

ผลของการใช้บาซิลลัสละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยในชุดดินปากช่อง

Effects of Phosphate-solubilizing Bacillus Application with Chemical Fertilizer on Yield and Yield Components of Sugarcane in Pak Chong Soil Series

สิรินภา ช่วงโอภาส* และ ชัยสิทธิ์ ทองจุ
Sirinapa Chungopast* and Chaisit Thongjoo

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus,
Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding author: Email: agrsrnp@ku.ac.th

(Received: 3 July 2019; Accepted: 9 March 2020)

Abstract: The objective of this research was to study the phosphate solubilizing and bacterial leaching when adding PSB biofertilizer (phosphate-solubilizing bacteria biofertilizer) in Pak Chong soil series and studying the effect of using PSB biofertilizer with chemical fertilizers for sugarcane cultivation. The study was divided into 2 experiments. The first experiment was the study of the effect of using PSB biofertilizer on the solubilization of phosphate in Pak Chong soil series by completely randomized design in 3 replications and 7 treatments with 7 different rate of PBS fertilizer applications (2-64 g/kg soil). Available phosphorus and bacteria number in the leaching water through the soil column were examined in the 90 day period. The results found that Pak Chong soil series with PSB biofertilizer at 64 g/kg soil had the highest available phosphorus in leaching water as 31.10 mg/l. Although continuous water washout, but also found that the amount of available phosphorus was high. This indicated that the bacteria still had phosphate solubilizing activity and had survival in the soil. For second experiment, a complete randomized experiment were conducted to study of the effect of using PSB bio-fertilizer with chemical fertilizer on yield and yield components of Lampang cultivars sugarcane in pots as 9 treatments 3 replications. The results found that adding PSB biofertilizer together with use of chemical fertilizers according to soil analysis resulted in yield and yield components of sugarcane increased following by the increasing use of PSB biofertilizer. The maximum yield of sugarcane when using chemical fertilizer 15-7.5-15 kg/rai with PSB biofertilizer at the rate of 36 kg/rai was showed. Therefore, it is recommended to apply PSB biofertilizer in phosphates solubilizing for promoting the yield and yield components of sugarcane that is grown in a low amount of available phosphorus soil such as Pak Chong soil series.

Keywords: Phosphate-solubilizing bacteria, *Bacillus* sp., sugarcane

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการละลายฟอสเฟตและการชะล้างของแบคทีเรียเมื่อใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปี (phosphate-solubilizing bacteria biofertilizer) ในชุดดินปากช่อง และศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกอ้อย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีต่อการละลายฟอสเฟตในชุดดินปากช่อง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ และ 7 ตำรับการทดลอง ที่มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีที่แตกต่างกัน 7 อัตรา (2 - 64 กรัมต่อกิโลกรัมดิน) ตรวจสอบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และจำนวนของแบคทีเรียในน้ำที่ชะล้างผ่านคอลัมน์ดิน ในระยะเวลา 90 วัน ผลการศึกษาพบว่าชุดดินปากช่องที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปี อัตรา 64 กรัมต่อกิโลกรัมดิน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในน้ำชะล้างสูงสุดเท่ากับ 31.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และแม้ว่าจะมีการชะล้างด้วยน้ำอย่างต่อเนื่องแต่ยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียยังคงมีการทำกิจกรรมการละลายฟอสเฟตและมีการอยู่รอดในดิน สำหรับการทดลองที่ 2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ในการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์ลำปางที่ปลูกในกระถาง ทำการทดลอง 9 ตำรับ 3 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่ปลูกในชุดดินปากช่องมีผลผลิตเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีเพิ่มขึ้น และอ้อยมีผลผลิตสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยเคมี 15-7.5-15 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีอัตรา 36 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีในการละลายฟอสเฟตเพื่อส่งเสริมผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย ที่ปลูกในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ เช่นชุดดินปากช่องได้

คำสำคัญ: แบคทีเรียละลายฟอสเฟต บาซิลลัส อ้อย

คำนำ

ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่อยู่ในรูปฟอสเฟตไอออน คือ ไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_2PO_4^-) ซึ่งเป็นรูปที่สามารถละลายได้ในน้ำและเป็นประโยชน์ต่อพืช ฟอสฟอรัสช่วยในการเจริญเติบโตของรากแขนงและรากฝอยในระยะแรก ช่วยให้ดอก ผล และเมล็ดของพืชสมบูรณ์ หากสภาพดินเป็นกรดจะทำให้เหล็ก ไอออนและอะลูมิเนียมไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เฟอร์ริกฟอสเฟต (FePO_4) และอะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4) เป็นต้น ในขณะที่สภาพดินเป็นด่างแคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) และแมกนีเซียมฟอสเฟต ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$) เป็นต้น จึงเป็นสาเหตุของปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสในดิน ส่วนพีเอชที่เป็นกลาง (pH 6.5-7) ฟอสเฟตจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ในงานวิจัยนี้เลือกชุดดินปากช่องในการทดลอง เนื่องจากลักษณะและสมบัติดินของชุดดินปากช่อง เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดิน

เหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีนํ้าตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียว สีนํ้าตาลปนแดงเข้ม ถึงสีแดง พีเอชในดินบนเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) แต่ในดินล่างเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ดังนั้น อาจพบเหล็กและแมงกานีสสะสมในดินล่าง และก่อให้เกิดการตรึงฟอสฟอรัสในดิน พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำในชุดดินปากช่องทั้งในดินลึก 0-25, 25-50 และ 50-100 เซนติเมตร (Office of soil Resources Survey and Research, 2019) จึงเหมาะสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ชุดดินปากช่องมีการระบายน้ำดีปานกลางถึงดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง เป็นกลุ่มชุดดินที่ 29 เป็นดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพื้นที่ปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมี 4,750,671 ไร่ (Office of the Cane and Sugar Board, 2017) และพื้นที่ปลูกอ้อยของเกษตรกรส่วนใหญ่มีสภาพดินที่ไม่ค่อยเหมาะสม แต่ยังสามารถปลูกอ้อยได้ขึ้นอยู่กับการจัดการดิน จากตัวอย่างการสำรวจพื้นที่ของเกษตรกรที่ปลูกอ้อยในเขตปฏิรูปที่ดินจังหวัดขอนแก่นมีการปลูกอ้อยในชุดดินปากช่องร้อยละ 11.11 (Agricultural Land Reform Office, 2019)

โดยทั่วไปฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดในดินจะอยู่ระหว่างพีเอช 6 ถึง 7 (White, 2003) การใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตจะทำให้ฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ยากสามารถละลายออกมาได้ เช่น *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* และ *Rhizobium* (Kanamnuay, 2007; Mala, 2007) ซึ่งมีกลไกหลักที่สำคัญคือการสร้างและปลดปล่อยกรดออกนอกเซลล์ ทำให้ค่าพีเอชของสภาพแวดล้อมลดลง หรือกรดไฮดรอกซิลบางชนิดอาจเกิดคีเลตกับแคลเซียมและเหล็ก จึงทำให้ฟอสเฟตละลายได้มากขึ้น กรดอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สร้างและปลดปล่อยออกมามีหลายชนิด ได้แก่ กรดฟอร์มิก อะซิติก โพรพิโอนิก แลคติก และไกลโคลิก เป็นต้น หรืออาจเป็นการสร้างกรดอินทรีย์ ได้แก่ ไนตริก ซัลฟูริก เป็นต้น (Alori *et al.*, 2017) รายงานของ Saeid *et al.* (2018) ทำการทดสอบ *Bacillus megaterium*, *B. cereus* และ *B. subtilis* พบว่ามีความสามารถในการละลายฟอสเฟต และการใส่ *B. megaterium* ร่วมกับกระดูกปลา 5 กรัมต่อลิตร ทำให้ฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยออกมาสูงสุดเท่ากับ 483 มิลลิกรัมต่อลิตร การประยุกต์ใช้แบคทีเรียละลายฟอสเฟตบ่งชี้ถึงประโยชน์ที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพน้ำอ้อย และยังทำให้ลดปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัส 25 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงได้รับผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้น 12.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสร่วมกับแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (Sundara *et al.*, 2002) ปัจจุบันแบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟตได้ถูกนำมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพ เพื่อใช้ในด้านการผลิตพืช เช่น ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสบี ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดกลม ประกอบไปด้วยแบคทีเรียในกลุ่มบาคิลลัสที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต งานวิจัยนี้ได้นำปุ๋ยชีวภาพนี้มาศึกษาประสิทธิภาพการละลายฟอสเฟตในชุดดินปากช่อง การชะล้างแบคทีเรียและทดสอบการใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตของอ้อยในกระถาง

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ดินของชุดดินปากช่อง

สุ่มเก็บตัวอย่างดินจากชุดดินปากช่อง บริเวณตำบลสิงห์ อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี พิกัด N14.066332 E99.232837 ที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร นำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์สมบัติดินบางประการก่อนการทดลอง ได้แก่ พีเอชโดยวัดด้วยพีเอชมิเตอร์ ค่าอีซีวัดด้วยอีซีมิเตอร์ (Department of Agriculture, 2005) วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธี Walkey and Black (1934) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยย่อยตัวอย่างด้วยกรดเข้มข้นผสม $\text{HClO}_4\text{:HNO}_3$ (อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร) ใช้รีเอเจนต์ของโมลิบดีนัมวาเดต อ่านค่าด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 400-420 นาโนเมตร (Department of Agriculture, 2005) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดกับแอมโมเนียมอะซิเตตที่พีเอช 7.0 (Pratt, 1965) และ ลักษณะเนื้อดินตามวิธีบีเปต (Department of Soil Science, 2011)

การศึกษาปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในปุ๋ยชีวภาพฟิเอสบี

ศึกษาปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในห้องปฏิบัติการ โดยชั่งปุ๋ยชีวภาพฟิเอสบี 10 กรัม จากนั้นเจือจางสารละลายให้อยู่ในช่วง 10^{-1} - 10^{-7} ดูดสารละลายจากความเจือจางที่เหมาะสม 10^{-5} , 10^{-6} และ 10^{-7} มาบีเปตอย่างละ 0.1 มิลลิเมตร ลงในจานเพาะเชื้อที่มีอาหารอาหารฟิโคสคาเยา (Pikovskaya) สำหรับเลี้ยงแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (Mala *et al.*, 2018) แล้วเกลี่ยเชื้อในจานเพาะเชื้อทำ 3 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 24-30 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น 2-7 วัน นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่ปรากฏวงใสล้อมรอบโคโลนี และบันทึกผล

การศึกษามลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีต่อการละลายของฟอสเฟตในชุดดินปางช่อง

ศึกษามลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีต่อการละลายของฟอสเฟตในชุดดินปางช่อง ได้ดำเนินการในสภาพห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรกำแพงแสน ระหว่างเดือนสิงหาคม 2559 ถึงกรกฎาคม 2560 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 7 ดำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ได้แก่ ดำรับที่ 1 ดำรับควบคุม ดำรับที่ 2-7 คือปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปี 2, 4, 8, 16, 32 และ 64 กรัม ตามลำดับ นำดินตัวอย่างดินจากชุดดินปางช่อง ที่ผ่านการร่อนจากตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร มาผสมกับปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปี ซึ่งมีประสิทธิภาพในการละลายฟอสเฟตในอัตราต่าง ๆ กัน ต่อดิน 1 กิโลกรัม ใส่ไผ่คอล์มนดิน ประกอบด้วยกระบอกจากพลาสติกพีวีซี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ความสูง 18 เซนติเมตร และปากกระบอกรูปกรวยซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องระบาย 2 เซนติเมตร มีลวด และผ้าขาวบางกันตรงส่วนปลายคอล์มนที่น้ำจะไหลลงมา หลังจากนั้นเทน้ำกลั่นมาเชื้อ

500 มิลลิลิตร ใส่คอล์มนดินแต่ละคอล์มนเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการชะล้าง โดยเทน้ำทุก ๆ 10 วัน เป็นระยะเวลา 90 วัน นำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ตามกรรมวิธีของ Bray and Kurtz (1945) และปริมาณแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในน้ำชะล้าง ตามกรรมวิธีของ Mala *et al.* (2018)

การศึกษามลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีที่มีต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยในกระถาง

ศึกษามลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์ลำปางที่ปลูกในกระถาง ได้ดำเนินการทดลอง ณ โรงเรือนทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ระหว่างเดือนสิงหาคม 2559 ถึงกรกฎาคม 2560 โดยวางแผนวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวน 9 ดำรับ โดยรายละเอียดของดำรับได้แสดงไว้ใน Table 1 แบ่งใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปี 2 ครั้ง ๆ ละครั้งอัตราในแต่ละดำรับทดลอง ที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก ปลูกอ้อยในกระถางพลาสติกสาน

Table 1. Experimental treatments of sugarcane culture in Pak Chong soil series

Treatments	Detail	Code	Macronutrient (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O kg/rai)
T1	No fertilizer input	control	0-0-0
T2	Chemical fertilizer input according to soil analysis	FI _{DOA}	12-6-12
T3	Chemical fertilizer input according to soil analysis with PSB biofertilizer at a rate of 12 kg/rai	FI _{DOA} +PSB ₁₂	12-6-12
T4	Chemical fertilizer input according to soil analysis with PSB biofertilizer at a rate of 24 kg/rai	FI _{DOA} +PSB ₂₄	12-6-12
T5	Chemical fertilizer input according to soil analysis with PSB biofertilizer at a rate of 36 kg/rai	FI _{DOA} +PSB ₃₆	12-6-12
T6	Chemical fertilizer input 125 % of soil analysis	FI _{125%-DOA}	15-7.5-15
T7	Chemical fertilizer input 125 % of soil analysis with PSB biofertilizer at a rate of 12 kg/rai	FI _{125%-DOA} +PSB ₁₂	15-7.5-15
T8	Chemical fertilizer input 125 % of soil analysis with PSB biofertilizer at a rate of 24 kg/rai	FI _{125%-DOA} +PSB ₂₄	15-7.5-15
T9	Chemical fertilizer input 125 % of soil analysis with PSB biofertilizer at a rate of 36 kg/rai	FI _{125%-DOA} +PSB ₃₆	15-7.5-15

