

ประโยชน์ของปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชเศรษฐกิจ

นิมิตร วงศ์สุวรรณ^{1,2*} และ พีระยศ แข็งขัน²

¹ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาฬสินธุ์ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร
อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ 46120

²ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์หรือปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช มีคุณสมบัติในการสร้างธาตุอาหาร เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิด ช่วยสร้างฮอร์โมนพืช และสร้างสารควบคุมศัตรูพืช ซึ่งจากประโยชน์ดังกล่าวปัจจุบันมีการศึกษา วิจัยและพัฒนานำมาใช้กับพืชเศรษฐกิจ คือ ข้าวโพด ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในพืชทั้ง 4 ชนิด ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.8-40 และยังสามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ร้อยละ 25-50 ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร จากผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งซึ่งช่วยลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต และเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกรนำไปใช้ให้เหมาะสมกับการผลิตพืชในพื้นที่ของตนเอง แต่อย่างไรก็ตามยังมีความจำเป็นต้องศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ในระดับแปลงทดลอง กับพืชแต่ละชนิดในแต่ละพื้นที่ให้ครอบคลุมต่อไป

คำสำคัญ: ปุ๋ยชีวภาพ ฟิซีฟิอาร์ ลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพ และ พืชเศรษฐกิจ

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: nimit2524@hotmail.com

Benefits of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Increasing Efficiency for Economic Crops

Nimit Wongsuwan^{1,2*} and Phirayot Khaengkhan²

¹*Kalasin Agricultural Research and Development Center, Research and Development Agriculture Region Office 3 Khon Kaen, Department of Agriculture, Yang Talat District, Kalasin, 46120, Thailand*

²*Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Maha Sarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, 44150, Thailand*

Abstract

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) or biofertilizer is used for promoting the plant growth. PGPR has several characteristics; namely to create the plant nutrients, adding certain plant foods, supporting plant hormones creation, and to create pest control substances. From above PGPR's abilities, there are recently number of studies, researches and development to apply on increasing efficiency for economic crops such as corn, rice, sugar cane and cassava. Most of the studies found that the use of PGPR on above mentioned 4 economic crops resulted in increasing productivity by 9.8-40% instead of reducing chemical fertilizers use by 25-50% referred to the suggestion of the Department of Agriculture. According to the study results, PGPR is useful technologies that can help farmers increase their productivity. However, it is necessary to continually study for the use of PGPR for different crops in different areas and environments.

Keywords: Biofertilizer, PGPR, Cost Reduction, Increasing Efficiency and Economic Crops

* Corresponding author: E-mail: nimit2524@hotmail.com

บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ประชาชนส่วนใหญ่ยังคงดำรงอาชีพการเกษตร โดยในปัจจุบันการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรยังคงมีปริมาณที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่พบว่าเกษตรกรยังมีพฤติกรรมการใช้ปุ๋ยเคมีมากเกินไปจนความจำเป็นของพืช และใช้อย่างต่อเนื่องเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการใช้ปุ๋ยในลักษณะดังกล่าว นอกจากจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงแล้วยังมีผลกระทบต่อโครงสร้างของดิน ทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินลดน้อยลงจากปัญหาดังกล่าว จึงควรให้ความสำคัญกับการจัดการดินและปุ๋ย โดยการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานระหว่างปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สมบูรณ์แบบ ปัจจุบันได้มีการพัฒนานำจุลินทรีย์ในดินที่มีคุณสมบัติส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมาเป็นปุ๋ย เรียกว่าปุ๋ยชนิดนี้ว่า ปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหรือปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์ท ซึ่งปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์ทมีคุณสมบัติในการสร้างธาตุอาหาร เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช สร้างฮอร์โมนสำหรับพืช สร้างสารปฏิชีวนะ และสารยับยั้งเชื้อรา (Department of Agriculture, 2005) การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์ทจึงถือเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังสามารถช่วยลดมลภาวะ ลดความเสื่อมโทรมของดินที่ทำการเพาะปลูกต่อเนื่องกันมาเป็นระยะเวลายาวนาน และเป็นการลดต้นทุนการผลิตทำให้เกษตรกรมีรายได้ในการปลูกพืชเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามศึกษา วิจัย และพัฒนาปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์ทมาใช้ให้เหมาะสมกับพืชเศรษฐกิจชนิดต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น ดังนั้นการรวบรวมเอกสารในครั้งนี้ทำให้ทราบประโยชน์ของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ฟิอาร์ทในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชเพื่อนำไปสู่การปรับใช้ให้เหมาะสมกับพืชในแต่ละพื้นที่ต่อไป

ฟิสิกซ์ฟิอาร์ท

ฟิสิกซ์ฟิอาร์ท (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) เป็นแบคทีเรียที่มีสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช มีหลากหลายสายพันธุ์ที่พบได้แก่ *Pseudomonas Variovorax*, *Klebsiella*, *Burkholderia*, *Azospirillum*, *Serratia* และ *Azotobacter* เป็นต้น โดยทั่วไปฟิสิกซ์ฟิอาร์ทสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ extracellular PGPR (ePGPR) ที่พบบริเวณไรโซสเฟียร์ และไรโซแพลน และ intracellular PGPR (iPGPR) พบในเซลล์รากพืช ช่วยในการเกิดปม (Gray and Smith, 2005) กระบวนการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชผ่านฟิสิกซ์ฟิอาร์ทนั้น สามารถเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ (1) การส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง ได้แก่ การตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) การละลายฟอสฟอรัส (phosphorus solubilization) การสร้างซิเตอร์โรเฟอร์ (siderophore production) การสร้างฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน ไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน และการลดความเข้มข้นของเอทิลีนในพืช (2) กลไกโดยอ้อม ได้แก่ การผลิตสารปฏิชีวนะ (antibiotic) ที่ใช้ควบคุมโรคพืช ลดปริมาณของธาตุเหล็กบริเวณรากที่เป็นประโยชน์ต่อโรคพืช การสร้างสารต่อต้านเชื้อรา (antifungal) การผลิตเอนไซม์ทำลายผนังเซลล์ของเชื้อราโรคพืช การแย่งครอบครองเชื้อก่อโรคพืชบริเวณราก และการเหนี่ยวนำการสร้างความต้านทาน (Ahemad and Khan, 2011)

