

ผลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* ในการส่งเสริม
การเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105
EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER COMBINED
WITH *BACILLUS MEGATERIUM* INOCULANT ON PLANT GROWTH
AND YIELD COMPONENT OF KHAO DAWK MALI 105 RICE

วันที่รับ: 23 กรกฎาคม 2563

วันที่แก้ไข: 9 กันยายน 2563

วันที่ตอบรับ: 24 กันยายน 2563

ภัทรนาวรณณ์ ฉันทรัตนโยธิน^{1*}, พันธลพ สินธูยา¹,

เบญจมาศ สันต์สวัสดิ์¹ และ ทิตา Soonthornvipat¹

Phatthanawan Chanrattanayothin^{1*}, Panlop Sintuya¹,

Benjamas Sansawat¹ and Thita Soonthornvipat¹

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

¹Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University

*Corresponding author e-mail: chanrattanayothin@gmail.com



บทคัดย่อ

งานวิจัยเชิงทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์บาซิลลัส เมกะทีเรียม (*Bacillus megaterium*) ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์บาซิลลัส เมกะทีเรียม ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการศึกษาการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ใช้ปุ๋ยเคมี กลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีคุณภาพตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร และเมื่อนำไปใช้ในการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ ร่วมกับการฉีดพ่นหัวเชื้อจุลินทรีย์บาซิลลัส เมกะทีเรียม พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการฉีดพ่นด้วยจุลินทรีย์ มีผลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตในด้านความสูง จำนวนต้นต่อกอ องค์ประกอบผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งผลการวิจัยสามารถแสดงให้เห็นว่าเกษตรกรสามารถนำปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์บาซิลลัส เมกะทีเรียม มาใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในระบบการเกษตรแบบอินทรีย์

คำสำคัญ: บาซิลลัส เมกะทีเรียม, ปุ๋ยอินทรีย์, พีจีพีอาร์, ข้าวขาวดอกมะลิ 105



Abstract

The objective of this experimental research is to study a utilization of organic fertilizer produced by *Bacillus megaterium* inoculant combined with *Bacillus megaterium* inoculant on plant growth and yield component of Khao Dawk Mali 105. The research was carried out in Sansai District, Chiang Mai, Thailand. The plant growth and qualities of product in control, chemical fertilizer treated, organic fertilizer treated, and organic fertilizer combined with innoculum treated groups were studied. The results confirmed that qualities of the obtained fertilizer meet the organic fertilizer standard specified by the Department of Agriculture, Thailand. In addition, using organic fertilizer combined with *Bacillus megaterium* inoculant spraying could increase plant height, the numbers of tillers per plant, yield components, total phenolic content, and antioxidant activities as compared to control. The results confirmed that farmers could apply organic fertilizer combined with *Bacillus megaterium* to replace chemical fertilizer using in organic farming systems.

Keywords: *Bacillus megaterium*, Organic Fertilizer, PGPR, Khao Dawk Mali 105



บทนำ

การทำเกษตรในปัจจุบัน มีการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มไปสู่เกษตรอินทรีย์มากขึ้น เพื่อป้องกันปัญหาของปริมาณสารตกค้างยาฆ่าแมลงที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เกษตรซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ปัญหาสารตกค้างยาฆ่าแมลงส่วนใหญ่เกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่ถูกต้อง (สุภาวดี แหยมคง และคนอื่นๆ, 2560) การทำเกษตรอินทรีย์เป็นหนึ่งในทางเลือกในการแก้ปัญหาการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างยั่งยืน และเป็นการทำเกษตรกรรมที่มุ่งเน้นและส่งเสริมชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกร ชุมชน โดยมุ่งเน้นการใช้ปัจจัยการผลิตที่มาจากธรรมชาติ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทำเกษตรกรรม เช่น การทำปุ๋ยหมักจากของเหลือจากการเกษตร การผลิตจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM) ที่มีการผลิตกันอย่างแพร่หลายจากการหมักเศษผลไม้ เศษผัก เศษปลา เพื่อให้ได้ปุ๋ยน้ำที่มีประโยชน์ต่อพืช ดังนั้น หลักการของการทำเกษตรอินทรีย์ที่สำคัญ คือ ปัจจัยการผลิตหรือจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Chinvarasopak, 2015) การทำเกษตรอินทรีย์เป็นการทำการเกษตรตามแนวพระราชดำริของรัชกาลที่ 9 ถือเป็น

