassium
1.FP	130.6 f	1.57 f	6.42 f	-	-	-
2.SF	112.7 de	1.35 de	6.17 f	86	86	96
3.SF+SB	116.2 d	1.39 e	5.26 e	89	89	82
4.SF+VG	100.1 ce	1.20 cd	3.09 d	77	76	48
5.SF+VG+AMF	87.4 bc	1.05 bc	2.68 c	67	67	42
6.SF+SB+VG	74.0 b	0.89 b	2.30 b	57	57	36
7.SF+SB+VG+AMF	51.1 a	0.61 a	1.94 a	39	39	30
CV (%)	27.81	45.6	31.68			

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ : FP = Farmer practice (15-15-15, 46-0-0); SF = Soil test-based fertilizer application (30-5-10); SB = Soybean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer.

ตารางที่ 86 จำนวนฝัก และน้ำหนักแห้งของผลผลิตข้าวโพดที่แปลงทดลองอำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น

Treatments	Yield components	
	Ear number	Dry weight

กรมวิชาการเกษตร

		Dehusk ear	Husk	Cob	Grain*
	(pod rai^{-1})	(---------- kg rai^{-1} ----------			)
FP	415 b	309 e	53 d	48 c	277 e
SF	830 a	441 d	68 cd	64 bc	411 d
SF+SB	830 a	523 c	89 abc	71 b	480 cd
SF+VG	830 a	501 c	85 bc	68 b	462 cd
SF+VG+AMF	1007 a	601 b	92 abc	75 ab	540 bc
SF+SB+VG	1126 a	633 ab	103 ab	75 ab	615 ab
SF+SB+VG+AMF	1185 a	668 a	117 a	89 a	672 a
CV (%)	32.25	21.38	26.83	18.02	24.37

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Remarks FP = Farmer practice (15-15-15, 46-0-0); SF = Soil test-based fertilizer application (30-5-10); SB = Soybean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer. *at 15 % moisture

In a column, a common letter is not significant different at the 0.05 level by DMRT.

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 87 สมบัติของดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวแต่ละกรรมวิธีในปีที่ 1 และปีที่ 2 ของแปลงทดลอง อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

	Soil properties	Topsoils (0-20 cm)					Subsoils (20-50 cm)				
ปีที่	Treatments	pH	Total (g kg^{-1})	Avail. P (------- mg kg^{-1} -------)	Exch. K	Texture	pH	Total N (g kg^{-1})	Avail. P (------- mg kg^{-1} -------)	Exch. K	Texture
1	Before planting*	5.9	1.17	32.17	32.78	Loam	5.5	0.75	18.47	23.84	Silt loam
	After harvesting										
	1.SF	6.01	1.70	40.38	25.54	-**	6.03	1.17	37.36	19.28	-
	2.SF+GB	5.54	1.34	43.92	30.41	-	5.72	1.24	35.76	20.27	-
	3.SF+VG	5.91	1.30	37.16	25.02	-	5.92	1.24	35.94	18.56	-
	4.SF+VG+AMF	6.13	1.33	35.03	20.26	-	6.02	1.28	35.59	17.57	-
	5.SF+GB+VG	5.83	1.27	44.94	31.32	-	6.00	1.27	36.07	25.40	-
	6.SF+GB+VG+AMF	5.62	1.28	39.22	33.19	-	5.69	0.96	34.54	19.09	-
2	Before planting*	6.4	1.25	4.02	73.5	Loam	7.2	0.85	1.4	42.5	Silt loam
	After harvesting										
	1.SF	5.41	1.45	7.46	41.19	-	5.79	1.36	2.59	59.56	-
	2.SF+GB	5.27	1.38	5.59	53.56	-	5.46	1.29	2.37	55.47	-
	3.SF+VG	6.08	1.40	3.64	45.97	-	5.92	1.73	3.01	51.73	-
	4.SF+VG+AMF	6.11	1.43	4.89	35.66	-	6.48	1.40	4.09	42.41	-
	5.SF+GB+VG	5.60	1.27	4.84	41.33	-	6.21	1.43	3.95	34.60	-
	6.SF+GB+VG+AMF	5.50	1.72	4.48	46.14	-	6.08	1.43	5.29	32.46	-

หมายเหตุ: SF = Soil test-based fertilizer application (20-5-10); GB = Green bean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer.

* The average from 5 samples. ** Not measurement.

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 88 ปริมาณน้ำไหลบ่าและตะกอนดินในแปลงทดลองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

Treatments	Year 1 (2018)		Year 2 (2019)	
	Runoff	Soil loss	Runoff	Soil loss
	m^3 rai^{-1}	kg rai^{-1}	m^3 rai^{-1}	kg rai^{-1}
1.SF	40.29	0.129	39.42 a	0.202 a
2.SF+GB	44.48	0.140	35.59 b	0.167 ab
3.SF+VG	42.93	0.096	38.79 ab	0.13 ab
4.SF+VG+AMF	36.91	0.059	38.52 ab	0.104 ab
5.SF+GB+VG	38.39	0.134	36.57 ab	0.18 ab
6.SF+GB+VG+AMF	43.80	0.090	36.99 ab	0.067 b
CV (%)	24.26	55.12	4.63	3.20

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ: SF = Soil test-based fertilizer application (20-5-10); GB = Green bean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer.

ตารางที่ 89 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียตะกอนดินและปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินออกจากพื้นที่เปรียบเทียบกับกรรมวิธีของเกษตรกรอำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรีในระยะเวลา 2 ปี

Treatments	Reduction (%)	
	Runoff	Soil loss
1.SF	-	-
2.SF+GB	90	82
3.SF+VG	98	64
4.SF+VG+AMF	98	51
5.SF+GB+VG	93	89
6.SF+GB+VG+AMF	94	33

หมายเหตุ: SF = Soil test-based fertilizer application (20-5-10); GB = Green bean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer.

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 90 วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักที่สูญเสียออกจากไปตะกอนดิน และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากพื้นที่เปรียบเทียบกับวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพียงอย่างเดียว

Treatments	N loss	P loss	K loss	Reduction of nutrients loss (%)		
	(----------g $rai^{-1}crop^{-1}$----------)			Nitrogen	Phosphorus	Potassium
1.SF	0.186	-	-	-	-	-
2.SF+GB	0.175	94	99	98	99	98
3.SF+VG	0.132	71	96	87	96	87
4.SF+VG+AMF	0.083	44	64	54	64	54
5.SF+GB+VG	0.124	66	75	98	75	98
6.SF+GB+VG+AMF	0.127	68	63	90	63	90
CV (%)	60.38	62.60	57.89			

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ: SF = Soil test-based fertilizer application (20-5-10); GB = Green bean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer.

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 91 จำนวนฝัก และน้ำหนักแห้งของฝักปอกเปลือก เปลือก ซัง และเมล็ด น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์กะเทาะ และความชื้นที่จุดเก็บเกี่ยวในปีที่ 1 และในปีที่ 2

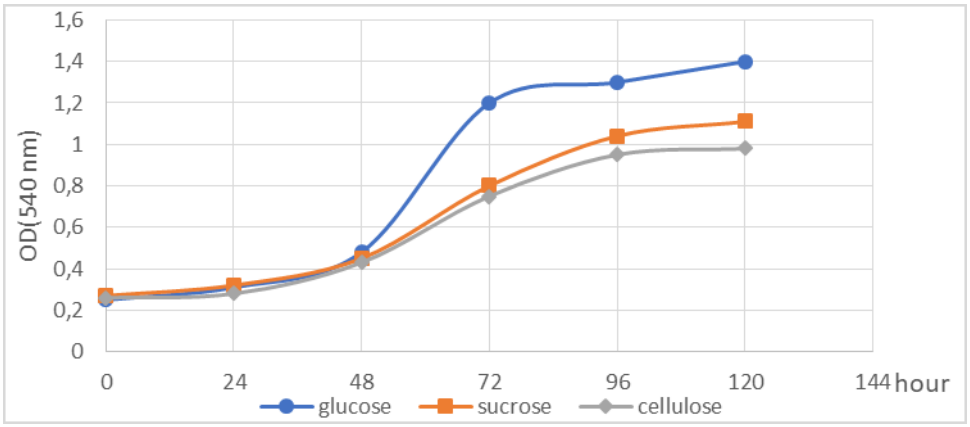
Treatments	Year 1 (2018)								Year 2 (2019)							
	Ear number	Dry weight				100-grain weight	% shelling	Grain moisture	Ear number	Dry weight				100-grain weight	% shelling	Grain moisture
		Dehusk ear	Husk	Cob	Grain*					Dehusk ear	Husk	Cob	Grain*			
	(pod rai^{-1})	(---------- kg rai^{-1} ----------)				g	(------- % -------)		(pod rai^{-1})	(---------- kg rai^{-1} ----------)				g	(------- % -------)	
SF	1989	167	16	124	642	23.1	83.9 bc	20.9	2500	125 ab	24 ab	73 bc	330 b	16.7 a	81.8	12.5
SF+SB	1889	119	13	97	485	21.4	83.3 c	20.5	2267	95 b	18 b	68 c	291 b	15.9 ab	81.0	14.3
SF+VG	1944	170	15	132	701	22.9	84.2 ab	21.2	2067	119 ab	24 ab	100 ab	508 a	14.6 b	83.0	12.7
SF+VG+AMF	1600	131	13	120	654	23.6	84.4 ab	21.3	2511	134 ab	28 a	112 a	516 a	16.5 a	82.1	12.5
SF+SB+VG	2011	154	15	129	707	22.7	84.6 ab	19.9	2444	132 ab	27 a	114 a	499 a	16.2 ab	81.4	13.1
SF+SB+VG+AMF	1789	152	15	130	728	22.6	84.9 a	20.8	2589	153 a	30 a	110 a	520 a	16.0 ab	82.4	12.6
P-values	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	ns
CV (%)	20.37	24.80	23.84	26.06	26.49	8.30	0.81	7.46	17.70	23.99	23.62	25.95	30.79	6.86	1.93	11.85

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ: SF = Soil test-based fertilizer application (20-5-10); GB = Green bean; VG = Vetiver grass; AMF = Mycorrhiza biofertilizer.

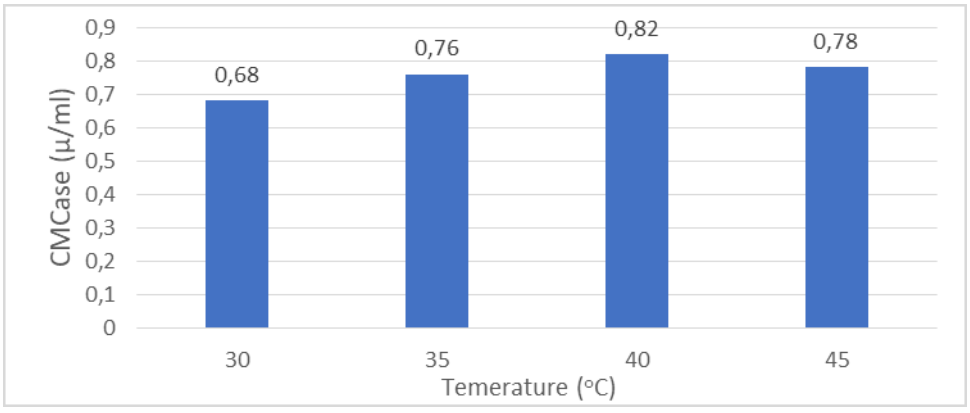
* at 15% moisture

กรมวิชาการเกษตร



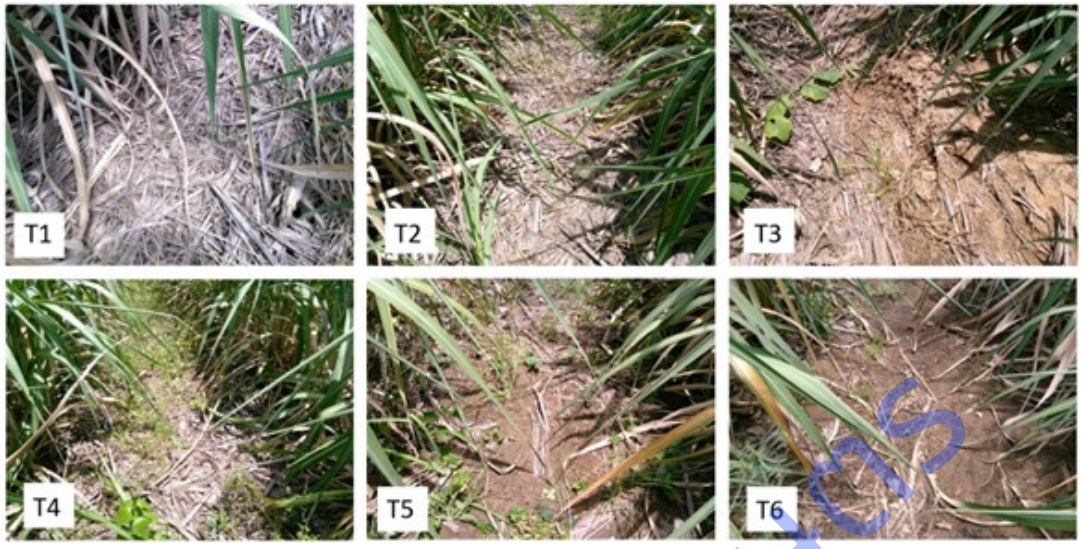
ภาพที่ 19 ผลของแหล่งคาร์บอนต่อการเจริญของจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

ภาพที่ 20 ผลของ pH ต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

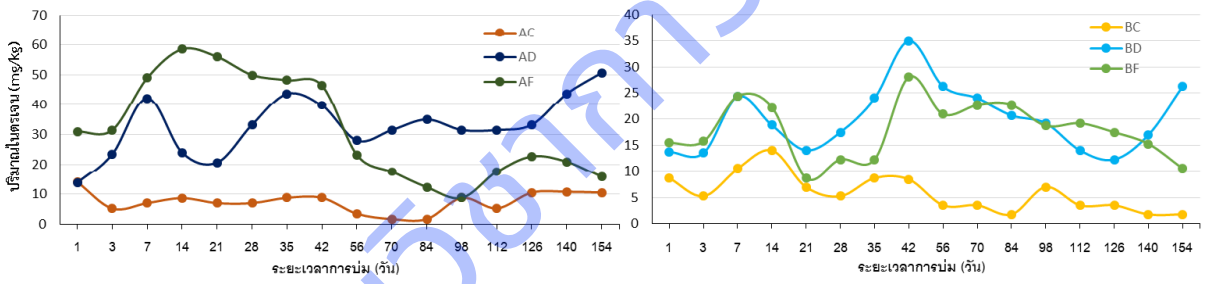


กรมวิชาการเกษตร

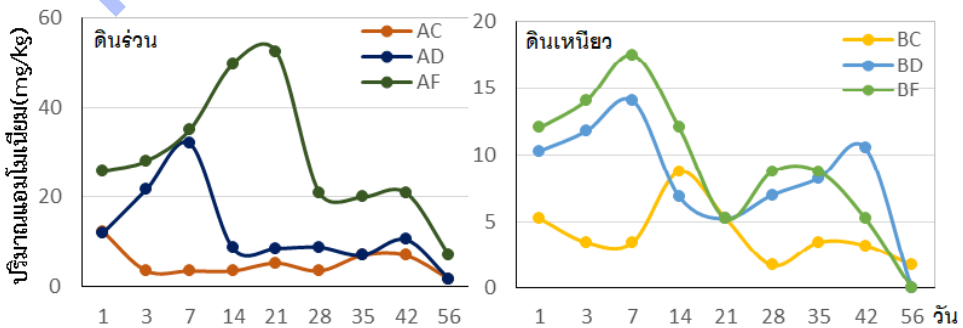
ภาพที่ 21 ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์



ภาพที่ 22 แสดงลักษณะใบอ้อยที่เหลืออยู่ในแปลงเพาะปลูกอ้อย ณ เวลา 120 วัน หลังการทดสอบด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