บทบาทของฟิสิกซ์ฟิอาร์ทในระบบการผลิตพืช

1. เป็นปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizer) ได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศมาเป็นไนโตรเจนให้กับพืชได้ เช่น แบคทีเรียในจีนัส *Beijerinckia* และไซยาโนแบคทีเรียสกุล *Nostoc* แบคทีเรียที่เพิ่มฟอสฟอรัสหรือกลุ่มแบคทีเรียที่สร้าง siderophore เพื่อสกัดธาตุเหล็กในดิน

ให้กับพืช (Teaumroong *et al.*, 2005) ตัวอย่างบางบทบาทของ PGPR ที่มีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย *Paenibacillus polymyxa* มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ และยังสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตในพืชกลุ่มข้าวโพดได้อย่างดี (Von der Weid *et al.*, 2000) หรือการนำพีจีพีอาร์มาปรับใช้ร่วมกับปุ๋ยหมัก โดยการใส่เชื้อ *Azotobacter* sp., *Beijerinckia* sp. และ *Azospirillum* sp. ในปุ๋ยหมักกากตะกอนโรงงานน้ำตาลผสมขานอ้อยในอัตราส่วน 2:1 จะช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมัก ร้อยละ 6-16 และ 20-30 ตามลำดับ และเมื่อนำปุ๋ยหมักที่ใส่เชื้อแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด มาปลูกมะเขือเทศในกระถางทดลองพบว่า มะเขือเทศมีการเจริญเติบโตและมีการสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม เพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่เชื้อแบคทีเรีย (Meunchang, 2004) ซึ่งปัจจุบันมีการนำแบคทีเรีย *Gluconacetobacter diazotrophicus* และ *Azospirillum* มาพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพ PGPR เชิงพาณิชย์ในภาคเกษตรกรรม ใช้กับพืชไร่สำคัญ เช่น อ้อย ข้าวสาลี โดยมีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ในพื้นที่ 600,000 เฮกตาร์ ในประเทศเม็กซิโก ตั้งแต่ปี 1999 และเพิ่มเป็น 1.5 ล้านเฮกตาร์ ในปี 2000 ทำให้ผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 26 (Mellado, 2002)

2. สร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือฮอร์โมนพืช ได้แก่ Auxin Gibberellin และ Cytokinin ตัวอย่างสกุลของแบคทีเรียกลุ่มนี้ คือ *Azospirillum* และ *Azotobacter* ตัวอย่างงานวิจัยของ Bottini *et al.* (1989) พบว่า การใช้ *Azospirillum* spp. ร่วมกับการปลูกหญ้าสามารถเพิ่มผลผลิตของหญ้า เพราะการผลิตฮอร์โมนพืช จิบเบอเรลลินจากแบคทีเรีย และการใช้แบคทีเรีย *Bacillus licheniformis* ก็กับการปลูกต้นกล้า Alder (*Alnus glutinosa*) สามารถส่งเสริมการเจริญของต้น Alder ได้ อย่งดีเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใส่เชื้อ โดยเฉพาะมีระบบรากที่สมบูรณ์ พื้นที่ผิวของใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง

เกิดจากสารประกอบกลุ่ม Auxin และ Gibberellin ที่ผลิตจากแบคทีเรียกลุ่มนี้ (Ramos *et al.*, 2002)

3. ควบคุมศัตรูพืช (Biopesticide) พีจีพีอาร์ช่วยป้องกันพืชจากอันตรายที่เกิดจากโรคพืชโดยกลไกทางอ้อม เช่น การสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotic) สาร เมแทบอลิต์ ยับยั้งรา การแข่งขันกับโรคพืช และเหนี่ยวนำความต้านทานในพืช การสร้างสารปฏิชีวนะเป็นกลไกที่มีประสิทธิภาพมากสุดในการยับยั้งโรคพืช (Dilantha Fernando *et al.*, 2006) ดังเช่นที่พบใน *Pseudomonas* ที่สังเคราะห์ hydrogen cyanide (HCN) ไปยับยั้งราที่ก่อให้เกิดโรคอื่นได้ เช่น รา *Thielaviopsis basicola* สาเหตุของโรครากเน่าในยาสูบ (Voisad *et al.*, 1989) หรือการใช้แบคทีเรีย *P. fluorescens* กับข้าว Rye (*Secale cereale*) พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อรา *Fusarium culmorum* ที่ทำให้เกิดโรคเหี่ยวได้ดียิ่งขึ้น ถ้ามีการปรับสภาพของดินให้มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวมากขึ้น (Kurek and Jaraszuk-Sciscl, 2003) และ Han *et al.* (2005) ได้ค้นพบแบคทีเรียกลุ่มใหม่ที่มีคุณสมบัติเป็นพีจีพีอาร์ในสกุล *Delfarsuruhatensis* HR4 ที่แยกได้จากบริเวณที่ปลูกข้าวทางตอนเหนือของจีนซึ่งแบคทีเรียสายพันธุ์นี้สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ก่อโรคในต้นข้าว ได้แก่ *Xanthomonas oryzae*, *Rhizoctonia solani* และ *Pyricularia oryzae* เป็นต้น

ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์

ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ หรือปุ๋ยชีวภาพแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช คือ ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดินบริเวณรอบรากพืช (rhizosphere) ซึ่งสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจน เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช สร้างสารซีเดอโรฟอร์ (siderophores) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำธาตุเหล็กเข้าสู่เซลล์พืช โดยการแย่งจับธาตุเหล็กบริเวณ

รอบรากพืช ทำให้เชื้อราโรคพืชไม่สามารถนำธาตุเหล็กไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างฮอร์โมนพืช (phytohormones) เช่น ฮอร์โมนกลุ่มออกซิน (auxins) ซึ่งกระตุ้นการยึดตัวของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ สร้างเอนไซม์ไคตินเนส (chitinase) และลามินาริเนส (laminarinase) ย่อยเส้นใยเชื้อราโรคพืช สร้างสารปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อราสาเหตุโรคพืชได้ (Glick *et al.*, 1999)

1. การพัฒนาปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์เพื่อใช้ในการผลิตพืช ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาขึ้นมาหลายชนิดเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับระบบการผลิตพืช ยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ที่กรมวิชาการเกษตรได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตพืชเศรษฐกิจ ได้แก่

1.1 ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-วัน (PGPR-1) ใช้สำหรับข้าวโพด ข้าวฟ่าง ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ *Azospirillum brasilense* (TS13) *Azotobacter* sp. (125) และ *Beijerinckia* sp. (TB5-26) เป็นปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มเดียวกันหรือต่างกลุ่มกัน ซึ่งเป็นกลุ่มของแบคทีเรียหลากหลายชนิดหรือหลากหลายสายพันธุ์ แบคทีเรียกลุ่มที่สามารถตรึงไนโตรเจน ช่วยละลายฟอสเฟต ผลิตฮอร์โมน ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและสามารถตรึงไนโตรเจนเพิ่มรูปที่เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิดในดิน (Department of Agriculture, 2012)

1.2 ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-ทู (PGPR-2) ใช้สำหรับข้าว ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ *Burkholderia vietnamiensis* และ *Azospirillum brasilense* ที่สามารถตรึงไนโตรเจนละลายธาตุอาหารที่ตรึงอยู่ในดิน และสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชคล้ายออกซิน (IAA) โดยแบคทีเรียเหล่านี้สามารถตรึงไนโตรเจน และเพิ่มรูปที่เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิดในดิน ส่งเสริมการเจริญของรากข้าว จึงสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากทำให้เพิ่มการดูดน้ำและธาตุอาหารได้มากกว่าปกติ (Jacoud, 1999)

1.3 ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์-ทรี (PGPR-3) ใช้สำหรับอ้อยและมันสำปะหลังประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2

ชนิด ได้แก่ *Azospirillum brasilense* DASF04008 และ *Gluconacetobacter diazotrophicus* BR11281 ที่สามารถตรึงไนโตรเจน ละลายธาตุอาหารที่ตรึงอยู่ในดิน และสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตคล้ายออกซิน (IAA) โดยแบคทีเรียเหล่านี้สามารถตรึงไนโตรเจนเพิ่มรูปที่เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางชนิดในดิน ส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากอ้อยและมันสำปะหลังจึงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวรากทำให้เพิ่มการดูดน้ำและปุ๋ย (Department of Agriculture, 2016)

2. มาตรฐานของปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์จะต้องระบุชื่อสกุลทางวิทยาศาสตร์ และมีปริมาณจุลินทรีย์รับรองรวมทั้งหมดขั้นต่ำไม่น้อยกว่า 10^6 โคโลนี หรือเซลล์ต่อน้ำหนักปุ๋ยชีวภาพ 1 กรัม โดยวิธีตรวจวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียในปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ เป็นการนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนและเจริญเติบโตเป็นรูปโคโลนีบนอาหารวุ้นแข็ง (agar media) โดยสมมติฐานว่า เซลล์หนึ่งเซลล์หรือกลุ่มของเซลล์ที่อยู่ใกล้ๆ กันจะเพิ่มจำนวนเจริญทับถมกันเป็นหนึ่งโคโลนี ตัวอย่างการนับและคำนวณปริมาณแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนกลุ่ม aerobic ด้วยวิธีการ viable plate count เช่น ระดับความเจือจางของเชื้อที่ใช้เพาะ 10^{-4} จำนวนโคโลนีที่นับได้จากจานเพาะเชื้อทั้ง 3 จาน คือ 35 40 และ 45 ตามลำดับ แล้วรวมจำนวนเชื้อที่นับได้ เท่ากับ $35+40+45 = 120$ โคโลนี หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีที่รวมกันด้วย 3 เท่ากับ $120/3 = 40$ จากนั้นคูณค่าเฉลี่ยที่ได้ด้วยส่วนกลับของระดับความเจือจาง และ 10 เท่ากับ $40 \times 10^4 \times 10 = 40 \times 10^5$ โคโลนี ปรับตัวเลขให้อยู่ค่าที่ใกล้เคียง $= 40 \times 10^5 = 4.0 \times 10^6$ โคโลนี รายงานผลที่อ่านได้เป็นจำนวนเชื้อที่มีชีวิตต่อกรัมปุ๋ยชีวภาพ จากตัวอย่างมีปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตประมาณ 4.0×10^6 หรือ 4,000,000 โคโลนีต่อกรัมของปุ๋ยชีวภาพ (Department of Agriculture, 2008)

3. วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดพืช ได้แก่ การคลุกกับเมล็ด การผสมกับปุ๋ยหมัก การผสมกับปุ๋ยเคมี การฉีดพ่นบนท่อนพันธุ์ และการแช่ท่อนพันธุ์ เป็นต้น

4. การเก็บรักษาปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25°C ไม่ให้โดนความร้อน แสงแดด สารเคมีเข้มข้น ความชื้น เมื่อเปิดใช้แล้วควรรีบใช้ให้หมด ถ้าเก็บที่อุณหภูมิ 10°C สามารถเก็บได้ 3 เดือน

5. ข้อจำกัดของปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สกุลและสายพันธุ์แบคทีเรีย ชนิดของพืชสมบัติของดิน ประชากรจุลินทรีย์ที่ออกฤทธิ์และเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อม และโดยทั่วไปหลังการใส่ปุ๋ยชีวภาพปริมาณแบคทีเรียจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ จึงมักพบว่าผลการทดลองในสภาพปลอดเชื้อกับในธรรมชาติมีความแตกต่างกันมาก (Bashan and Levanony, 1990; Meunchang and Panichsakpatana, 2008; Meunchang *et al.*, 2006a; Meunchang *et al.*, 2006b) นอกจากนี้ยังมีรายงานผลการวิจัยที่พบว่า การใช้แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของสายพันธุ์ที่คัดเลือกในท้องถิ่น มักให้ผลผลิตดีกว่าสายพันธุ์มาตรฐาน (Murty and Ladha, 1998; Fulchieri and Frioni, 1994)

บทบาทของฟิซีฟิอาร์ในระบบการผลิตพืช

1. ข้าวโพด

Thummanus *et al.* (2016) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ 1 ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตเมล็ดพันธุ์ของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง พบว่า การใช้ปุ๋ยวิธีแนะนำเกษตรกรที่เหมาะสม (good agricultural practice; GAP) ทำให้ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมีผลผลิตเมล็ดพันธุ์มากที่สุดแต่ไม่ต่างกับการใช้ปุ๋ยแบบ PGPR1+75%GAP แสดงให้เห็นว่าการผลิตในรูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ และยังสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงลงได้ Prongjunteak *et al.* (2014a) ได้ศึกษาผลการใช้ฟิซีฟิอาร์ 1 ต่อการลดต้นทุนการผลิตข้าวโพดหวานโดยใช้ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริดส์ 3 ในปี 2556 พบว่าในแปลงทดลอง ศวพ.ลพบุรี ที่

ลักษณะดินเป็นดินร่วนปนเหนียว ข้าวโพดหวานให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่า แปลงทดลองในดินร่วนปนทราย ที่ ศวพ.นครสวรรค์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) และเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ในดินร่วนปนทรายที่มีอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสต่ำ พบว่า สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ได้ประมาณ 50% ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินของ Department of Agriculture (2005) ส่วนในดินร่วนเหนียวที่มีฟอสฟอรัสสูง สามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมได้ประมาณ 25% ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินของ Department of Agriculture (2005) แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ตอบสนองในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำกว่าในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง

Prongjunteak *et al.* (2014b) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ 1 ในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์เพียงอย่างเดียวในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 3 ที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด และสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ได้ 50% ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร ส่วนในแปลงทดลองดินร่วนเหนียวมีแนวโน้มสามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมได้ประมาณ 25% ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ (Prongjunteak *et al.*, 2016) ที่พบว่า เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีถึงระดับสูงตามคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ปริมาณไนโตรเจนและธาตุอาหารอื่นๆ มักเพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดแล้ว การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์จึงไม่ตอบสนองทั้งการตรึงไนโตรเจน และการดูดใช้ธาตุอาหารอื่นๆ แต่เมื่อมีการลดการใช้ปุ๋ยเคมีลง 25 และ 50% มีผลทำให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งให้เห็นว่า ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีและมีการให้ไนโตรเจนบางส่วนกับข้าวโพดจากการตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ ทั้งยังช่วยเพิ่มการดูดธาตุอาหารและการเพิ่ม

ปริมาณรากจากการผลิตออกซิน (IAA) ของจุลินทรีย์ จึงทำให้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินเพียงอย่างเดียว

2. ข้าว

Meunchang *et al.* (2004) ได้แยกเชื้อ *Azospirillum* sp. จากข้าวปลูกพันธุ์สุพรรณบุรี 50 และข้าวป่า และได้มีการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์สำหรับข้าวโดยใช้ในรูปแบบเชื้อผสมระหว่าง *Azospirillum brasilense* TS29 และ *Burkholderia vietnamensis* S45 จากนั้นได้นำไปใช้ในแปลงทดลองของกรมวิชาการเกษตรและแปลงของเกษตรกร พบว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ร่วมกับปุ๋ยหมัก ปุ๋ยเคมี ไนโตรเจน 1.5 กิโลกรัมต่อไร่ และหินฟอสเฟตในสภาพดินต่าง ดินเหนียว อำเภอนครราชสีมา จังหวัดนครสวรรค์ ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น 9.8% สามารถลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินได้ 40% ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน 33.7% ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Department of Agriculture (2016) ที่ทำการทดลองการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 2 ในแปลงนาเกษตรกรจังหวัดอุทัยธานี ปี 2553-2555 พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 2 สามารถช่วยเพิ่มผลผลิต 40 เปอร์เซ็นต์ และลดการใช้ปุ๋ยเคมี 35.8 เปอร์เซ็นต์ (Meunchang *et al.*, 2007) (Table 2)