เกษตรทางเลือก เพื่อสร้างคุณค่าของผลิตภัณฑ์เกษตร ลดต้นทุนการผลิต เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น และทำให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในระดับชุมชนหรือท้องถิ่น นอกจากจุลินทรีย์ EM ที่นิยมใช้ในการทำเกษตรอินทรีย์ ยังมีแบคทีเรียกลุ่มส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Promoting Rhizobacteria: PGPR) เป็นหนึ่งในกุญแจสำคัญในความสำเร็จของการทำเกษตรอินทรีย์ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้มีกลไกในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหลายรูปแบบ เช่น การตรึงไนโตรเจน (Kuan, Othman, Abdul Rahim, & Shamsuddin, 2016) การละลายธาตุอาหาร (Yazdani, Bahmanyar, Pirdashti, & Esmaili, 2009) การสร้างซิเดอโรเฟออร์ (Siderophore) (Gupta & Gopal, 2008) การสร้างสารปฏิชีวนะ (Ordookhani, Khavazi, Moezzi, & Rejali, 2010) การสร้างสารยับยั้งเชื้อรา การเหนี่ยวนำการสร้างระบบความต้านทาน (Porcel, Zamarreño, García-Mina, & Aroca, 2014) เป็นต้น ซึ่งแบคทีเรียกลุ่ม PGPR เป็นแบคทีเรียพบบริเวณรากพืช ณ พื้นที่เพาะปลูกนั้นๆ แบคทีเรีย *Bacillus megaterium* เป็นแบคทีเรียกลุ่ม PGPR ที่สำคัญ (Porcel, Zamarreño, García-Mina, & Aroca, 2014) หาได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Khan, Bano, & Zandi, 2018) ดังนั้น การนำแบคทีเรีย *Bacillus megaterium* มาประยุกต์ใช้ทางการเกษตรจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง หรืออาหารเสริมอื่นๆ ได้ (Bhattacharyya & Jha, 2012)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีราคาสูง มีความต้องการบริโภคทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เป็นพันธุ์ข้าวที่สร้างชื่อเสียงให้ข้าวไทยเป็นที่รู้จักทั่วโลก ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าที่มีลักษณะเฉพาะ โดยหลังการหุงต้มจะให้กลิ่นหอมคล้ายใบเตย มีสีขาวเหมือนดอกมะลิ เมล็ดข้าวคงรูป ปัจจุบันมีการส่งออกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไปยัง 120 ประเทศทั่วโลก โดยมีปริมาณการส่งออกระหว่าง 2.2–2.5 ล้านตันต่อปี (บุญรักษ์ พันธุ์ไชยศรี, 2563) นำเงินตราต่างประเทศจำนวนหลายหมื่นล้านบาทสู่เกษตรกรไทย เนื่องจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 อินทรีย์ เป็นข้าวที่ไวต่อช่วงแสง ทำให้ทำการเพาะปลูกได้เพียงปีละครั้งในฤดูข้าวนาปี ข้าวขาวดอกมะลิ 105 อินทรีย์ เป็นข้าวที่ให้ผลผลิตต่ำ (เฉลี่ย 363 กิโลกรัม/ไร่) (กรมการข้าว, 2563) นอกจากนี้ยังเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคและแมลงศัตรู เช่น โรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม หนอนกอข้าว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เป็นต้น (บุญรักษ์ พันธุ์ไชยศรี, 2563)

การศึกษาในครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในพื้นที่อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปรับเปลี่ยนการทำเกษตรเคมีเป็นเกษตรอินทรีย์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพร่วมกับการใช้เชื้อ *Bacillus megaterium* ชนิดที่เกษตรกรสามารถหาแหล่งผลิตได้ง่าย เช่น จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) มาใช้ในการเพาะปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพื่อลดต้นทุนของการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช และสนับสนุนการเจริญของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ อีกทั้งยังส่งเสริมให้เกษตรกรมีรายได้ที่สูงขึ้นทำให้เกิดความยั่งยืนในอาชีพ และเพื่อส่งเสริมการพัฒนาชุมชนและท้องถิ่นอย่างยั่งยืน



วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105



วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* เพื่อใช้เป็นจุลินทรีย์ PGPR ขยายเชื้อ *Bacillus megaterium* ที่ซื้อมาจากศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยเลี้ยงเชื้อเริ่มต้นในอาหาร NB ปริมาณ 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นขยายเชื้อโดยเลี้ยงในอาหารที่มีส่วนผสมของกากน้ำตาล 3 เปอร์เซ็นต์ แอมโมเนียมคลอไรด์ 0.3 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดจากยีสต์ 0.1 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1 เปอร์เซ็นต์ และผงถั่วเหลือง 2 เปอร์เซ็นต์ (ไวรจัน เดชมหิพกุล, จันทรจิรา อยู่คง, กนกวรรณ พุ่มพุดรา, แสงชัย เอกประทุมชัย, และ เพ็ญจันทร์ เมฆวิจิตรแสง, 2550) ให้อากาศตลอดเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นับปริมาณเชื้อด้วยเทคนิคฮีโมไซโตมิเตอร์ (Hemocytometer) ทุกๆ 4 ชั่วโมง เชื้อที่ผลิตได้ต้องมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 10^8 CFU/ml

2. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์
ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการทดลองจำนวน 100 กิโลกรัม โดยมีส่วนผสมดังนี้ มูลวัว 25 กิโลกรัม มูลค่างควา 25 กิโลกรัม กากเห็ดเหลือใช้ 40 กิโลกรัม รำละเอียด 10 กิโลกรัม และหัวเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* 1 กิโลกรัม โดยผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ตักกองปุ๋ยหมักเป็นสั้เหลี่ยมผืนผ้าสูงประมาณ 30 เซนติเมตร คลุมด้วยพลาสติกทิ้งไว้ 12 วัน วิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง ความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณโซเดียม การนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ การย่อยสลายที่สมบูรณ์ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

3. การวางแผนการทดลองและการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

3.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

3 ซ้ำ โดยมี 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และไม่ใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์

ชุดการทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 ในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

ชุดการทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในอัตราส่วน 50 กิโลกรัมต่อไร่

ชุดการทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ในอัตราส่วน 50 กิโลกรัมต่อไร่ และฉีดพ่นจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* โดยเจือจางหัวเชื้อ

จุลินทรีย์เข้มข้น จำนวน 60 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่น 5 ลิตรต่อ 16 ตารางเมตร

3.2 การเตรียมพื้นที่

โดยเตรียมแปลงทดลองขนาด 4 x 3 ตารางเมตร จำนวน 12 แปลง ไถพรวนดินที่ความลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร และควบคุมระดับน้ำในแปลงนาทดลองให้สูงประมาณ 5-10 เซนติเมตร ตลอดระยะเวลาการศึกษาจนถึงระยะข้าวออกรวงจึงปล่อยน้ำออก ใช้พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีอัตราการงอกมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

3.3 การเตรียมพันธุ์ข้าว

นำพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีอัตราการงอกมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ มาแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบ่มด้วยกระสอบป่านเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อเมล็ดพันธุ์ข้าวเริ่มงอก นำไปหว่านในแปลงถนอกลำ และปักดำเมื่อต้นกล้ามีอายุ 28 วันหลังปลูก

4. การวิเคราะห์คุณภาพดินก่อนและหลังการทดลอง

สุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองการปลูกข้าวภายในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ที่กำหนดขอบเขตไว้แล้วของแต่ละแปลงย่อย ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ทำ Composite sample รวมเป็น 1 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH meter (Lertpaitoonpan, Ong, & Moorman, 2009), ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) (Walkley & Black, 1934), ปริมาณไนโตรเจน (Sáez-Plaza, Navas, Wybraniec, Michałowski, & Asuero, 2013), ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray & Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ ด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

5. การวัดการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปริมาณผลผลิต

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าว คือ ความสูงโดยวัดตั้งแต่ผิวดินที่โคนต้น จนถึงปลายรวง และการแตกกอที่อายุข้าว 30, 45, 60, 75, 90 และ 105 วันหลังปักดำ โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง แถวกลางตามเส้นทแยงมุมในแต่ละแปลงย่อย จำนวน 10 กอต่อหน่วย ทดลอง เก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตข้าวและผลผลิตข้าวในทุกหน่วยทดลองโดยสุ่มแบบ เส้นทแยงมุม จำนวน 10 กอ โดยเป็นกอเดียวกันกับที่ใช้เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตเพื่อวัดหา องค์ประกอบผลผลิตข้าวเพื่อนับจำนวนรวงข้าวต่อกอ จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวง จำนวนเมล็ดดี ต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ น้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด

6. การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระ

6.1 การวิเคราะห์ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีดัดแปลง Folin-Ciocalteu method ใช้กรดแกลลิก ($C_7H_6O_5$) เป็นสารมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 0–300 มิลลิกรัมต่อลิตร สกัดตัวอย่างโดยใช้สารละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ นำสารสกัดที่ได้ 1 มิลลิลิตร เติม 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร และสารละลาย 50 เปอร์เซ็นต์ Folin-Ciocalteu's reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติม 5 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกัน นำไปตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อเกิดปฏิกิริยาสารละลาย จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo Electron Corporation, NICOLET evolution 300, USA) (Blainski, Lopes, & De Mello, 2013)

6.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH radical scavenging activity assay ใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1–10 มิลลิกรัมต่อลิตร สกัดตัวอย่างโดยใช้สารละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ นำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร นำมาละลายด้วย 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล จำนวน 1.6 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 200 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo Electron Corporation, NICOLET evolution 300, USA) (Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos, & Byrne, 2006)



ผลการวิจัย

1. การผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium*

การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* ในอาหารสำเร็จ NB เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จำนวนเชื้อเพิ่มจากเชื้อเริ่มต้น เป็น 4×10^8 CFU/ml และเมื่อนำไปขยายในอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณ 20 ลิตร โดยให้อากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.8×10^8 CFU/ml ซึ่งเป็นระยะเวลาที่มีปริมาณเชื้อสูงที่สุด

2. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์

หลังการหมักปุ๋ยอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* เป็นเวลา 12 วัน คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์หลังการหมักด้วยจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium*

รายการทดสอบ	ผลทดสอบ
ความเป็นกรดต่าง	8.2
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	18.2
ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	2.1
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	2.0
โพแทสเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1.6
ปริมาณโซเดียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	0.5
การนำไฟฟ้า (dS/m)	5.0
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	19.1
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	32.9
การย่อยสลายที่สมบูรณ์ (เปอร์เซ็นต์)	122.4
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	9/1
เศษพลาสติก แก้ว วัสดุไม้ หรือโลหะอื่นๆ	ไม่พบ
ปริมาณหินและกรวดขนาดตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ขึ้นไป	ไม่พบ
ขนาดของปุ๋ย 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร (เปอร์เซ็นต์)	100

จากผลการตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้ พบว่าเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ซึ่งมีคุณภาพเทียบเท่ากับปุ๋ยอินทรีย์ที่ขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยตัวเองเป็นการลดต้นทุนการเพาะปลูกสร้างรายได้ และผลักดันให้เกิดความเข้มแข็งในชุมชน เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน

3. การวิเคราะห์คุณภาพดินก่อนและหลังการทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงค่าคุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังทำการทดลอง พบว่า ก่อนการทดลองดินมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เฉลี่ยเท่ากับ 6.51 มีอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) เฉลี่ยเท่ากับ 0.71 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) เฉลี่ยเท่ากับ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เฉลี่ยเท่ากับ 24.75 และปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (Soluble K) เฉลี่ยเท่ากับ 173.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลของปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการพ่นจุลินทรีย์ทางใบ ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินหลังการทดลองเพิ่มขึ้น 48 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และเพิ่มขึ้น 52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการพ่นจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับปริมาณไนโตรเจน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์เพิ่มปริมาณไนโตรเจนเทียบกับกลุ่มควบคุม 43 เปอร์เซ็นต์ และ 71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่การเติมปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเพียง 28 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำมีค่าลดลงเมื่อใช้ปุ๋ยเคมี แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และมีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการพ่นจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น (Elkoca, Turan, & Donmez, 2010)