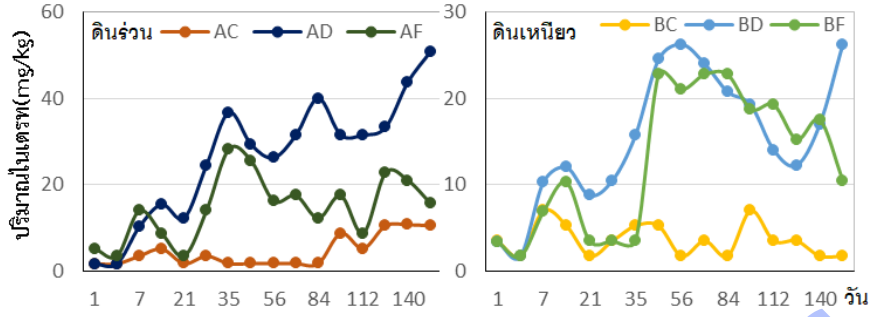


ภาพที่ 23 การปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิในดินร่วนและดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดที่ระยะเวลาต่างๆ (A : ดินร่วน B:ดินเหนียว C: ดินควบคุม D:ใส่แหนแดงแห้ง F:ใส่แหนแดงสด)

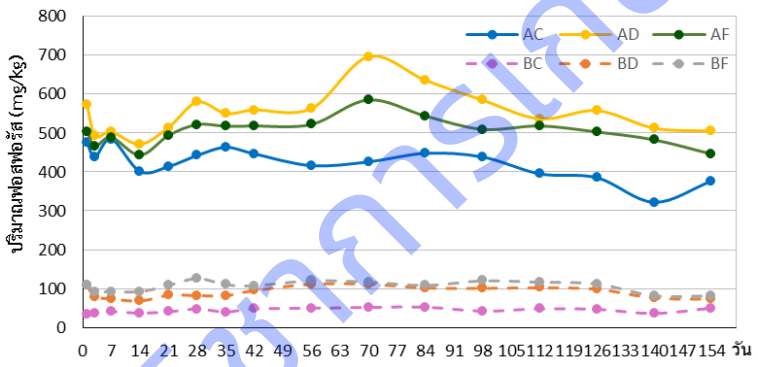


กรมวิชาการเกษตร

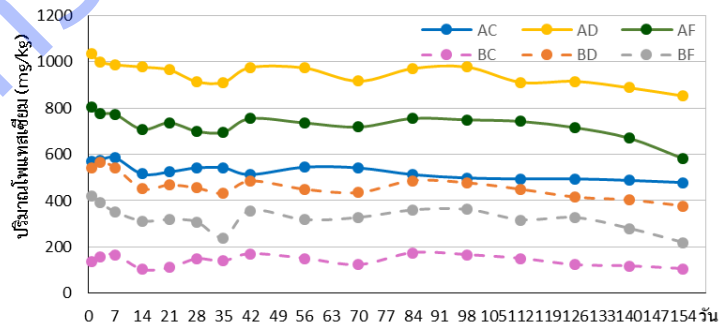
ภาพที่ 24 การปลดปล่อยแอมโมเนียมในดินร่วนและดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดที่ระยะเวลาต่างๆ (A : ดินร่วน B:ดินเหนียว C: ดินควบคุม D:ใส่แหนแดงแห้ง F:ใส่แหนแดงสด)



ภาพที่ 25 การปลดปล่อยไนเตรทในดินร่วนและดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดที่ระยะเวลาต่างๆ (A : ดินร่วน B: ดินเหนียว C: ดินควบคุม D: ใส่แหนแดงแห้ง F: ใส่แหนแดงสด)

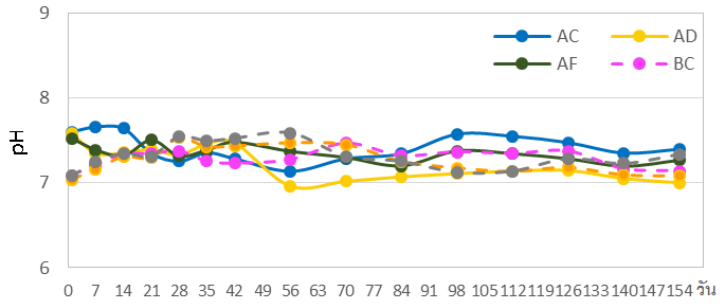


ภาพที่ 26 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยออกมาในดินร่วนและดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดที่ระยะเวลาต่างๆ (A : ดินร่วน B: ดินเหนียว C: ดินควบคุม D: ใส่แหนแดงแห้ง F: ใส่แหนแดงสด)

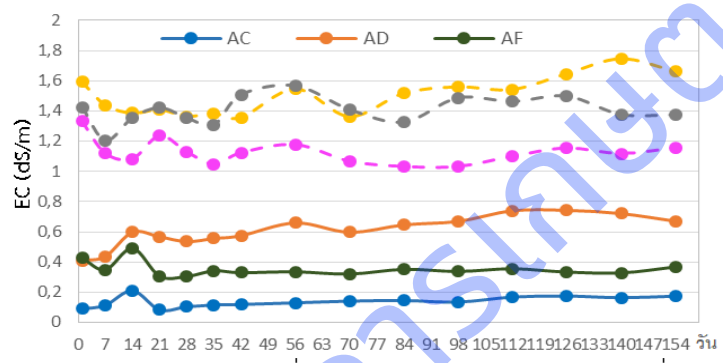


ภาพที่ 27 ปริมาณโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยออกมาในดินร่วนและดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดที่ระยะเวลาต่างๆ (A : ดินร่วน B: ดินเหนียว C: ดินควบคุม D: ใส่แหนแดงแห้ง F: ใส่แหนแดงสด)

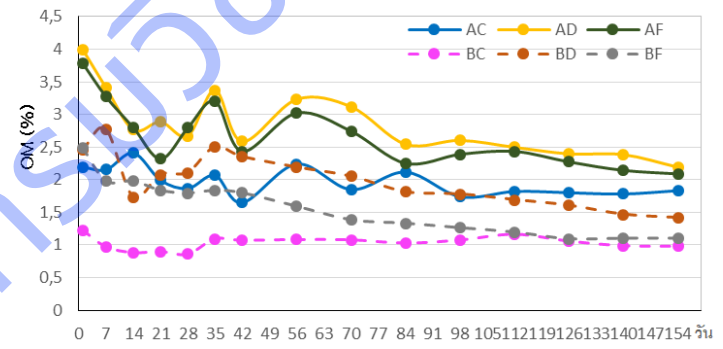
กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 28 ความเป็นกรด-ด่าง (1:1)ในดินร่วนและดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดที่ระยะเวลาต่างๆ (A : ดินร่วน B: ดินเหนียว C: ดินควบคุม D: ใส่แหนแดงแห้ง F: ใส่แหนแดงสด)

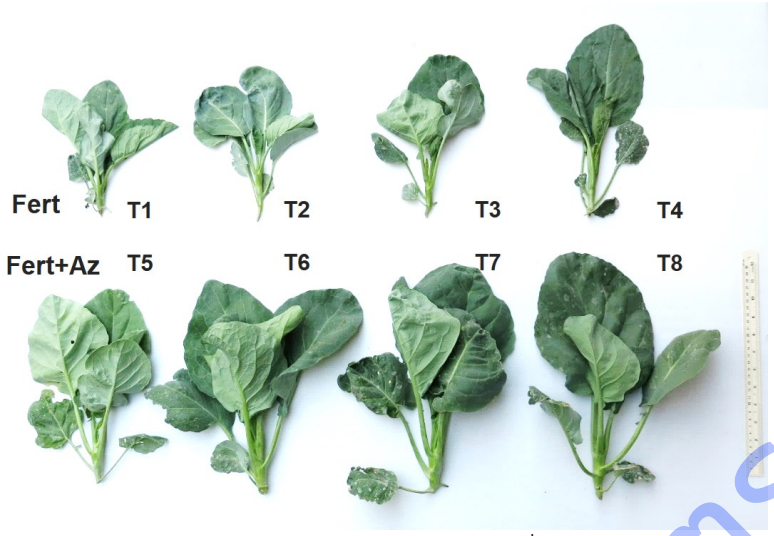


ภาพที่ 29 ค่า EC (1:5) ในดินร่วนและดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดที่ระยะเวลาต่างๆ (A: ดินร่วน B: ดินเหนียว C: ดินควบคุม D: ใส่แหนแดงแห้ง F: ใส่แหนแดงสด)

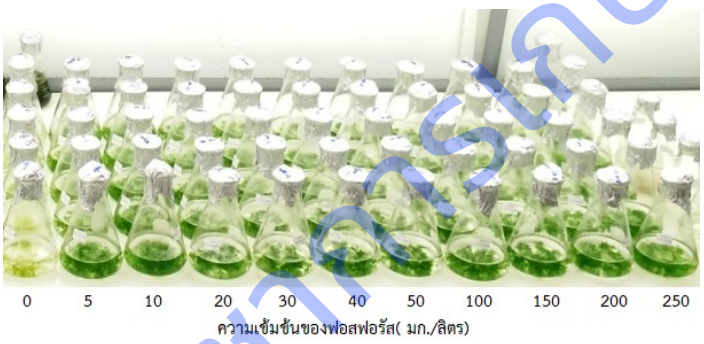


ภาพที่ 30 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินร่วนและดินเหนียวที่ใส่แหนแดงแห้งและแหนแดงสดที่ระยะเวลาต่างๆ (A : ดินร่วน B: ดินเหนียว C: ดินควบคุม D: ใส่แหนแดงแห้ง F: ใส่แหนแดงสด)

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 31 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักคะน้าในแต่ละกรรมวิธีที่ใส่แหนแดงแห้งและปุ๋ยเคมี 0, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน(20-0-0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่)



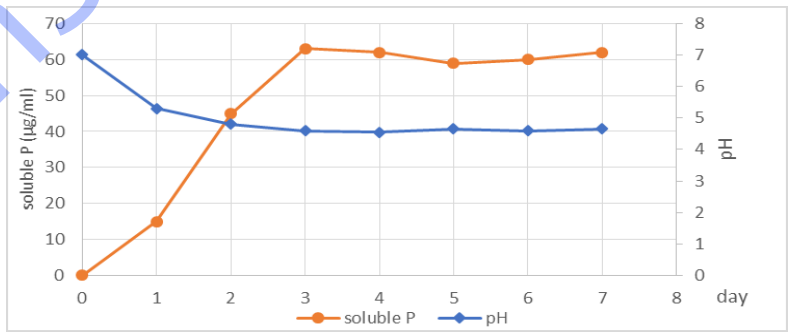
ภาพที่ 32 การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวปราศจากไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระดับต่างๆ (ซ้าย) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostoc* sp. DASH06101 และ (ขวา) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101

ภาพที่ 33 การเพิ่มปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ในสภาพเรือนทดลองในบ่อปูนซีเมนต์

กรมวิชาการเกษตร

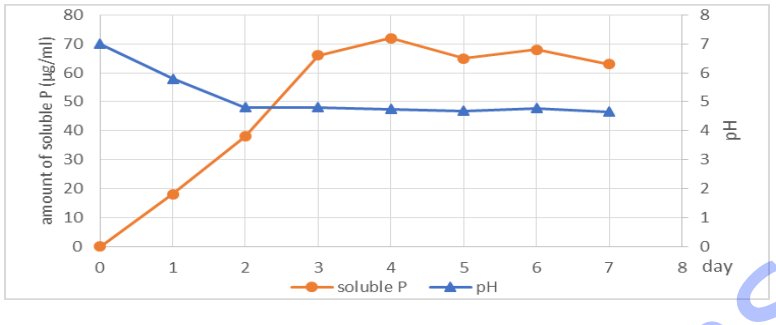
ภาพที่ 34 ผลการใช้สารสกัด BGA ร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง เมื่ออายุ 42 วัน

ภาพที่ 35 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสที่ได้รับการฉีดพ่นและใส่ปุ๋ยทางดินอัตรา 0 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ร่วมกับการฉีดพ่นสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (BGA) ในแต่ละกรรมวิธี

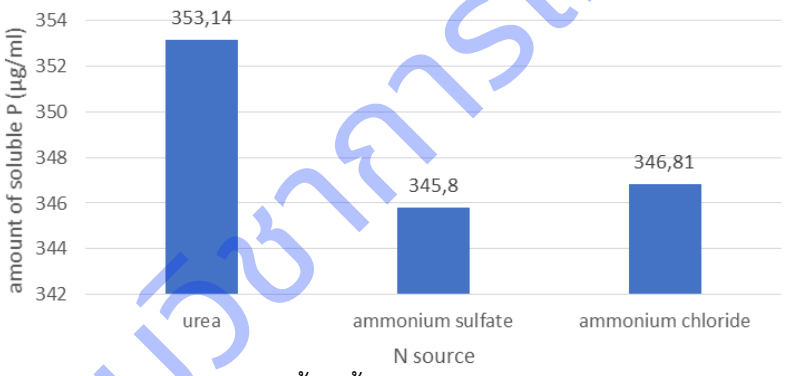


กรมวิชาการเกษตร

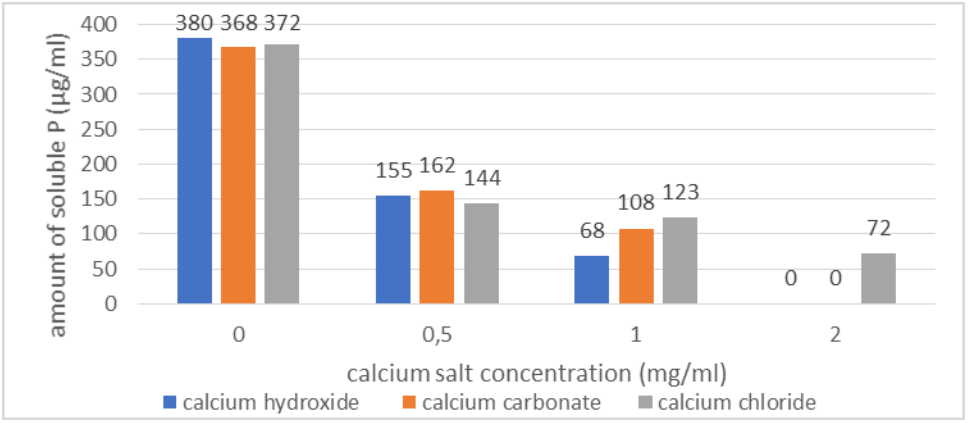
ภาพที่ 36 การละลายอะลูมินัมฟอสเฟตออกมาในรูปที่ละลายได้ และการลดลงของค่า pH ของ *T. macrosporus* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Pikovskaya



ภาพที่ 37 การละลายอะลูมินัมฟอสเฟตออกมาในรูปที่ละลายได้ และการลดลงของค่า pH ของ *T. macrosporus* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Pikovskaya

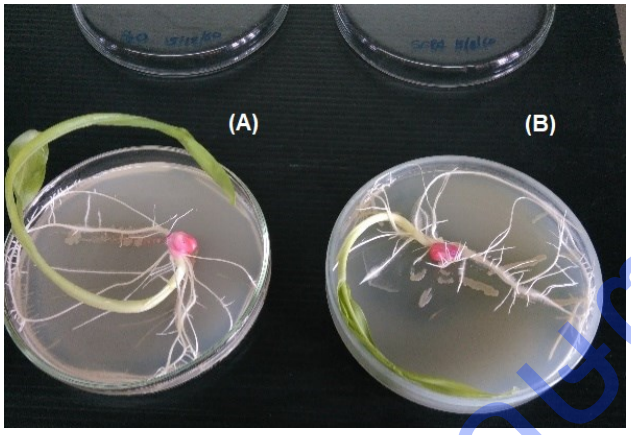


ภาพที่ 38 ผลของชนิดของไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อต่อการละลายฟอสเฟตของ *T. macrosporus* ในอาหาร NBRIY

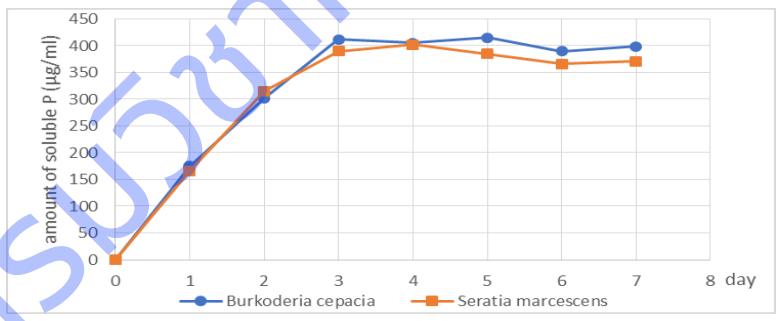


กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 39 ผลของชนิดของเกลือแคลเซี่ยมในอาหารเลี้ยงเชื้อต่อการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในอาหาร NBRIY