3. อ้อย

Meunchang *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษากการแพร่กระจายของแบคทีเรียในอ้อยสายพันธุ์ไทยในปี 2538 และ Dobereiner บราซิล ได้มอบเชื้อ *Gluconacetobacter diazotrophicus* BR11281 เพื่อใช้ศึกษาวิจัยในอ้อยสายพันธุ์ไทย ต่อมา Meunchang *et al.* (2005) ได้แยกเชื้อ *Azospirillum* ที่แยกได้จากรากอ้อย สายพันธุ์ไทยด้วยวิธี phylogenetic analysis พบว่า ไอโซเลท TS8 มีความคล้ายคลึงกับ *Azospirillum*

brasilense 98% จึงได้นำแบคทีเรียสองตัวดังกล่าวมาพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์สำหรับอ้อยและมันสำปะหลังในรูปแบบ multi straining inoculums และต่อมา Meunchang (2007a) ได้นำไปทดลองในแปลงทดลองของศูนย์วิจัย ภายในกรมวิชาการเกษตร และแปลงเกษตรกร พบว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 3 กับอ้อยช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกอ้อยได้ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ Meunchang *et al.* (2015) ได้ทดลองใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 3 ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ กันในอ้อยปลูก อ้อยต่อ 1 และอ้อยต่อ 2 ที่ปลูกในดินร่วนทรายที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรร้อยเอ็ด พบว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์สามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ 50% หรือลดปุ๋ยเคมี NPK ได้ 25% ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน ของกรมวิชาการเกษตร โดยผลวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน พบว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 3 มีผลตอบแทนเพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างชัดเจน (Table 3) และเมื่อติดตามผลการใช้ประโยชน์ในกลุ่มเกษตรกรเป้าหมายที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 3 ในการปลูกอ้อย พบว่า การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์สามารถลดการใช้ปุ๋ยได้ 33-43%

4. มันสำปะหลัง

Meunchang (2007b) ได้ทำการศึกษากการคัดเลือกสายพันธุ์ฟิสิกซ์ที่มีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง พบว่า การปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ในกระถางทดลองดินทรายที่ใส่เชื้อผสมของแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดร่วมกัน ได้แก่ *Azospirillum brasilense* *Burkholderia vietnamiensis* และ *Gluconacetobacter diazotrophicus* จะทำให้การเจริญเติบโตและพัฒนาการของมันสำปะหลังดีที่สุด และเมื่อนำแบคทีเรียดังกล่าวมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 3 สำหรับมันสำปะหลัง ซึ่งต่อมา Meunchang (2014) ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 3 เพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิตมันสำปะหลังในแปลงทดลองดินทรายที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ปี 2555/2556 พบว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิสิกซ์ 3 ทำให้ผลผลิตหัวมันสดมีความแตกต่างกับกรรมวิธีไม่ใส่

ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลผลิตหัวมันสดเพิ่มขึ้น 16.2% ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างกันทำให้ผลผลิตหัวมันสดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับวิธีไม่ใส่ปุ๋ย ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย ไม่ทำให้ผลผลิตหัวมันสดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ผลผลิตแป้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีไม่ใส่ และปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย ไม่ทำให้ผลผลิตแป้งของมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติ (Table 4) เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจพบว่า กรรมวิธีใส่ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ให้ผลตอบแทนมากที่สุด เพราะมีต้นทุนค่าปุ๋ยชีวภาพเพียงอย่างเดียว 40 บาท/ไร่ (Table 5) ส่วนในแปลงดินร่วนปนทราย พบว่าการ

ตอบสนองของผลผลิตมันน้อย เพราะดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง ดังนั้น การใส่ปุ๋ยชีวภาพ พีจีพีอาร์ 3 หรือปุ๋ยเคมีไม่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Meunchang *et al.* (2012) และ Amawan (2012) ที่ทำการศึกษการใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนอัตราต่างๆ ในการปลูกมันสำปะหลังในดินทราย รายงานว่า กรรมวิธีทดลองที่ใช้ปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์ 3 สามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ 50% ของอัตราแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินของ Department of Agriculture (2005) และยังให้ผลตอบแทนที่สูงที่สุด คือ 9,096 บาท/ไร่

Table 1 Weight of yield per Rai of hybrid 3 maize after application of PGPR 1 bio-fertilizer together with chemical fertilizer at different ratio in 2013 at Lopburi and Nakhon Sawan Agriculture Research and Development Center

Method	Plot 1 Lopburi ARaDC	Plot 2 Nakorn Sawan ARaDC
	(Clay loam)	(Sandy loam)
	Yield (kg rai ⁻¹)	Yield (kg rai ⁻¹)
No fertilizer	3,787	516 b
13-0-0 Fertilizer kg/Rai	4,462	1,920 a
PGPR bio-fertilizer	3,533	759 b
PGPR bio-fertilizer+0-10-0 fertilizer kg/Rai	4,253	842 b
PGPR bio-fertilizer+13-10-0 fertilizer kg/Rai	4,302	1,600 a
PGPR bio-fertilizer+9.75-7.5-0 fertilizer kg/Rai	3,973	1,879 a
PGPR bio-fertilizer+6.5-5-0 fertilizer kg/Rai	3,858	1,659 a
F-test	ns	*
CV (%)	12.51	17.66

The same characters are not statistically different at 95% confidence level using DMRT.