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลอง

กลุ่มการทดลอง	สมบัติทางเคมีของดิน				
	pH	Organic matter (เปอร์เซ็นต์)	Total Nitrogen (เปอร์เซ็นต์)	Available P (mg/kg)	Extractable K (mg/kg)
ก่อนการทดลอง	6.51 ^a	0.71 ^b	0.07 ^c	24.75 ^b	173.00 ^c
กลุ่มควบคุม	6.83 ^a	0.65 ^b	0.06 ^c	24.09 ^b	158.10 ^c
ปุ๋ยเคมี	6.92 ^a	0.74 ^b	0.09 ^b	32.83 ^a	180.93 ^b
ปุ๋ยอินทรีย์	7.24 ^b	1.05 ^a	0.10 ^b	35.42 ^a	192.23 ^{ab}
ปุ๋ยอินทรีย์ + PGPR	7.31 ^b	1.08 ^a	0.12 ^a	36.16 ^a	205.60 ^a

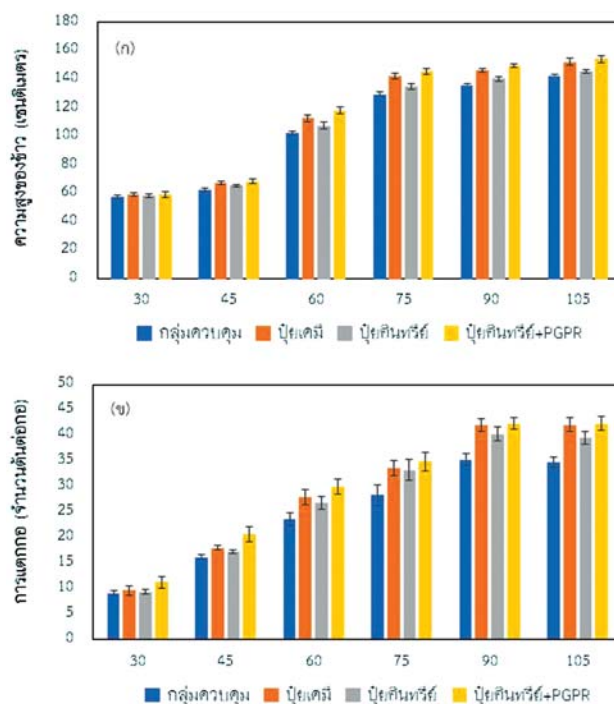
4. การวัดการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และปริมาณผลผลิต

จากการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับ PGPR ต่อความสูงของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ต้นข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เพาะปลูก เมื่อเปรียบเทียบความสูงของ

ข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว ที่อายุ 105 วัน พบว่าข้าวกลุ่มควบคุม ข้าวใช้ปุ๋ยเคมี ข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ PGPR มีความสูงเท่ากับ 142.47, 152.13, 145.33 และ 154.33 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 (ก)

ผลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับ PGPR ต่อจำนวนต้นตอกของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า จำนวนกอข้าวเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เพาะปลูก เช่นเดียวกับความสูงของต้นข้าว เมื่อเปรียบเทียบการแตกกอก่อนการเก็บเกี่ยว พบว่าข้าวกลุ่มควบคุม ข้าวใช้ปุ๋ยเคมี ข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ PGPR มีการแตกกอเท่ากับ 34.70, 42.10, 39.47 และ 42.33 จำนวนต้นตอก ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 (ข)

ปริมาณองค์ประกอบของผลผลิตข้าวแสดงในตารางที่ 3 จำนวนรวงต่อกอของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ PGPR ให้ค่าจำนวนรวงต่อกอเท่ากับ 18.73 รวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวงเท่ากับ 150.38 เมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวงเท่ากับ 131.20 เมล็ดต่อรวง น้ำหนักเมล็ดของข้าวต่อ 1,000 เมล็ด เท่ากับ 27.92 กรัม ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดในกลุ่มทดลอง กลุ่มที่แสดงค่าน้อยที่สุดคือ กลุ่มควบคุม เนื่องจากไม่ได้ใส่ปัจจัยการผลิตใดในระหว่างการเพาะปลูก ส่วนกลุ่มของการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 1 แสดงความสูงของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ก)

และจำนวนการแตกกอของต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ข)

ผลการหาเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ พบว่า ข้าวกลุ่มควบคุม ข้าวใช้ปุ๋ยเคมี ข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ PGPR มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ เท่ากับ 15.47, 12.71, 11.92 และ 11.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตต่อไร่ในทุกกลุ่มการทดลอง พบว่า ข้าวกลุ่มควบคุม ข้าวใช้ปุ๋ยเคมี ข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และข้าวใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ PGPR มีผลผลิตต่อไร่ เท่ากับ 320.00, 485.33, 469.33 และ 496.00 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ มากกว่ากลุ่มควบคุม การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ PGPR เป็นปัจจัยการผลิตส่งเสริมการเจริญของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทั้งในด้านกายภาพ ความสูง จำนวนการแตกกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ผลผลิตต่อไร่ เป็นเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี อีกทั้งยังส่งผลดีในระยะยาวด้านสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาชุมชนอย่างยั่งยืนอีกด้วย (Sapsirisopa, Chookietwattana, Maneewan, & Khaengkhan, 2009)

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณผลผลิตข้าวในแต่ละการทดลอง

กลุ่มการทดลอง	องค์ประกอบผลผลิตข้าว					
	จำนวน รวงต่อกอ (รวงต่อกอ)	จำนวน เมล็ดต่อรวง (เมล็ด)	จำนวน เมล็ดดี ต่อรวง (เมล็ด)	เปอร์เซ็นต์ เมล็ดลีบ (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ก่อนอบ (กรัม)	ผลผลิต ต่อไร่ (กิโลกรัม)
กลุ่มควบคุม	12.13 ^c	105.25 ^a	88.89 ^a	15.47	26.33 ^b	320.00 ^b
ปุ๋ยเคมี	14.90 ^b	146.05 ^b	127.17 ^b	12.71	27.16 ^{ab}	485.33 ^a
ปุ๋ยอินทรีย์	14.20 ^b	143.12 ^b	128.68 ^b	11.92	27.21 ^{ab}	469.33 ^a
ปุ๋ยอินทรีย์ + PGPR	18.73 ^a	150.38 ^b	131.20 ^b	11.21	27.92 ^a	496.00 ^a

5. การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระ

เพื่อให้เกิดจุดแข็งด้านคุณภาพ การทดลองนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระเพื่อแสดงประโยชน์ในด้านสุขภาพของผลผลิตข้าวหลังการทดลอง พบว่ากลุ่มการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ ให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและการต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 20.73 มิลลิกรัม GAE/100 กรัม และ 0.25 มิลลิกรัม Trolox/กรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณสารฟิโนลิกทั้งหมดและปริมาณการต้านอนุมูลอิสระในผลผลิตข้าว

กลุ่มการทดลอง	สารฟิโนลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม GAE/100 กรัม)	ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระ (มิลลิกรัม Trolox/กรัม)
กลุ่มควบคุม	13.01 ^b	0.12 ^c
ปุ๋ยเคมี	17.91 ^{ab}	0.15 ^{bc}
ปุ๋ยอินทรีย์	19.60 ^a	0.17 ^b
ปุ๋ยอินทรีย์ + PGPR	20.73 ^a	0.25 ^a



อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า การเจริญของจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* มีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Santos, Neto, Machado, Soares, & Soares (2014) ซึ่งแสดงให้เห็นเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* เจริญมากที่สุดที่เวลา 20–24 ชั่วโมง โดยมีปริมาณเชื้อทั้งหมด เท่ากับ 4×10^8 CFU/ml และเมื่อนำไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้มีคุณภาพตามมาตรฐานกรมวิชาการเกษตร ในด้านการเจริญเติบโตของต้นข้าว การใช้ปุ๋ยเคมีทำให้ความสูงของข้าวมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ในขณะที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ ส่งผลให้ความสูงของข้าวสูงกว่าข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมี ผลการแตกกอมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลของความสูง การใช้ปุ๋ยทั้งเคมีและอินทรีย์ส่งผลต่อการแตกกอดีกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ใส่ปัจจัยใดๆ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ มีผลของการแตกกอเทียบเคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี และส่งผลต่อการแตกกอดีกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ส่งผลดีในเชิงของปริมาณผลผลิตในทุกๆ ด้าน เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองพบว่า ข้าวที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ PGPR มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ PGPR ส่งผลดีต่อการเพาะปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจาก *Bacillus megaterium* ไม่เพียงแต่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ยังป้องกันการเกิดโรคในพืชได้อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมโรคที่เกี่ยวข้องกับเชื้อราในแปลงข้าวในภาคเหนือของประเทศไทย ที่เกิดจากเชื้อ *Alternaria* sp., *Fusarium oxysporum*, *Sclerotium* sp., *Pyricularia oryzae* (Chaiharn, Chunchaleuchanon, & Lumyong, 2009; Kanjanamaneesathian, Chumthong, Pengnoo, & Wiwattanapatapee, 2009; Wiwattanapatapee, Chumthong, Pengnoo, & Kanjanamaneesathian, 2013) เพื่อให้เกิดการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืน การใช้จุลินทรีย์ PGPR ในแปลงเพาะปลูก ส่งเสริมการปรับปรุงคุณภาพ