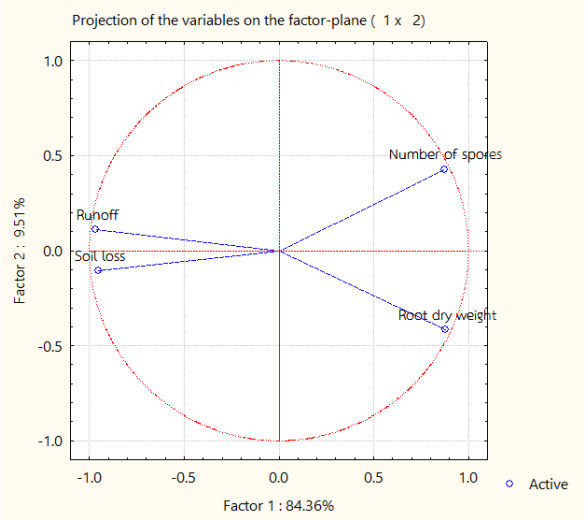


ภาพที่ 40 การละลายฟอสเฟตรอบรากข้าวโพด (A) ไม่ใส่เชื้อ ; ไม่พบการละลายฟอสเฟต (B) ใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ; พบการละลายฟอสเฟตรอบราก



ภาพที่ 41 การละลายฟอสเฟตของ Burkhoderia sp. และ Seratia marcescens ในอาหาร Pikovskaya

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ของจำนวนสปอร์ น้ำหนักแห้งของรากหญ้าแฝกกับปริมาณน้ำไหลบ่าและตะกอนดิน

กิจกรรมที่ 3

การวิจัยและพัฒนากิจกรรมของจุลินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลิตภาพการผลิตพืช

Research and development of activities of microbial co-inoculant with bio-fertilizers to increase crop productivity

ชื่อผู้วิจัย

อธิปัตย์ คลังบุญครอง สุปรานี มั่นหมาย สนธยา ขำติ๊บ นางสาวจิตรา เกาะแก้ว นายมนต์ชัย มนัสสิลา นางสาวอมรรัตน์ ใจยะเสน นางสาวกัลยกร โปร่งจันทึก นายศิวกร เกียรติมณีรัตน์

คำสำคัญ

การปลูกเชื้อร่วมของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต ไรโซเบียม สารคล้ายฮอร์โมนพืช สารซิเดอโรฟอร์

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนากิจกรรมของจุลินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มผลิตภาพการผลิตพืชประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ 1) การศึกษาการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่ผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืชในการผลิตอ้อย และ 2) การศึกษาการปลูกเชื้อไรโซเบียมร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชตระกูลถั่ว ผลการทดลองพบว่า 1) สามารถคัดเลือกแบคทีเรีย *Pantoea dispersa* ที่มีความสามารถในการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช indole acetic acid (IAA) ได้สูงระหว่าง 30-36 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสามารถใช้ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต (*Taralomyces macrospores*) และ *Burkhoderia* sp. ในการผลิตอ้อย พบว่า

กรมวิชาการเกษตร

P. dispersa และ *Burkhoderia* sp. ครอบครองรากอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ได้ และสามารถให้ผลผลิตอ้อยระหว่าง 15.1-16.0 ตันต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าการไม่ใช้จุลินทรีย์ (14.55 ตันต่อไร่) 2) พบว่าแบคทีเรีย *A. brasilense* TS13 สามารถเจริญร่วมกับเชื้อไรโซเบียมที่ใช้ทดสอบทั้ง 3 ชนิด คือ *Bradyrhizobium japonicum, B. liaoningense* และ *B. daqingense* ได้ดี รวมทั้งสามารถสร้างสาร IAA และซิเดอโรฟอร์ได้ สำหรับถั่วเขียวและถั่วเหลืองในกระถางทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับไรโซเบียมและ *A. brasilense* TS13 ทำให้ถั่วเขียวและถั่วเหลืองมีการตรึงไนโตรเจนสูงกว่าการใส่เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว ด้านการตรึงไนโตรเจนและปริมาณผลผลิตถั่วเขียวในแปลงทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมร่วมกับ *A. brasilense* TS13 มีค่าการตรึงไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 51.4 ไมโครโมล C_2H_4 ต่อต้นต่อชั่วโมง และมีผลผลิตเท่ากับ 186 กิโลกรัมต่อไร่ ในถั่วเหลืองพบว่า ให้น้ำหนักผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 260 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ค่าการตรึงไนโตรเจนต่ำกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ *A. brasilense* TS13

Abstract

Research and development of activities of microbial co-inoculant with biofertilizers to increase crop productivity consists of 2 experiments: 1) Study of the use of phosphate solubilizing microorganisms with microorganisms producing plant growth hormone-like substances in sugarcane production and 2) study on co-inoculation of Rhizobium with plant growth promoting microorganism for enhancing on leguminous crops. In the 1st experiment, selected the bacteria that performed plant growth hormone-like substances, *Pantoea dispersa* which produced IAA between 30-36 µg/ml. The bacterium, *P. dispersa*, was co-inoculated with *Taralomyces macrospores* and *Burkholderia* sp. The bacteria could colonize on sugarcane (Khonkhan3) root and performed phosphate solubilization activities at the laboratory stage. In the experimental field, the sugarcane that inoculated with the co-inoculants provided a higher yield (between 15.1-16.0 ton/rai) than the sugarcane that was non-inoculation (14.55 ton/rai). In the 2nd experiment, found the *A. brasilense* TS13 could co-inoculate with the three strains of rhizobium, *Bradyrhizobium japonicum*, *B. liaoningense*, and *B. daqingense*, and that also was able to form IAA and siderophore. For mung beans and soybeans tested in the experimental pot, applying chemical fertilizer together with rhizobium and the *A. brasilense* resulted in higher nitrogen fixation of mung beans and soybeans than with rhizobium alone. In the experimental plot, applied the rhizobium with the *A. brasilense* on mung bean had the highest nitrogen fixed by 51.4 µmol C_2H_4/plant/hour and the yield was 186 kg/rai while it performed the highest yield

กรมวิชาการเกษตร

on soybean by 260 kg/rai, but the nitrogen fixation had lower than the treatment that applied rhizobium without the *A. brasilense*.

บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีถึงบทบาทที่สำคัญของจุลินทรีย์ทางด้านธาตุอาหารพืช เช่น การตรึงไนโตรเจนจากอากาศของไรโซเบียมให้แก่พืชตระกูลถั่ว จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต สามารถเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสที่พืชใช้ไม่ได้ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ได้เป็นการเพิ่มฟอสฟอรัสให้แก่พืช เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังมีจุลินทรีย์อีกหลายกลุ่มที่สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ด้วยกันเองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช การดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นจากในดิน การผลิตกรดอินทรีย์ หรือผลิตสารไซเดอโรฟอร์เพื่อทำให้ธาตุเหล็กเป็นประโยชน์แก่พืช เป็นต้น โดยรวมเรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่าจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งหากมีการวิจัยเกี่ยวกับจุลินทรีย์เหล่านี้ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพก็จะเป็นการเพิ่มศักยภาพให้แก่ผลิตพืช การใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ร่วมระหว่างปุ๋ยชีวภาพและจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชนับว่าเป็นทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพและเพิ่มผลผลิตให้แก่พืช จากผลการศึกษาจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชร่วมกับจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชนั้น พบว่ามีจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่สามารถเจริญร่วมกับจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพและสามารถสร้างสารเร่งการเจริญเติบโตต่างๆ ได้

กรมวิชาการเกษตร

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 การศึกษาการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่ผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืชในการผลิตอ้อย

1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช

1.1) ศึกษาปริมาณ L-tryptophan ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช (IAA) เพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหาร nutrient broth ที่เติม L-tryptophan ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 0 1 3 5 และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่า pH เท่ากับ 7 บ่มที่อุณหภูมิห้อง ด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 9 วัน เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณ IAA ที่เกิดขึ้นโดยการปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที เก็บส่วนใสมาผสมกับสาร ortho-

phosphoric acid และ Salkowski's reagent บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จนกระทั่งเกิดสีชมพู ทำการวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร

1.2) ศึกษาผลของ pH ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช โดยเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหาร nutrient broth ที่เติม L-tryptophan ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่า pH เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 บ่มที่อุณหภูมิห้อง ด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 9 วัน เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณ IAA

1.3) ศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ โดยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ ในอาหาร nutrient broth ที่ปรับ pH เป็น 7 และเติมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปรับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสที่ระดับต่างๆ คือ 0.5 1.0 2.0 และ 4.0 เปอร์เซ็นต์ เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง เก็บผลการเจริญของจุลินทรีย์ที่เวลา 0 3 5 7 และ 9 วัน

2) ศึกษาการครอบครองรากของแบคทีเรีย

ชักนำให้แบคทีเรียทนต่อสารปฏิชีวนะ rifampicin ความเข้มข้น 100 ppm ตามวิธีการของศุภลักษณ์และคณะ (2551) โดยการเขี่ยเชื้อบนอาหารวุ้น (nutrient agar) ที่เติมสารปฏิชีวนะ rifampicin ความเข้มข้น 100 ppm จนกระทั่งเกิดโคโลนีที่สามารถเจริญบนอาหารดังกล่าวได้ นำแบคทีเรียดังกล่าวมาแขวนลอยจนมีเซลล์ความเข้มข้น 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อ แช่ท่อนอ้อย พันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพาะเลี้ยงท่อนพันธุ์อ้อยด้วยการเติมน้ำกลั่นปราศจากเชื้อปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทุก 3 วัน จนกระทั่งท่อนอ้อยเกิดการงอกรากชัดเจน ทำการตัดรากมาวางบนอาหารวุ้น pikovskaya ที่เติมสารปฏิชีวนะ rifampicin ความเข้มข้น 100 ppm เพื่อตรวจสอบการครอบครองราก จากการเจริญบนอาหาร และการเกิดวงใสของการละลายฟอสเฟต

3) ทดสอบการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่ผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืชในการผลิตอ้อย

นำจุลินทรีย์จากปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (*Taralomyces macrosporus*) จุลินทรีย์ที่ผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช(*Pantoea dispersa*) และจุลินทรีย์ที่มีความสามารถทั้งละลายฟอสเฟตและผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช (*Burkhoderia* sp.) มาทดสอบในอ้อย โดยเพาะท่อนพันธุ์อ้อยในแปลงทดสอบขนาด 6x8 เมตร ระยะระหว่างแถว 1.5 เมตร ระยะระหว่างต้น 40 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร วางแผนการทดลองแบบ RCB 8 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (ควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต (Tm)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต ร่วมกับจุลินทรีย์ที่สร้างสารคล้ายฮอร์โมนพืช (Tm+Pd)

กรรมวิธีที่4 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่สร้างสารคล้ายฮอร์โมนพืชและละลายฟอสเฟต(Tm+Bsp)

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ที่สร้างสารคล้ายฮอร์โมนพืช (Pd)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ที่สร้างสารคล้ายฮอร์โมนพืช ร่วมกับจุลินทรีย์ที่สร้างสารคล้ายฮอร์โมนพืชและละลายฟอสเฟต (Pd+Bsp)

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ที่สร้างสารคล้ายฮอร์โมนพืชและละลายฟอสเฟต (Bsp)

กรรมวิธีที่ 8 ใส่ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ที่สร้างสารคล้ายฮอร์โมนพืช และปุ๋ยชีวภาพจุลินทรีย์ที่สร้างสารคล้ายฮอร์โมนพืชและละลายฟอสเฟต (Tm+Pd+Bsp)

หมายเหตุ Tm=*Taralomyces macrosporus*, Pd= *Pantoea dispersa* และ Bsp=*Burkhoderia* sp.

3.2 การศึกษาการปลูกเชื้อไรโซเบียมร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชตระกูลถั่ว

1) คัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตจากรากพืชตระกูลถั่วและดินบริเวณรอบรากพืชตระกูลถั่ว ทั้งแบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท จากนั้นทำให้เชื้อบริสุทธิ์และนำมาจำแนกชนิดและทดสอบคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญของพืชตระกูลถั่ว

2) ทดสอบคุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่คัดเลือกในการสร้างสารเร่งการเจริญเติบโต และคุณสมบัติไม่เป็นเชื้อปฏิปักษ์ (non-antagonistic) ต่อไรโซเบียม

2.1) การทดสอบคุณสมบัติในการสร้างสารเร่งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

- การทดสอบและคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถสร้างสาร ซิเดอโรฟอร์ บนอาหารแข็งสูตร Chrome azurol S-modified Gaus No.1 (CAS-MGs-1) agar สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหารทดสอบรอบจุดที่ลากแบคทีเรียบนอาหารทดสอบ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีที่เกิดขึ้น (Milares *et al*., 1999)

- การทดสอบการผลิต indole 3-acetic acid (IAA) โดยบ่มเลี้ยงเชื้อในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 48 ชั่วโมง ตรวจผลโดยการหยด Salkowski's reagent อ่านผลจากสีชมพูที่เกิดขึ้นโดยเทียบกับ IAA standard (Bric *et al*., 1991)

- ทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตโดยใช้อาหารแข็ง Pikovskaya's medium (PVK) ตรวจวัดผลโดยจากบริเวณใสของการละลายฟอสเฟตที่เกิดขึ้นบนอาหารทดสอบ (Subba Rao, 1993)

2.2) การทดสอบคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของรา

- การทดสอบและคัดเลือกราที่สามารถสร้างสาร ซิเดอโรฟอร์ บนอาหารแข็งสูตร Chrome azurol S-modified Gaus No.1 (CAS-MGs-1) agar โดย นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน สังเกตการเปลี่ยนสีรอบจุดที่วางราบนอาหารทดสอบและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีที่เกิดขึ้น (Milares *et al*., 1999)

- การทดสอบความสามารถของราในการสร้างสารส่งเสริมการเจริญของพืช Indole acetic acid (IAA) โดยนำมาเลี้ยงในอาหารเหลว สูตร Czapek dox medium เติม 2% L-Tryptophan ที่บรรจุในหลอดทดลองปริมาตร 7 มิลลิลิตร แล้วนำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าเป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำอาหารเหลวที่ได้มาปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายส่วนใส และนำส่วนใสที่ได้มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย Salkowski reagent เพื่อทดสอบหาปริมาณ IAA อ่านผลจากสีชมพูที่เกิดขึ้น (Bric *et al*., 1991)

กรมวิชาการเกษตร

- การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราในการละลายฟอสเฟต (Malviya *et al*., 2011) เลี้ยงเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Pikovskaya's agar บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน จะสังเกตเห็นโซนใสรอบโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำการวัดรัศมี ของบริเวณใสและรัศมีของโคโลนี เพื่อนำมาคำนวณหาความสามารถในการละลายดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{ค่าการละลายฟอสเฟต} = \frac{\text{รัศมีโคโลนี + รัศมีบริเวณใสรอบโคโลนี}}{\text{รัศมีโคโลนี}}$$

2.3) การทดสอบคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของแอคติโนมัยสีท

- ทดสอบการสร้าง ซิเดอโรฟอร์ โดยเลี้ยงแอคติโนมัยสีทบนบนอาหาร CAS agar บ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน จากนั้นนำเชื้อไปทดสอบเชื้อที่สร้างไซเดอร์โรฟอร์จะให้วงสีส้มรอบ plug (Milares *et al*., 1999)

- ทดสอบการสร้าง IAA นำแอคติโนมัยสีทมาเลี้ยงในอาหาร tryptone yeast extract broth ที่เติม L-tryptone 2 mg/l บ่มไว้เป็นเวลา 5 วัน นำไปปนเหวี่ยงและดูดสวนใสและเติม Salkowski reagent ตรวจดูการเกิดสีชมพู (Bric *et al*., 1991)

- ทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟต โดยเลี้ยงเชื้อแอคติโนมัยสีทในอาหารเหลว TSB เป็นเวลา 3-5 วัน จากนั้นนำเชื้อปริมาตร 100 ไมโครลิตร หยดลงบนอาหารแข็ง Pikovskaya เป็นเวลา 10 วัน จากนั้นตรวจสอบวงใสบริเวณรอบโคโลนี (Subba Rao, 1993)