FI = Fertilizer input, DOA= Department of Agriculture, and PSB= Phosphate-solubilizing bacteria

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 นิ้ว โดยฝังท่อนพันธุ์อ้อย 1 ท่อนต่อกระถาง (มีจำนวน 3 ตา) มีการให้น้ำทุก ๆ 15 วัน จนกระทั่งอ้อยมีอายุ 8 เดือน เก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่อายุ 12 เดือน ได้แก่ ความยาวลำ เส้นผ่าศูนย์กลางลำ น้ำหนักต่อลำ จำนวนปล้องต่อลำของอ้อย ผลผลิตของอ้อยสด ค่าซีซีเอส (commercial cane sugar) ตามกรรมวิธีของ Jeenyew *et al.* (2013) และผลผลิตน้ำตาล ตามกรรมวิธีของ Hunsigi (1993) จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดินบางประการของชุดดินปากช่อง

สมบัติดินบางประการของชุดดินปากช่อง มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.76 เป็นกรดปานกลาง อีซี 0.20 เดซิซีเมนซ์ต่อเมตร ดินไม่เค็ม อินทรีย์วัตถุปานกลาง 1.64 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด 151.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ 3.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ มีค่าเท่ากับ 47.38 และ 44.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แคลเซียมสูงเท่ากับ 1,170 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวโดยมีเปอร์เซ็นต์ทราย หยาบ แฉก และดินเหนียวเท่ากับ 11.19, 18.02 และ 70.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากำหนดอัตราปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อย คือ 12, 6 และ 12 กก. N, P₂O₅ และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ (Department of Agriculture, 2010) จะเห็นได้ว่าชุดดินปากช่องมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำซึ่งปรับปรุงโดยการใส่ปุ๋ยเคมี และในชุดดินนี้แม้จะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงแต่มีปัญหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ โดยงานวิจัยนี้เน้นการแก้ปัญหาปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่ำโดยใช้ปุ๋ยชีวภาพ

จึงนำไปเป็นตัวอย่างดินทดลองการละลายฟอสเฟตโดยแบคทีเรียในขั้นตอนต่อไป

ปริมาณของบราซิลละลายฟอสเฟตในปุ๋ยชีวภาพพีเอสบี

ผลการตรวจนับปริมาณบราซิลในปุ๋ยชีวภาพพบว่าปุ๋ยชีวภาพพีเอสบีมีจำนวนแบคทีเรียเฉลี่ย 8.28×10^6 ซีเอฟยูต่อ 1 เม็ดปุ๋ย ซึ่งตรงตามฉลากปุ๋ยชีวภาพระบุไว้ว่ามีประมาณ 10^6 เซลล์ต่อ 1 เม็ดปุ๋ย หรือ 2.90×10^8 ซีเอฟยูต่อกรัมแห้งของปุ๋ย ขณะที่ปุ๋ยมีความชื้นเท่ากับ 0.18 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยของจำนวนแบคทีเรียละลายฟอสเฟตระดับนี้เพียงพอที่จะเกิดกิจกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานปริมาณแบคทีเรียโดยทั่วไป ที่ควรเตรียมผงเชื้อหรือหัวเชื้อให้มีจำนวนความหนาแน่นของเซลล์อยู่ที่ 10^8 - 10^9 ซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร สำหรับแตรากพีชหรือใส่ลงดิน (Martinez-Viveros *et al.*, 2010) ปุ๋ยชีวภาพที่เป็นแบคทีเรียละลายฟอสเฟตควรมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่น้อยกว่า 10^8 โคโลนีต่อกรัม และกำหนดเกณฑ์ตลาดเคลื่อนขึ้นต่ำไม่เกินร้อยละ 10 ของปริมาณ จุลินทรีย์รับรอง (The Secretariat of the Cabinet, 2009)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และจำนวนแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในน้ำชะล้าง

จากการทดลองด้วยวิธีทำคอลัมน์ดิน ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพพีเอสบีอัตราต่าง ๆ ในชุดดินปากช่อง (Figure 1a) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 วันอย่างต่อเนื่อง ยกเว้นในตำรับควบคุม พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ผันแปรอยู่ในช่วง 2.70-5.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดระยะเวลาการศึกษา 90 วัน โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพพีเอสบี อัตรา 64 กรัมต่อกิโลกรัมดิน ที่ระยะ 90 วัน มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดเท่ากับ 31.10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากค่าวิเคราะห์น้ำเริ่มต้นในชุดดินปากช่องมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 2.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ แม้ว่าดินจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมาก (151.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่พืชก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้ เมื่อใส่ปุ๋ยชีวภาพ