ของดินในระยะยาวทั้งในด้านการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด (Song et al., 2015)

สำหรับการศึกษาเชิงคุณภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ เพิ่มปริมาณสารฟิโนลิกทั้งหมด 59 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มปริมาณการต้านอนุมูลอิสระมากถึง 108 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าจุลินทรีย์ PGPR ส่งผลกระทบต่อบริมาณสารฟิโนลิกทั้งหมดและปริมาณการต้านอนุมูลอิสระในเชิงบวก ทั้งนี้ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* มีความสามารถในการผลิตสาร กรดอินโดลอะซิติก (IAA) และกรดจิบเบอเรลลิก (GA3) (Lenin & Jayanthi, 2012) ซึ่งทำให้เกิดการสร้างสารฟิโนลิกทั้งหมดและปริมาณการต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aires, Carvalho, Matos, Carnide, Silva, & Gonçalves (2017) แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นปริมาณของสารฟิโนลิกและการต้านอนุมูลอิสระที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของกรดอินโดลอะซิติก (IAA) และกรดจิบเบอเรลลิก (GA3) ในผลเบอร์รี่



สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับ *Bacillus megaterium* ต่อการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า มีผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวในด้านความสูง จำนวนต้นตอกออก องค์ประกอบผลผลิต ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวต่อไร่มากขึ้น 55 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม การศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับ *Bacillus megaterium* ต่อบริมาณสารสำคัญในข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับ PGPR เพิ่มปริมาณสารฟิโนลิกทั้งหมด 59 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มปริมาณการต้านอนุมูลอิสระมากถึง 108 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus megaterium* ที่เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่พบได้บริเวณรากของพืชโดยทั่วไปสามารถนำมาใช้ในระบบการผลิตแบบอินทรีย์เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อลดการใช้สารเคมีและมีความปลอดภัยต่อสุขภาพของเกษตรกร ซึ่งควรมีการทำวิจัยต่อไปถึงผลของการใช้ปุ๋ยเคมีหรือจุลินทรีย์ PGPR ในการลดปริมาณสารพิษตกค้างยาฆ่าแมลงที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทำเพาะปลูกต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. (2563). *องค์ความรู้เรื่องข้าว*. สืบค้น 5 กันยายน 2563, จาก <http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=005-2.htm#:~:text=ข้าวดอกมะลิเปอร์เซ็นต์20105เปอร์เซ็นต์20เปอร์เซ็นต์3Aเปอร์เซ็นต์20เป็น,พันธุ์เปอร์เซ็นต์20ข้าวดอกมะลิเปอร์เซ็นต์ 20105>
- กรมวิชาการเกษตร. (2548, 30 กันยายน). ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548.
- บุญรักษ์ พันธุ์ไชยศรี. (2563). *การพัฒนาข้าวขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์กลายโดยเทคโนโลยีลำไออน*. สืบค้น 10 กรกฎาคม 2563, จาก https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=8&fbclid=IwAR3D54QByhfWYgTf0cbFB6WBa8vKQzVQGT8gObjQWp3OhPX8tPkJ7kFgw2554
- สุภาวดี แหยมคง และคนอื่นๆ. (2560). ความรู้และพฤติกรรมการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรตำบลชัยสมบุญ อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, 12(2), 15–25.
- ไวรุจน์ เดชมหิทธิกุล, จันทร์จิรา อยู่คง, กนกวรรณ พุ่มพุทรา, แสงชัย เอกประทุมชัย, และเพ็ญจันทร์ เมฆวิจิตรแสง. (2550). การศึกษาสูตรอาหารและกระบวนการผลิตสปอร์ *Bacillus subtilis* เพื่อเป็นโปรไบโอติกในสัตว์. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 30(2), 251–259.
- Aires, A., Carvalho, R., Matos, M., Carnide, V., Silva, A. P., & Gonçalves, B. (2017). Variation of chemical constituents, antioxidant activity, and endogenous plant hormones throughout different ripening stages of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivars produced in centre of Portugal. *Journal of Food Biochemistry*, 41(6), e12414.
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327–1350.
- Blainski, A., Lopes, G. C., & De Mello, J. C. P. (2013). Application and analysis of the folin ciocalteu method for the determination of the total phenolic content from *Limonium brasiliense* L. *Molecules*, 18(6), 6852–6865.