2.4) การคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชื้อปฏิปักษ์ (non-antagonistic) ต่อไรโซเบียม

การเตรียมไรโซเบียมสำหรับทดสอบโดยเลี้ยงไรโซเบียมบนอาหารผิวเอียง yeast extract-manitol (YEM) เมื่อเชื้อเจริญเติบโตดีเขี่ยลงอาหารเหลว YEM บ่มแบบเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.2 (รัชนี, 2552)

- การทดสอบการเป็นปฏิปักษ์ของแบคทีเรียทดสอบและไรโซเบียม (รัชนี, 2552)

วิธีการทดสอบทำโดยหยดสารแขวนลอยของแบคทีเรีย 10 ไมโครลิตร ลงบนผิวอาหาร NA medium นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นดูดเชื้อไรโซเบียมที่เตรียมไว้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมลงในอาหาร YEM ที่มีวุ้นอาหาร 0.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากัน นำมาเทราดทับโคโลนีแบคทีเรียทดสอบ บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งและเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีแบคทีเรีย และคำนวณหาค่าการยับยั้งตามสูตร

$$\text{ค่าการยับยั้ง} = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้ง}}{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีแบคทีเรีย}}$$

- การทดสอบการเป็นปฏิปักษ์ของราและไรโซเบียม (Kamau *et al*., 2016)

กรมวิชาการเกษตร

เริ่มจากการเตรียมราทดสอบโดยเลี้ยงราทดสอบในอาหาร Potato dextrose agar (PDA) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นใช้ cock borer ขนาด 5 มิลิเมตร ตัดชิ้นวุ้นบริเวณขอบโคโลนีของรามาวางลงตรงกลางจานเลี้ยงเชื้อบนอาหาร YEMA จากนั้นใช้ loop เขี่ยไรโซเบียมที่ต้องการทดสอบมาขีดลากยาวจากขอบโคโลนีของรา ลากยาวไปยังขอบจานเลี้ยงเชื้อ ขีดรอบรัศมีวงกลมของโคโลนีรา บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน สังเกตการณ์เจริญของเชื้อทั้งสองโดยดูจากบริเวณ ที่เกิดการยับยั้งกัน ทำการจดบันทึกและวัดเปอร์เซ็นต์การยับยั้งโดยใช้สูตร

$$L = \frac{[C - T] \times 100}{C}$$

L = เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของไรโซเบียม

C= ความยาวของไรโซเบียมในจานควบคุม

T= ความยาวของไรโซเบียมในจานทดสอบ

- การทดสอบความเป็นปฏิปักษ์ของแอคติโนมัยสีทและไรโซเบียม (รัชนี, 2552)

หยดสารแขวนลอยของแอคติโนมัยสีท 10 ไมโครลิตร ลงบนผิวอาหาร ISP medium นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นใส่เชื้อไรโซเบียมที่ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมลงในอาหาร YEM ที่มีวุ้นอาหาร 0.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากัน นำมาเทราดทับโคโลนีแอคติโนมัยสีท บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งและเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีแอคติโนมัยสีท และคำนวณหาค่าการยับยั้งตามสูตร

$$\text{ค่าการยับยั้ง} = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้ง}}{\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีแอคติโนมัยสีท}}$$

3) การทดสอบในสภาพกระถางทดลอง ทำการศึกษาทดลองในโรงเรือนทดลอง ของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เตรียมกระถางดินเผาเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว นำดินจากแปลงปลูกถั่วของศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ มาวิเคราะห์ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินก่อนปลูก และค่าความเป็นกรด-ด่าง จากนั้นทำการย่อยดินและผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันดี และแบ่งใส่กระถางทดลองจำนวน 20 กิโลกรัมต่อกระถาง วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำ 12 กรรมวิธี คือ

1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)
2. ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว
3. ใส่ PGPR เพียงอย่างเดียว
4. ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + PGPR
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กิโลกรัม
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กิโลกรัม + ไรโซเบียม

กรมวิชาการเกษตร

7. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ดิน 20 กิโลกรัม + PGPR

8. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ดิน 20 กิโลกรัม + ไรโซเบียม + PGPR

9. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ดิน 20 กิโลกรัม

10. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ดิน 20 กิโลกรัม + ไรโซเบียม

11. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ดิน 20 กิโลกรัม + PGPR

12. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ดิน 20 กิโลกรัม + ไรโซเบียม + PGPR

(ได้จากการชั่งปุ๋ยยูเรีย 0.31 กรัม ปุ๋ยทริปเปิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟต 0.34 กรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.24 กรัม)

ทำการปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ และถั่วเขียวพันธุ์ 84-1 โดยคลุกเมล็ดด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม และใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่กำหนดในกรรมวิธีการทดลอง โดยปลูกถั่วจำนวน 4 ต้นต่อกระถาง เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองฝักสด เมื่อต้นถั่วเริ่มออกดอก เมื่อถั่วเหลืองมีอายุ 35 วันหลังปลูก นับจำนวนปมราก และน้ำหนักแห้งของปมราก ทำการวัดปริมาณการตรึงไนโตรเจนด้วยวิธี Acetylene Reduction Assay แล้ว น้ำหนักแห้งของต้น และน้ำหนักแห้งของราก

4) การทดสอบในสภาพแปลงทดลอง ทำการศึกษาทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ นำดินจากแปลงปลูกถั่วในพื้นที่ มาวิเคราะห์ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินก่อนปลูก และค่าความเป็นกรด-ด่าง เตรียมแปลงทดลองขนาด 10 x 10 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 3 ซ้ำ 6 กรรมวิธี

1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)
2. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่
3. ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + PGPR
4. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ + ไรโซเบียม
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ + PGPR
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ + ไรโซเบียม + PGPR

ทำการปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 และถั่วเขียวพันธุ์ 84-1 เมื่อวันที่ 17 ธันวาคม 2563 โดยคลุกเมล็ดด้วยปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม และใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราที่กำหนดในกรรมวิธีการทดลอง โดยปลูกถั่วจำนวน 4 ต้นต่อหลุม เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของถั่วและเมื่อต้นถั่วเริ่มออกดอกประมาณ 80% เก็บตัวอย่างรากมาวัดประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนด้วยวิธี Acetylene Reduction Assay นับจำนวนปมรากต่อต้นของถั่วเหลือง และชั่งน้ำหนักแห้งปมราก หาน้ำหนักแห้งของต้น และน้ำหนักแห้งของราก ทำการเก็บเกี่ยวเมล็ดถั่วเหลืองเมื่อวันที่ 7 เมษายน 2563 และเก็บเกี่ยวถั่วเขียวเมื่อวันที่ 27 มีนาคม 2563 ในพื้นที่ 4 x 4 ตารางเมตร

เวลาและสถานที่ดำเนินการวิจัย

เวลาดำเนินการวิจัย เริ่มต้นเดือนตุลาคม 2560 สิ้นสุดเดือนกันยายน 2563

กรมวิชาการเกษตร

สถานที่ดำเนินการวิจัย กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
แปลงเกษตรกร อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว
ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

ผลการวิจัย

3.1 การศึกษาการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่ผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืชในการผลิตอ้อย

1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช

คัดเลือกจุลินทรีย์ที่ผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช คือ *Pantoea dispersa* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่เก็บรักษาไว้ของกรมวิชาการเกษตร มาการศึกษาปริมาณ L-tryptophan ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช (IAA) โดยเพาะเลี้ยงในอาหาร nutrient broth ที่เติม L-tryptophan ความเข้มข้น 0 1 3 5 และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม L-tryptophan ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงเวลา 3 ถึง 9 วัน ปริมาณ IAA ที่ผลิตได้มีค่าสูงกว่าการเติม L-tryptophan ความเข้มข้น (ภาพที่ 43)

ศึกษาผลของ pH ต่อการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช โดยนำ *P. dispersa* มาเพาะเลี้ยงในอาหาร nutrient broth ที่เติม L-tryptophan ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ปรับค่า pH เท่ากับ 4 5 6 7 และ 8 จากการทดลองพบว่าค่า pH ที่เพิ่มขึ้น จาก 4 ถึง 7 ทำให้ปริมาณ IAA ที่ผลิตได้สูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มค่า pH เท่ากับ 8 ปริมาณ IAA ที่ผลิตได้มีค่าลดลง เนื่องจาก pH เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการผลิต IAA และปริมาณ IAA ที่ผลิตได้เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่มากขึ้น แต่เริ่มคงที่ในช่วงวันที่ 7 และ 9 (ภาพที่ 44)

จากการศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ โดยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหาร nutrient broth ที่ปรับ pH เป็น 7 และเติมแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปรับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสที่ระดับต่างๆ คือ 0.5 1.0 2.0 และ 4.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความเข้มข้นของซูโครสในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมคือ 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลิตเซลล์ได้ 9.46 และ 9.25 log(cfu/ml) ซึ่งสูงกว่าในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีซูโครสความเข้มข้น 2.0 และ 4.0 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 45)

2) ศึกษาการครอบครองรากของแบคทีเรีย

ทำการทดสอบความสามารถในการครอบครองรากอ้อย โดยการแช่ท่อนอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ด้วยแขวนลอยของแบคทีเรียที่ทนสารปฏิชีวนะ rifampicin ความเข้มข้น 100 ppm เพื่อตรวจสอบการครอบครองรากที่เกิดขึ้น จากการทดลองพบว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดสามารถครอบครองรากอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยสามารถเจริญบนอาหาร pikovskaya ที่เติมสารปฏิชีวนะ rifampicin ความเข้มข้น 100 ppm และทดสอบกิจกรรมการละลายฟอสเฟตบริเวณรากของ *Burkhoderia* sp. ซึ่งพบว่าบริเวรรอบรากอ้อยมีการละลายฟอสฟอรัสที่ดังภาพที่ 46

3) ทดสอบการใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ที่ผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืชในการผลิตอ้อย

กรมวิชาการเกษตร

เมื่อนำจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต(Tm) จุลินทรีย์ที่ผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช(Pd) และจุลินทรีย์ที่มีความสามารถทั้งละลายฟอสเฟตและผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช(Bsp) มาใช้ร่วมกันในการผลิตอ้อย พบว่า อ้อยมีความสูงมากที่สุดในกรรมวิธีที่ 6(Pd+Bsp) กรรมวิธีที่ 8(Tm+Pd+Bsp) และ กรรมวิธีที่ 3(Tm+Pd) คือ 222 222 และ 217 เซนติเมตร ความกว้างลำต้น พบว่า กรรมวิธีที่ 2(Tm) มีค่ามากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นๆ ยกเว้นกรรมวิธีที่ 5(Pd) ที่มีความกว้างลำต้นต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาน้ำหนัก 10 ต้น พบว่า กรรมวิธีที่ 8 และกรรมวิธีที่ 6 มีค่าสูงที่สุดคือ 16.59 และ 16.27 กิโลกรัม ตามลำดับ กรรมวิธีที่ 2 มีผลทำให้จำนวนลำต่อไร่สูงที่สุด คือ 10977 ลำ ในส่วนค่าความหวาน(บริกซ์) พบว่ากรรมวิธีที่ 6 7 และ 8 มีค่าบริกซ์สูงที่สุด แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 1 2 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับผลผลิตอ้อยนั้นพบว่าทุกกรรมวิธีให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน มีค่าระหว่าง 15.09-16.01 ต้นต่อไร่ แต่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม คือ 14.55 ต้นต่อไร่ (ตารางที่ 2)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจากการปลูกอ้อยด้วยกรรมวิธีต่างๆ นั้น พบว่าในกรรมวิธีที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์ใดๆ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงอย่างรวดเร็วจากเดือนที่ 4 8 และ 12 คือ 20.13, 12.23 และ 8.31 ppm ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งมีการใส่จุลินทรีย์แม้โดยรวมมีการลดลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอย่างต่อเนื่องเช่นกัน แต่การลดลงมีแนวโน้มน้อยกว่าการไม่ใส่จุลินทรีย์ ซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์มีกิจกรรมการละลายฟอสเฟตอย่างต่อเนื่อง แต่อาจเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และถูกดูดใช้ไปโดยพืชด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ในกรรมวิธีที่มีการใส่จุลินทรีย์ 3 สายพันธุ์ การลดลงของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มลดลงน้อยที่สุด คือ 17.66 15.62 และ 14.16 ppm ที่ระยะเวลา 4 8 และ 12 เดือน ตามลำดับ แม้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่เหลืออยู่ไม่จัดว่ามีปริมาณมาก แต่ก็แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่กรรมวิธีนี้ช่วยให้อ้อยมีผลผลิตที่ดี และดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเหลืออยู่เพื่อเป็นประโยชน์ในการเพาะปลูกรอบต่อไป (ภาพที่ 47)

3.2 การศึกษาการปลูกเชื้อไรโซเบียมร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชตระกูลถั่ว

1) การคัดแยกจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโต จากรากและดินบริเวณรอบรากพืช

แยกเชื้อจากดินและรากพืช 6 ชนิดได้แก่ ถั่วเหลือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ถั่วเขียว จังหวัดลำปาง ปอเทือง จังหวัดเชียงราย อ้อย จังหวัดนครสวรรค์ หญ้าแฝก จังหวัดชัยนาท และข้าวโพด จังหวัดสุพรรณบุรี สามารถแยกจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ทั้งหมด 62 สายพันธุ์ โดยแยกจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตจากดินได้ 34 สายพันธุ์ และจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตจากรากพืชได้ 28 สายพันธุ์ แบ่งเป็นแบคทีเรีย 16 สายพันธุ์ รา 25 สายพันธุ์ และแอคติโนมัยสีท 21 สายพันธุ์ (ภาพที่ 48 49 และ 50)

2) คัดเลือกจุลินทรีย์ที่แยกได้จากรากและดินบริเวณรอบรากพืชตระกูลถั่วนำมาทดสอบคุณสมบัติในการสร้างสารเร่งการเจริญเติบโต และคุณสมบัติไม่เป็นเชื้อปฏิปักษ์ (non-antagonistic) ต่อเชื้อไรโซเบียม

กรมวิชาการเกษตร

นำจุลินทรีย์ที่แยกได้ทั้งหมดมาทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างสารเร่งการเจริญเติบโต เช่น IAA สารไซเดอโรฟอร์ ทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟต และนำไปทดสอบความเป็นปฏิปักษ์กับเชื้อไรโซเบียม 3 ชนิด คือ *Bradyrhizobium japonicum B. liaoningense* และ *B. daqingense* ผลการทดลองพบว่าจุลินทรีย์ดินทั้ง 62 สายพันธุ์ โดยแบ่งเป็นแบคทีเรีย 16 สายพันธุ์ แอคติโนมัยสีท 21 สายพันธุ์ และรา 25 สายพันธุ์ มีความสามารถในการสร้างสารเร่งการเจริญเติบโตและมีความเป็นปฏิปักษ์กับเชื้อไรโซเบียมแตกต่างกัน(ตารางที่ 94)

แบคทีเรียทั้ง 16 สายพันธุ์ จำแนกได้เป็น 2 สกุล คือ *Azospirillum* และ *Bacillus* โดยพบว่า มี 2 สายพันธุ์ได้แก่ *A. brasilense* สายพันธุ์ TS13 และ TS29 สามารถสร้าง IAA ได้ในปริมาณสูง นอกจากนี้พบว่าสายพันธุ์ TS13 ผลิตซิเดอโรฟอร์ ได้ในปริมาณสูงที่สุดโดยเกิดวงใสเท่ากับ 6.19 เซนติเมตร และมีค่าการละลายฟอสเฟตสูงที่สุด เมื่อนำไปทดสอบความเป็นปฏิปักษ์กับเชื้อไรโซเบียม 3 ชนิด คือ *B. japonicum B. liaoningense* และ *B. daqingense* พบว่าสามารถเจริญร่วมกับไรโซเบียมทั้ง 3 ชนิดได้ (ตารางที่ 95, 96) จากผลการทดสอบ จึงคัดเลือกแบคทีเรีย *A. brasilense* สายพันธุ์ TS13 มาทดสอบร่วมกับไรโซเบียมในการผลิตพืชตระกูลถั่วในระดับกระถางและแปลงทดลองต่อไป