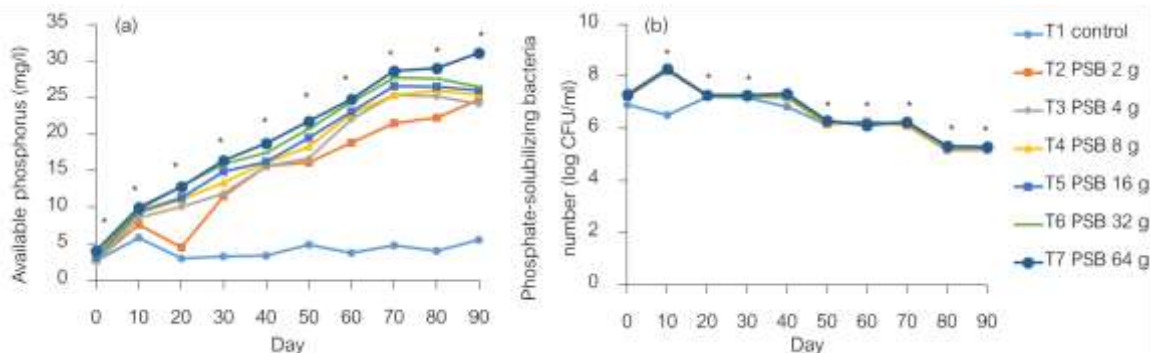


Figure 1. Effects of different PBS-biofertilizer application rates on available phosphorus (a) and the number of PSB (b) in water leached from Pak Chong soil series during 90 days of experiment. The significant differences by using DMRT at $P < 0.05$

ฟิเอสปีลงไปทำให้มีการละลายฟอสเฟตสูงขึ้นและทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Sharma *et al.* (2013) รายงานความหลากหลายของจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและความสามารถผลิตกรดอินทรีย์ เช่น *B. subtilis* และ *B. megaterium* ผลิตกรดแลคติก กรดมาลิก กลุ่มบาซิลลัสเป็นแบคทีเรียละลายฟอสเฟตช่วยเพิ่มการดูดซึมฟอสฟอรัสโดยพืช (Rodríguez and Fraga, 1999) และรายงานของ Kang *et al.* (2014) แสดงให้เห็นว่า *B. megaterium* mjl1212 เป็นแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่สามารถใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเพิ่มผลผลิต และการเจริญเติบโตของต้นมันฝรั่ง ข้อมูลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปี อัตรา 2-64 กรัม/กิโลกรัมดินทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ปุ๋ยชีวภาพ โดยอัตราที่แนะนำคือปุ๋ยชีวภาพ 64 กรัม ต่อดิน 1 กิโลกรัมที่ทดลอง สำหรับการปลูกพืชในกระถาง เนื่องจากให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตามควรมีการทดสอบการใส่ปุ๋ยชีวภาพนี้เพิ่มเติมเพื่อหาอัตราที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในแปลงผลิตจริง

จำนวนแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากน้ำชะล้างผ่านคอลัมน์ (Figure 1b) ในชุดดินปากช่อง พบว่าที่ระยะเวลา 10 วัน มีจำนวนแบคทีเรียที่ถูกชะออกมาประมาณ 8 ลีออคซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร ยกเว้นตัวรับที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.52 ลีออคซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร

เนื่องจากในตำรับอื่น ๆ มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีลงไปถึงทำให้มีแบคทีเรียจำนวนมากที่ตัวรับควบคุม และแบคทีเรียนั้นมีโอกาสถูกชะออกมามากกว่า ตัวรับที่ใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ ที่ระยะเวลา 20 วัน มีปริมาณแบคทีเรียถูกชะออกมาใกล้เคียงกันแต่ปริมาณฟอสเฟตในน้ำที่ถูกชะออกมาแตกต่างกัน แสดงว่าอัตราปุ๋ยชีวภาพที่สูงจะมีแบคทีเรียที่เหลืออยู่ในดินมากกว่า จึงสามารถเกิดกิจกรรมการละลายฟอสเฟตได้มากกว่า หลังจากระยะเวลา 40 วัน มีจำนวนแบคทีเรียที่ถูกชะลดลงมาจนกระทั่งที่ 90 วัน โดยมีค่าประมาณ 5 ลีออคซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปริมาณของแบคทีเรียที่ถูกชะล้างออกมาไม่มีผลต่อปริมาณฟอสเฟตที่ถูกชะออกมากับน้ำ แบคทีเรียยังคงอยู่รอดและดำเนินกิจกรรมในดิน เป็นเวลา 70 วัน ในชุดดินปากช่องโดยไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีเพิ่ม แต่หลังจากนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะลดลง เป็นไปได้ว่าจำนวนแบคทีเรียที่อยู่ในดินลดน้อยลงหรือปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินที่ถูกตรึงไว้ลดลง ดังนั้นการศึกษแบคทีเรียละลายฟอสเฟตในน้ำชะล้างเป็นการประเมินทางอ้อมจากการชะล้างว่าแม้จะมีการชะล้างแต่ยังคงมีการละลายฟอสเฟตอยู่ แสดงว่าแบคทีเรียสามารถอยู่รอดในดินและสามารถแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนตลอดจนมีกิจกรรมการละลายฟอสเฟตในดินต่อไป