Source: Department of Agriculture (2012)

Table 2 Effect of chemical fertilizer together with PGPR 2 bio-fertilizer (rice) application in farmer's field in Uthai Thani Province 2010-2012

Application	Fertilizer Formula	Pre-test Fertilizer Ratio Application (kg rai ⁻¹)	Applied Fertilizer Ratio When Mixing Seed with Rice PGPR Bio-Fertilizer (kg rai ⁻¹)		
			2010	2011	2012
First	46-0-0	27.0	19.0	19.0	19.0
Second	16-20-0	15.0	15.0	15.0	15.0
Third	46-0-0	12.0	7.7	7.7	7.7
	15-15-15	15.0	7.7	7.7	7.7
	0-0-60	4.0	4.0	4.0	4.0
Paddy yield (kg/Rai)		750	900	1,000	1,050
Fertilizer cost (baht/Rai)		1,135	730	730	730
Net income (baht/Rai)		11,250	13,500	15,000	15,750
Value/cost-ratio of fertilizer application (VCR)		9.91	18.5	20.5	21.6
Percentage of reduced fertilizer		0	35.8	35.8	35.8
Percentage of increased yield		0	20	33.3	40

¹PGPR 2 bio-fertilizer applied in the experiment composed of *Azospirillum* sp. TS29, *Curtobacterium* sp. J10 and *Burkholderia* sp. S45 microorganisms with not less than 1.0 x 10⁶ cells per gram according to Fertilizer Act.

Source: Department of Agriculture (2016)

Table 3 Economic return of Khon Kaen 3 a cultivar sugar cane when applying PGPR bio-fertilizer together with chemical fertilizer at different ratio in sandy soil at Roi Et Agriculture Research and Development Center

Chemical Fertilizer N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg /Rai	PGPR Bio-Fertilizer (kg rai ⁻¹)	Sugar Cane Yield (kg rai ⁻¹)	Increased Yield (kg rai ⁻¹)	Increased Income ¹ (baht rai ⁻¹)	Fertilizer Cost ² (baht rai ⁻¹)	Value/cost-ratio (VCR) ³	
						Total VCR	PGPR-VCR
	Not Apply	12,665	0	0	0	0	0
0	Apply	13,097	432	499	40	12.48	12.48
12-6-12	Not Apply	17,166	4,501	5,194	1,095	4.74	0
6-6-12	Apply	18,608	5,943	6,858	900	7.62	2.88
9.5-4.5-9.5	Apply	17,069	4,404	5,082	825	6.16	1.42

¹Sugar cane price is 1,154 baht/ton (Sold price farmers had in Roi Et province area in December 2011).

²Chemical fertilizer price of 15-15-15 formula is 18 baht a kg., 46-0-0 formula is 16 baht a kg., 0-0-60 formula is 20 baht a kg. and PGPR bio-fertilizer is 20 baht a bag (Fertilizing ratio is 2 bag/Rai).

³Ratio of incomes from increased yield by fertilizing (Value to Cost Ratio, VCR).

VCR = (Increased income by fertilizing/Cost by fertilizing). For farmers with limited budget, critical level is 2.0.

Source: Department of Agriculture (2016)

Table 4 Effect of PGPR 3 bio-fertilizer together with chemical fertilizer application at different ratio on growth and yield of Rayong 9 a cultivar cassava in sandy soil at Rayong Field Crops Research Center 2012/2013

Fertilizer Application	Root Yield	Starch Yield
	(kg rai ⁻¹)	(kg rai ⁻¹)
A. PGPR bio-fertilizer (1 kg/Rai)		
B ₀ = Not apply	5,851 b	1,695
B ₁ = Dip cutting before growing	6,796 a	1,915
B. Chemical fertilizer ratio (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/Rai)		
F ₀ = 0-0-0	5,343 b	1,541 b
F ₁ = 16-4-16	7,222 a	1,737 ab
F ₂ = 8-4-8	6,667 ab	1,953 ab
F ₃ = 4-4-4	6,053 ab	1,989 a
C. B x F interaction		
B ₀ F ₀	4,558	1,321
B ₀ F ₁	6,545	1,703
B ₀ F ₂	6,479	1,949
B ₀ F ₃	5,822	1,805
B ₁ F ₀	6,127	1,760
B ₁ F ₁	7,898	1,770
B ₁ F ₂	6,875	1,957
B ₁ F ₃	6,285	2,173
CV (a) %	4.18	7.49
CV (b) %	10.6	12.2

Note: Average bio-fertilizer or chemical fertilizer application at different ratio with the same character are not statistically different at 95% confidence level using LSD. Average bio-fertilizer and chemical fertilizer application at different ratio (C) with the same character are not statistically different at 95% confidence level using DMRT.