เมื่อนำแอคติโนมัยสีทที่คัดเลือกมาทดสอบประสิทธิภาพในการสร้าง IAA พบว่าทั้ง 21 สายพันธุ์สามารถสร้างสารไซเดอโรฟอร์ โดยมีการเกิดวงใสอยู่ระหว่าง 3.0-0.25 เซนติเมตร และมี 15 สายพันธุ์ความสามารถในการละลายฟอสเฟต แต่ความสามารถในการสร้างสร้าง IAA ได้ในปริมาณต่ำหรือไม่มี (ตารางที่ 97) เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติการเป็นเชื้อปฏิปักษ์ต่อไรโซเบียม พบว่า *Streptomyces* sp. สายพันธุ์ RFS 12-4 ไม่เป็นปฏิปักษ์ต่อ *B. japonicum* DASA 02006 และ *B. liaoningense* DASA 03018 ในขณะที่ *Streptomyces* sp. WA 21-3 ไม่เป็นปฏิปักษ์กับ *B. japonicum* DASA 02006 และ *B. daqingense* DASA 03084 (ตารางที่ 98)

จากการทดสอบพบว่า ราทั้ง 25 สายพันธุ์มีความสามารถในการสร้าง IAA และสารไซเดอโรฟอร์ โดยราที่สร้าง IAA ได้ในปริมาณสูงมี 3 สายพันธุ์ได้แก่รา *A. niger* (4-69) *Aspergillus flavus* (1-30) และรา Sterile mycelium (2-25) ส่วนราที่สร้างสารไซเดอโรฟอร์ได้มากสุดได้แก่รา *Penicillium* sp.(2-44) สำหรับราที่สามารถละลายฟอสเฟตได้พบจำนวน 10 สายพันธุ์ (ตารางที่ 99) และเมื่อนำราทั้ง 25 สายพันธุ์ไปทดสอบความเป็นปฏิปักษ์กับไรโซเบียม 3 สายพันธุ์พบว่า *Talaromyces* sp.(2-22) และ *Talaromyces* sp.(3-40) ไม่เป็นปฏิปักษ์กับ *B. Japonicum* และ *B. daqingense* รา *Trichoderma* sp.(4-16) ไม่เป็นปฏิปักษ์กับ *B. Japonicum* และ *B. Liaoningense* (ตารางที่ 100)

3) การทดสอบในสภาพกระถางทดลอง ทำการศึกษาทดลองในโรงเรือนของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน

ในปีที่ 1 และ 2 ทำการคัดแยกและทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตแต่ละกลุ่ม การทดลองในปีที่ 3 ได้คัดเลือกจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตจำนวน 1 ชนิดได้แก่ *A. brasilense* TS13 เพื่อนำมาทดสอบการทำงานร่วมกับไรโซเบียมในการผลิตถั่วเหลืองและถั่วเขียวในระดับกระถางทดลอง วางแผน การ

กรมวิชาการเกษตร

ทดลองแบบ CRD มี 3 ซ้ำ 12 กรรมวิธี โดยนำดินจากแปลงปลูกถั่วของศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ มาใช้ในการทดลองในระดับกระถาง

3.1) ผลการปลูกเชื้อร่วมระหว่าง *Azospililum brasilense* และไรโซเบียมในการผลิตถั่วเขียวในกระถางทดลอง

ผลการทดลองพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับไรโซเบียม มีจำนวนปมรากถั่วเขียวมากที่สุดเท่ากับ 332 ปมต่อต้นรองลงมาได้แก่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว มีจำนวนปมเท่ากับ 297 ปมต่อต้น ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีนี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม น้ำหนักสดปม น้ำหนักแห้งปม น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนในพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัมร่วมกับไรโซเบียมและ *A. brasilense* กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับไรโซเบียมและ *A. brasilense* มีค่าการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 54.64 ไมโครโมล C_2H_4ต่อต้นต่อชั่วโมง และ 63.52 ไมโครโมล C_2H_4 ต่อต้นต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยและกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 101)

3.2) ผลการปลูกเชื้อร่วมระหว่าง *Azospililum brasilense* และไรโซเบียมในการผลิตถั่วเหลืองในกระถางทดลอง

ผลการทดลองพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับไรโซเบียม มีจำนวนปมรากถั่วเหลืองมากที่สุดเท่ากับ 86 ปมต่อต้นรองลงมาได้แก่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับไรโซเบียมและ *A. brasilense* มีจำนวนปมเท่ากับ 83 ปมต่อต้น ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีนี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับทุกๆ กรรมวิธี ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม (กรรมวิธีที่ 1 3 5 7 9 และ11) น้ำหนักสดปมพบว่า ทุกๆ กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม (กรรมวิธีที่ 2 4 6 10และ 12) มีน้ำหนักสดปมที่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.97-2.30 กรัม กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมร่วมกับ *A. brasilense* มีน้ำหนักสดแห้งปมมากที่สุดเท่ากับ 0.55 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับ *A. brasilense* น้ำหนักสดรากและน้ำหนักแห้งรากไม่มีความแตกต่างกัน ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับไรโซเบียม และ *A. brasilense* และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับไรโซเบียมและ *A. brasilense* ให้ค่าการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 66.21 และ 70.70 ไมโครโมล C_2H_4 ต่อต้นต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 กรรมวิธีนี้มีความแตกต่างทาง

กรมวิชาการเกษตร

สถิติกับกรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยชีวภาพตัวใดตัวหนึ่งเพียงอย่างเดียว (กรรมวิธีที่ 2 3 6 7 และ9) (ตารางที่ 102)

4) การทดสอบในสภาพแปลงทดลอง ทำการศึกษาทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

จากผลการทดลองในระดับกระถางทดลองในปีที่ 4 ทำการทดสอบในระดับแปลงทดลองโดยปลูกถั่วเหลืองและถั่วเขียว ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารก่อนปลูกทั้ง 2 แปลง พบว่าดินในแปลงปลูกถั่วเขียวมีค่าอินทรียวัตถุเท่ากับ 0.456 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 188.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แปลงปลูกถั่วเหลืองมีค่าอินทรียวัตถุเท่ากับ 0.456 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 177.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 103) นำดินในแปลงปลูกถั่วมาหาปริมาณเชื้อไรโซเบียมในดินโดยวิธี Most Probable Number (MPN) พบว่าแปลงทดลองที่ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ มีปริมาณเชื้อไรโซเบียมในแปลงปลูกถั่วเหลืองเท่ากับ 400 เซลล์ต่อดิน 1 กรัม ปริมาณเชื้อไรโซเบียมในแปลงปลูกถั่วเขียวเท่ากับ 200 เซลล์ต่อดิน 1 กรัม

4.1) ผลการปลูกเชื้อร่วมระหว่าง *Azospililum brasilense* และไรโซเบียมเพื่อการผลิตถั่วเขียวในแปลงทดลอง

เมื่อต้นถั่วเขียวอายุ 56 วัน ดำเนินการวัดประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ไรโซเบียมร่วมกับ *A. brasilense* มีค่าสูงที่สุด คือ 51.4 µmol C_2H_4/ต้น/ชม. ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย แต่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ น้ำหนักปมสดและแห้ง พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ไรโซเบียมและ *A. brasilense* ร่วมกับปุ๋ยเคมี 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ทำให้น้ำหนักปมสดและแห้งสูงที่สุด คือ 3.62 และ 0.51 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่ไรโซเบียมร่วมกับ *A. brasilense* หรือกรรมวิธีที่ใส่ไรโซเบียมร่วมกับปุ๋ยเคมี สำหรับน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้น และรากก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับน้ำหนักปม (ตารางที่ 104 และ 105) ในส่วนของน้ำหนักเมล็ดพบว่าไม่แตกต่างกันทุกกรรมวิธีมีค่าระหว่าง 146-181 กรัม ยกเว้นกรรมวิธีควบคุมที่มีน้ำหนักเมล็ดต่ำที่สุด คือ 90 กรัม (ตารางที่ 106)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. สามารถคัดเลือกแบคทีเรีย *Pantoea dispersa* ที่มีความสามารถในการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช indole acetic acid (IAA) ได้สูงระหว่าง 30-36 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในสภาวะที่มีการเติม L-tryptophan ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำแบคทีเรียดังกล่าวมาใช้ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต(ปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟต) คือ *Taralomyces macrospores* และ แบคทีเรียที่มีความสามารถทั้งละลายฟอสเฟตและผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช *Burkhoderia* sp.ในการผลิตอ้อย พบว่า สามารถครอบครองรากอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ได้ และ

กรมวิชาการเกษตร

ให้ผลผลิตระหว่าง 15.1-16.0 ตันต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าการไม่ใช้จุลินทรีย์ (14.55 ตันต่อไร่) ด้านวิธีการนำไปใช้ในรูปแบบปุ๋ยชีวภาพใส่พร้อมท่อนพันธุ์อ้อยในร่องปลูกและการแช่ท่อนพันธุ์พบว่าให้ผลผลิตอ้อยไม่แตกต่างกัน

2. คัดเลือกจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชจากรากพืชและดินบริเวณรอบรากได้ 62 สายพันธุ์ ประกอบด้วยแบคทีเรีย 16 สายพันธุ์ แอคติโนมัยสีท 21 สายพันธุ์ และรา 25 สายพันธุ์ โดย *Azospirillum brasilense* TS13 มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต และสามารถเจริญร่วมกับเชื้อไรโซเบียมที่ใช้ทดสอบทั้ง 3 ชนิดได้ดี (*Bradyrhizobium japonicum, B. liaoningense* และ *B. daqingense*) รวมทั้งสามารถสร้างสาร IAA และสารซิเดอโรฟอร์ได้ เมื่อนำมาปลูกเชื้อร่วมกับไรโซเบียมสำหรับถั่วเขียวและถั่วเหลืองในกระถางทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย 0-1.44-1.44 กรัม N-P_2O_5-K_2O ร่วมกับไรโซเบียมและ *A. brasilense* TS13 ทำให้ถั่วเขียวและถั่วเหลืองมีการตรึงไนโตรเจนสูงสุดแตกต่างจากการใส่เชื้อไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าการตรึงไนโตรเจนเท่ากับ 63.5 และ 70.7 ไมโครโมล C_2H_4 ต่อต้นต่อชั่วโมง ตามลำดับ ด้านการตรึงไนโตรเจนและปริมาณผลผลิตถั่วเขียวในแปลงทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมร่วมกับ *A. brasilense* สายพันธุ์ TS13 มีค่าการตรึงไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 51.4 ไมโครโมล C_2H_4 ต่อต้นต่อชั่วโมง และมีผลผลิตเท่ากับ 186 กิโลกรัมต่อไร่ ในถั่วเหลืองพบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 3-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับไรโซเบียมมีค่าการตรึงไนโตรเจนสูงที่สุดเท่ากับ 64.9 ไมโครโมล C_2H_4 ต่อต้นพืช แต่พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 3-3-3 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ร่วมกับไรโซเบียมและ *A. brasilense* สายพันธุ์ TS13 ให้น้ำหนักผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 260 กิโลกรัมต่อไร่

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 92 ค่าวิเคราะห์ดินในแปลงอ้อยก่อนการทดลอง

pH (1:1)	EC (dS/m)	Total N (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)	SOC (%)
5.6	0.22	0.12	17.61	155	0.95

ตารางที่ 93 ผลผลิตอ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3 (ปลูกใหม่) ในแปลง ณ เวลา 12 เดือน (มีนาคม 2561-กุมภาพันธ์ 2562)

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	ความกว้างลำต้น (ซม.)	น้ำหนัก 10 ต้น (กก.)	จำนวนลำต่อไร่	บริกซ์	ผลผลิต (ตัน/ไร่)
1. ควบคุม	195c	2.66ab	14.14c	10290abc	18.46cd	14.55b
2. Tm	198bc	2.86a	14.19c	10977a	19.36bc	15.57ab
3. Tm+Pd	217a	2.71ab	14.91bc	10123bc	20.69ab	15.09ab
4. Tm+Bsp	213abc	2.77ab	14.96bc	10313abc	17.71d	15.42ab
5. Pd	206abc	2.62b	14.92bc	10740ab	20.81ab	16.01a
6. Pd+Bsp	222a	2.7ab	16.27a	9703c	21.44a	15.79a
7. Bsp	206abc	2.8ab	15.77abc	9863bc	21.7a	15.55ab
8. Tm+Pd+Bsp	222a	2.81ab	16.59a	9560c	21.95a	15.84a
CV (%)	16.27	4.00	12.92	14.36	6.60	13.96

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หมายเหตุ Tm คือ *Taralomyces macrosporus*, Pd คือ *Pantoea dispersa* และ Bsp คือ *Burkhoderia* sp.

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 94 จำนวนสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่สามารถสร้างสาร IAA, siderophore, ความสามารถในการละลายฟอสเฟต และความเป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อไรโซเบียม

จุลินทรีย์	จำนวนสายพันธุ์จุลินทรีย์							
	ดิน				รากพืช			
	ผลิต IAA	ผลิต siderophore	ละลาย P	ไม่เป็นปฏิปักษ์ต่อไรโซเบียม	ผลิต IAA	ผลิต siderophore	ละลาย P	ไม่เป็นปฏิปักษ์ต่อไรโซเบียม
แบคทีเรีย	8	8	1	1	8	8	3	3
แอคติโนมัยสีท	9	12	10	3	5	9	5	0
รา	15	15	10	3	10	10	0	0
รวม	32	35	21	7	23	27	8	3

ตารางที่ 95 แบคทีเรียที่สามารถสร้างสาร indole-3-Acetic Acid synthesis (IAA), siderophore และความสามารถในการละลายฟอสเฟต

สายพันธุ์	แหล่งที่มา	การผลิต IAA	การผลิต siderophore ค่าการเกิดวงใส(ซม.)	ค่าการละลาย P
Azospirillum brasilense (TS8)	รากอ้อย	++	5.11±0.12	2.56±0.35
A. brasilense (TS13)	ดินรอบรากหญ้าแฝก	+++	6.19±0.23	3.3±0.43
A. brasilense (TS29)	รากข้าวโพด	+++	3.51±0.38	1.76±0.15
A. .brasilense (PN07)	รากข้าว	++	3.15±0.13	1.36±0.15
Azospirillum sp. (A1)	รากถั่วเขียว	+	2.39±0.19	0.00±0.00
Azospirillum sp. (A2)	ดินรอบรากถั่วเหลือง	+	3.08±0.14	0.00±0.00
Azospirillum sp. (A3)	ดินรอบรากถั่วเหลือง	+	2.62±0.20	0.00±0.00
Azospirillum sp. (A4)	รากถั่วเขียว	+	1.7±0.58	0.00±0.00
Bacillus sp. (B1)	ดินรอบรากถั่วเขียว	+	3.28±0.27	0.00±0.00
Bacillus sp. (B2)	ดินรอบรากถั่วเขียว	+	3.43±0.17	0.00±0.00
Bacillus sp. (B3)	ดินรอบรากถั่วเหลือง	+	2.5±0.12	0.00±0.00
Bacillus sp. (B4)	ดินรอบรากถั่วเหลือง	+	3.42±0.14	0.00±0.00
Bacillus sp. (B5)	ดินรอบรากถั่วเขียว	+	1.53±0.39	0.00±0.00
Bacillus sp. (B6)	รากถั่วเหลือง	+	3.57±0.08	0.00±0.00
Bacillus sp. (B7)	รากถั่วเหลือง	+	4.26±0.37	0.00±0.00
Bacillus sp. (B8)	รากถั่วเขียว	+	2.23±0.20	0.00±0.00

กรมวิชาการเกษตร

การผลิต AIA + = เกิดสีชมพู สร้าง IAA (+ = ต่ำ, ++ = ปานกลาง, +++ = สูง), - = ไม่เกิดสีชมพู ไม่สร้าง IAA