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยที่อายุ 12 เดือน

การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีอัตราต่าง ๆ มีผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์ลำปางที่ระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 2) กล่าวคือในตำรับ 9 ($FI_{125\%-DOA} + PSB_{36}$) มีผลให้ความยาวลำของอ้อย เส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อย น้ำหนักต่อลำของอ้อย และจำนวนปล้องต่อลำของอ้อยมากที่สุด เท่ากับ 163.35 เซนติเมตร 3.28 เซนติเมตร 1.63 กิโลกรัมต่อลำ และ 23.42 ปล้องต่อลำ ตามลำดับ รองลงมาคือตำรับ 8 ($FI_{125\%-DOA} + PSB_{24}$) ซึ่งไม่แตกต่างกับตำรับ 7 ($FI_{125\%-DOA} + PSB_{12}$) ขณะที่ตำรับควบคุมมีผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยน้อยที่สุด โดยมีผลทำให้ความยาวลำของอ้อยเท่ากับ 67.48 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำของอ้อยเท่ากับ 2.53 เซนติเมตร น้ำหนักต่อลำของอ้อยเท่ากับ 0.87 กิโลกรัมต่อลำ และจำนวนปล้องต่อลำของอ้อยเท่ากับ 14.28 ปล้องต่อลำ การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว หรือการใส่ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีอัตราต่าง ๆ มีผลให้ผลผลิตอ้อยสด ค่าซีซีเอส และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือในตำรับ 9 ($FI_{125\%-DOA} + PSB_{36}$) มีผลทำให้ผลผลิตของอ้อยสดค่าซีซีเอส และผลผลิตน้ำตาลของอ้อยมากที่สุดเท่ากับ 6.55 กิโลกรัมต่อกระถาง 11.42 เปอร์เซ็นต์ และ 748.01 กรัมต่อกระถาง ซึ่งอาจเป็นเพราะฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างน้ำตาลซูโครสจากแป้งและรีดิคิงซูการ์ที่สะสมภายในลำต้น (Mengead, 2019) รองลงมาคือในตำรับ 8 ($FI_{125\%-DOA} + PSB_{24}$) ตำรับ 7 ($FI_{125\%-DOA} + PSB_{12}$) และตำรับ 5 ($FI_{DOA} + PSB_{36}$) ตามลำดับ ขณะที่ตำรับควบคุมมีผลให้ผลผลิตอ้อยสดน้อย ค่าซีซีเอสและผลผลิตน้ำตาลของอ้อยน้อยที่สุดเท่ากับ 1.46 กิโลกรัมต่อกระถาง 8.26 เปอร์เซ็นต์ และ 120.60 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ การปลูกพืชที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยในระยะยาวจะมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช (Pumpuang *et al.*, 2014) ดินที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นชุดดินปากช่อง ซึ่งมีฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมากแต่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่เพียงพอ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟิเอสปีจะช่วยละลายฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยเคมีส่งผลให้อ้อยมีการตอบสนองที่ดี การเจริญเติบโตของอ้อยจากการทดลองข้างต้นมีความสอดคล้องกับการใช้แบบที่เรียละลาย

Table 2. The yield and yield components of sugarcane grown in Pak Chong soil series at 12 months after planting

Treatment	Stem length (cm)	Stem diameter (cm)	Weight per stem (kg/stem)	Internode number per stem
T ₁ = control	67.48 ^f	2.53 ^f	0.87 ^f	14.28 ^c
T ₂ = FI _{DOA}	132.60 ^e	2.76 ^e	1.24 ^e	18.34 ^b
T ₃ = FI _{DOA} + PSB ₁₂	140.67 ^d	2.83 ^e	1.28 ^e	18.53 ^b
T ₄ = FI _{DOA} + PSB ₂₄	142.48 ^d	2.97 ^d	1.32 ^{de}	18.76 ^b
T ₅ = FI _{DOA} + PSB ₃₆	155.42 ^b	3.13 ^{bc}	1.42 ^{cd}	21.63 ^a
T ₆ = FI _{125%-DOA}	149.60 ^c	3.01 ^{cd}	1.36 ^{cde}	19.32 ^b
T ₇ = FI _{125%-DOA} + PSB ₁₂	157.35 ^b	3.17 ^{ab}	1.47 ^{bc}	21.78 ^a
T ₈ = FI _{125%-DOA} + PSB ₂₄	158.58 ^b	3.22 ^{ab}	1.58 ^{ab}	22.18 ^a
T ₉ = FI _{125%-DOA} + PSB ₃₆	163.35 ^a	3.28 ^a	1.63 ^a	23.42 ^a
F-test	**	**	**	**
CV (%)	12.89	12.48	13.57	13.64