Source: Department of Agriculture (2012)

Table 5 Economic return of Rayong 9 a cultivar cassava when applying PGPR 3 bio-fertilizer together with chemical fertilizer at different ratio in sandy soil at Rayong Field Crops Research Center 2012/2013

Method N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/Rai	Yield (kg rai ⁻¹)	Increased Yield (kg rai ⁻¹)	Fertilizer Cost ¹ (baht rai ⁻¹)	Return of Fertilizer Cost (VCR) ²	
				VCR	VCR with PGPR ³
No fertilizer	4,558	0	0	0.00	0.00
No fertilizer + PGPR bio-fertilizer	6,127	1,569	40	39.2	39.2
16-4-16	6,545	1,987	1,282	1.55	0.00
16-4-16 + PGPR bio-fertilizer	7,898	3,340	1,322	2.53	0.97
8-4-8	6,479	1,921	739	2.60	0.00
8-4-8 + PGPR bio- fertilizer	6,875	2,317	779	2.97	0.37
4-4-4	5,822	1,264	468	2.70	0.00
4-4-4 + PGPR bio- fertilizer	6,285	1,727	508	3.40	0.70

¹Chemical Fertilizer prices of 15-15-15 formula is 18 baht a kg., 46-0-0 formula is 16 baht a kg., 0-0-60 formula is 20 baht a kg. and PGPR bio-fertilizer is 20 baht a bag (Fertilizing ratio is 2 bag/Rai).

²Average cassava price is 1,900 baht/ton.

³Ratio of incomes from increased yield by fertilizing (Value to Cost Ratio, VCR).

VCR = (Increased income by fertilizing/Cost by fertilizing). For farmers with limited budget, critical level is 2.0.

Source: Department of Agriculture (2012)

สรุป

การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชเศรษฐกิจ คือ ข้าวโพด ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 9.8-40% และ

ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้ 25-50% ตามคำแนะนำการใช้ปุ๋ยในพืชเศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตร ดังนั้น ปุ๋ยชีวภาพฟิซีฟิอาร์ จึงเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถใช้ลดการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้เกษตรกรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพืชได้

References

- Ahemad, M. and Khan, M.S. 2011. Functional aspects of plant growth promoting rhizobacteria: recent advancements. *Insight Microbiol.* 1(3): 39-54.
- Amawan, S. 2012. Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Quality and Quantity Increasing of Cassava Yield. Master of Science Degree Thesis. (Environmental Management), School of Social and Environmental Development, National Institute of Development Administration, Bangkok. (in Thai)
- Bashan, Y. and Levanony, H. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Can. J. Microbiol.* 36: 591-608.
- Bottini, R., Fulchieri, F., Pearce, D. and Pharis, R.P. 1989. Identification of gibberellins A1, A3 and iso-A3 in cultures of *Azospirillum lipoferum*. *J. Plant Physiol.* 10: 45-47.
- Department of Agriculture. 2005. Bio-fertilizer and bio-fertilizer product. Academic paper No. 7/2548. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Department of Agriculture. 2008. Bio-fertilizer analytic manual. Soil Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture. Bangkok. (in Thai)
- Department of Agriculture. 2012. PGPR bio-fertilizer. Soil Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture. Bangkok. (in Thai)
- Department of Agriculture. 2016. Academic paper on PGPR 3 bio-fertilizer. Soil Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Division, Department of Agriculture. Bangkok. (in Thai)
- Dilantha Fernando, W.G., Nakkeeran, S. and Zhang, Y. 2006. Biosynthesis of antibiotics by PGPR and Its Relation in Biocontrol of Plant Diseases. pp 67-109, In Siddiqui, Z.A. (Ed.) PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer, Netherlands.
- Fulchieri, M. and Frioni, L. 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays*): effect on yield in a field experiment in central Argentina. *Soil Biol. Biochem.* 26: 921-923.
- Glick, B.R., Patten, C.L., Holguin, G. and Penrose, D.M. 1999. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. Imperial College Press, Waterloo, Ontario, Canada. 276 p.
- Gray, E.J. and Smith, D.L. 2005. Intracellular and extracellular PGPR: Commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biol. Biochem.* 37: 395-41.
- Han, J., Sun, L., Dong, X.X., Cai, Z., Sun, X., Yung, H., Wang, Y. and Song, W. 2005. Characterization of a novel plant growth-promoting bacteria strain *Delftiastruhatisensis* HR4 both as a diazotroph and a potential biocontrol agent against various pathogen. *Syst. and Applied Micro.* 28: 66-76.

- Jacoud, C. 1999. Initiation of root growth stimulation by *Azospirillum lipoferum* CRT1 during maize seed germination. Can. J. Microbiol. 45: 339-342.
- Kurek, E. and Jaraszuk-Sciscl, J. 2003. Rye (*Secale cereale*) growth promotion by *Pseudomonas fluorescens* strains and their interactions with *Fusarium culmorum* under various soil conditions. Biological Control. 26: 48-56.
- Mellado, C. 2002. Title of abstract. Proceedings of 8th International Symposium on Nitrogen Fixation with Non Legume; December 3-7, 2000; The of University Sydney NSW, Australia, page number of abstract.
- Meunchang, S. 2004. Utilization of sugar mill by-products, fixing bacteria and rhizobacteria in plant production. Doctor of Philosophy Degree Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Meunchang, S., Ando, S., Tangchum, B., and Wadisirsak P. 1998. Distribution and effectiveness of associative nitrogen-fixing bacteria in the western sugar cane belt of Thailand. Proceeding of the 3rd national cane and sugar conference.
- Meunchang, S. 2007a. Utilization of sugar mill by-products, fixing bacteria and rhizobacteria in plant production. National Research Council of Thailand Reward of the Year 2007. National Research Council of Thailand. (in Thai)
- Meunchang, S. 2007b. Selection of PGPR with potential to promote cassava production in pot sand culture environment. Annual Report 2007 of Research and Development on Cassava Cultural Practice Management. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok. (in Thai)
- Meunchang, S. and Panichsakpatana, S. 2008. Utilization of sugar mill by-products, fixing bacteria and rhizobacteria in plant production. Pages 250-252. In National Research Council of Thailand Reward: Thesis of the Year 2007. (in Thai)
- Meunchang, S., Panichsakpatana, S., Ando, S., and T. Yokohama. 2004. Phylogenetic and physiological characterization of indigenous *Azospirillum* isolates in Thailand. Soil Sci. Plant Nutr. 50 (3): 413-421.
- Meunchang, S., Panichsakpatana, S., Ando, T., Yokohama and Werver, R.W. 2006b. Bio-organic Fertilizer production development from compost and plant growth promoting rhizobacteria. In Abstract of 14th world fertilizer congress. January 21-27, 2006. Chaing Mai Thailand. (in Thai)
- Meunchang, S., Panichsakpatana S. and Werver, R.W. 2006a. Tomato growth in soil amended with sugar mill by-product compost containing N₂-fixing bacteria. Plant and Soil. 280: 171-176. (in Thai)
- Meunchang, S., Panichsakpatana, S., Werve, R.W., 2005. Inoculation of sugar mill by products compost with N₂-fixing bacteria. Plant and Soil. 272, 219-225.