ตารางที่ 96 การยับยั้งเชื้อไรโซเบียมโดยแบคทีเรียที่แยกได้จากดินและรากพืช

แบคทีเรียทดสอบ	*B. japonicum* DASA 02006	*B. liaoningense* DASA 01001	*B. daqingense* DASA 03084
Azospirillum brasilense (TS8)	-	+	-
A. brasilense (TS13)	-	-	-
A. brasilense (TS29)	-	+	-
A. .brasilense (PN07)	-	+	-
Azospirillum sp. (A1)	-	+	-
Azospirillum sp. (A2)	+	+	+
Azospirillum sp. (A3)	+	+	+
Azospirillum sp. (A4)	+	+	+
Bacillus sp. (B1)	+	+	+
Bacillus sp. (B2)	+	+	+
Bacillus sp. (B3)	+	+	+
Bacillus sp. (B4)	+	+	+
Bacillus sp. (B5)	+	+	+
Bacillus sp. (B6)	+	+	+
Bacillus sp. (B7)	+	+	+
Bacillus sp. (B8)	+	+	+

หมายเหตุ - = ไม่มีกิจกรรมการยับยั้งไรโซเบียม + = มีกิจกรรมการยับยั้งไรโซเบียม

ตารางที่ 97 แอคติโนมัยสีทสกุล *Streptomyces* spp. ที่สามารถสร้างสาร indole-3-Acetic Acid synthesis (IAA), siderophore และความสามารถในการละลายฟอสเฟต

สายพันธุ์	แหล่งที่มา	การผลิต IAA	การผลิตsiderophore เส้นผ่านศูนย์กลางวงใส (มม.)	ค่าการละลาย P เส้นผ่านศูนย์กลางวงใส (มม.)
SH 1	ดินแปลงปอเทือง	+	0.62±0.17	0.1±0.08
SH 2	ดินแปลงปอเทือง	-	0.30±±0.29	0.2±0.12
SH 3	ดินแปลงปอเทือง	+	0.32±0.11	0.5±0.48
WA 2-2	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	1.08±0.25	3.0±0.12
WA 21-3	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	3.0±0.21	2.7±0.39
WA 22-2	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	1.02±0.14	2.3±0.34
RFS 12-4	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	0.50±.020	3.3±0.45
SS 1	ดินแปลงถั่วเหลือง	-	0.31±0.00	0.00±0.00
SS 2	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	0.25±0.00	0.00±0.00
SM 1	ดินแปลงถั่วเขียว	-	2.43±0.28	1.7±0.12
SM 2	ดินแปลงถั่วเขียว	+	2.37±0.14	1.3±0.21

ศูนย์วิทยการเกษตร

SM 3	ดินแปลงถั่วเขียว	+	1.60±0.14	1.0±0.21
RP 1	รากปอเทือง	+	2.33±0.32	0.3±0.08
RP 2	รากปอเทือง	-	2.45±0.24	0.2±0.00
RM 1	รากถั่วเขียว	+	1.90±0.29	0.00±0.00
RM 2	รากถั่วเขียว	-	1.73±0.13	0.1±0.00
RM 3	รากถั่วเขียว	+	1.90±0.21	0.1±0.00
RS 1	รากถั่วเหลือง	+	1.64±0.11	0.1±0.00
RS 2	รากถั่วเหลือง	+	1.67±0.21	0.00±0.00
RS 3	รากถั่วเหลือง	-	1.20±0.20	0.00±0.00
RS 4	รากถั่วเหลือง	-	0.25±0.00	0.00±0.00

การผลิต AIA + = เกิดสีชมพู สร้าง IAA (+ = ต่ำ, ++ = ปานกลาง, +++ = สูง), - = ไม่เกิดสีชมพู ไม่สร้าง IAA

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 98 การยับยั้งเชื้อไรโซเบียมโดยแอคติโนมัยสีทสกุล *Streptomyces* spp.

รหัสเชื้อ	*B. liaoningense* *DASA 01001*	*B. japonicum* DASA 02006	*B. daqingense* DASA 03084
SH 1	+	+	+
SH 2	+	+	+
SH 3	+	+	+
WA 2-2	+	+	+
WA 21-3	-	+	-
WA 22-2	+	+	+

RFS 12-4	-	-	+
SM 1	+	+	+
SM 2	+	+	+
SM 3	+	+	+
RP 1	+	+	+
RP 2	+	+	+
RM 1	+	+	+
RM 2	+	+	+
RM 3	+	+	+
RS 1	+	+	+
RS 2	+	+	+
RS 3	+	+	+

หมายเหตุ - = ไม่มีกิจกรรมการยับยั้งไรโซเบียม

\+ = มีกิจกรรมการยับยั้งไรโซเบียม

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 99 ราดินที่สามารถสร้างสาร indole-3-Acetic Acid synthesis (IAA), siderophore และความสามารถในการละลายฟอสเฟต

สายพันธุ์	แหล่งที่มา	การผลิต IAA	การผลิตsiderophore ค่าการเกิดวงใส(ซม.)	ค่าการละลาย P
Talaromyces sp.(2-22)	ดินแปลงถั่วเขียว	+	0.4±0.06	1.07 ±0.03
Penicillium sp.(2-44)	ดินแปลงถั่วเขียว	+	2.67±0.64	1.10 ±0.00

Talaromyces sp.(3-29)	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	2.17±0.17	1.10 ±0.00
Sterile mycelium (3-32)	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	1.0±0.00	1.10 ±0.01
Talaromyces sp.(3-40)	ดินแปลงถั่วเขียว	+	1.13±0.23	1.03 ±0.00
Sterile mycelium(3-74)	ดินแปลงถั่วเขียว	+	1.57±0.15	1.10 ±0.00
A. niger (4-3)	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	0.5±0.00	1.10 ±0.00
Trichoderma sp.(4-16)	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	0.7±0.00	1.03 ±0.00
Trichoderma sp.(4-17)	ดินแปลงถั่วเขียว	+	1.93±0.23	1.07 ±0.02
A. niger (4-69)	ดินแปลงถั่วเหลือง	+++	0.5±0.00	1.00 ±0.01
Neosartorya sp.(1-10)	ดินแปลงถั่วเหลือง	+	0.5±0.00	0.00±0.00
Xylaria sp. (1-31)	รากถั่วเขียว	+	1.8±0.17	0.00±0.00
Trichoderma sp.(2-1)	รากถั่วเขียว	+	0.5±0.00	0.00±0.00
Trichoderma sp.(2-14)	รากถั่วเขียว	+	1.0±0.00	0.00±0.00
N. tetanoi (3-17)	รากถั่วเหลือง	+	0.97±1.36	0.00±0.00
N. takakii (2-34)	รากถั่วเหลือง	+	0.77±0.00	0.00±0.00
T. harzianum (4-35)	ดินแปลงปอเทือง	+	0.5±0.00	0.00±0.00
T. harzianum(4-28)	ดินแปลงปอเทือง	++	0.5±0.00	0.00±0.00
N. spinosa (3-10)	ดินแปลงถั่วเขียว	++	1.0±0.00	0.00±0.00
Talaromyces flavus (4-5)	ดินแปลงถั่วเขียว	++	0.4±0.06	0.00±0.00
Hamigera avellanea (2-10)	รากปอเทือง	+	0.5±0.00	0.00±0.00
Xylaria sp. (3-22)	รากปอเทือง	+	0.7±0.00	0.00±0.00
Xylaria sp. (4-13)	รากถั่วเขียว	+	2.0±0.06	0.00±0.00
Aspergillus flavus (1-30)	รากถั่วเหลือง	+++	1.8±0.40	0.00±0.00
Sterile mycelium (2-25)	รากถั่วเหลือง	+++	2.23±0.55	0.00±0.00

การผลิต AIA + = เกิดสีชมพู สร้าง IAA (+ = ต่ำ, ++ = ปานกลาง, +++ = สูง), - = ไม่เกิดสีชมพู ไม่สร้าง IAA

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 100 การยับยั้งเชื้อไรโซเบียมโดยราดินสายพันธุ์ต่างๆ ที่แยกได้จากดินและรากพืช

รหัสเชื้อ	*B. japonicum* DASA 02006	*B. liaoningense* DASA 01001	*B. daqingense* DASA 03084
Talaromyces sp.(2-22)	-	+	-
Penicillium sp.(2-44)	+	+	+
Talaromyces sp.(3-29)	+	+	+
Sterile mycelium (3-32)	+	+	+
Talaromyces sp.(3-40)	-	+	-
Sterile mycelium(3-74)	+	+	+
A. niger (4-3)	+	+	+
Trichoderma sp.(4-16)	-	-	+
Trichoderma sp.(4-17)	+	+	+
A. niger (4-69)	+	+	+
Neosartorya sp.(1-10)	+	+	+
Xylaria sp. (1-31)	+	+	+
Trichoderma sp.(2-1)	+	+	+
Trichoderma sp.(2-14)	+	+	+
N. tetanoi (3-17)	+	+	+
N. takakii (2-34)	+	+	+
T. harzianum (4-35)	+	+	+
T. harzianum(4-28)	+	+	+
N. spinosa	+	+	+
Talaromyces flavus ()	+	+	+
Hamigera avellanea (2-10)	+	+	+
Xylaria sp. (3-22)	+	+	+
Eupenicillium sp. (4-13)	+	+	+
Aspergillus flavus (1-30)	+	+	+
Sterile mycelium (2-25)	+	+	+

หมายเหตุ - = ไม่มีกิจกรรมการยับยั้งไรโซเบียม

\+ = มีกิจกรรมการยับยั้งไรโซเบียม

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 101 จำนวนปม น้ำหนักสดปม น้ำหนักแห้งปม น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก และความสามารถในการตรึงไนโตรเจน ของถั่วเขียวที่ปลูกในกระถางทดลอง

กรรมวิธี	จำนวนปม (ปม)	น้ำหนักสดปม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งปม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดราก (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ต้น/ชม.)
1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)	198 ab	2.27	0.40	4.13	0.91	18.46 c
2. ใส่ไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว	297 a	2.46	0.49	5.59	1.35	27.95 bc
3. ใส่ PGPR เพียงอย่างเดียว	217 ab	2.81	0.52	4.98	1.02	46.98 ab
4. ใส่ไรโซเบียม + PGPR	263 ab	2.17	0.42	4.10	0.94	37.23 abc
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก.	277 ab	2.88	0.50	5.55	1.18	40.62 abc
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. + ไรโซเบียม	254 ab	2.38	0.44	4.77	1.21	41.49 abc
7. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. + PGPR	209 ab	2.42	0.42	5.44	1.28	45.03 abc
8. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. +ไรโซเบียม + PGPR	186 ab	1.89	0.35	4.79	1.51	54.64 a
9. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก.	127 b	1.95	0.29	4.07	0.90	44.92 abc
10. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. + ไรโซเบียม	332 a	2.59	0.47	4.63	1.09	49.41 ab
11. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. + PGPR	235 ab	2.61	0.45	5.65	1.31	50.87 ab
12. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก.+ไรโซเบียม + PGPR	186 ab	1.90	0.37	5.83	1.45	63.52 a
CV %	34.35	22.73	22.43	19.44	18.7	26.84

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 5% โดย DMRT

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 102 จำนวนปม น้ำหนักสดปม น้ำหนักแห้งปม น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก และความสามารถในการตรึงไนโตรเจน ของถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางทดลอง

กรรมวิธี	จำนวนปม (ปม)	น้ำหนักสดปม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งปม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดราก (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ต้น/ชม.)
1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)	11.7 d	0.14 d	0.07 c	4.23	1.05	16.74 c
2. ใส่ไรโซเบียมเพียงอย่างเดียว	60 abc	1.97 a	0.45 ab	3.94	0.98	30.04 bc
3. ใส่ PGPR เพียงอย่างเดียว	25 d	0.81 cd	0.30 abc	4.17	0.98	33.98 bc
4. ใส่ไรโซเบียม + PGPR	56 abc	2.30 a	0.55 a	5.52	1.34	54.18 ab
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก.	36 bcd	1.12 bc	0.40 ab	5.09	1.09	46.47 abc
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. + ไรโซเบียม	61 ab	2.10 a	0.49 ab	6.03	1.45	32.77 bc
7. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. + PGPR	22 d	0.57 cd	0.22 bc	3.90	0.95	28.19 bc
8. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 1.44-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. +ไรโซเบียม + PGPR	62 ab	1.67 ab	0.42 ab	4.25	1.06	66.21 a
9. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก.	35 bcd	0.58 cd	0.28 abc	4.19	1.13	33.30 bc
10. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. + ไรโซเบียม	86 a	2.05 a	0.50 ab	4.53	1.02	40.15 abc
11. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก. + PGPR	30 cd	0.89 cd	0.27 abc	4.77	1.07	48.86 ab
12. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-1.44-1.44 ก. N-P_2O_5-K_2O/ดิน 20 กก.+ไรโซเบียม + PGPR	83 a	2.07 a	0.48 ab	5.17	1.25	70.70 a
CV %	28.08	25.20	26.12	25.08	23.9	43.48

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 5% โดย DMRT

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 103 ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูกของแปลงปลูกถั่วเขียวและถั่วเหลืองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

	Organic matter (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable K (mg/kg)
แปลงถั่วเขียว	0.456	188.38	80
แปลงถั่วเหลือง	0.456	177.38	79.80

ตารางที่ 104 จำนวนปม น้ำหนักสดปม น้ำหนักสดราก และน้ำหนักสดต้น ของต้นถั่วเขียวในระยะออกดอก อายุ 56 วันหลังปลูก แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

กรรมวิธี	จำนวนปม/ต้น	น้ำหนักสดปม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดราก (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดต้น (กรัม/ต้น)
1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)	174	1.82 bc	6.67 b	89.78 c
2. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่	130	1.68 c	10.71 ab	99.75 bc
3. ใส่ไรโซเบียม + PGPR	312	2.97 ab	13.51 a	126.19 ab
4. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม	283	2.8 abc	12.72 a	126.51 ab
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + PGPR	124	1.99 bc	6.80 b	96.03 bc
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P2O5-K2O/ไร่ + ไรโซเบียม + PGPR	230	3.62 a	14.12 a	142.05 a
CV	33.02	39.60	28.86	24.99

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 5% โดย DMRT

ตารางที่ 105 ข้อมูลน้ำหนักแห้งปม น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งต้น และค่าการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมและ *A. brasilense* ในปมรากต้นถั่วเขียวระยะออกดอก อายุ 56 วันหลังปลูก แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้งปม (กรัม)/ต้น	น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ต้น/ชม.)
1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)	0.28 bc	1.63 b	15.18 c	23.833 b

กรมวิชาการเกษตร

2. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่	0.24 c	2.35 ab	16.43 bc	31.21 b
3. ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + PGPR	0.45 ab	3.14 a	21.33 ab	51.38 a
4. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม	0.41 abc	2.87 a	21.14 ab	33.27 b
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + PGPR	0.31 bc	1.61 b	18.22 bc	20.73 b
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม + PGPR	0.51 a	3.26 a	24.08 a	36.07 ab
CV %	39.75	30.51	22.01	45.89

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 5% โดย DMRT

ตารางที่ 106 ข้อมูลความสูงและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเขียวที่ปลูกด้วยกรรมวิธีต่างๆ ณ วันเก็บเกี่ยว

กรรมวิธี	ความสูงต้น (ซม.)	จำนวนฝัก/ต้น	จำนวนเมล็ด/ต้น	น้ำหนักเมล็ด (กรัม)
1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)	58.0	20 c	39 b	90.0 b
2. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่	52.4	45 a	95 a	180.9 a
3. ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + PGPR	57.8	41 ab	84 a	166.3 a
4. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม	57.8	26 c	54 b	158.7 a
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + PGPR	55.9	28 bc	56 b	145.8 a
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม + PGPR	55.2	47 a	97 a	148.6 a
CV %	7.79	13.99	15.2	26.00

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 5% โดย DMRT

ตารางที่ 107 จำนวนปม น้ำหนักสดปม น้ำหนักสดราก และน้ำหนักสดต้น ของต้นถั่วเหลืองในระยะออกดอก อายุ 56 วันหลังปลูก แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

กรรมวิธี	จำนวนปม/ต้น	น้ำหนักสดปม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดราก (กรัม/ต้น)	น้ำหนักสดต้น (กรัม/ต้น)
1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)	45 c	0.35 c	7.68 b	71.81 c

กรมวิชาการเกษตร

2. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่	25 c	0.23 c	11.71 a	122.88 a
3. ใส่ไรโซเบียม + PGPR	102 b	3.11 b	12.79 a	94.23 bc
4. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม	142 a	4.60 a	12.08 a	87.39 bc
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + PGPR	38 c	0.77 c	11.58 a	79.83 bc
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P2O_5-K2O/ไร่ + ไรโซเบียม + PGPR	89 b	2.25 b	13.17 a	101.71 ab
CV %	33.02	44.5	13.08	18.23