FI_{DOA} = Fertilizer input according to soil analysis for sugarcane 12, 6, and 12 kg N, P₂O₅ and K₂O per rai respectively (Department of Agriculture, 2005), Means within the same column followed by different letters are significantly different according to DMRT test at

**P<0.01

Table 3. Fresh sugarcane yield, CCS and sugar yield of sugarcane grown in Pak Chong soil series at 12 months after planting

Treatment	Fresh sugarcane yield (kg/pot)	CCS (%)	Sugar yield (g/pot)
T ₁ = control	1.46 ^h	8.26 ^g	120.60 ⁱ
T ₂ = FI _{DOA}	4.03 ^g	9.76 ^f	393.33 ^h
T ₃ = FI _{DOA} +PSB ₁₂	4.31 ^f	9.83 ^{ef}	423.67 ^g
T ₄ = FI _{DOA} +PSB ₂₄	4.50 ^f	10.32 ^{de}	464.40 ^f
T ₅ = FI _{DOA} +PSB ₃₆	5.25 ^d	10.87 ^{bc}	570.68 ^d
T ₆ = FI _{125%-DOA}	4.73 ^e	10.54 ^{cd}	498.54 ^e
T ₇ = FI _{125%-DOA} +PSB ₁₂	5.56 ^c	10.93 ^{abc}	607.71 ^c
T ₈ = FI _{125%-DOA} +PSB ₂₄	6.16 ^b	11.28 ^{ab}	694.85 ^b
T ₉ = FI _{125%-DOA} +PSB ₃₆	6.55 ^a	11.42 ^a	748.01 ^a
F-test	**	**	**
CV (%)	12.37	12.83	12.21

FI_{DOA} = Fertilizer input according to soil analysis for sugarcane 12, 6, and 12 kg N, P₂O₅ and K₂O per rai respectively (Department of Agriculture, 2005), CCS= commercial cane sugar, Means within the same column followed by different letters are significantly different according to DMRT test at **P<0.01

ฟอสเฟต *Xanthomonas maltophilia* และ *Enterobacter cloacae* โดย Martínez and Martínez (2007) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการเจริญเติบโตของอ้อย เมื่อมีการใส่ฟอสเฟตร่วมกับส่วนผสมของแบคทีเรียทั้งสองชนิด ทำให้ความยาวลำต้นเท่ากับ 32 เซนติเมตร ซึ่งยาวกว่าตำรับควบคุม สำหรับการเจริญเติบโตของรากนั้นเพิ่มขึ้น 2.57 เท่า ความยาวรากเพิ่มขึ้น 0.73 เท่า นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอัตราต่าง ๆ ทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟตในอัตราที่สูงขึ้น (ตำรับที่ 6-9) มีผลให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยโดยภาพรวมสูงกว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่าง ๆ ทั้งที่ใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟตในอัตราที่ต่ำกว่า (ตำรับที่ 2-5) โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟตอัตรา 36 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-7.5-15 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นกรรมวิธีที่ดีที่สุดในการปลูกอ้อย อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นการทดลองในกระถาง ดังนั้นควรนำไปศึกษาเพิ่มเติมกับการปลูกอ้อยในแปลงจริงเพื่อยืนยันผลการใช้ปุ๋ยชีวภาพนี้ต่อไป

สรุป

บาซิลลัสละลายฟอสเฟตจากปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟตมีปริมาณเชื้อในปุ๋ยชีวภาพที่เหมาะสม 10⁸ ซีเอฟยูต่อกรัมแห้งของปุ๋ย ที่จะช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟต 64 กรัมต่อกิโลกรัมของดิน ทำให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดในสภาพห้องปฏิบัติการ ถึงแม้แบคทีเรียที่ใส่ลงไปในดินสามารถถูกชะล้างด้วยน้ำออกไปจากดิน แต่ยังคงมีปริมาณเชื้อที่มากเพียงพอต่อการดำเนินกิจกรรมการละลายฟอสเฟตต่อไปได้ภายในระยะเวลา 90 วัน และเมื่อนำปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟตไปทดสอบกับการปลูกอ้อยในชุดดินปากช่อง ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ ในสภาพการปลูกในกระถางทดลอง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อัตรา 15-7.5-15 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพฟอสเฟตอัตรา 36 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้อ้อยพันธุ์ลำปางมีการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตของอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยวดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนจาก Food Security Center (FSC), University of Hohenheim, Stuttgart, Germany และโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท เจ พี อะโกร (ประเทศไทย) จำกัด และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