- Meunchang, S., Thongra-ar, P., Sanoh, S. and Sripongkul, K. 2007. Bio-fertilizer of rice development. Pages 289-296. In: Proceedings of rice and temperate cereal crops annual conference 2007. 19-21 February 2007 at Pathumthani Rice Research Center, Pathumthani province. (in Thai)
- Meunchang, P., Amawan, S., Thongra-ar, P., Prongjunteak, K., Kernoon, S., Amonpon, W. and Thippayarugs, S. 2012. Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Quality and Quantity Increasing of Cassava Yield. Pages 349-363. In: Annual report 2011 of Research and Development on Cassava Cultural Practice Management. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. August 2012. (in Thai)
- Meunchang, P., Amawan, S., Thongra-ar, P., Prongjunteak, K., Kernoon, C., Amonpon, W. and Thippayarugs, S. 2014. Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Quality and Quantity Increasing of Cassava Yield. Pages 163-177. In: Annual report on work performance in FY 2013 volume 2. Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture. Bangkok. (in Thai)
- Meunchang, P., Prongjunteak, K., Kam-on, S., Kongthian, D., Sukchan, U., Sanoh, S., Kernoon, T., Seanphuak, T., Thongra-ar, P., Rattanasriwong, S., Eamvijarn, A., Prasertsak, P., Thippayarugs, S., Phaisarncharoen, K. and Nuntagij, A. 2015. Sugar cane PGPR bio-fertilizer. Pages 37-40. In: Proceedings of agriculture annual conference 2015, Department of Agriculture. 25-27 May 2015 at Centara Government Complex Hotel & Convention Centre Chaeng Watthana, Bangkok. (in Thai)
- Murty, M.G. and Ladha, J.K. 1998. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic condition. *Plant Soil*. 108: 281-285.
- Prongjunteak, K., Meunchang, S., Thongra-ar, P., Kernoon, C., Luanmanee, S. and Yen-uam, W. 2014b. Study on Effectiveness of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Cost Decreasing, Quality and Quantity Increasing of Corn Yield. Pages 178-184. In: Annual report on work performance in FY 2013 volume 2. Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture. Bangkok. (in Thai)
- Prongjunteak, K., Meunchang, S., Thongra-ar, P., Kernoon, C., Luanmanee, S. and Yen-uam, W. 2016. Study on Application of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Quality and Quantity Increasing of Corn Yield. Pages 66-67. In: Proceedings of research annual conference 2015, Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Department of Agriculture. 15-17 March 2016 at multipurpose buildings of Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Takfa amphur, Nakhon Sawan province. (in Thai)

- Prongjunteak, K., Meunchang, S., Thongra-ar, P., Kernoon, C., Punlai, N. and Yen-uam, W. 2014a. Study on Effectiveness of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Cost Decreasing, Quality and Quantity Increasing of Sweet Corn Yield. Pages 185-191. In: Annual report on work performance in FY 2013 volume 2. Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture. Bangkok. (in Thai)
- Ramos, B., Lucas Garcia, J.A., Probanaza, A., Barrientos, M. L., and Guterrez Mannerero, F. J. 2002. Alterations in the rhizobacterial community associated with European alder growth when inoculated with PGPR strain *Bacillus Licheniformis*. Environmental and Experimental Botany. 49: 61-68.
- Teaumroong, N; Teamtisong, K. and Boonkerd, N. 2005. General knowledge on PGPR bacteria (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Suranaree J. Soc. Sci. 12: 248-257. (in Thai)
- Thummanus, E., Seanphuak, T., Hamathulin, A., Boontang, S. and Simla, S. 2016. Effects of Biofertilizer (PGPR1) with Chemical Fertilizer on Seed Yield of Purple Waxy Corn. Songklanakarin J. Plant Sci. 3(Supplement 3): 54-59. (in Thai)
- Voisad, C., Keel, C., Haas, D. and Defago, G. 1989. Cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* helps suppress black root rot of tobacco under gnotobiotic conditions. EMBO J. 8(2): 351-358.
- Von der Weid, I., Paiva, E., Nobrega, A., van Elsas, J. D. and Seldin, L. 2000. Diversity of *Paenibacillus polymyxa* strains isolated from the rhizosphere of maize planted in Cerrado Soil. Res. Microbiol. 151(5): 369-381.