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 5% โดย DMRT

ตารางที่ 108 ข้อมูลน้ำหนักแห้งปม น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งต้น และค่าการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียม และ PGPR ในปมรากต้นถั่วเหลืองระยะออกดอก อายุ 56 วันหลังปลูก แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้งปม (กรัม) /ต้น	น้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)/ต้น	ค่าการตรึงไนโตรเจน (µmol C_2H_4/ต้น/ชม.)
1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)	0.07 c	1.74 d	16.51	5.131 c
2. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่	0.05 c	2.63 c	22.87	3.801 c
3. ใส่ไรโซเบียม + PGPR	0.63 b	3.35 a	24.46	32.05 b
4. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม	0.93 a	3.28 a	22.52	64.91 a
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + PGPR	0.17 c	2.76 bc	21.23	13.036 bc
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม + PGPR	0.53 b	3.24 ab	21.53	32.561 b
CV %	45.14	10.91	20.1	42.78

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 5% โดย DMRT

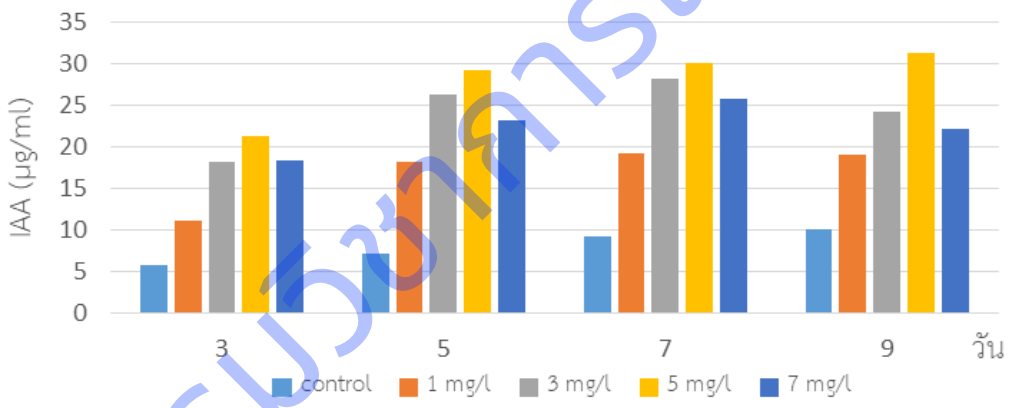
ตารางที่ 109 ความสูงและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกด้วยกรรมวิธีต่างๆ ณ วันเก็บเกี่ยว

กรรมวิธี	ความสูงต้น	จำนวน	จำนวน	น้ำหนักเมล็ด

กรมวิชาการเกษตร

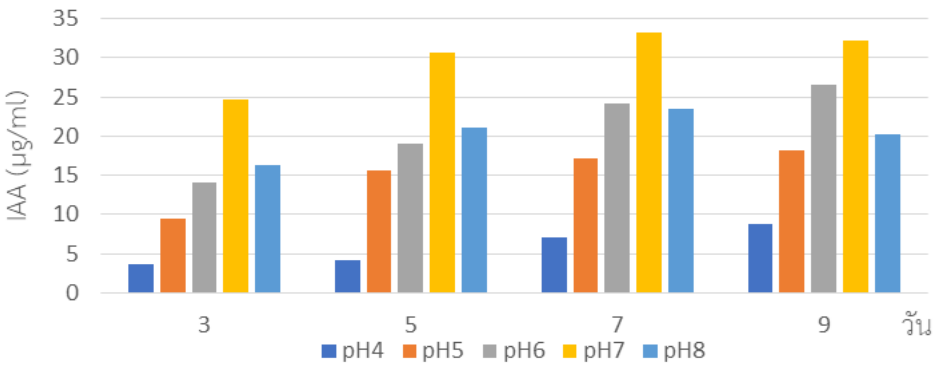
	(ซม.)	ฝัก/ต้น	เมล็ด/ต้น	(กรัม/10 ต้น)
1. ไม่ใส่ปุ๋ย (วิธีควบคุม)	35.3	20 c	39 b	47.9 c
2. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่	39.3	45 a	95 a	112.8 ab
3. ใส่ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียม + PGPR	42.4	41 ab	84 a	116.7 ab
4. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม	37.6	26 c	54 b	75.5 bc
5. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา3-3-3 กก. N-P_2O5-K_2O/ไร่ + PGPR	36.2	28 bc	56 b	74.4 bc
6. ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 3-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ + ไรโซเบียม + PGPR	42.1	47 a	97 a	132.1 a
CV %	13.54	13.99	15.2	19.82

ค่าที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 5% โดย DMRT

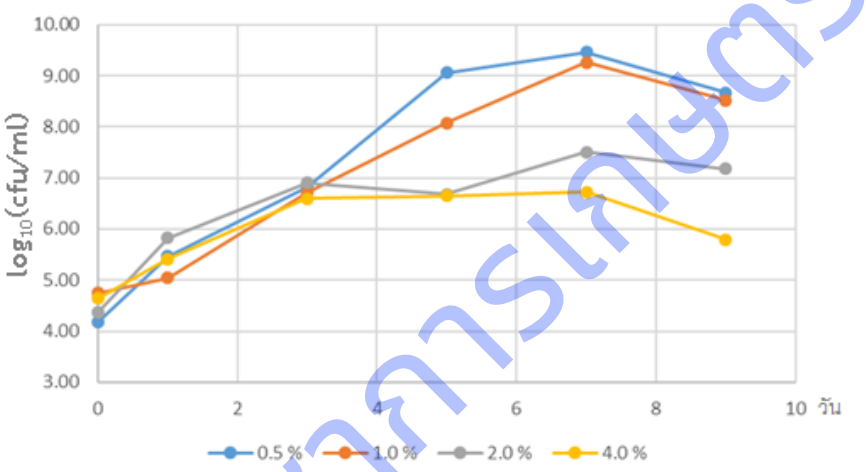


ภาพที่ 43 ปริมาณ L-tryptophan ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช IAA โดยเพาะเลี้ยงในอาหาร nutrient broth

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 44 ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืช (IAA) โดยเพาะเลี้ยงในอาหาร nutrient broth

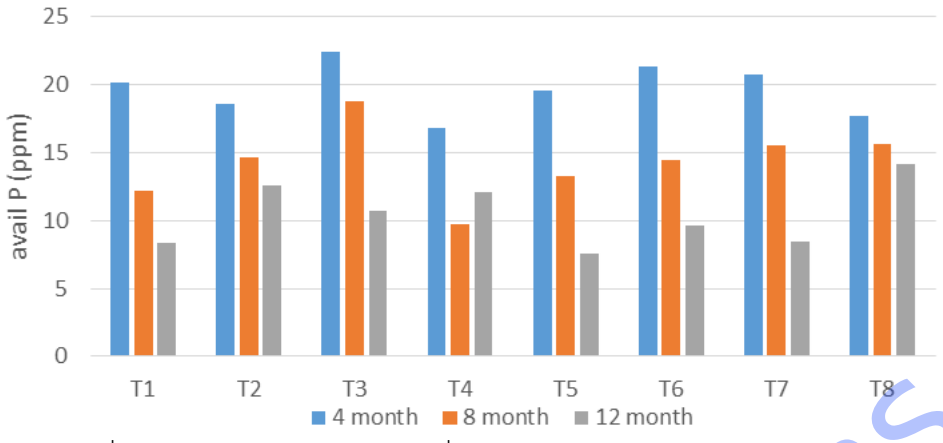


ภาพที่ 45 ผลการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth ที่ปรับระดับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสต่างกัน

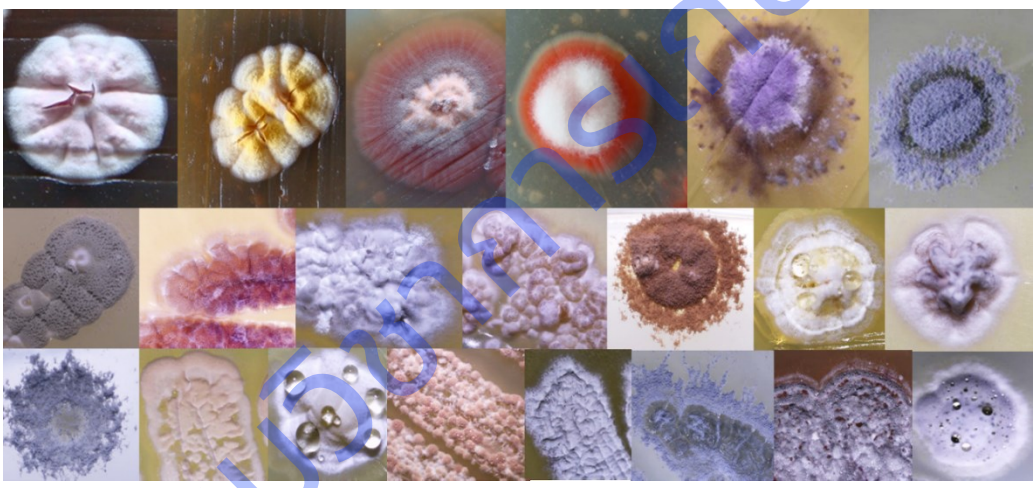
ไม่ใส่จุลินทรีย์ *Pantoea dispersa* *Burkhoderia* sp.

ภาพที่ 46 การครอบครองรากของแบคทีเรีย *Pantoea dispersa* และ *Burkhoderia* sp. และกิจกรรมการละลายฟอสเฟตรอบรากอ้อย

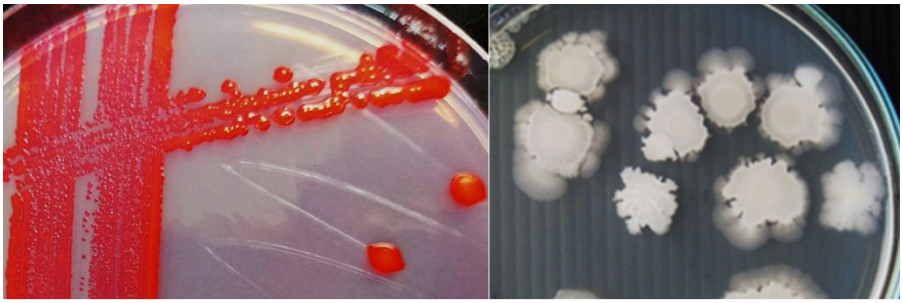
กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจากการปลูกอ้อยด้วยกรรมวิธีการใช้เชื้อร่วมกัน



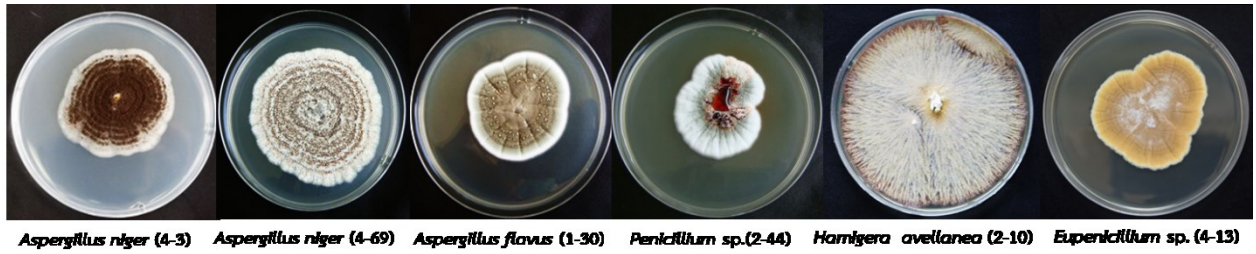
ภาพที่ 48 ลักษณะโคโลนีของแอคติโนมัยสีทที่แยกได้จากดินและรากพืช

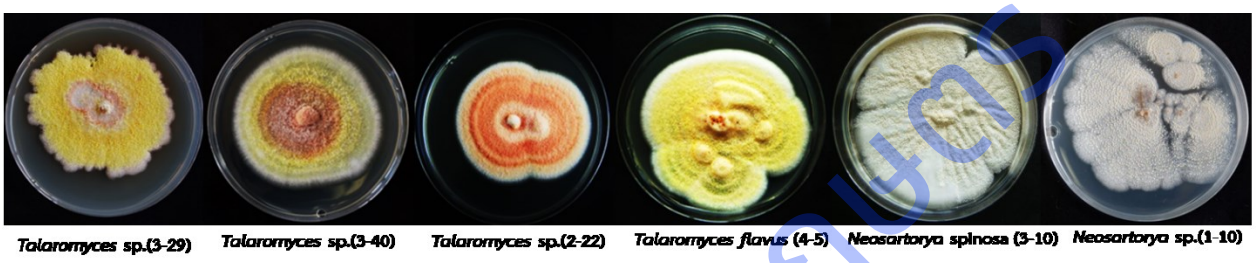


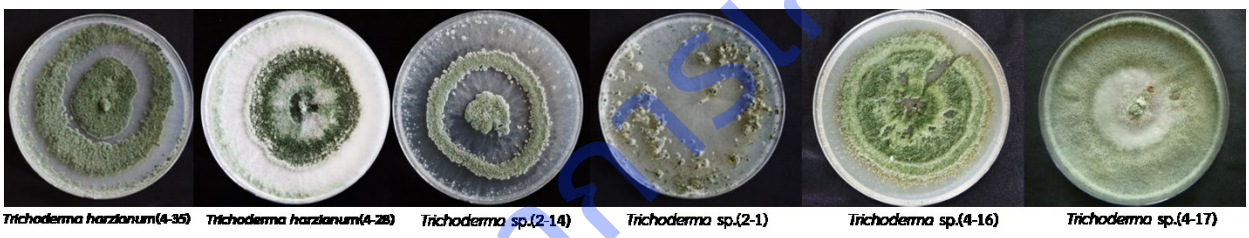
Azospirillum brasilense *Bacillus* sp.

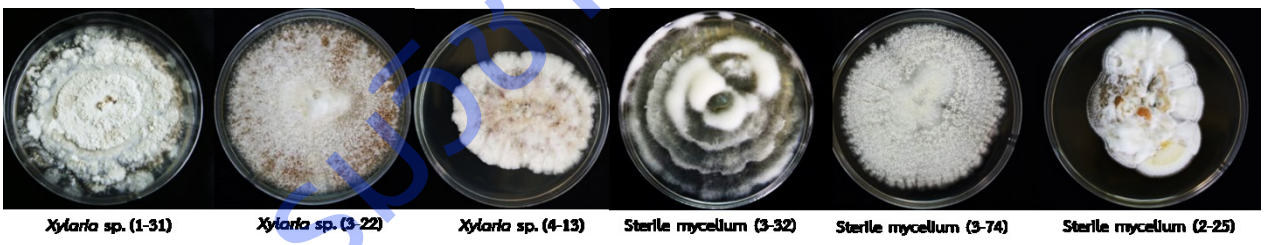
กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 49 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่แยกได้จากดินและรากพืช









ภาพที่ 50 ลักษณะโคโลนีของราดินที่แยกได้จากดินและรากพืช

กรมวิชาการเกษตร

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบใหม่ เป็นการนำจุลินทรีย์ ที่เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพและหัวเชื้อจุลินทรีย์รูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับชนิด ของจุลินทรีย์ที่นำมาวิจัย โดยมี

วัสดุพาที่มีรูปแบบที่แตกต่างไปจากเดิมที่เป็นดินพีท ปุ๋ยหมัก หรือมูลสัตว์บดละเอียด ทำให้ง่ายต่อการควบคุมคุณภาพและปริมาณจุลินทรีย์ ลดขั้นตอน และลดต้นทุนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยชีวภาพ จากงานวิจัยนี้สามารถผลิตปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตรูปแบบผง spray dry ปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมรูปแบบเหลวสำหรับถั่ว 3 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง จุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์รูปแบบเม็ด รูปแบบบอล รูปแบบผง ละเอียดสำหรับย่อยตอซังฟางข้าวและใบอ้อยในแปลง นอกจากนี้ยังสามารถผลิตปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาได้ปริมาณความเข้มข้นที่สูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพและจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในเชิงอุตสาหกรรมที่มีรูปแบบการใช้ที่สะดวกมากขึ้น และทำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น

การพัฒนาศักยภาพการใช้ปุ๋ยชีวภาพและผลิตภัณฑ์หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยวัสดุอินทรีย์ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชในพื้นที่เพาะปลูกและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน สามารถ ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ในการจัดการใบอ้อยเหลือทิ้งในแปลงอ้อยอย่างยั่งยืน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเผาทำลายใบอ้อย การใช้แหนแดงช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชและอินทรียวัตถุในดิน ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 25 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำเพื่อผลิตผักคะน้า การใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Hapalosiphon* sp. DASH05101 ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ฉีดพ่นร่วมกับปุ๋ยทางใบ หรือร่วมกับปุ๋ยเคมีทางดิน สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 25 เปอร์เซ็นต์ของอัตราแนะนำในการผลิตผักกวางตุ้ง คะน้าและผักสลัดคอส การใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *T. macrosporus* ร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต *Burkhoderia* sp. และ *Seratia marcescens* ในการผลิตพืช สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสได้ 25 เปอร์เซ็นต์ การใช้ปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาในการปลูกหญ้าแฝก และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมกับการปลูกถั่วเขียวร่วม กับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน สามารถลดการสูญเสียหน้าดินได้ 67 เปอร์เซ็นต์ และลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชหลักได้

การเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตหรือไรโซเบียมร่วมกับจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตในการเพิ่มผลผลิตพืชโดยการใช้ *Pantoea dispersa* และ *Burkhoderia* sp. ที่สามารถผลิตสารคล้ายฮอร์โมนพืชร่วมกับจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในการผลิตอ้อย และปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมร่วมกับ *Azospililum brasilense* ช่วยเพิ่มผลผลิตถั่วเขียว และถั่วเหลืองได้สูงกว่าปุ๋ยชีวภาพไรโซเบียมอย่างเดียว ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาการผลิตปุ๋ยชีวภาพเชิงผสมให้มีคุณสมบัติดียิ่งขึ้น

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรุงเทพฯ. 122 หน้า.