- Bray, R. H., & Kurtz, L. (1945). Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39–46.
- Chaiharn, M., Chunhaleuchanon, S., & Lumyong, S. (2009). Screening siderophore producing bacteria as potential biological control agent for fungal rice pathogens in Thailand. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(11), 1919–1928.
- Chinvarasopak, P. (2015). Key Factors Affecting the Success of Organic Agriculture in Thai communities: Three case studies in Ubon Ratchathani and Srisaket provinces. *Thai Journal of Public Administration*, 13(2), 105–105.
- Elkoca, E., Turan, M., & Donmez, M. F. (2010). Effects of single, dual and triple inoculations with *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium leguminosarum* bv. Phaseoli on nodulation, nutrient uptake, yield and yield parameters of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'elkoca-05'). *Journal of Plant Nutrition*, 33(14), 2104–2119.
- Gupta, A., & Gopal, M. (2008). Siderophore production by plant growth promoting rhizobacteria. *Indian Journal of Agricultural Research*, 42(2), 153–156.
- Kanjanamaneesathian, M., Chumthong, A., Pengnoo, A., & Wiwattanapatapee, R. (2009). *Bacillus megaterium* suppresses major Thailand rice diseases. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, (Special Issue), 154–159.
- Khan, N., Bano, A., & Zandi, P. (2018). Effects of exogenously applied plant growth regulators in combination with PGPR on the physiology and root growth of chickpea (*Cicer arietinum*) and their role in drought tolerance. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 239–247.
- Kuan, K. B., Othman, R., Abdul Rahim, K., & Shamsuddin, Z. H. (2016). Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. *Plos one*, 11(3), e0152478.
- Lenin, G., & Jayanthi, M. (2012). Indole acetic acid, gibberellic acid and siderophore production by PGPR isolates from rhizospheric soils of *Catharanthus roseus*. *Int J Pharmacy Biol Arch*, 3, 933–8.

- Lertpaitoonpan, W., Ong, S. K., & Moorman, T. B. (2009). Effect of organic carbon and pH on soil sorption of sulfamethazine. *Chemosphere*, 76(4), 558–564.
- Ordookhani, K., Khavazi, K., Moezzi, A., & Rejali, F. (2010). Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African Journal of Agricultural Research*, 5(10), 1108–1116.
- Porcel, R., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., & Aroca, R. (2014). Involvement of plant endogenous ABA in *Bacillus megaterium* PGPR activity in tomato plants. *BMC plant biology*, 14(1), 1–12.
- Sáez-Plaza, P., Navas, M. J., Wybraniec, S., Michałowski, T., & Asuero, A. G. (2013). An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, working scale, instrumental finish, and quality control. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 43(4), 224–272.
- Santos, S., Neto, I. F., Machado, M. D., Soares, H. M., & Soares, E. V. (2014). Siderophore production by *Bacillus megaterium*: effect of growth phase and cultural conditions. *Applied biochemistry and biotechnology*, 172(1), 549–560.
- Sapsirisopa, S., Chookietwattana, K., Maneewan, K., & Khaengkhan, P. (2009). Effect of salt-tolerant *Bacillus* inoculum on rice KDML 105 cultivated in saline soil. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2, S69–S74.
- Song, X. et al. (2015). Interaction matters: Synergy between vermicompost and PGPR agents improves soil quality, crop quality and crop yield in the field. *Applied Soil Ecology*, 89, 25–34.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29–38.

- Wiwattanapatapee, R., Chumthong, A., Pengnoo, A., & Kanjanamaneesathian, M. (2013). Preparation and evaluation of *Bacillus megaterium*-alginate microcapsules for control of rice sheath blight disease. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(8), 1487–1497.
- Yazdani, M., Bahmanyar, M. A., Pirdashti, H., & Esmaili, M. A. (2009). Effect of phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49, 90–92.