เอกสารอ้างอิง

- Agricultural Land Reform Office. 2019. Study on biofertilizerion and technical efficiency of sugarcane biofertilizerion of farmers in Khon Kaen province. (Online). Available: https://www.alro.go.th/research_plan/article_attach/article_attach_201609051473069346.doc (July 8, 2019). (in Thai)
- Alori, E.T., B.R. Glick and O.O. Babalola. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology* 8: 971, doi: 10.3389/fmicb.2017.00971.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science* 59: 39-45.
- Department of Agriculture. 2010. Recommendations for using fertilizers with economic crops. Academic documents no. 8/2005. Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Department of Soil Science. 2011. Laboratory Manual for Soil Science. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. 207 p. (in Thai)
- FAO Project Staff and Land Classification Division. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Department of Land Development, Bangkok.
- Hunsigi, G. 1993. Production of Sugarcane: Theory and Practice. Springer-Verlag, Berlin.
- Jeenyew, W., C. Thongjoo, S. Amkha, T. Pornprom and S. Bootpetch. 2013. Utilization of waste materials from ethanol factory for increasing yield of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), pp. 86-99. *In: Proceedings of the 10th National KU-KPS Conference*, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Kanamnuay, N. 2007. Diversity and efficiency of *Bacillus* sp. on inorganic phosphate solubilization. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 76 p. (in Thai)
- Kang, S.M., R. Radhakrishnan, Y.H. You, G.J. Joo, I.J. Lee, K.E. Lee and J.H. Kim. 2014. Phosphate solubilizing *Bacillus megaterium* mj1212 regulates endogenous plant carbohydrates and amino acids contents to promote mustard plant growth. *Indian Journal of Microbiology* 54(4): 427-433.
- Mala, T. 2007. Organic Fertilizers and Biofertilizers: Biofertilizerion Techniques and Use. 2nd ed. Kasetsart University Press, Bangkok. 300 p. (in Thai)
- Mala, T., S. Chungopast, K. Sinma, C. Hongprayoon and W. Phungsang. 2018. Soil Microbiology Laboratory. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. 44 p. (in Thai)
- Martínez, M. and A. Martínez. 2007. Effects of phosphate-solubilizing bacteria during the rooting period of sugar cane (*Saccharum officinarum*), Venezuela 51-71 variety, on the grower's oasis substrate. pp. 317-323. *In: E. Velázquez and C. Rodríguez-Barrueco* (eds.). First International Meeting

- on Microbial Phosphate Solubilization. Springer, Dordrecht.
- Martinez-Viveros, O., M. A. Jorquera, D.E. Crowley, G. Gajardo and M.L. Mora. 2010. Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10(3): 293-319.
- Mengead, Y. 2019. Effect of chemical fertilizer management in combination with boron on yield of first ratoon cane planted in Kamphaeng Saen series. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Office of soil Resources Survey and Research. 2019. Soil series properties and characteristics of the north east. (Online). Available: http://www.idd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/northeast/Pc.htm (July 8, 2019). (in Thai)
- Office of the Cane and Sugar Board. 2017. Report of the annual sugarcane planting area survey 2016/17. (Online). Available: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf> (July 8, 2019). (in Thai)
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. pp. 1022-1030. *In*: C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White and F.E. Clark (eds.). *Method of Soil Analysis. Part 2*. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin.
- Pumpuang, P., C. Thongjoo, T. Mala, S. Amkha, W. Thaymuang, C. Khongsud, T. Klumchaun, P. Katpiyarat and S. Bootpetch. 2014. Efficient of using different forms of urea on growth and yield components of sugarcane. pp. 11-13. *In*: *Proceedings of 11th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference: Plant and Biotechnology*, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Rodríguez, H. and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances* 17: 319-339.
- Saeid, A., E. Prochownik and J. Dobrowolska-Iwanek. 2018. Phosphorus solubilization by *Bacillus* species. *Molecules* 23(11): 2897, doi: 10.3390/molecules23112897.
- Sharma, S.B., R.Z. Sayyed, M.H. Trivedi and T.A. Gobi. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus* 2: 587, doi: 10.1186/2193-1801-2-587.
- Sundara, B., V. Natarajan and K. Hari. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. *Field Crops Research* 77(1): 43-49.
- The Secretariat of the Cabinet. 2009. Ministry of Agriculture and Cooperatives Announcement: Determine the error of the quantity of microorganisms certified. Follow by Fertilizer Act B.E. 1975 Amended by Fertilizer Act (No. 2) B.E. 2007. *Government Gazette* 126(63): 65 (in Thai)
- Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-35.
- White, R.E. 2003. *Soils for Fine Wines*. Oxford University Press, New York. 312 p.