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2525. เคมีของน้ำโสโครกและการวิเคราะห์. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ. 387 น.

กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 164 น.

ประไพ ทองระอา ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต กานดา ฉัตรไชยศิริ กัลยาณี สุวิทวัส พิมพ์นิภา เพ็ญช่าง นิศารัตน์ ทวีนุต และภาสันต์ ศารทูลทัต. 2560. การใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากล้วยน้ำว้า ‘ปากช่อง 50’ จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 4(4): 16-21.

ประพิศ แสงทอง และพิชิต พงษ์สกุล. 2536. ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจากแหนแดง. วารสารดินและปุ๋ย 15:173-181.

รัชนี มิ่งมา. 2552. แอคติโนมัยสีทจากรากและดินรอบรากพืชตระกูลถั่วและการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 128 หน้า.

วัชรพันธ์ พิทักษ์ภากร, กนกกร สินมา, ศุภชัย อำคา, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้าชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์, ธนศมณท์ กุลการัณย์เลิศ, อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2559. ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีผลต่อการย่อยสลายของซากใบอ้อยในสภาพไร่และสภาพน้ำขังในชุดดินก้าแพงแสน. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 (เมษายน-มิถุนายน): หน้า 28-38.

วิมล ภูกองไชย และ วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์. 2561. การจัดการเศษซากใบอ้อยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจน. แก่นเกษตร 46 ฉบับพิเศษ 1. หน้า 25-29.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต และประไพ ทองระอา. 2557. การใช้แหนแดงเพื่อการผลิตพืช. หน้า 128-135. *ใน* เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ ปี พ.ศ. 2557 สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร 10-12 มิถุนายน 2557 ณ โรงแรมเดอะกรีนเนอรี่ รีสอร์ท เขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต ประไพ ทองระอา กัลยาณี สุวิทวัส กานดา ฉัตรไชยศิริ นิศารัตน์ ทวีนุต ภาสันต์ ศารทูลทัต และพิมพ์นิภา เพ็งช่าง. 2558. การใช้แหนแดงเป็นวัสดุดินผสมเร่งการเติบโตของต้นอ่อนกล้วยน้ำว้าปากช่อง 50 จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 33(ฉบับพิเศษ 1): 589-595.

ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต ประไพ ทองระอา กานดา ฉัตรไชยศิริ และภาสันต์ ศารทูลทัต. 2561. ผลของแหนแดงแห้งต่อการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง. หน้า 332-337. ใน เอกสารการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ

กรมวิชาการเกษตร

ปี 2561 ครั้งที่ 17, 9-21 พฤศจิกายน 2561 ณ โรงแรมเชียงใหม่ แกรนด์วิว แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดเชียงใหม่.

สุนทรี ยิ่งชัชวาล. 2554. ใช้อินทรียวัตถุให้ถูกประเภท. คณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กำแพงแสน. สืบค้นจาก http://www.cab.ku.ac.th/suntaree/pdf/54Organi MatterExplain.pdf

โสพส แซ่ลิ้ม. 2559. เอกสารวิชาการ ปุ๋ยอินทรีย์และการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 145 หน้า.

Allen and Arnon . 1955. Allen and Arnon' s Blue-Green Algae medium micronutrients. Plant Physiol. 30 : 366-372.

Attitalla, I.H. and B. Salleh. 2010. Improvement of carboxymethyl cellulase and xylanase production by alginate immobilized Trichoderma harzianum. Biotechnology, 9: 529-532.

Bhardwaj, K.K.R. and A.C. Gaur. 1970. Effect of humic and fulvic acids on the growth and efficiency of nitrogen fixation by Azotobacter chroococcum. Folia Microbiologica 15: 364-367.

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

Bray, N. C. and R. R. Weil. 2008. The nature and properties of soils. 14th ed. Pearson Education, Inc, Upper Saddle River, New Jersey. 960 p.

Bric, J.M., R.M. Bostock and S.E. Silverstone. 1991. Rapid In Situ Assay for Indoleacetic Acid Production by Bacteria Immobilized on a Nitrocellulose Membrane. Appl. Environ. Microbiol. 57(2): 535-538.

Chaudhary, V.B., T.E. O'Dell, M.A. Bowker, J.B. Grace, A.E. Redman, M.C. Rillig, N.C. Johnson. 2009. Untangling the biological controls of soil stability in semi-arid shrublands. Ecological Applications 19: 110–122.

Cakmak, I., K.Y. Gueluet, H. Marschnerand R.D. Graham. 1994. Effect of Zinc and Iron Deficiency on Phyto-siderophores Release in Wheat Genotypes Differing in Zinc Efficiency. J. Plant Nutri. 17:1-17.

El-Fouly, M.M., Z.M. Mobarak and M.M. Shaaban. 1997. Effect of Different Foliar Iron Chelates on Growth and Nutrient Contents of Cotton Plants. Egypt.J. Physiol. Sci. 3: 357-367.

กรมวิชาการเกษตร

Faggioli, V.S., M.N. Cabello, G. Grilli, M. Vasar, F. Covacevich and M. Öpik. 2019. Root colonizing and soil borne communities of arbuscular mycorrhizal fungi differ among soybean fields with contrasting historical land use. Agriculture, Ecosystems & Environment 269: 174–182.

Ferguson, J.J. and J.A. Menge. 1982. Factors that affect production of endomycorrhizal inoculum. Proc. Fla. State Hort. Soc.95: 37-39.

Gazey, C., L.K. Abbott and A.D. Robson. 2004. Indigenous and introduced arbuscular mycorrhizal fungi contribute to plant growth in two agricultural soils from south-western Australia. Mycorrhiza 14: 355-362.

Gee, G.W. and J.W Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 961-1010. *In* A. Klute, ed. Methods of soil analysis, Part I. ยhysical and mineralogical methods. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Gerdemann, J.W. and T.H. Nicolson. 1963. Spores of Mycorrhizal, Endogone Species Extracted from Soil by Wet Sieving and Decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244.

Giovannetti, M. and B. Mosse. 1 9 8 0 . An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.

Grant, W.T. 1982. Exchangeable cations. pp. 159-161. In: Page, A.L. (ed.) Method of soil analysis. Part 2. Madison, Wisconsin, USA.

Hounsa C.G., Brandt, E.V., Thevelein, J., Hohmann, S. and B.A. Prior. 1998. Role of trehalose in survival of Saccharomyces cerevisiae under osmotic stress. Microbiology. 144: 671-680.

Kaushish, S., A. Kumar and A. Aggarwal. 2011a. Influence of Hosts and Substrates on Mass Multiplication of *Glomus mosseae*. *Afri. J. of Agric. Res*. 6(13): 2971-2977.

Kaushish, S., A. Kumar, C. Mangla and A. Aggarwal. 2011b. Mass Multiplication of AM Inoculum: Effect of Hosts and Substrates in Rapid Culturing of *Acaulospora laevis*. *Indian Phytopath.* 64(2): 159-163.

Lindsay, W.L. 1974. Role of Chelation in Micronutrient Availability. pp. 507-524. *In*: E.W. Carson, ed. The plant root and its environment. University Press of Virginia.

Mangla, C., A. Kumar and A. Aggarwal. 2012. Inoculum Production of Endophytic Mycorrhiza Using Mustard Seed Waste as Substrate. *J. on New Biol. Reports* 1(2): 61-66.

Malviya J., K. Singh, and V. Joshi. 2011. Effect of phosphate solubilizing fungion growth and nutrient uptake of ground nut (Arachis hypogaea) plants.Adv Biores.2: 110–113

Marschner, H. and V. Roemheld. 1996. Root-induced Changes in the Availability of Micronutrients in Rhizosphere. pp. 557-579. *In*: Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi, eds. Plant roots the hidden half. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hong Kong.

Milagres, A.M.F., A. Machuca and D. Napoleao. 1999. Detection of siderophore production from several fungi and bacteria by a modification of chrome azurol S (CAS) agar plate assay. Journal of Microbiological Methods 37: 1–6.

Mohsen, A.A.M., A.S.A. Salama and F.M.A. El-Saadony. 2016. The Effect of Foliar Spray with Cyanobacterial Extracts on Growth, Yield and Quality of Lettuce Plants (Lactuca sativa L.). Mid. East J. Agri. Res. 5(1): 90-96.

Ito, O. and Watanabe, I. 1985. Availability to rice plants of nitrogen fixed by Azolla. Soil Sci. Pl. Nutr. 31(1): 91-104.

Keeney, D.R. 1982. Nitrogen-availability indexes. Pages 711-733. In Methods of soil analysis Part 2. 2nd Ed. A.L. Page; R.H. Miller and D.R. Keeney American Society of Agronomy, Madison, WI.

Miura, T., A. Niswati, I.G. Swibawa, S. Haryani, H. Gunito, and N. Kaneko. 2013. No tillage and bagasse mulching alter fungal biomass and community structure during decomposition of sugarcane leaf litter in Lampung Province, Sumatra, Indonesia. Soil Biol. & Biochem. 58: 27-35.

Naseripou T., Nasrollah S., Shahbaz N., and Rahnama K. 2017. Investigation and Optimization of Extracellular Cellulase Production by *Trichoderma harzianum*. Medical Laboratory Journal. Vol 11(1): 28-32.

National Research Council. 1993. Vetiver grass: a thin green line against erosion. National Academy Press. Washington, USA.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, and organic matter, pp. 961-1010. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert, eds. Methods of soil analysis: Part III Chemical Method. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Nirbhavane, H. and Kale, A. 2020. Efficiency study of phosphate solubilizing bacterial and fungal species and effects on moth gram seed germination. Indian Journal of Microbiology Research. 7. 335-341.

กรมวิชาการเกษตร

Park J., Nanthi B., Megharaj M. and Ravi N. 2010. Enhancing the solubility of insoluble phosphorus compounds by phosphate solubilizing bacteria. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August. P 65-68.

Philips, J.M. and D.S. Hayman, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment for infection. Trans. Brit. Mycol. Soc.55:158-161.

Prasad, M., M. Chaudhary, R. Srinivasan and S.K. Mehawer. 2018. Glomalin: A miracle protein for soil sustainability. Indian Farmer 5 (09): 1092-1100.

Rillig, M.C., S.F. Wright, K.A. Nichols, W.F. Schmid and M.S. Tom. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species. Plant Soil 238: 325-333.

Rossi-Rodrigues, Bianca C., Brochetto-B., Márcia R., Tauk-T., Sâmia Maria, C., Eleonora C. A., Valeska M., and Chaud N.J. 2009. Comparative growth of Trichoderma strains in different nutritional sources, using bioscreen c automated system. Brazilian Journal of Microbiology, 40(2), 404-410.

Sanjuan R, Anzaldo J, Vargas J, Turrado J, and Patt, R. 2011. Morphological and chemical composition of pith and fibers from Mexican sugarcane bagasse. European Journal of Wood and Wood Products 59(6):447-450.

Soil and Plant Analysis Council. 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. Boca Raton, America: CRC Press.

Shaaban, M.M. 2001. Green Micro Water Extract as Foliar Feeding to Wheat Plants. Pak. J. Biol. Sci. 4: 628-632.

Shaaban, M.M. and Z.A. Mobarak. 2000. Effect of Some Green Plant Material as Soil Additives on Soil Nutrient Availability, Growth, Yield and Yield Component of FabaBean Plants. J. Agric. Sci. 25: 2005-2016.

Sivasankari, S., V. Venkatesalu, M. Anantharaj and M. Chandrasekaran. 2005. Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of Vigna sinesis. Bioresource Tech. 1745-1751.

Subba Rao, N.S. 1993. Biofertilizers in Agriculture and Forestry. Subba Rao NS ed. Oxford and IBH Publishing Co, New Delhi, p. 242.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Tegeder, M. and D. Rentsch. 2010. Uptake and Partitioning of Amino Acids and Peptides. Mol. Pl. 3: 997-1011.

Teranishi, T. and Y. Kobae. 2020. Investigation of indigenous arbuscular mycorrhizal performance using a *Lotus japonicus* mycorrhizal mutant. Plants 9: 658(9 pages).

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations, pp. 159-165. *In* C.A. Black, ed. Methods of soil analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agronomy No. 9. ASA and SSSA. Inc., Madison, WI.

Thongjoo, C., S. Miyagawa and N. Kawakubo. 2006. Soil productivity after decomposition of waste materials under different soil moisture and temperature. Plant Prod. Sci. 9: 106-114.

Van Hove, C. 1989. Azolla and its multiple uses with emphasis on Africa. FAO, Rome, Italy. 53 p.

Vuorinen, A.H. and M.H. Saharinen. 1997. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. Agriculture Ecosystem and Environment. 66: 19-29.

Walkley, A. and I. A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil Sci. Amer. Proc. 63:257.

Wang Z., Guoyi X., Pengda M., Yanbing L., Xiangna Y. and Cuiling C. 2017. Isolation and Characterization of a Phosphorus-Solubilizing Bacterium from Rhizosphere Soils and Its Colonization of Chinese Cabbage (*Brassica campestris* ssp. chinensis). Frontiers in Microbiology. Vol 8. Article 1270.

Watanabe, I., B. Ke-Zhi, N.S. Benja, C.R. Espinas, O. Ito and B.P.R. Subudhi. 1981. The Azolla anabaena complex and its use in rice culture. IRPS. 69: 1-11.

Watanabe, I., P.Jr. Benjamin and C. Ramirez. 1991. Mineralization of Azolla N and its availability to wetland rice. Soil Sci. Plant Nutr. 37: 679-688.

Wen, Q.X., Cheng L.L. and Shi S.L. 1987. Decomposition of Azolla in the field and availability of Azolla nitrogen to plants. In Azolla utilization, Pages 241-254. Ed. IRRI. Manila, Philippines

Wilson, M.A. and Ellis, B.G., 1984. Influence of calcium solution activity and surface area on the solubility of selected rock phosphates. Soil Sci. 138, 354–359.

Wright, S.F. and A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of AM fungi. Plant Soil 198: 97-107.

กรมวิทยาศาสตร์

Yamagato, M., S. Matsumoto and N.A.J. Arihara. 2001. Possibility of Direct Acquisition of Organic Nitrogen by Crops. pp. 399-420. *In*: N.A.J.Arihara, K. Okada and A. Srinivasan, eds. Plant Nutrient Acquisition. Springer-Verlag, Tokyo.

กรมวิชาการเกษตร